

Riadenie prietoku vratného kalu v aktivácii so zvýšeným biologickým odstraňovaním fosforu

Ing. Karol Kucman, CSc.

VÚVH Bratislava

1. Úvod

Pri procese čistenia odpadových vôd so zvýšeným biologickým odstraňovaním fosforu sa na redukcii jeho výkonu negatívne podieľajú viaceré dynamické zmeny prevádzkových parametrov.

Procesne najvýznamnejšie zmeny sa týkajú zmien súvisiacich s kvalitatívnymi vlastnosťami odpadovej vody. Pri týchto zmenách ide predovšetkým o významnú variabilitu veľkosti rozhodujúcich ukazovateľov znečistenia a voľnú koreláciu medzi týmito ukazovateľmi, ktoré sú v procese biologického čistenia vzájomne späté: $CHSK_{Cr} - N - P$. Vplyv týchto zmien sa však prakticky nedá významnejšie ovplyvňovať, pretože súvisí s časovo premenlivou genézou znečistenia a vplyvom transportu odpadových vôd stokovou sieťou. Ich eliminácia, napríklad pridávaním externého ľahko rozložiteľného substrátu je síce overeným pozitívnym riešením, ale nepredstavuje zďaleka všeobecne dostupné riešenie.

K ďalším prevádzkovým zmenám, ktoré sa negatívne prejavujú na výkone a stabilite zvýšeného odstraňovania fosforu patrí veľkosť prietoku, koncentrácia sušiny kalu a zmeny súvisiace s objemovým indexom kalu.

V aktivačných systémoch so zvýšeným odstraňovaním fosforu je často riadená veľkosť recirkulácie vratného kalu bez ohľadu na veľkosť prítoku a aktuálnu koncentráciu a sedimentačné vlastnosti kalu. Prevádzkou recirkulácie vratného kalu sa často sleduje len podmienka zachovania spoľahlivej separačnej funkcie dosadzovacej nádrže bez ohľadu na jej vplyv voči zvýšenému biologickému odstraňovaniu fosforu. Veľkosť recirkulácie vratného kalu je často zbytočne veľká, nedostatočne regulovaná bez ohľadu na okamžitý prítok, koncentráciu kalu a jeho sedimentačné vlastnosti. Tak sa do anaeróbnej nádrže alebo zóny dostáva neopodstatnené veľké množstvo dusičnanov a dusitanov, ktoré redukujú aktuálnu koncentráciu a dostupnosť ľahko rozložiteľného znečistenia, čím sa prechodne alebo dokonca trvalo redukuje výkon zvýšeného biologického odstraňovania fosforu.

Spracovaná teoretická štúdia, ku ktorej bol naprogramovaný výpočet v prostredí Excelu 2000 a VBA tak predstavuje prehľadný súhrn známych teoretických východísk a postupov pre proces sedimentácie aktivovaného kalu v dosadzovacích nádržiach. Uvedený program predstavuje na základe matematického modelu a jeho analýzy stanovenie teoreticky minimálnej veľkosti vratného kalu za účelom regulácie veľkosti prietoku vratného kalu podľa aktuálnych parametrov: počet a veľkosť prevádzkovaných dosadzovacích nádrží, aktuálny prítok, koncentrácia sušiny vratného kalu a objemový index kalu.

2. Teoretické východiská procesu sedimentácie

Intenzita látkového toku častíc kalu prierezovou plochou dosadzovacej nádrže je výsledkom sedimentačnej rýchlosti častíc pri aktuálnej koncentrácii kalu, ktorú je možné popísať ako súčin zónovej rýchlosti sedimentácie a aktuálnej koncentrácie sušiny kalu - vzťah 2.1.

$$G_s = V_s \times X \quad (2.1)$$

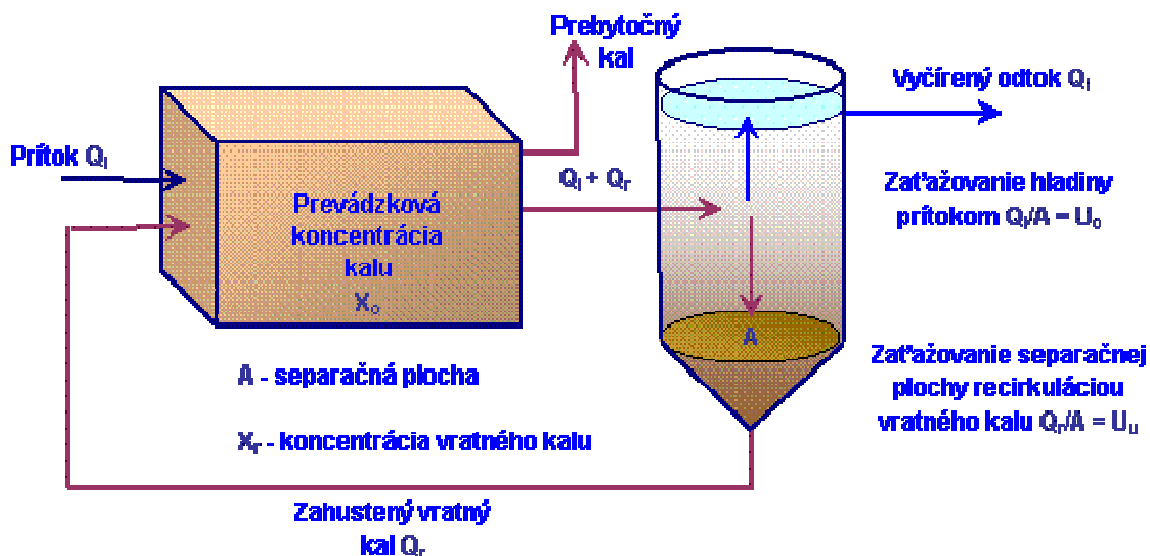
$$G_s = \text{intenzita látkového toku} \left[\text{kg/m}^2/\text{h} \right] \quad (2.2)$$

