
Utvärdering av fluidiserad bädd - kartläggning av orsaker till sandflykt

Jonas Karlsson, AP/Uppsala Universitet



Projektarbete 5p
Miljö- och Vattenteknik, Uppsala universitet

Utvärdering av fluidiserad bädd – kartläggning av orsaker till sandflykt

Jonas Karlsson
Augusti 2005

Sammanfattning

På Hammarby Sjöstads reningsverk, processlinje 3, finns en anaerob fluidiserad bädd. Denna är en del av en processlinje för anaerob behandling av avloppsvatten. Badden är till hälften fylld med sand som genom ett uppåtriktat flöde fluidiserar. Tanken är att en biofilm ska tillväxa på sandkornen och sörja för nedbrytning av organiskt material under bildning av metangas och koldioxid. Denna process har dock inte fungerat som det var tänkt då det upptäcktes att sand från badden följer med utgående vatten vilket den inte ska. Detta får till följd att rörledningar, avgasningsenheter mm. sätts igen. Sandflykten kan bero på många olika faktorer och denna studie syftar till att ta reda på varför sandflykt uppstår.

Genom ett flertal försök i laboratorieskala har olika teorier testats vilka alla kan vara orsak till sandflykt. Laboratorieförsöken gav inget entydigt svar. Flera faktorer kan bidra till sandflykt, dessa är gasbildning, adsorption av fett och partiklar på sanden samt aggregering av sandkornen till följd av kemikaliedosering. Den faktor som verkar ha störst betydelse för sandflykt i den fluidiserade badden på Sjöstadsverket, är adsorption av fett och partiklar.

Om den fluidiserade badden på Sjöstadsverket skall köras i fortsättningen behövs ombyggnad. Någon funktion för att tvätta sanden, grövre sand (0,4 mm) samt bättre förbehandling för att avskilja mer fett och partiklar innan avloppsvattnet pumpas vidare till badden. För att badden inte ska svälla till följd av adsorption av flockningsmedel bör dessa undvikas vid förbehandlingen, alternativt tillsättas i mindre kvantiteter.

Innehållsförteckning

1 INLEDNING	4
2 BAKGRUND	5
2.1 FLUIDISERAD BÄDD.....	5
2.2 PROBLEM MED SANDFLYKT	6
2.3 ERFARENHETER FRÅN DRIFT AV FLUIDISERAD BÄDD PÅ HIMMERFJÄRDSVERKET.....	6
2.4 MATEMATISK BESKRIVNING AV FLUIDISERING.....	7
3 METOD	9
3.1 FÖRSÖKSUPPSTÄLLNING	9
3.2 FÖRSÖK MED RENVATTEN.....	9
3.3 FÖRSÖK MED FÖRBEHANDLAT AVLOPPSVATTEN MED TILLSATS AV FLOCKNINGSMEDEL	10
3.4 FÖRSÖK MED FÖRBEHANDLAT AVLOPPSVATTEN UTAN TILLSATS AV FLOCKNINGSMEDEL	10
3.5 FÖRSÖK MED 0,4-0,6 MM SAND OCH FÖRBEHANDLAT VATTEN MED TILLSATS AV FLOCKNINGSMEDEL	10
4 RESULTAT	11
4.1 FÖRSÖK MED RENVATTEN.....	11
4.2 FÖRSÖK MED FÖRBEHANDLAT AVLOPPSVATTEN MED TILLSATS AV FLOCKNINGSMEDEL	11
4.3 FÖRSÖK MED FÖRBEHANDLAT AVLOPPSVATTEN UTAN TILLSATS AV FLOCKNINGSMEDEL	12
4.4 FÖRSÖK MED 0,4-0,6 MM SAND OCH FÖRBEHANDLAT VATTEN MED TILLSATS AV FLOCKNINGSMEDEL	12
5 DISKUSSION	13
5.1 LABORATORIEFÖRSÖK	13
5.2 REKOMMENDATIONER FÖR DRIFT I FULLSKALEANLÄGGNINGEN	13
6 REFERENSER	14
BILAGOR	

1 Inledning

På Hammarby Sjöstads reningsverk testas ny kompakt teknik för avloppsvattenrening. Fem olika processlinjer tar emot avloppsvatten från ca 150 personekvivalenter (p.e) vardera. De tekniker som används är både aeroba och anaeroba. Denna studie berör den anaeroba fluidiserade bädden i processlinje 3 på Sjöstadsverket. Fluidiserade bädden har sedan starten haft driftsstörningar i form av sandflykt, vilket inneburit att denna teknik inte har kunnat utvärderas. Syftet med denna studie är att kartlägga varför sandflykt uppkommer samt att eventuellt ta fram driftsstrategier för att undvika sandflykt. Flera teorier finns om varför sanden följer med utgående vatten från bädden och för att testa dessa teorier görs försök i laboratorieskala med en liten fluidiserad bädd.

