

Bilaga 1 beräkningsfall A

Beräkningsfall A

900 000 pe, Strängare krav

Käppalaförbundet

Idéförslag – utveckling av Käppalaverket

Uppsala 2009-11-13

Bilaga 1 beräkningsfall A

Datum	2009-11-13
Uppdragsnummer	613K0935156
Utgåva/Status	Slutversion

Magnus Biderheim
Uppdragsledare

Peter Ek
Handläggare

Lars Ljungkvist
Granskare

Ramböll Sverige AB
Krukmakargatan 21
104 62 Stockholm

Telefon 010-615 60 00
Fax 010-615 20 00
www.ramboll.com

Organisationsnummer 556133-0506

Innehållsförteckning

1.	Förutsättningar för Beräkningsfall A	1
1.1	Inkommande föroreningsbelastning	1
1.2	Flöden	1
1.3	Utsläppsvillkor	2
2.	Processförutsättningar	2
2.1	Processparametrar	2
2.2	Massbalans	3
3.	Ombyggnadsförslag enligt Beräkningsfall A	4
3.1	Gemensam förbehandling för alt A1–A3	4
3.2	Processlösning A1, MBR och aktivt slam.....	5
3.3	Processlösning A2, Aktivt slam	9
3.4	Processlösning A3, MBBR.....	12

Bilagor

Bilaga beräkningsfall A

1. Förutsättningar för Beräkningsfall A

Strängare UTSLÄPPSKRAV och 900 000 pe

1.1 Inkommande föroreningsbelastning

Parameter	Sort	Värde
Dim. ansluten belastning (70 g BOD7/pe, d)	pe	900 000

Parameter	Sort	Värde
Specifik BOD7 belastning	g/pe, d	70
Specifik Tot-N belastning	g/pe, d	12
Specifik Tot-P belastning	g/pe, d	1,5

Parameter	Sort	Värde
BOD7 belastning	kg/d	63 000
Tot-N belastning	kg/d	10 800
Tot-P belastning	kg/d	1 350

1.2 Flöden

Parameter	Sort	Värde
Qmax	m ³ /s	9
	m ³ /h	32 400
Qdim	m ³ /s	3,2
	m ³ /h	11 500
Qmedel	m ³ /d	328 000

K-Konsults principförslag gällde för 700 000 pe. K-Konsult angav då Qdim 2,5 m³/s. Detta värde är rimligt varför Ramböll har använt detta värde på Qdim i detta läge för 700 000 pe. Förutsättningarna har av oss bedömts vara "linjära" varför Qdim för 900 000 pe har tagits fram genom att extrapolera värdet från värdet för 700 000 pe. Detta ger Qdim 3,2 m³/s för 900 000 pe.

Värdet på Q_{max} 9 m³/s har angivits som förutsättning i förfrågan.

Värdet på Q_{medel} har inte angivits som förutsättning i förfrågan annat än de 100 000 000 m³ (= 273 923 m³/d = 11 415 m³/h) som nämns under hydraulisk belastning i förfrågan. Detta ger dock enligt vår bedömning ett för lågt medelflöde genom att det som timvärde betraktat (11 415 m³/h) underskrider det dimensionerande flödet, Q_{dim} (11 500 m³/h). Vi har därför beräknat värdet på Q_{medel}.

Q_{medel} har beräknats genom att subtrahera inflödet till Käppalaverket med industrins andel och därefter dividerat med antalet anslutna. Detta ger ett specifikt tillflöde av avloppsvatten om 367 l/p, d. Enligt uppgifter från Käppalaverket är förhållandet mellan inkommande avloppsvatten och debiterat dricksvatten 1,6-1,7 de senaste åren (T.Palmgren 090903). Detta ger värden på specifik debiterad dricksvattenmängd (~äkta spillvatten utan bidrag från ovidkommande vatten) och ovidkommande vatten. Resultatet är ett Q_{medel} på 328 000 m³/d.