$$V_s = \text{rýchlosť sedimentácie} \left[\text{m/h} \right] \quad (2.3)$$

$$X = \text{koncentrácia kalu} \left[\text{kg/m}^3 \right] \quad (2.4)$$

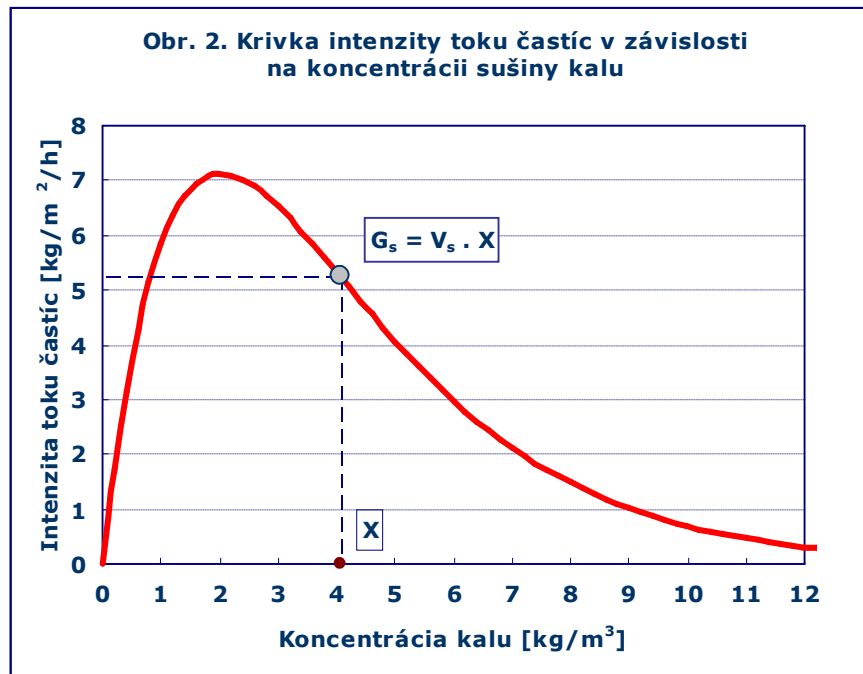
Pre odvodenie jednorozmerného matematického modelu kontinuálnej sedimentácie aktivovaného kalu v dosadzovacej nádrži v ustálenom stave je možné vychádzať z nasledujúcich idealizovaných podmienok, ktoré je možné zobraziť vid'. obr. 1.

Obr. 1. Idealizovaná schéma funkcie dosadzovacej nádrže v procese aktivácie



Na základe vykonania rady sedimentačných testov s rôznymi koncentraciami sušiny kalu, možno zostrojiť krivku intenzity toku častíc pre konkrétny aktivovaný kal. Typický priebeh krivky intenzity toku častíc G_s v závislosti na koncentrácii sušiny kalu X je zobrazený na obr. 2. Pre krivku intenzity toku častíc je význačné, že pri nízkej koncentrácii sušiny kalu X i keď rýchlosti sedimentácie V_s vykazujú vysoké hodnoty, výsledná hodnota intenzity toku častíc G_s je nízka. Pri vysokých koncentraciach sušiny kalu dosahujú hodnoty rýchlosti sedimentácie V_s a hodnoty intenzity toku častíc G_s nízku úroveň. Pri určitých stredných hodnotách

koncentrácie sušiny kalu (približne od 3 do 5 kg/m³) dosahuje hodnota intenzity toku častíc G_s maximálnu hodnotu.



Intenzita toku častíc v dosadzovacej nádrži predstavuje transport suspendovaných látok ku dnu nádrže, kde sa zahustený kal odoberá. Transport suspendovaných látok sa tak uskutočňuje vplyvom dvoch čiastkových dejov.

Vplyvom tiaže. Tento dej vyjadruje krivka intenzity toku častíc, vid' obr. 2, 3 – závislosť G_s na koncentrácii sušiny suspendovaných látok X .

Vplyvom rýchlosti pohybu zmesi ku dnu U_u , ktorý je vyvolaný recirkuláciou vratného kalu vzniká parciálna zložka intenzity toku častíc G_b . Teoreticky pre túto zložku platí, že rýchlosť pohybu zmesi ku dnu zodpovedá podielu recirkulácie Q_r a plochy dosadzovacej nádrže A .

$$U_u = \frac{Q_r}{A}; \quad [m/h] \quad (2.5)$$

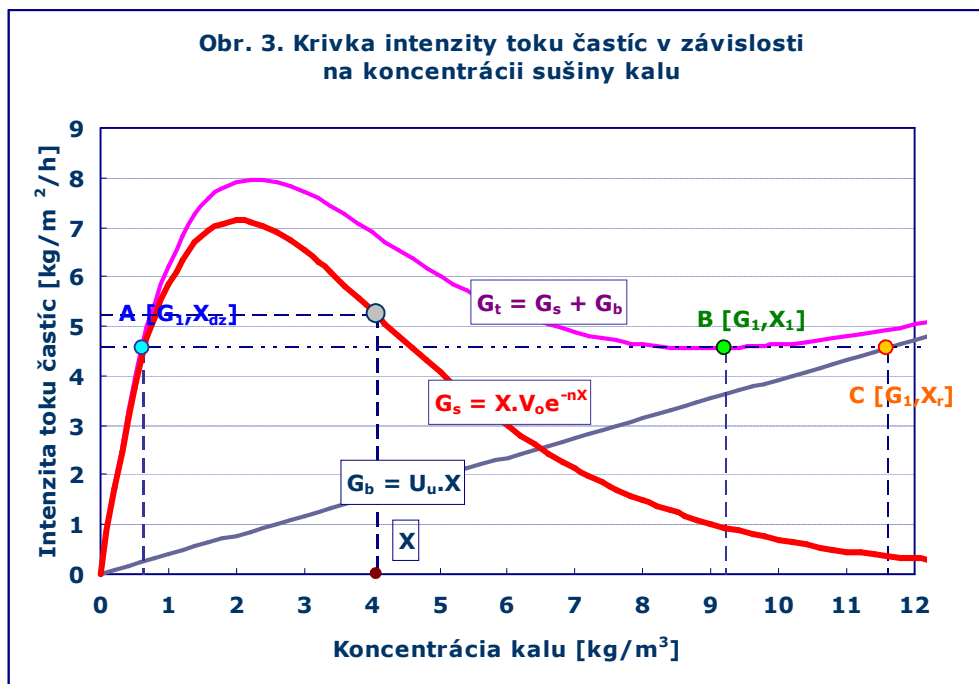
Celková intenzita toku častíc G_t od nátohu aktivačnej zmesi ku dnu dosadzovacej nádrže je potom súčtom týchto dvoch parciálnych dejov:

$$G_t = G_s + G_b; \quad [kg/m^2/h] \quad (2.6)$$

$$G_t = X \cdot (V_s + U_u) \quad (2.7)$$

3. Tradičný spôsob riešenia interpretácie

Grafickým vyjadrením rovníc 2.6 a 2.7 je krivka G_t zobrazená na obr. 3, ktorá je vlastne súčtovou čiarou krivky intenzity toku častíc vplyvom gravitácie G_s a vplyvu pohybu zmesi ku dnu dosadzovacej nádrže G_u .