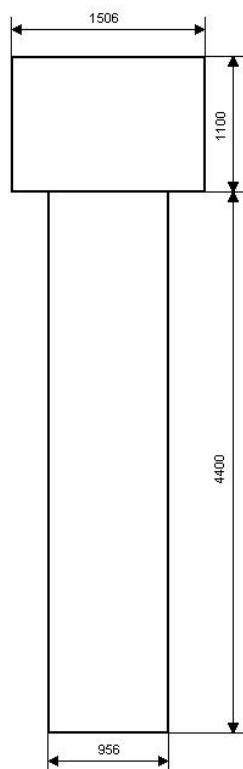
2 Bakgrund

Sedan driftsstarten av processlinje 3 på Sjöstadverket har sandflykt observerats i den anaeroba fluidiserade bädden. Någon utvärdering av bäddens kapacitet vad gäller reduktion av COD samt gasproduktion har inte kunnat genomföras. Detta är synd eftersom tekniken med anaerob fluidiserad bädd är intressant då den är mycket kompakt och ofta uppvisar goda egenskaper främst i form av hög COD-reduktion (Tchobanoglous G m.fl. 2003).

2.1. Fluidiserad bädd

Fluidiserade bäddar finns i olika utföranden med både gas och vätska som fluid, men principen är den samma. Bädden består av ett bäddmaterial, oftast sand eller aktivt kol. Ett uppåtriktat flöde genom bädden får bäddmaterialet att fluidisera (sväva). Till skillnad från fixa bäddar, t.ex. biobäddar och sandfilter innebär detta en stor fördel eftersom bäddmaterialet i den fluidiserade bädden har hela sin yta i kontakt med fluiden. På bäddmaterialet tillväxer en biofilm av mikroorganismer som bryter ner det organiska materialet i fluiden, i detta fall avloppsvattnet. De största nackdelarna med fluidiserad bädd är dels att fluiden måste pumpas upp genom bädden, vilket kräver större energiåtgång, dels mer svårigheter med driftsstabilitet jämfört med t.ex. sandfilter.

Den anaeroba fluidiserade bädden på Sjöstadverket är utformad som en cylinder, fem meter hög vilken är knappt till hälften fylld med bäddmaterial. Denna bädd använder 0,2 mm kantrund kvartssand som bäddmaterial, se bilaga A. Upptill är bädden bredare för att minska flödes hastigheten och därigenom minska risken för sandflykt, se figur 1. Utloppet är beläget 0,55 m från övre kanten av bädden, d v s i mitten av den bredare delen.



Figur 1. Fluidiserad bädd, processlinje 3, Sjöstadverket med mått.

2.2 Problem med sandflykt

Att sandflykt uppstår kan bero på flera olika faktorer. Eventuellt är det sanden som har fel kornstorlek. Små partiklar fluidiserar och lyfts upp genom vattenkolumnen i högre grad än större partiklar. Om sanden har för liten kornstorlek kan den lyftas upp och följa med utgående vatten från bädden. Innan anläggningen på Sjöstadsverket byggdes utförde Anox-Kaldnes lab-tester, vilka resulterade i att 0,2 mm sand rekommenderades för den tilltänkta fullskaleanläggningen. Anox-Kaldnes utförde dock endast lab-tester med renvatten som fluid och hade därför inte möjlighet att utvärdera hur bädden skulle bete sig med avloppsvatten.

En annan orsak till sandflykt kan vara biofilmstillväxten, vilken minskar bärarmaterialets densitet och därmed sänker partikelns fallhastighet, se avsnitt 2.4. Detta är en normal driftsstörning och på de flesta anläggningar finns sätt att ta itu med problemet. På Himmerfjärdsverket sker automatisk tvätt av sand som fått för tjock biofilm och därigenom låg densitet (Harri A, 2003).

I Sjöstadsverkets processlinje 3 tillsätts en katjonisk lågmolekylär polymer, Purfix 120 till avloppsvattnet för att förbättra flockningen vid förbehandling av avloppsvatten. Det förbehandlade vattnet pumpas sedan vidare till den fluidiserade bädden. Om rester av polymer finns i det förbehandlade vattnet kan dessa eventuellt få sanden att aggregera sig genom att den katjoniska polymeren binder till de negativt laddade ytorna på sandkornen. Om aggregaten som bildas inte är sfäriska utan mer platta till formen kommer detta att medföra en avsevärd skillnad i sedimenteringshastighet, vilket i sin tur kan leda till sandflykt.