1.3 Utsläppsvillkor

Parameter	Sort	Värde
BOD7	mg/l	4
Tot-N	mg/l	5
Tot-P	mg/l	0,1

2. Processförutsättningar

2.1 Processparametrar

Aktivt slam

Den aeroba slamålder som krävs för att uppnå en stabil nitrifikation är ca 9,0 d vid årsmedeltemperaturen 12 °C och 14,8 d vid mintemperaturen 8 °C.

Vid den ursprungliga dimensioneringen användes en hastighet på 1,42 g NO₃-N/kg VSS•h vid 12 °C . Vi upplever denna hastighet som hög. Normalt värde är ca 1,1 g NO₃-N/kg VSS• h vid 12 °C, vilket vi har valt som dimensionerande värde vid fördenitrifikation utan extern kolkälla.

Vid efterdenitrifikation har vi valt att använda metanol som extern kolkälla. Vi har valt den dimensionerande denitrifikationshastigheten 4,0 g NO₃-N/kg VSS, h vid 12 °C, vilket överensstämmer med resultaten från STAMP-projektet.

Vid den ursprungliga dimensioneringen av K-Konsult 1992 användes nitrifikationshastigheten 1,46 g NH₄-N/kg VSS•h, vid 12 °C. Detta motsvarar 2,0 g NH₄-N/kg VSS•h, vid 15 °C. Denna hastighet innehåller en säkerhet som vi upplever orimligt stor om man inte har en betydande nitrifikationshämmning. Vi bedömer det mindre sannolikt att någon nitrifikationshämmning kan få genomslag i det stora tillflöde som sker till reningsverket. Vi har valt den dimensionerande nitrifikationshastigheten 2,5 g NH₄-N/kg VSS•h, vid 15 °C. Med 11 % förändring per grad ger detta nitrifikationshastigheten 1,83 g NH₄-N/kg VSS•h, vid 12 °C.

Vi räknar med slamhalten 4,0 kg TSS/m³ och ett organiskt innehåll av 62 % pga att förfällning med järnsulfat i praktiken innebär en blandning av förfällning och simultanfällning.

MBBR

Vid processlösning med rörligt bärrmaterial, MBBR räknar vi med denitrifikationshastigheten 0,7 gNO₃-N/m²,d vid 12 °C vid fördenitrifikation utan extern kolkälla.

Vid efterdenitrifikation och användande av metanol som extern kolkälla används hastigheten 1,9 gNO₃-N/m²,d vid 12 °C.

Vi räknar med nitrifikationshastigheten 0,85 g NH₄-N/m²,d vid 12 °C.

Vi räknar med förfällning med tvåvärt järn i form av Järnsulfat, FeSO₄. Detta bedöms ge följande avskiljning över försedimenteringen: BOD₇, Tot-N och Tot-P 40, 15 respektive 50 %.

2.2 Massbalans

Nedan visas massbalans över vattenbehandlingen.

Parameter	kg/d		
	BOD ₇	Tot-N	Tot-P
In till reningsverket	63 000	10 800	1 350
Avskiljt i försed	25 200	1 620	675
Efter försed	37 800	9 180	675
Bundet i bioslammet	-	1 687	281
Recirkulerat i rejekt	-	1 654	
Efter bio (ej denitrifierat, att nitrifiera)	-	9 146	394
Efter bio (ej denitrifierat), mg/l	-	28	1,2

Hälften av kvävet (i primär- och bioslam) antas frigöras vid slamrötningen och recirkuleras som ammoniumkväve. Recirkulation av BOD, P och TSS antas försumbar. Det antas i massbalansen att NH_4^{+} = 0 mg/l.

Nedan redovisas erforderlig avskiljningsgrad.

Parameter	mg/l samt kg/d		
	BOD ₇	Tot-N	Tot-P
Önskad utg. halt, mg/l	4	4	0,1
Önskad utg. mängd, kg/d	1 312	1 312	33
Erforderl. avskiljning, kg/d (tex denitrifikation samt simultanfällning/efterfällning)	-	7 834	361

För att få 4 mg Tot-N/l i utgående vatten måste således 7 834 kg N/d denitrifieras.