Pri kontinuálnej činnosti dosadzovacej nádrže sa kal smerom ku dnu dosadzovacej nádrže zahusťuje z koncentrácie X_0 na odťahovanú koncentráciu X_r . Celková intenzita toku častíc G_t je závislá na koncentrácii suspenzie kalu X v jednotlivých horizontálnych úrovniach. Túto závislosť vyjadruje názorne krivka na obr. 3. Pre určitú koncentráciu X_{kr} ($X_0 < X_{kr} < X_r$) je hodnota celkovej intenzity toku častíc G_t minimálna. Túto hodnotu označujeme ako limitnú celkovú intenzitu toku častíc G_1 . Pretože proces sedimentácie a zahusťovania z koncentrácie X_0 na X_r prebieha cez koncentráciu X_{kr} , určuje hodnota limitnej celkovej intenzity toku častíc G_1 kritickú plochu dosadzovacej/zahusťovacej nádrže.

$$A_{kr} = \frac{X_0 \cdot (Q_i + Q_r)}{G_1}; \quad [m^2] \quad (3.1)$$

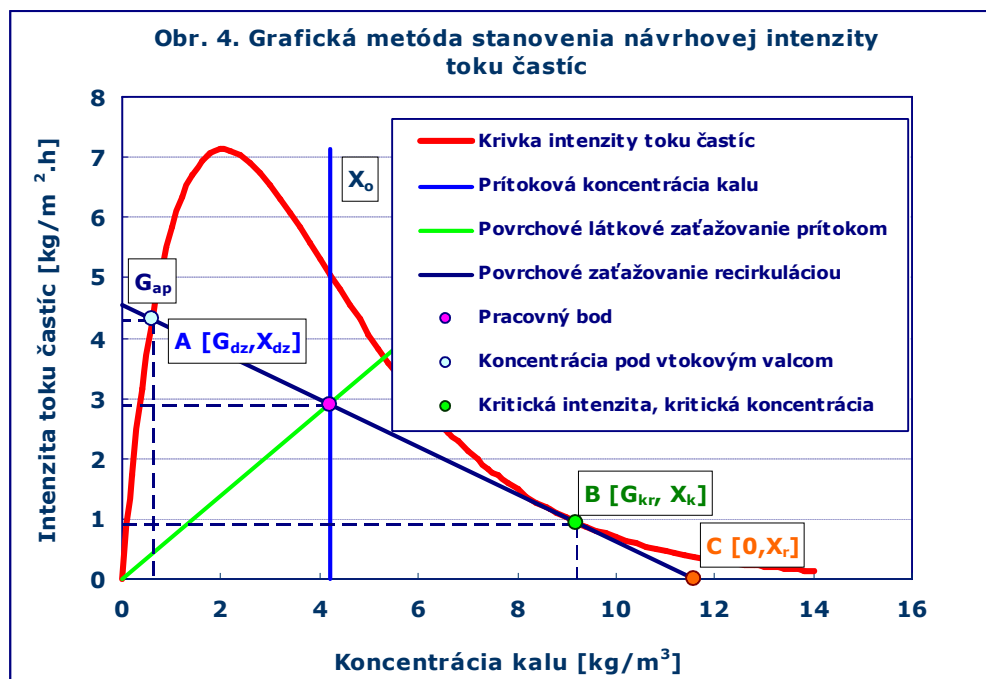
V prípade, že sa stav funkcie dosadzovacej nádrže je v situácii, že separačná plocha nádrže A je menšia ako A_{kr} : $A < A_{kr}$, s odpadovou vodou z dosadzovacej nádrže potom budú odtekať suspendované látky v množstve $[X_0 \cdot (Q_i + Q_r) - A \cdot G_1]$.

Z dôvodov nestability procesu sedimentácie v situácii kritického režimu, sa preto stanovuje separačná plocha dosadzovacích nádrží na vyššej úrovni ako je A_{kr} . Praktické stanovenie separačnej plochy dosadzovacej nádrže vychádza z nižších hodnôt celkovej intenzity toku častíc, ako je hodnota G_1 . Pre návrh a dimenzovanie sa volí návrhová hodnota intenzity toku častíc podľa kritéria $G_{ap} \leq G_1$.

Presiahnutie alebo prevádzkové priblíženie sa ku kritickému stavu funkcie sedimentácie aktivovaného kalu v dosadzovacích nádržiach môže nastať vplyvom zmeny jedného alebo kombináciou viacerých parametrov: zvýšenie prítoku odpadovej vody Q_i , zníženie recirkulácie vratného kalu Q_r , nárast koncentrácie sušiny aktivovaného kalu X_0 alebo nárast objemového indexu kalu SVI , ktorým sa mení priebeh krivky intenzity toku častíc, kedy hodnota jej maxima sa znižuje. V prevádzkovej praxi sa vyskytujú taktiež situácie, kedy zníženie separačnej plochy A na ČOV vzniká v dôsledku vyradenia niektorej z dosadzovacích nádrží z prevádzky v dôsledku jej revízie alebo opravy.

U nás známy a pôvodný spôsob grafického zobrazenia analýzy a fungovania procesu sedimentácie v dosadzovacích nádržiach pochádza od Yoshioku, et al. (1957). Tento spôsob matematického zobrazenia idealizovanej funkcie sedimentácie v kontinuálnej sedimentačnej nádrži vychádza z priebehu krivky intenzity toku častíc vznikajúcej vplyvom gravitácie G_s , z priebehu čiary nátokovej koncentrácie X_0 , čiary intenzity látkového zaťažovania hladiny $G_0 = V_0 \cdot X_0$, kde smernica priamky predstavuje povrchové hydraulické zaťažovanie hladiny $V_0 = Q_i / A$ a čiary intenzity toku látkového zaťažovania dna dosadzovacej nádrže spôsobenej recirkuláciou kalu $G_u = -U_u \cdot X$, ktorej smernica má negatívnu hodnotu $U_u = -Q_r / A$.

Čiary priamok, ktoré vyjadrujú nátokovú koncentráciu kalu na dosadzovacu nádrž X_0 , čiara intenzity zaťažovania hladiny $G_0 = Q_i / A \cdot X_0$ a čiara intenzity zaťažovania dna dosadzovacej nádrže kalom $G_u = -Q_r / A \cdot X$ sa pretínajú v pracovnom bode sedimentácie, vid' obr. 4. Základný charakter a podmienku funkcie dosadzovacej nádrže vyjadruje pozícia pracovného bodu vo vzťahu k čiare intenzity toku častíc G_s . Základný predpoklad plnenia kontinuálnej funkcie sedimentácie je zabezpečený vtedy, ak tento pracovný bod sedimentácie je pod úrovňou alebo maximálne na úrovni hodnoty čiary intenzity toku častíc spôsobenej gravitáciou: $G_0(X_0) \leq G_s(X_0)$. V tomto bode musí byť splnená podmienka, kedy platí že: $U_0 \leq V_s$ pri X_0 .



Priamka intenzity látkového zaťažovania dna recirkuláciou prechádza jednak pracovným bodom, pretína os Y na úrovni intenzity toku častíc G_{ap} na úrovni kritickej úrovni, pretína

krivku toku častíc spôsobenú gravitáciou v bode **A**, pri úrovni koncentrácie X_{dz} , ktorá sa vytvára pod vtokovým valcom; dotýka sa krivky toku častíc v bode **B** pri úrovni kritickej koncentrácie X_{kr} a kritickej úrovni toku častíc G_{kr} . Táto čiara pretína os X v bode **C** pri koncentrácii vratného kalu $X = X_r$. Funkcia $G_u = - Q_r / A \cdot X$ predstavuje v zmysle obrázka 4 stav prevádzky pri kritických podmienkach, kedy veľkosť prietoku vratného kalu, respektíve veľkosť separačnej plochy sú minimálne – kritické.