Avloppsvattnet från Hammarby Sjöstad är mer koncentrerat än konventionellt avloppsvatten eftersom det inte sker inblandning av dagvatten. Vattnet innehåller även ganska mycket fett och fetter samt partiklar i vattnet kan adsorberas på bärarmaterialet. Detta får bädden att svälla och en teori är att bädden snabbt sväller så pass att sand når ända upp till fluidiserade bäddens utlopp.

Gasbildning kan också orsaka sandflykt då sand och små gasbubblor bildar aggregat. Dessa aggregat kan ha lägre densitet än omgivande avloppsvatten och därför snabbt transporteras upp till bäddens utlopp.

2.3 Erfarenheter från drift av fluidiserad bädd på Himmerfjärdsverket

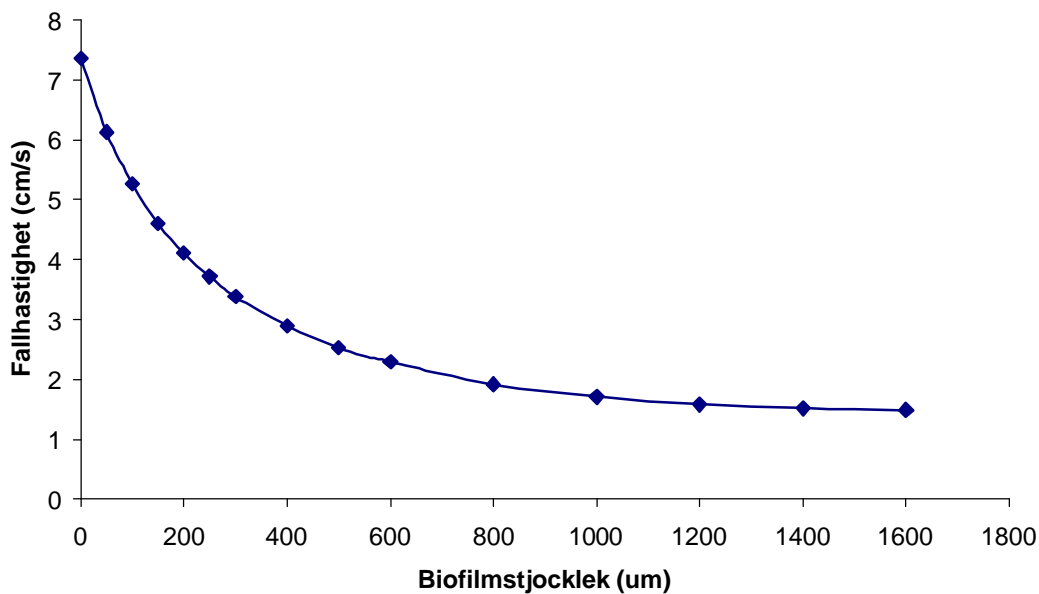
För att få en inblick i de problem som uppkommer vid drift av fluidiserad bädd gjordes ett studiebesök på Himmerfjärdsverket. Där används fluidiserad bädd för efterbehandling av avloppsvatten. Driften av Himmerfjärdsverkets fluidiserade bädd skiljer sig från Sjöstadsverkets. På Himmerfjärdsverket används 0,4-0,6 mm sand och en flödeshastighet på ca 35 m/h. Belastningen på denna bädd är också lägre än för bädden på Sjöstadsverket. Vattnet som behandlas i den fluidiserade bädden på Himmerfjärdsverket har en halt av suspenderad substans mellan 20-40 mg/l, vilket kan jämföras med Sjöstadsverkets 100-200 mg/l.

Problem med sandflykt

Även Himmerfjärdsverket har haft problem med sandflykt. Denna har berott främst på biofilmstillväxt på bärarmaterialet (sanden). För att komma till rätta med problemet har en installation för automatisk sandtvätt införts i processen. När bäddhöjden till följd av

biofilmstillväxt stigit till en viss nivå startar en tvätt av de översta decimetrarna av sandbädden. Sanden pumpas med hög hastighet genom en smal ledning och de skjuvkrafter som uppstår räcker för att tvätta bort biofilmen från sanden. Den tvättade sanden återförs sedan till botten av sandbädden.