3. Ombyggnadsförslag enligt Beräkningsfall A

Strängare UTSLÄPPSKRAV och 900 000 pe

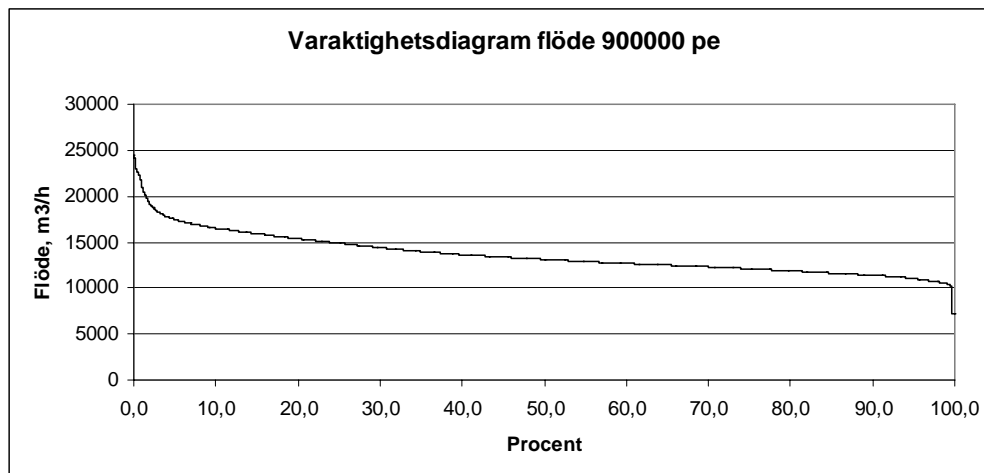
3.1 Gemensam förbehandling för alt A1–A3

Den stora utmaningen i detta fall ligger dels i att få tillräckligt utökad kapacitet på det sista efterpoleringssteget, idag tvåmediafilter, men framförallt att utöka kapaciteten på biosedimenteringen.

Kapaciteten för sandfång måste utökas. Denna kapacitetsökning sker genom att ta i drift de tre sandfång som idag har tagits i drift.

Försedimenteringarna har tillräcklig kapacitet. Vid maxflöde är dock ytbelastningen hög, 4,1 m/h. Vid försedimentering utan kemfällning kan dock ytbelastningen vara närmare 6 m/h med bra resultat.

I nedanstående varaktighetsdiagram har vi utgått från varaktighetsdiagrammet och förskjutit det för att simulera situationen vid 900 000 pe. Detta diagram tar dock inte hänsyn till att Q_{max} enligt förfrågan ska vara 32 400 m³/h. Maxflödet enligt detta diagram är ca 24 500 m³/h.



Vid 3,2 m/h ytbelastning har man dock kommit ned till vanligare ytbelastning vid förfällning. Denna ytbelastning erhålls vid 24 800 m³/h, dvs ett värde något högre än det maximala timflödet. Försedimenteringen är därmed tillräcklig. Vill man optimera försedimenteringen kan man bygga om inloppet till försedimenteringarna med energidämpare.

Inga förändringar i utformning och kapacitet för försedimenteringen föreslås därför.

Dagens aktivt slamsteg består av två block som drivs separat idag, de block som enligt förfrågan (K-Konsults principförslag) benämns Befintliga delen och Nya delen. Bioreaktordelen i den befintliga delen har djupet 5,9 m och i den nya delen är det 10,0 m. Biosedimenteringen i den befintliga delen har djupet 4,0 m och i den nya delen är det 6,1 m.

3.2 Processlösning A1, MBR och aktivt slam

Nedan visas anläggningsdata.