Podľa polohy priesečníka – pracovného bodu vo vzťahu ku krivke toku častíc a priebehu priamky vyjadrujúcej intenzitu zaťažovania dna dosadzovacej nádrže $G_u = - Q_r / A \cdot X$ je možné teoreticky definovať nasledujúce prevádzkové stavy, vid' obr. 5.

1. Pracovný bod sa nachádza pod úrovňou krivky intenzity toku častíc spôsobenej gravitáciou:

1.1. Priamka intenzity zaťažovania dna dosadzovacej nádrže kalom je v úseku od pracovného bodu k bodu C pod krivkou intenzity toku častíc, prevádzka dosadzovacej nádrže sa nachádza pod úrovňou maximálneho – kritického zaťažovania dosadzovacej nádrže a proces sedimentácie prebieha v spoľahlivej oblasti (obr.5 – stav 1.1).

1.2. Priamka intenzity zaťažovania dna dosadzovacej nádrže recirkuláciou prebieha v úseku od pracovného bodu k bodu C ako dotyčnica ku krivke intenzity toku častíc spôsobenej gravitáciou v jej klesajúcej oblasti. Proces sedimentácie kalu v dosadzovacej nádrži prebieha pri kritických podmienkach zaťažovania dosadzovacej nádrže (obr.5 – stav 1.2).

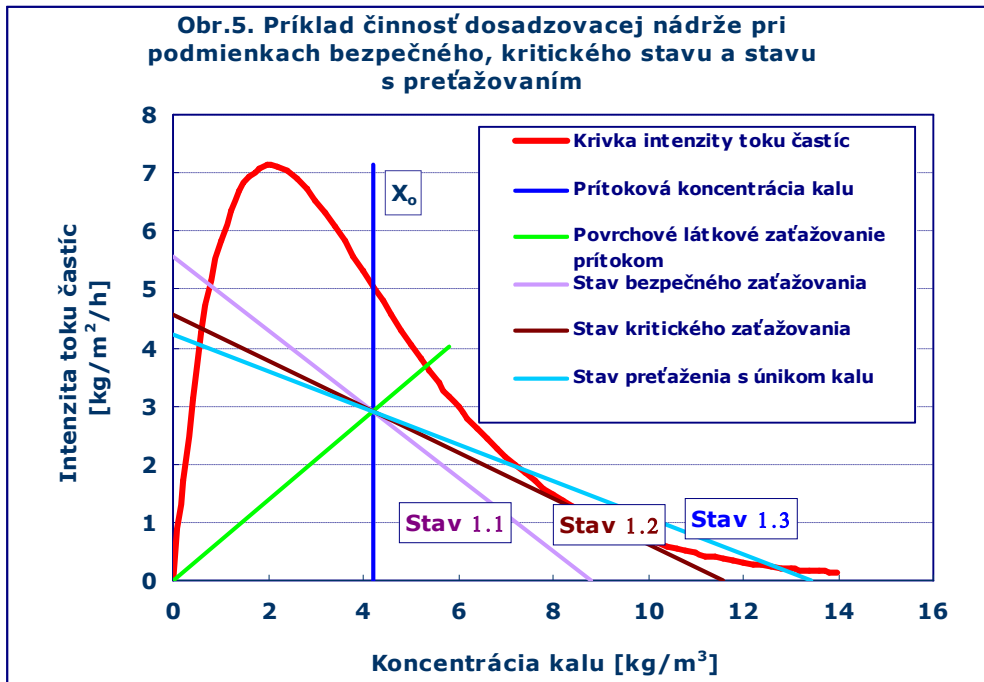
1.3. Priamka intenzity zaťažovania dna dosadzovacej nádrže recirkuláciou pretína krivku intenzity toku častíc spôsobenej gravitáciou v jej klesajúcej oblasti. Takýto stav funkcie zodpovedá stavu preťažovania dosadzovacej nádrže (obr.5 – stav 1.3).

2. Pracovný bod sa nachádza na krivke toku častíc spôsobenej gravitáciou:

2.1. Ak priamka intenzity zaťažovania dna dosadzovacej nádrže recirkuláciou v úseku od pracovného bodu k bodu C prebieha pod úrovňou krivky toku častíc spôsobenej gravitáciou, proces sedimentácie prebieha pri kritických podmienkach zaťažovania.

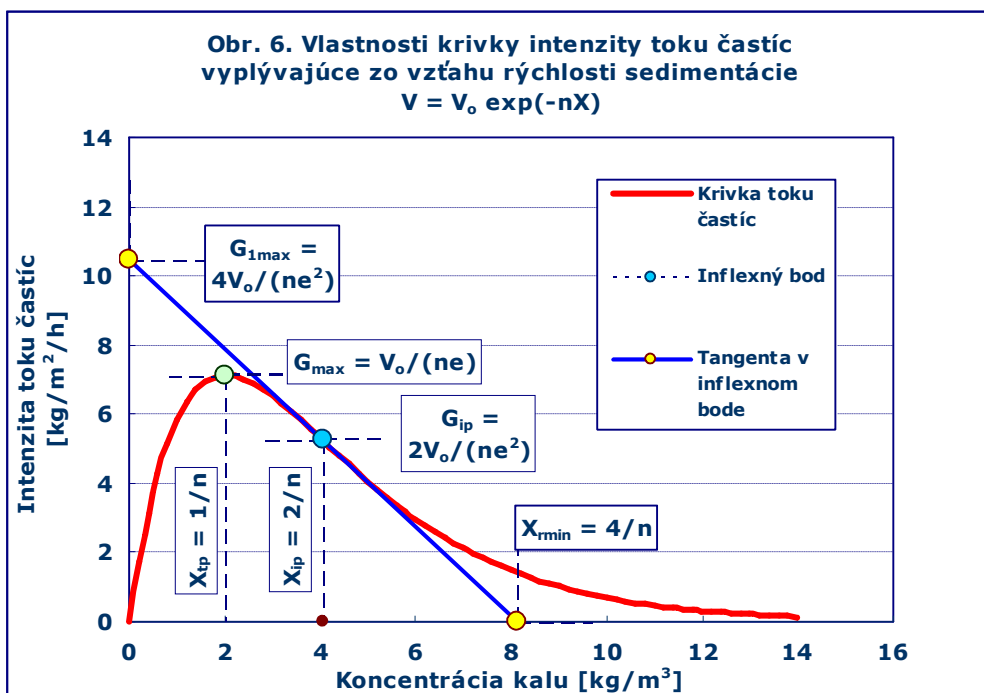
2.2. Ak priamka intenzity zaťažovania dna dosadzovacej nádrže recirkuláciou v úseku od pracovného bodu k bodu C prebieha nad úrovňou krivky toku častíc spôsobenej gravitáciou. Takýto stav funkcie zodpovedá stavu preťažovania dosadzovacej nádrže.