Med jämna mellanrum kontrolleras sandens fallhastighet manuellt. Sand tas från den övre delen av bädden och tillsätts i ett mätglas med rent vatten. Med hjälp av ett tidtagarur kan sandens fallhastighet beräknas. För att illustrera hur biofilmstillväxt påverkar fallhastigheten utfördes med hjälp av ett beräkningsprogram (Biocone), en uppskattning av fallhastighet för olika biofilmstjocklekar där bärrarmaterialet är sand med diameter 0,5 mm. Data är hämtat från Himmerfjärdsverket och presenteras i figur 2.



Figur 2. Fallhastighet relaterat till biofilmstillväxt för 0,5 mm sand, när fluiden är rent vatten.

2.4 Matematisk beskrivning av fluidisering

Partiklar av olika storlek och densitet faller med olika hastighet genom en fluid enligt Stoke's lag (ekvation 1). När en fluidiserad bädd designas är det av stor vikt att rätt kornstorlek väljs på bärrarmaterialet samt att ett lämpligt flöde genom bädden tillämpas för att få önskad fluidiseringsgrad och bäddexpansion. På grund av turbulens som uppstår i bädden är fluidens hastighet kring bärrarmaterialet ofta mycket högre än själva flödes hastigheten. För att beräkna den lägsta flödes hastighet som krävs för att få en partikel av en specifik storlek och densitet att fluidisera tog Wen och Yu 1966 (Brouckaert M, 2004) fram en ekvation för detta ändamål (se ekvation 2). I praktiken används flödes hastigheter med en faktor 1 till 6 gånger minsta fluidiserings hastighet (Tchobanoglous G m.fl. 2003), där 6 ggr minsta fluidiserings hastighet medför en bäddexpansion på 100 %. Himmerfjärdsverket använder 0,4-0,6 mm sand som bärrarmaterial i sin fluidiserade bädd med en flödes hastighet av 35 m/h. Enligt ekvation 2 är minsta fluidiserings hastighet för denna sand 9 m/h, vilket betyder att den flödes hastighet som används i den fluidiserade bädden på Himmerfjärdsverket motsvarar 4 ggr minsta fluidiserings hastighet. Flödes hastigheter på > 6 ggr minsta fluidiserings hastighet används normalt inte för kontinuerlig drift i fluidiserade bäddar (Tchobanoglous G m.fl. 2003).

$$v = \frac{d_p^2 g}{18 \mu} \left(\frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_f} \right) \quad (1)$$

v = partikelns fallhastighet [m/s]
 d_p = partikeldiameter [m]
 g = tyngdacceleration [9,81 m/s²]
 μ = fluidens dynamiska viskositet [kg/(m*s)]
 ρ_p = partikelns densitet [kg/m³]
 ρ_f = fluidens densitet [kg/m³]

$$V_{mf} = \frac{\mu}{\rho_f d_p} \left(33,7^2 + 0,048 Ga^{0,5} \right) \frac{33,7 \mu}{\rho_f d_p} \quad (2)$$

V_{mf} = minsta fluidiseringshastighet [m/h]
 Ga = Galileos tal

$$Ga = d_p^3 \frac{\rho_f \mu_p \rho_f g}{\mu^2} \quad (3)$$

Hur ändras sandens egenskaper vid adsorption av t.ex. fett och flockningsmedel?

I den fluidiserade bädden på sjöstadsverket används 0,2 mm sand med en densitet av 2650 kg/m³. Det medför enligt ekvation 2 en lägsta fluidiseringshastighet på 1,5 m/h. Om sandkornen adsorberar en 0,05 mm biofilm med densitet 1000 kg/m³ skulle dessa erhålla en lägre densitet, 1480 kg/m³. Detta skulle innebära en lägsta fluidiseringshastighet av 0,9 m/h. Om sandkornen istället adsorberar fett med en lägre densitet sjunker lägsta fluidiseringshastighet ytterligare. Enligt teorin i föregående stycke skulle därför den flödeshastighet som används i den fluidiserade bädden på Sjöstadverket (7,7 m/h) vara för stor. Beräkningarna förutsätter att partiklarna är sfäriska samt att Reynolds tal < 2,0 för att Stoke's lag ska gälla (McCabe m.fl.).