Sandfång	Antal	st	5
	Volym, tot	m ³	2800
	Uppehållstid (Q_{dim})	min	15
Förluftning	Antal	st	1
	Volym, tot	m ³	1200
	Uppehållstid (Q_{dim})	min	6
Försedimentering	Antal	st	11
	Yta, tot	m ²	7750
	Ytbelastning (Q_{dim})	m/h	1,5
	Ytbelastning (Q_{max})	m/h	4,1

<u>Block 1 och 2</u>		Block	1	2
	Qdim	m3/h	6390 (55 %)	5110 (45 %)
	Qmax	m3/h	18 000 (55 %)	14400 (45 %)
Aktivt slam			Konventionell	MBR
	Antal linjer	st	5	5
	Djup	m	10	5,9
	Volym för resp del			
	Anox	m3	10 600	3 400
	Ox	m3	23 400	6 600
	Ox/Anox	m3	46 300	13 300
	Deox		1700	2000
	Efteranox (metanoldos)		9200	2500
	Efterox		3300	1300
	Volym, tot	m3	94500	29100
	Slamhalt, bioreaktor	kg TSS/m3	4	11,2
	VSS	% av TSS	62	62

Eftersedimentering	Konventionell		"Ny Esed"
	Antal	st	5
	Qdim	m3/h	4060
	Qmax	m3/h	11430
	Yta	m2	7200
	Djup	m	6,0
	Ytbelastning (Q _{dim})	m/h	0,56
	Ytbelastning (Q _{max})	m/h	1,6
	Slamytbelastning (Q _{dim})	kg TSS/m2, h	2,3
	Slamytbelastning (Q _{max})	kg TSS/m2, h	6,3

Eftersedimentering	Konventionell		"bef Esed"
	Antal	st	6
	Qdim	m ³ /h	2330
	Qmax	m ³ /h	6570
	Yta	m ²	5300
	Djup	m	4,0
	Ytbelastning (Q _{dim})	m/h	0,44
	Ytbelastning (Q _{max})	m/h	1,2
	Slamytbelastning (Q _{dim})	kg TSS/m ² , h	1,8
	Slamytbelastning (Q _{max})	kg TSS/m ² , h	4,9

Sandfilter			
	Antal linjer	st	30
	Qdim	m ³ /h	6390 (55 %)
	Qmax	m ³ /h	18 000 (55 %)
	Yta	m ² /st	60
	Yta	m ²	1800
	Ytbelastning (Q _{dim})	m/h	3,6
	Ytbelastning (Q _{max})	m/h	10

Membran			
	Antal linjer	st	5
	Qdim	m ³ /h	5110 (45 %)
	Qmax	m ³ /h	14400 (45 %)
	Bredd/linje	m	10,7
	Längd/linje	m	46
	Yta	m ² /st	492
	Yta	m ² tot	2460

Detta förslag består av att leda 55 % av flödet till ett ombyggt aktivt slamsteg i de 5 bassängerna i "nya biodelen". Bassängdjupet bibehålls. Befintliga mellanväggar rivs och nya byggs. Processen utformas som för- och efterdenitrifikation. Vattnet fördelas till 11 eftersedimenteringsbassänger. Maxflödet genom denna del är 18 000 m³/h. Eftersom erfarenheten från Käppalaverket är att ytbelastningen inte ska var högre än 10 m/h innebär detta att allt detta vatten kan behandlas i dagens filtersteg.

45 % av flödet behandlas i en nybyggd MBR, membrane bio reactor, som inryms i 5 av dagens "befintliga anox/oxbassänger". Bassängdjupet bibehålls. Befintliga mellanväggar rivs och nya byggs. Processen utformas som för- och efterdenitrifikation. Slamhalten i biodelen kommer att vara ca 11,2 kg TSS/m³.

Slamhalten i utgående permeat från membranen är max 1 mg TSS/l. Behandlat vattnet sugs genom de dränkta membranen. Från varje linje går en tryckledning direkt till utloppet, alternativt till en eventuell läkemedelsrening. Därigenom behöver man varken bygga ut för sandfilterkapacitet eller ökad kapacitet i utloppspumpstationen, om man inte eventuellt leder filtratet från MBR till ozonkontaktbassängen.

En lösning med MBR, membranbioreaktor, innebär högre driftkostnader än dagens bioprocess. Recirkulationsflödet från membranbassängen tillbaka till oxzonen är ca 3-4xQ_{dim}. Nitratrecirkulationsflödet från deoxzonen tillbaka till första anoxzonen är ca 3-4xQ_{dim}. Det sker kontinuerlig luftning av de 308 membrankassetterna. Automatventiler växlar så att man luftar en kasset ca 4 sekunder, därefter sker växling av ventilställning och den andra kassetten i paret luftas.