3. V prípade, že sa pracovný bod nachádza nad úrovňou krivky toku častíc spôsobenej gravitáciou, ide o stav preťažovania dosadzovacej nádrže



4. Analýza priebehu krivky intenzity toku častíc

Krivku intenzity toku častíc G_s je možné popísať matematicky rovnicou $G_s = X \cdot V_0 \cdot e^{-n \cdot X}$ s individuálnymi parametrami V_0 a n . Z analýzy priebehu uvedenej funkcie vyplývajú nasledujúce vlastnosti funkcie, ktoré sú funkčne definované a ilustrované na obrázku 6.



Prvá derivácia krivky intenzity toku častíc podľa koncentrácie kalu predstavuje vzťah 4.1:

$$\frac{dG_s}{dX} = V_o \cdot e^{-nX} (1 - nX), \quad (4.1)$$

ktorý pri nulovej hodnote za podmienok $X = 1/n$ predstavuje pre priebeh funkcie lokálny extrém, bod obratu (TP) – maximálnu intenzitu toku častíc $G_{\max} = V_o/ne$.

Druhou deriváciou krivky intenzity toku častíc a stanovením jej nulovej hodnoty je možné dospieť k identifikovaniu ďalšieho lokálneho extrému, ktorým je inflexný bod (IP) na krivke intenzity toku častíc G_s . Súradnice inflexného bodu zodpovedajú $X = 2/n$; $G_{IP} = 2V_o/ne^2$. Z analýzy priebehu funkcie G_s nie je možné viesť tangentu s väčšou smernicou, ako je pri tangente vedenej inflexným bodom. Tangenta vedená inflexným bodom krivky intenzity toku častíc G_s tak pretína os Y na úrovni maximálnej limitujúcej hodnoty intenzity toku častíc $G_{1\max}$, pre ktorú platí:

$$G_{1\max} = \frac{4V_o}{n \cdot e^2} = 2 \cdot G_{IP} = \frac{2}{e \cdot G_{\max}} \quad (4.2)$$

Priesečník, ktorý vznikne z priebehu tangenty vedenej inflexným bodom a osou X pretína túto os v bode:

$$X_{\min} = \frac{4}{n} = 2 \cdot X_{IP} = 4 \cdot X_{TP} \quad (4.3)$$

Hodnota koncentrácie vratného kalu X_{\min} predstavuje limitnú minimálnu hodnotu koncentrácie sušiny vratného kalu, pri ktorej ešte prebieha zahusťovanie kalu v dosadzovacej nádrži.

5. Odvodenie teorému pre potreby riadenia procesu sedimentácie

Pre potreby riadenia procesu sedimentácie v dosadzovacích nádržiach bol odvodený iný teorém (Ekama et al. 1984) vymedzujúci vzťahy a oblasti parametrov riadenia procesu, v ktorých sa uplatňuje veľkosť recirkulačného pomeru - pomer veľkosti prítoku vratného kalu k prítoku odpadovej vody. K uvedenému teorému je možné dospieť postupnou úpravou vzťahu 2.7 celkovej intenzity látkového toku G_{ap} , ktorej je vystavená separačná plocha dosadzovacej nádrže pri limitnej úrovni G_1 :

$$G_{ap} \leq G_1 \quad (5.1)$$

$$G_{ap} = \frac{X_o \cdot (Q_i + Q_r)}{A} \quad (5.2)$$

$$G_1 = \frac{X_o \cdot (Q_i + Q_r)}{A} \quad (5.3)$$

Pri vyššie uvedenom vzťahu 5.3 použijeme úpravu pomocou $R = Q_r/Q_i$ a zároveň uplatníme vzťah vyplývajúci z látkovej bilancie ustáleného stavu aktivácie pre transport kalu, kde platí $X_r \cdot R = X_o \cdot (1 + R)$. Použitím týchto vzťahov v rovnici 5.3 je možné potom dospieť k vzťahu:

$$\frac{Q}{A_i} = \frac{G_1}{X_o \cdot (1+R)} = \frac{G_1}{X_r \cdot R} \quad (5.4)$$

Vzťah, ktorý popisuje priamku intenzity zaťažovania dna dosadzovacej nádrže vratným kalom vedenú ako tangentu z limitnej úrovne krivky intenzity zaťažovania separačnej plochy je možné vyjadriť nasledovne:

$$G = G_1 \cdot \left(1 - \frac{X}{X_r}\right), \quad (5.5)$$

kde smernica tejto priamky zodpovedá

$$\frac{dG}{dX} = -\frac{G_1}{X_r} \quad (5.6)$$

V bode dotyku priamky intenzity zaťažovania separačnej plochy kalom spôsobenej recirkuláciou a krivky intenzity toku častíc platí, že ich funkčné hodnoty i hodnoty ich smerníc majú rovnakú veľkosť. Takže platí, že:

$$X \cdot V_o \cdot e^{-nX} = G_1 \cdot \left(1 - \frac{X}{X_r}\right) \quad (5.7)$$

$$V_o \cdot e^{-nX} \cdot (1 - n \cdot X) = -\frac{G_1}{X_r} \quad (5.8)$$

Pre ďalšiu úpravu sa predpokladá, že koncentrácia vratného kalu X_r je nezávislá. Potom pre X_1 vychádza praktické riešenie v podobe rovnice 5.9:

$$X_1 = \frac{X_r}{2} \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4}{n \cdot X_r}}\right) \quad (5.9)$$

Pri zavedení substitúcie v podobe $\alpha = \sqrt{1 - \frac{4}{n \cdot X_r}}$ je možné vyjadriť limitnú intenzitu toku častíc G_1 :

$$G_1 = V_o \cdot X_r \frac{1+\alpha}{1-\alpha} \exp\left(-n \cdot X_r \cdot \frac{1+\alpha}{2}\right) \quad (5.10)$$