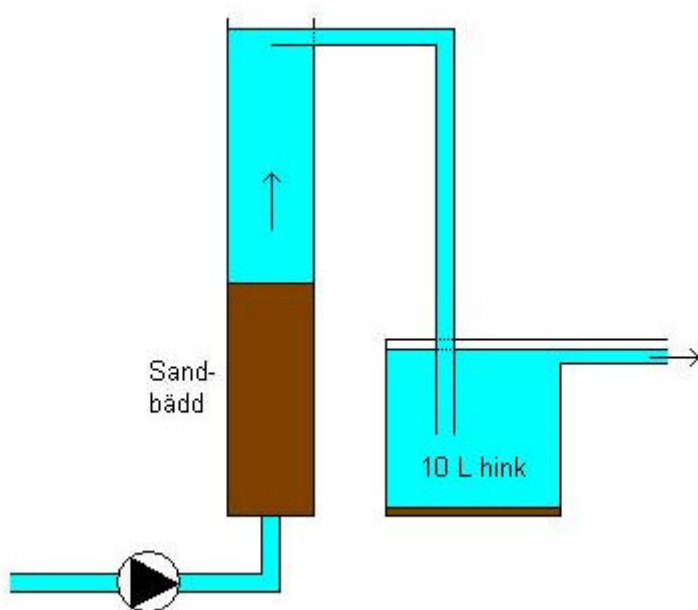
Den fluidiserade bädden vid Sjöstadverket är försedd med en utvidgning som teoretiskt skulle sänka flödeshastigheten med 60 % till ca 3,1 m/h. Troligtvis räcker detta inte om sanden adsorberar fett och bildar porösa flockar vilka erhåller mycket låg fallhastighet.

3 Metod

För att undersöka om vidare drift av den fluidiserade bädden i full skala är möjlig, genomförs ett antal försök i laboratorieskala.

3.1 Försöksuppställning

Den lab-utrustning som använts är en miniatyr av fullskalebädden och består av ett plexiglasrör fäst i en bottenplatta. Vatten pumpas in i botten med samma flödes hastighet som använts i fullskalebädden. Liksom i fullskalebädden är labbädden fylld till hälften med sand, se figur 3.



Figur 3. Schematisk bild över laborietrustning, fluidiserad bädd med efterföljande sedimenteringskärl.

För att analysera mängden sand som följer med utgående vatten testades två olika strategier. Tre filter 150, 100 samt 60 μm placerades under varandra efter fluidiserade bäddens utlopp. Detta för att kunna analysera vilka fraktioner av sanden som är mest benägna att rymma. Den andra metoden är den som visas i figur 3, d v s den sand som följer med utgående vatten får sedimentera i ett kärl med ca 10 minuters uppehållstid. För att övervaka experimenten installerades en webkamera. Kameran fick ta en bild var 5:e minut under det dygn varje experiment pågick. Bilderna sammanfogades sedan till en videosekvens.

3.2 Försök med renvatten

Som inledande försök pumpades renvatten igenom bädden med en flödes hastighet av 7,7 m/h, vilket är den flödes hastighet som även använts i fullskala. Detta försök hade två syften. Kallt kranvatten värms upp av den rumstempererade sanden i bädden varvid syrgasens löslighet i vattnet ändras. Syrgasbubblor bildas, vilka skulle kunna simulera gasbildning i den anaeroba fluidiserade bädden (fullskalebädden). Teorin att gasbubblor lyfter sanden kan då testas. När sanden och vattnet efter ett par timmar nått samma temperatur upphör gasbildningen. Om sanden fortfarande följer med utgående vatten stöder det teorin att sanden är för fin. Detta experiment har ej övervakats med webkamera. Filteranordningen beskriven i avsnitt 3.1 användes här för att detektera sandflykt.

3.3 Försök med förbehandlat avloppsvatten med tillsats av flockningsmedel

Här tas förbehandlat avloppsvatten från trumfiltret i processlinje 2 på Sjöstadsverket. Doseringen av flockningsmedel (Purfix 120) på detta vatten är samma som använts i fluidiserade bädden i processlinje 3, d v s 7-8 mg/l. Syftet med detta försök är att testa teorin om att flockningsmedlet underlättar sandflykt. För att analysera sandflykt användes här sedimenteringskärlet som beskrivits i avsnitt 3.1. Tyvärr fanns det ingen möjlighet att övervaka detta experiment med webkamera.

3.4 Försök med förbehandlat avloppsvatten utan tillsats av flockningsmedel

Även här togs förbehandlat avloppsvatten från trumfiltret i processlinje 2. Ingen dosering av flockningsmedel förekom under detta experiment. Flödet genom bädden var det samma som vid tidigare försök. Om sandflykt observeras vid detta experiment stöder det teorin att fett och partiklar adsorberas på sanden och därmed sänker sandens densitet, vilket underlättar sandflykt. Sandflykt detekterades på samma sätt som i avsnitt 3.3. Försöket övervakades med webkamera.