1 gång per vecka sker en underhållsrengöring av membranen med citronsyra, medan underhållsrengöringen med natriumhypoklorit sker ca 1 gång per vecka. Underhållsrengöringen kan göras helt automatiserad.

Storrengöring görs 1-2 gånger med natriumhypoklorit respektive med citronsyra. Flera moment av storrengöring kan utföras automatiserat.

Man får dock en väldigt enkel ombyggnation, ingen bassängfördjupning eller sprängning, och drift under ombyggnad i detta skede. Med denna lösning kan man på ett enkelt sätt etappvis öka kapaciteten, vilket är bra ur kostnadssynpunkt. Man installerar inte nya membran förrän flödet är så högt att man verkligen behöver dem.

3.3 Processlösning A2, Aktivt slam

Nedan visas anläggningsdata.

Förbehandling			
Sandfång	Antal	st	5
	Volym, tot	m ³	2800
	Uppehållstid (Q_{dim})	min	15
Förluftning	Antal	st	1
	Volym, tot	m ³	1200
	Uppehållstid (Q_{dim})	min	6
Försedimentering	Antal	st	11
	Yta, tot	m ²	7750
	Ytbelastning (Q_{dim})	m/h	1,5
	Ytbelastning (Q_{max})	m/h	4,1

Flödet fördelas som 63,4 % till det som i underlagen (K-Konsults principförslag) kallas ny del (20 540 m³/h). Enbart flödet till nya delen passerar lamellsedimentering. Det övriga flödet passerar konventionella sedimenteringsbassänger för slamavskiljning.

36,6 % (11 860 m³/h) av flödet leds till den del av biosteget som i K-Konsults principförslag kallas befintlig del.

Aktivt slam			
	Q_{dim}	m ³ /h	11 500
	Q_{max}	m ³ /h	32 400
	Antal linjer	st	5+3
	Djup	m	10/12,1
	Volym		
	Anox/Returslamox	m ³	10 000
	Anox/Ox	m ³	27 400
	Ox	m ³	83 000
	Deox	m ³	2 800
	Efteranox (metanoldos)	m ³	22 800
	Efterox	m ³	3 000
	Volym, tot	m ³	149 000
	Slamhalt	kg TSS/m ³	4
	VSS	% av TSS	62

Vid 8 graders vattentemperatur krävs att zonen anox/returslamoxidation drivs som returslamoxidation för att uppnå de ca 14,8 d luftad slamålder som krävs vid denna temperatur för att få en stabil nitrifikationsprocess (övriga föreslagna processlösningar har större andel av denitrifikationskapaciteten som fördenitrifikation varför någon returslamoxidation därför inte krävs vid låga temperaturer. Det finns då tillräcklig anox/ox volym att "ta av")

Dagens 10 m djupa bioreaktor, 5 linjer, byggs om till efterdenitrifikation. 3 av de 6 linjerna med 5,9 m djup fördjupas till 12,1 m och byggs om till bioreaktordel. De övriga 3 linjerna byggs om till eftersedimentering. Djupet 5,9 m bibehålls.

Eftersedimentering	Konventionell		
	Antal	st	6+3
	Q _{dim}	m ³ /h	4210
	Q _{max}	m ³ /h	11 860
	Y _{ta}	m ²	9 800
	Djup	m	4/5,9
	Ytbelastning (Q _{dim})	m/h	0,43
	Ytbelastning (Q _{max})	m/h	1,2
	Slamytbelastning (Q _{dim})	kg TSS/m ² , h	1,7
	Slamytbelastning (Q _{max})	kg TSS/m ² , h	4,8

Eftersedimentering	Lamelledimentering		
	Antal	st	5
	Q _{dim}	m ³ /h	7290
	Q _{max}	m ³ /h	20 550
	Djup	m	6
	Bassängyta	m ²	7200
	Projicerad lamellyta	m ²	27 000
	Ytbelastning (Q _{dim})	m/h	0,27
	Ytbelastning (Q _{max})	m/h	0,76
	Slamytbelastning (Q _{dim})	kg TSS/m ² , h	1,1
	Slamytbelastning (Q _{max})	kg TSS/m ² , h	3,0

Lamellerna upptar 28 m längd av varje bassäng, som är 45 m lång. Detta innebär att det finns en "fri vattenspegel" om 17 m längd (38 % av totallängden) framför lamellpaketen.