V prípade, že $\alpha < 0$, rovnica pre limitnú intenzitu toku G_1 nemá riešenie. Ak $\alpha = 0$, z riešenia vyplývajú vzťahy odvodené z analýzy priebehu funkcie sedimentácie, pre ktoré platí, že $X_r = 4/n$ a $G_1 = 4 \cdot V_o / n \cdot e^2$. Substitúciou vo vyššie uvedenej rovnici 5.10 dosadením za $X_r = X_o \cdot (1 + R) / R$ a za $G_1 = Q_i \cdot X_o \cdot (1+R) / A$ sa dospeje k tvaru:

$$\frac{Q_i}{A} = \frac{V_o}{R} \frac{(1+\alpha)}{(1-\alpha)} \exp\left[-\frac{n \cdot (1+R) \cdot X_o \cdot (1+\alpha)}{2 \cdot R}\right], \quad (5.11)$$

kde

$$\alpha = \sqrt{1 - \frac{4 \cdot R}{n \cdot (1+R) \cdot X_o}}. \quad (5.12)$$

Ako vidieť z konečného tvaru rovníc 5.11 a 5.12 povrchové zaťažovanie hladiny dosadzovacej nádrže prítokom Q_i/A je funkciou sedimentačných konštánt n , V_o koncentrácie sušiny kalu v aktivácii X_o a funkciou recirkulačného pomeru vratného kalu k prítoku R . V prípade, že proces sedimentácie vyhovuje kritériám zahusťovania kalu, kedy $\alpha = 0$ a $X_o = 4 \cdot R / [(1+R) \cdot n]$, rovnica 5.11 nadobúda tvar:

$$\frac{Q_i}{A} = \frac{V_o}{R \cdot e^2}, \quad (5.13)$$

V situácii kedy Q_i/A je menšie než $V_o / (R \cdot e^2)$, proces separácie kalu v dosadzovacej nádrži prebieha pri splnení kritérií pre sedimentáciu i zahusťovanie. Ak hodnota Q_i/A je väčšia než $V_o / (R \cdot e^2)$ a zároveň je povrchové hydraulické zaťažovanie prítokom menšie než rýchlosť sedimentácie v dosadzovacej nádrži pri koncentrácii X_o , t.j. $V_s = V_o \cdot e^{-nX_o}$, nedochádza v dosadzovacej nádrži k zahusťovaniu kalu, ale celý proces je riadený len sedimentáciou. Toto kritériu sedimentácie možno preto vyjadriť nasledovnou rovnicou 5.14:

$$\frac{Q_i}{A} = V_o e^{-nX_o}. \quad (5.14)$$

Z uvedených vzťahov je možné zostrojiť návrhový a prevádzkový diagram funkcie dosadzovacej nádrže, pri ktorom je možné definovať jednotlivé pracovné oblasti a hranice podmienok funkcie sedimentácie i zahusťovania kalu.

Oblasť vyznačená v diagrame obr. 7 ako **A** predstavuje stav preťažovania dosadzovacej nádrže spôsobenej príliš nízkou úrovňou recirkulácie, pri ktorej povrchové hydraulické zaťažovanie dna recirkuláciou nie je schopné vytvoriť priebeh pod úroveň tangenty ku krivke intenzity toku častíc. Inak povedané, nie je splnená podmienka, pre ktorú by platilo, že hydraulické zaťažovanie separačnej plochy dosadzovacej nádrže recirkuláciou je pod úrovňou teoretického maximálneho hydraulického zaťažovania recirkuláciou $q_{r,krit}$, pre ktoré platí: funkčná požiadavka ($q_r \leq q_{r,krit} = V_o/e^2$).

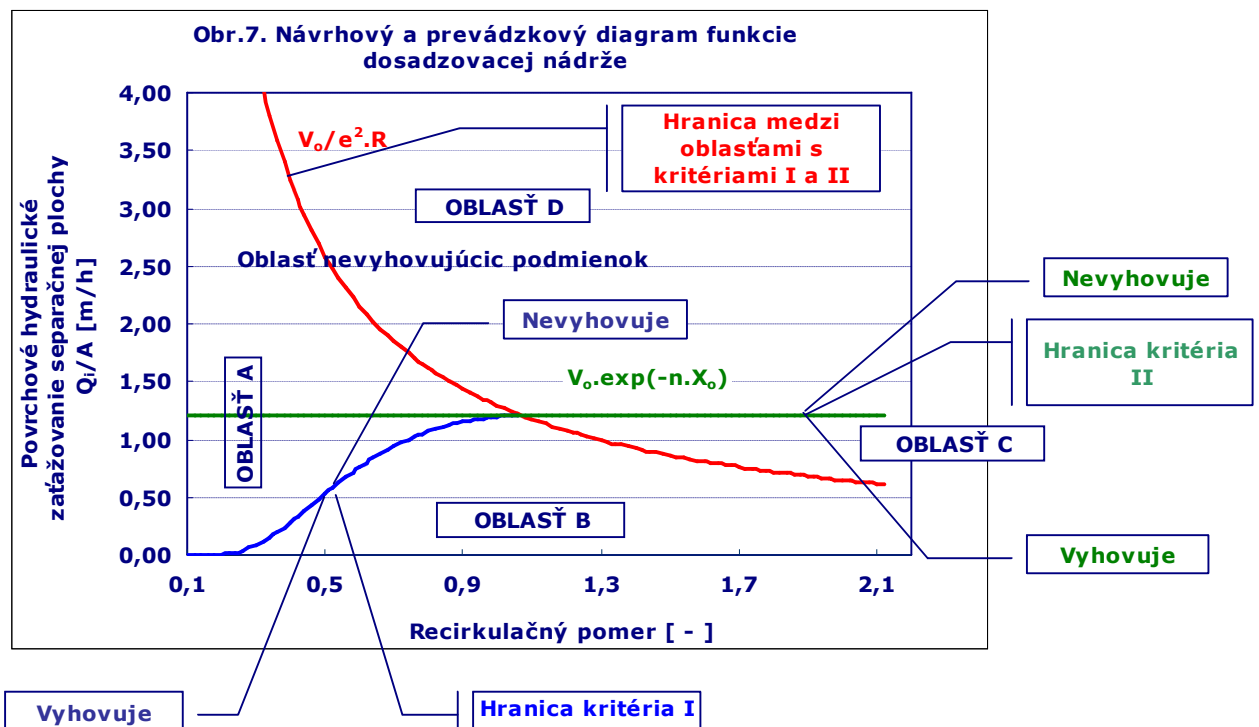
Oblasť B predstavuje stav spoľahlivej funkcie dosadzovacej nádrže, kde sa všetky stavy prevádzky dosadzovacej nádrži nachádzajú pri podmienke splnenia predpokladu $q_r \leq V_o/e^2$.

Rozhranie medzi **oblasťou A** a **B** predstavuje **kritérium I**, ktoré reprezentuje všetky kombinácie povrchového zaťažovania separačnej plochy prítokom a recirkuláciou, pre ktoré platí, že pracovné body funkcie dosadzovacej nádrže ležia na krivke intenzity toku častíc

spôsobenej gravitáciou a priamky intenzity zaťažovania dna recirkulovaným kalom vytvárajú ku krivke intenzity toku častíc dotyčnicu. **Rozhranie** medzi **oblasťou A a B** popisujú rovnice 5.11 a 5.12.