3.5 Försök med 0,4-0,6 mm sand och förbehandlat vatten med tillsats av flockningsmedel

För att undersöka om grövre sand minskar risken för sandflykt gjordes ett experiment med 0,4 – 0,6 mm sand i labbädden. Denna sand kräver dock ett större flöde än 0,2 mm sanden för att fluidisera. Enligt ekvation 2 är minsta fluidiseringshastigheten 5,9 m/h för 0,4 mm sand och 12,6 m/h för 0,6 mm sand. För att få all sand att fluidisera valdes flödeshastigheten till 25 m/h. För att få ett jämnare flöde genom bädden fylldes den nedersta decimetern av bädden med akvariegrus. Även detta experiment övervakades med webkamera.

4 Resultat

4.1 Försök med renvatten

Sandflykt observerades då aggregat av sand och gasbubblor följde mer utgående vatten från bädden. Således verkar gasproduktion kunna bidra till sandflykt. När sedan gasbildningen upphörde efter ca två timmar, avtog även sandflykten. Totalt uppgick sandflykten till 10 g sand vilket motsvarar 0,2 % av den totala mängden sand i bädden. Samtliga fraktioner av sanden följde med utgående vatten från bädden.

4.2 Försök med förbehandlat avloppsvatten med tillsats av flockningsmedel

Till en början stabiliserade sig bädden på samma nivå som då endast renvatten användes. Men någon gång mellan kl. 18:00 den 25/5 och kl. 9:00 den 26/5 hände något. Stora flockar bildades ovanför bädden, se figur 4. Flockarna innehållande sand, partiklar och flockningsmedel fyllde hela vattenkolumnen ovanför bädden och följde med utgående vatten. Sandflykten uppgick till 4 % under detta försök. Detta liknar det som hände i fullskalebädden, där sanden sticker iväg inom loppet av ett dygn. Vid Purfix-dosering fluidiserar bädden mycket dåligt, endast ett par centimeter av bädden fluidiserar. Slammet ovanför bädden (flockar) hade en TS-halt på 0,35 %. Av detta bestod 10 % av sand (erhölls genom glödrest).



Figur 4. Flockbildning i vattenkolumnen ovanför sandbädden.

4.3 Försök med förbehandlat avloppsvatten utan tillsats av flockningsmedel

Även här bildas flockar ovanför bädden vilka stiger mot utloppet, förloppet går dock långsammare än vid Purfix-dosering. Flockarna är också mycket mindre, se figur 5. En iakttagelse var att det i flockarna fanns mycket sand. Slammet ovanför bädden hade en TS-halt på 3,4 %, varav 70% bestod av sand. Dock visade det sig att en mindre mängd sand rymmer då Purfix inte tillsätts. Under detta försök som pågick under 17 timmar uppskattades sandflykten till 2,5 % av den totala mängden sand i bädden. Utan Purfix ser fluidiseringen mycket bättre ut.



Figur 5. Flockbildning i vattenkolumnen ovanför sandbädden.

4.4 Försök med 0,4-0,6 mm sand och förbehandlat vatten med tillsats av flockningsmedel

Ingen sandflykt observerades under detta försök. Flödet genom bädden var mycket ojämnt trots akvariegruset i botten. Bäddexpansionen blir endast ca 30-50 % men det beror nog mest på att flödet var så ojämnt genom bädden. Hur som helst gick bädden fram till kl. 03:00 då inflödet till sjöstadsverket stannade. Under de 10 timmar bädden var igång observerades ingen flockbildning. Bädden höll sig på en jämn nivå.

5 Diskussion

5.1 Laboratorieförsök

Försök med renvatten

Sanden följde med utgående vatten då gasbubblor bildades men frågan är om detta är jämförbart med metangasbildning i fullskalebädden. Sandflykt i fullskalebädden observerades redan efter ett dygns körning och så snabbt är det inte troligt att metangasproduktionen kommer igång.

Försök med förbehandlat avloppsvatten med tillsats av flockningsmedel

Sandflykt observerades efter endast ett par timmars drift. Detta kan knappast vara till följd av biofilmstillväxt på sandkornen, vilket borde vara en relativt långsam process. Fenomenet beror antingen på att vattnet innehåller mycket fett (vilket det gör) som bygger på kornen, eller att det är Purfix som aggregerar sand och partiklar i vattnet och därmed får bädden att svälla. Att bädden fluidiserar mycket dåligt, endast översta 2 centimetrarna, kan bero på att Purfix får bädden att svälla och det blir endast kanalflöden genom bädden. Flockarna ovanför bädden innehåller endast en liten mängd sand men på ett dygn försvann ca 4 % av den totala bädden, vilket talar för att detta driftsfall inte är att rekommendera.

Försök med förbehandlat avloppsvatten utan tillsats av flockningsmedel

Även här bildades flockar ovanför bädden och dessa innehöll en hel del sand. Frågan är om man efter ytterligare ett dygns körning utan purfix observerar en större sandflykt om flockarna innehållande sand rymmer. Flockarna steg långsammare mot toppen av vattenkolumnen och var i nivå med utloppet under endast ett fåtal timmar. Kanske borde detta försök utvärderas under längre tid. Detta driftsfall skulle kunna innebära större sandflykt eftersom flockarna innehåller ca 7 gånger så mycket sand som fallet med Purfix-dosering.

Försök med 0,4-0,6 mm sand och förbehandlat vatten med tillsats av flockningsmedel

Det verkar det vara mycket stabilare att använda den grövre sanden med ett högre flöde 25-35 m/h. Inga flockar kan då bildas, antagligen eftersom skjuvkrafterna i bädden är stora. Problemet är att det inte går att utvärdera i så liten skala som testats i denna studie eftersom ett jämnt flöde inte kan upprätthållas genom bädden.

5.2 Rekommendationer för drift i fullskaleanläggningen

Om fullskalebädden skall köras måste den byggas om. 0,2 mm sanden kan inte användas eftersom fett/partiklar adsorberas på sanden och orsakar sandflykt. Grövre sand och högre flöde behövs för att sanden inte ska rymma på ett par timmar, vilket 0,2 mm sanden gör. Någon anordning för sandtvätt behöver installeras och denna kan fungera enligt följande: en slang sticks ner ca 3 dm under den nivå man vill ha bädden på. När biofilmen på sanden blir för stor så pumpas de översta decimetrarna av bädden upp, hög pumphastighet medför stora skjuvkrafter på sanden vilket får biofilmen att lossna. Den tvättade sanden återförs sedan till bädden. För att hålla koll på bäddhöjden kan det vara lämpligt att installera en nivågivare, t.ex. tryckdifferensmätning. När nivån blir för hög kan det vara läge att tvätta sanden. Att se över förbehandlingen kan även vara en god idé, eftersom bättre avskiljning av fett och partiklar behövs för att undvika flockning och slambildning i bädden.

6 Referenser

Brouckaert B.M., (2004). *Hydrodynamic Detachment of Deposited Particles in Fluidized Bed Filter Backwashing*. Doktorsavhandling, Georgia Institute of Technology

Harri A., Bosander J., (2003). *Six Years of Operation of a Fluidised Bed Reactor for Denitrification*. 9th IWA Specialised Conference Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants, Prague, Czech Republic

McCabe W.L., Smith J.C., *Unit Operations of Chemical Engineering, Third edition*. McGraw-Hill, New York

Tchobanoglous G., Burton F.L., Stensel H.D., (2003). *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. Metcalf & Eddy, Crawfordsville