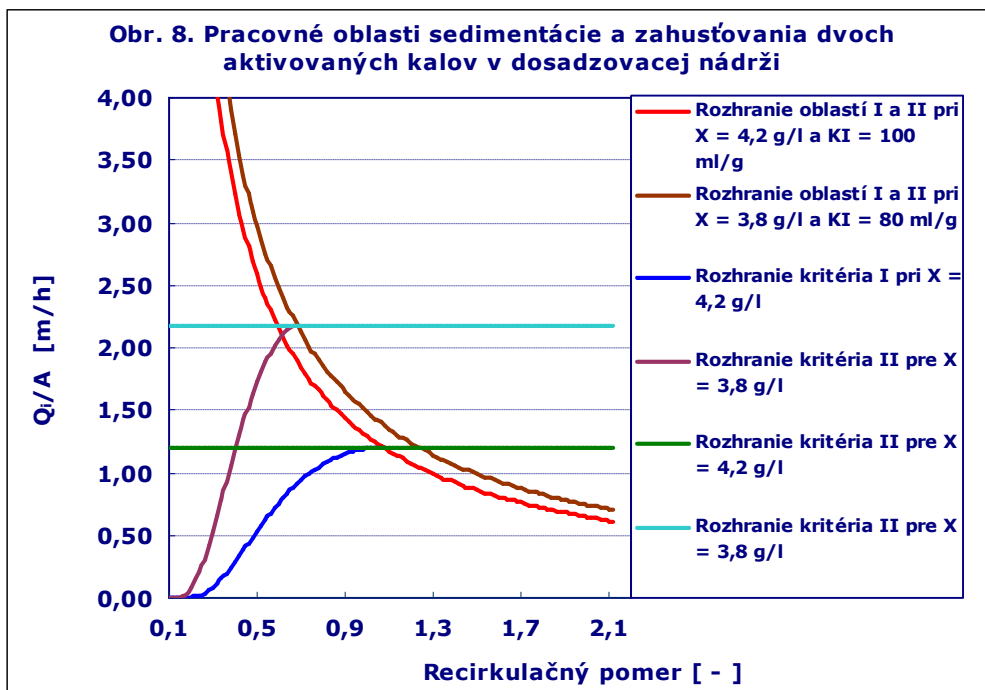
Oblasť C predstavuje spoľahlivú funkciu dosadzovacej nádrže, v ktorej je poloha pracovného bodu funkcie dosadzovacej nádrže vo vnútornej oblasti krivky intenzity toku častíc. Pre tento stav funkcie dosadzovacej nádrže je charakteristické, že $q_r \leq V_o/e^2$. Tieto pracovné okolnosti funkcie dosadzovacej nádrže zodpovedajú stavu, kedy recirkulácia vratného kalu je pri aktuálnych podmienkach zaťažovania dosadzovacej nádrže látkovo i hydraulicky prakticky vyššia, než je pre funkciu dosadzovacej nádrže nevyhnutné. V dosadzovacej nádrži nedochádza k žiadnemu významnému zahusťovaniu kalu ani k jeho akumulácii.

Rozhranie medzi **oblasťou B a C** predstavuje **kritérium II**, ktoré zodpovedá polohe pracovných bodov funkcie dosadzovacej nádrže, ktoré vzniknú ako priesečníky konštantného hydraulického zaťažovania separačnej plochy dosadzovacej nádrže q_a s priamkami rôznej nátokovej koncentrácie kalu X_o na dosadzovaciu nádrž pri zachovaní podmienok, kedy intenzita zaťažovania dna kalom spôsobená recirkuláciou si zachováva priebeh dotyčnic ku krivke intenzity toku častíc.



Rozhranie, ktoré je vytvorené hyperbolou medzi **oblasťami A – D** a **B – C** tak vytvára odlišné oblasti pre **A** a **B**, kde hydraulické povrchové zaťažovanie recirkuláciou q_r je menšie ako $q_{r,krit}$; pre oblasti **C** a **D**, kde je toto hydraulické zaťažovanie väčšie než $q_{r,krit}$.

Pre názornú ilustráciu, ako sa menia jednotlivé funkčné vzťahy a hranice v závislosti nielen na recirkulačnom pomere, ale taktiež i pri zmene koncentrácie sušiny kalu a pri zmene krivky intenzity toku častíc vplyvom objemového indexu kalu, vidieť na obrázku 8.



Funkčné empirické vzťahy medzi sedimentačnými vlastnosťami aktivovaného kalu vyjadrené ako rýchlosť sedimentácie $V_s = f(X_0)$ s konštantami: V_0 a n a objemovým indexom kalu vyjadreným niektorým zo štandardizovaných postupom v podobe charakteristických parametrov **SVI**, **DSVI**, **SSVI**_{3,5} študoval pomerne významný počet výskumných pracovníkov v 80÷90-tých rokoch minulého storočia. K uvedenému počtu výskumných pracovníkov patrila i dvojica **Härtel & Pöpel (1992)**, od ktorej možno pre ilustráciu uviesť nasledujúce empirické vzťahy:

$$V_0 = 17,4 \cdot \exp(-0,0113 \cdot \text{SVI}) + 3,931$$

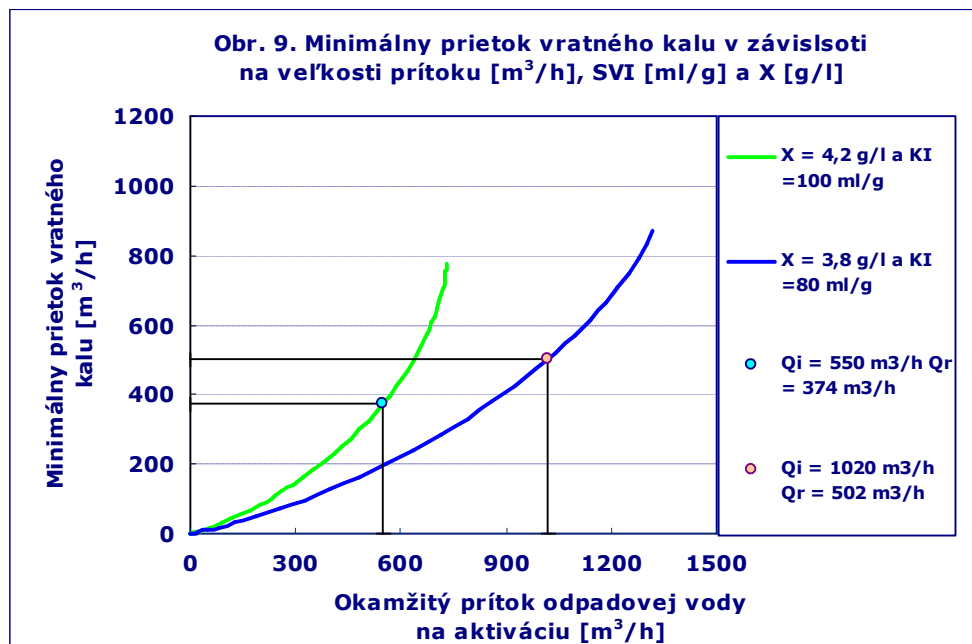
$$n = -0,9834 \cdot \exp(-0,00581 \cdot \text{SVI}) + 1,043$$

Z funkčných vzťahov a ich analýzy, ktorá súvisí s činnosťou dosadzovacej nádrže je možné pre návrhové parametre: koncentrácia sušiny kalu v aktivácii X_0 , objemový index kalu **SVI**, návrhový prietok Q_n dimenzovať veľkosť kritickej separačnej plochy dosadzovacích nádrží A_{krit} a minimálny návrhový prietok vratného kalu $Q_{r,\text{min}}$.

6. Význam teoretického modelu pre dynamické podmienky v praktickej prevádzke

Vzhľadom na skutočnosť, že medzi všetkými usudzovanými parametrami boli vytvorené funkčné matematické vzťahy, je potom možné pri zachovaní veľkosti separačnej plochy realizovaných dosadzovacích nádrží stanovovať podľa aktuálnych hodnôt prevádzkových parametrov prietoku, koncentrácie sušiny kalu v aktivácii a objemového indexu kalu: Q_i , X_0 , **SVI** teoreticky minimálnu hodnotu recirkulácie vratného kalu tak, aby bola splnená

podmienka sedimentácie a maximálne možné zahustenie kalu bez jeho úniku z dosadzovacej nádrže.



Z názorného priebehu stanovení minimálnych veľkostí vratného kalu na obrázku 9 vidieť charakter zmeny veľkosti vratného kalu pri zachovaní návrhových parametrov $X_0 = 4,2$ a $SVI = 100$ ml/g pri zmene aktuálneho prítoku odpadovej vody od 0 do 730 m³/h.

Charakteristický priebeh krivky na obr. 9 pre parametre $X_0 = 3,8$ g/l a $SVI = 80$ ml/g tak predstavuje závislosť medzi aktuálnym prítokom a veľkosťou recirkulácie na dosadzovacích nádržiach, ktorých separačná plocha bola nadimenzovaná pre návrhové parametre $X_0 = 4,2$ g/l, $SVI = 100$ ml/g a 730 m³/h. Z funkčného priebehu tejto krivky vidieť, že pri znížení koncentrácie sušiny kalu v aktivácii zo 4,2 na 3,8 g/l a znížení hodnoty objemového indexu kalu zo 100 na 80 ml/g by bolo možné teoreticky na dosadzovacie nádrže privádzať množstvo odpadovej vody až 1322 m³/h. V prevádzkovej praxi to však skôr predstavuje okolnosť, kedy je možné pri dlhodobom zotrvaní takéhoto stavu vyradiť z prevádzkovaných viacerých dosadzovacích nádrží ich určitý počet.

Analogické relácie sa týkajú i stanovenia teoretickej minimálnej hodnoty prítoku vratného kalu v závislosti na zmene parametrov aktuálnej veľkosti prítoku, návrhovej koncentrácie sušiny kalu a objemového indexu kalu. Z charakteristického priebehu krivky pre návrhové parametre $X_0 = 4,2$ g/l a $SVI = 100$ ml/g a aktuálny prítok odpadovej vody $Q_i = 550$ m³/h je teoreticky nutné minimálne recirkulovať 374 m³/h vratného kalu. Pri zmene týchto návrhových parametrov na úroveň $X_0 = 3,8$ g/l, $SVI = 80$ ml/g a $Q_i = 550$ m³/h je teoretická minimálna hodnota veľkosti recirkulácie vratného kalu na úrovni len 201 m³/h. Pri dosiahnutí možnosti okamžitého stanovenia prevádzkových parametrov a to nielen veľkosti okamžitého prítoku odpadových vôd, ale i sušiny aktivovaného kalu a objemového indexu kalu (aspoň jedno stanovenie počas 24 hodín) sa naskytuje možnosť realizovať regulovanie optimálnej veľkosti prítoku vratného kalu.

Zmysel riadenia prítoku vratného kalu na základe týchto teoretických východísk na úrovni o niečo väčšej ako minimálna hodnota má význam predovšetkým pri dynamicky sa meniacich

prevádzkových stavoch. Funkčné stavy prevádzky dosadzovacích nádrží sa tak ani pri zmene aktuálnych prevádzkových parametrov významne nevzdialia z **oblasti B** od čiary predstavujúcej **kritérium I**, ktoré zodpovedá rozhraniu medzi dosadzovacou a zahusťovacou nádržou. Pri uvedenom spôsobe riadenia veľkosti prietoku vratného kalu sa do nátokovej zóny aktivácie dostáva dostatočne zahustený vratný kal s minimalizovaným množstvom oxidovaných foriem dusíka. Zároveň sa spoľahlivo zachováva funkcia dosadzovacej nádrže napriek zmenám veľkosti prítoku, koncentrácii sušiny kalu a objemovému indexu kalu. Takto riadená a regulovaná hodnota veľkosti vratného kalu pri dynamicky meniacich sa prevádzkových parametroch môže zvyšovať výkon a stabilitu procesu zvýšeného biologického odstraňovania fosforu z odpadovej vody procesom.

V praxi použité postupy riadenia a regulácie založené na uvedených teoretických východiskách poukázali na skutočnosť, kedy sa pri regulovanom minimálnom prietoku vratného kalu vytvárali v systémoch so zvýšeným biologickým odstraňovaním fosforu zodpovedným za zvyškové koncentrácie fosforu pod 2 mg/l vo vyčistenej vode podmienky, pri ktorých sa v recirkulovanej zmesi vratného kalu vyskytovali koncentrácie fosforu na úrovni 9 – 12 mg/l. Takéto stavy koncentrácie predstavujú podmienky, kedy proces zvýšeného biologického odstraňovania fosforu začína prebiehať už vo vrstve zahusteného recirkulovaného kalu.

7. Záver

Praktickú aplikáciu teoretického riešenia stanovenia minimálnej veľkosti prietoku vratného kalu je po korekciách pre potreby skutočných dosadzovacích nádrží kruhového tvaru možné efektívne použiť hlavne:

- Na veľkých mestských aktivačných ČOV so zvýšeným biologickým odstraňovaním fosforu, pri ktorých sa vyskytujú najvyššie požiadavky na výkon a stabilitu v odstraňovaní fosforu s požiadavkami na plnenie limitnej koncentrácie často až 1 mg/l P.
- Na aktivačných ČOV so zvýšeným biologickým odstraňovaním fosforu a dusíka, pri ktorých sa v technologickej linke vyskytuje a prevádzkuje primárna sedimentácia a anaeróbne spracovanie čistiarenských kalov.
- Na aktivačných ČOV so zvýšeným biologickým odstraňovaním fosforu a dusíka, pri ktorých je množstvo ľahko rozložiteľného organického znečistenia limitujúce pre vzájomne si konkurujúce procesy odstraňovania dusíka a fosforu..

Literatúra:

1. Tuček, F. et al.: Základní procesy a výpočty v technologii vody. SNTL Praha 1977
2. Ekama, G.A et al.: Theory, Design and Operation of Nutrient Removal Activated Sludge Processes. Pretoria 1984
3. Ekama, G.A et al.: Secondary Settling Tanks: Theory, Modeling, Design and Operation. Scientific and Technical Report No.6. IAWQ 1997