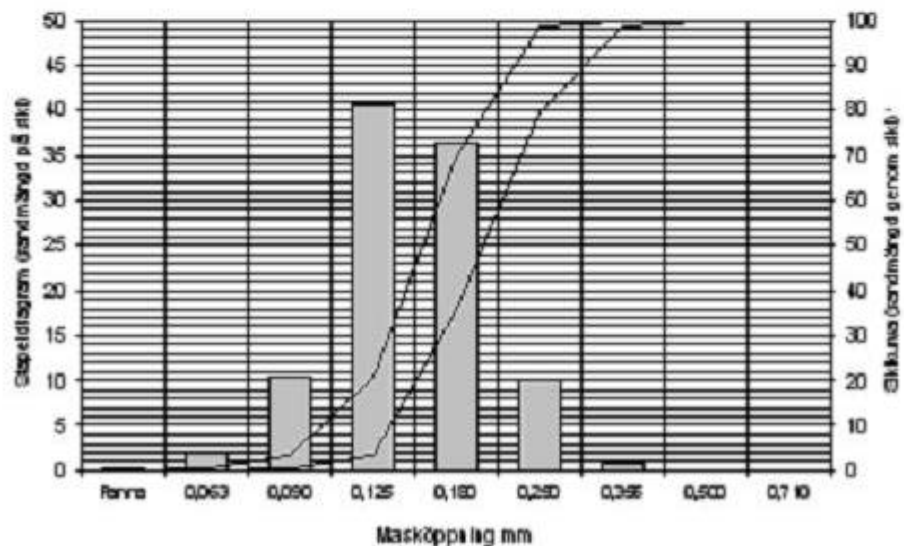
Bilaga A

Rådasand

M 0,20 mm

ISO AFS	70-79		
Kornstorlek	0,1-0,3		mm
Max kornstorlek	0,5		mm
Medelkornstorlek	0,20 ± 0,02		mm
Kornform	kantrund		
Grumlighet		max	10 mg/l
SiO ₂			< 82 %
Glödgningsförlust			0,21 %
Sinteringstemperatur			1175 °C
Kompaktdensitet			2610 kg/m ³
Skrymdensitet			1580 kg/m ³
Porositet			40 %
Saltsyralöslighet			< 0,7 %
Järnhalt			< 0,1 %
Humus mindre än			1000 mg/l

Siktcurva samt stapeldiagram för sanden faller inom de sektionerade områdena i nedanstående siktendiagram.



RÅDASAND

Rådasand AB, Äsvägen 60, S-531 67 Lidköping vid Väneren
Tel: +46 (0)510-141 95, Fax: +46 (0)510-140 15

- Nr 20** **Utvärdering av anaerob behandling av hushållspillvatten och tekniker för efterbehandling, examensarbete av Catharina Gannholm**
- Nr 21** **Avloppsvattenrening i anaerob membranbioreaktor med VSEP-enhet, examensarbete av Andreas Carlsson**
- Nr 22** **Avloppsvattenbehandling med anaerob membranbioreaktor – En jämförande systemanalys avseende exergi, miljöpåverkan samt återföring av närsalter, examensarbete av Cecilia Hessel**
- Nr 23** **Utvärdering av förfällning vid Sjöstadsverkets anaeroba UASB-linje, examensarbete av Mila Harding**
- Nr 24** **Utvärdering av fluidiserad bädd – kartläggning av orsaker till sandflykt, projektarbete av Jonas Karlsson**

Lokalt reningsverk för Hammarby Sjöstad, etapp 1 – Projektpublikationer

- Nr 1 Förstudie av aerobera processer
- Nr 2 Förstudie av anaeroba processer
- Nr 3 Förstudie av membranteknik
- Nr 4 Informationsteknologi inom VA-sektorn
- Nr 5 Förstudie av mätstation för avloppsvatten
- Nr 6 Förutsättningar för biologisk fosforrening i avloppsvatten från Hammarby Sjöstad - en förstudie, examensarbete av Linus Dagerskog
- Nr 7 Förbehandling av kommunalt avloppsvatten före anaerob behandling, examensarbete av Jessica Bengtsson
- Nr 8 A new wastewater treatment plant for Hammarby Sjöstad
Comparative study between four alternatives, examensarbete av Joost Paques
- Nr 9 Sammansättning på hushållspillvatten från Hammarby Sjöstad, examensarbete av Joel Magnusson
- Nr 10 Mikrosilning som förbehandlingsmetod av hushållsavloppsvatten, examensarbete av Fredrik Petterson
- Nr 11 Anaerob psykrofil behandling av hushållsavloppsvatten i UASB, examensarbete av Frida Hesselgren
- Nr 12 Aeroba processer Delrapport 1 - Linje 1 Period 0 Henriksdalsprocess med Henriksdalsvatten, Berndt Björleinius, Peter Magnusson, Mats Ek
- Nr 13 Aeroba processer Delrapport 2 - Linje 1 Period 1 Henriksdalsprocess med Sjöstadsvatten, Berndt Björleinius, Peter Magnusson, Mats Ek
- Nr 14 Aeroba processer Delrapport 1 - Linje 2 Period 1 Funktionstest av utrustningen, Berndt Björleinius, Peter Magnusson, Mats Ek
- Nr 15 Teknisk broschyr om Hammarby Sjöstads reningsverk, Berndt Björleinius
- Nr 16 Förbättrad avskiljning med trumfilter av suspenderat material, examensarbete av Jonas Karlsson
- Nr 17 Hydrolys av primärslam för förbättrande av biologisk fosforreduktion vid behandling av hushållsavloppsvatten, examensarbete av Erik Elfving
- Nr 18 Återvinning av näringsämnen från hushållspillvatten med omvänd osmos, examensarbete av Kristina Blennow
- Nr 19 En undersökning av efterfällning i ett sandfilter, examensarbete av Anders Wester

Fortsättning innersidan



STOCKHOLM VATTEN AB, 106 36 STOCKHOLM
TELEFON 08-522 120 00 TELEFAX 08-522 120 02
E-POST: stockholm.vatten@stockholmvatten.se
www.stockholmvatten.se
BESÖKSADRESS: Torsgatan 26