Lamellerna sticker ned 2,5 m i vattnet. Det innebär att avståndet från underkant lamell till bassängbotten är 3,6 m. Ytbelastningen och slamytbelastningen på den horisontellt projicerade ytan är 0,76 m/h respektive 3,0 kg TSS/m², h vid Q_{max}.

Lutningen av lamellerna är 60°. Avståndet mellan lamellplattorna är 100 mm. De är av motströmsprincipen.

Totalflödet från samtliga eftersedimenteringsbassänger, såväl konventionella som lamellsedimenteringar, leds till filter.

Sandfilter			
	Antal linjer	st	54
	Yta	m ² /st	60
	Yta	m ²	3240
	Ytbelastning (Q _{dim})	m/h	3,5
	Ytbelastning (Q _{max})	m/h	10

Filtersteget består av tvåmediafilter med total bäddtjocklek 1,5 m. Det finns 30 st 60 m² filter, dvs total filteryta 1800 m². Filtersteget utökas med 24 st nya filter av samma sort som finns idag.

Detta alternativ innebär att man bibehåller en drift med robust, konventionell aktivt slam teknik. Det finns dock inte så stora drifterfarenheter med lamellsedimentering i aktivt slamsteg. Vi känner till tre reningsverk i Österrike med denna lösning, där också installation har skett för ca 10 år sedan. Det finns marginal att öka reningskapaciteten map kväverening genom att öka djupet i nuvarande bioreaktordel.

3.4 Processlösning A3, MBBR

Nedan visas anläggningsdata.

Sandfång	Antal	st	5
	Volym, tot	m ³	2800
	Uppehållstid (Q_{dim})	min	15
Förluftning	Antal	st	1
	Volym, tot	m ³	1200
	Uppehållstid (Q_{dim})	min	6
Försedimentering	Antal	st	11
	Yta, tot	m ²	7750
	Ytbelastning (Q_{dim})	m/h	1,5
	Ytbelastning (Q_{max})	m/h	4,1

MBBR			
	Antal linjer	st	5
	Djup	m	10
	Volym för resp del		
	Anox	m ³	26 500
	Ox	m ³	42 500
	Deox		4 000
	Efteranox (metanoldos)		6 400
	Efterox		3 300
	Volym, tot	m ³	82 700
	Fyllnadsgrad	%	50
	VSS	% av TSS	62

Den 10 m djupa bioreaktordelen byggs om till MBBR. Processlösningen består av för- och efterdenitrifikation med dosering av metanol till efterdenitrifikationen. Efter varje MBBR leds vattnet in till ett flockningssteg där det ska finnas möjlighet att dosera fällningskemikalie.

Flockning	Antal	st	5
	Djup	m	10
	Volym	m ³	6 000
	Uppehållstid (Q_{dim})	min	31
Eftersedimentering	Antal	st	5+5+5
	Yta	m ²	19 100
	Djup	m	6,1/4,0/5,9
	Ytbelastning (Q_{dim})	m/h	0,60
	Ytbelastning (Q_{max})	m/h	1,7

Vattnet från flockningsbassängerna leds ut till tvärkanalen och fördelas över totalt 15 sedimenteringsbassänger. En av bassängerna i "befintlig eftersedimentering" tas ur drift pga att en kanal dras i den. Denna kanal samlar upp vattnet från de 5 sedimenteringsbassängerna i det som enligt K-Konsults principförslag kallas "befintlig anox/ox". En av de 6 "befintliga anox/ox" tas ur drift eftersom den inte behövs. Den får då utgöra reserv för framtiden.

Totalflödet från samtliga eftersedimenteringsbassänger leds till filter.

Sandfilter			
	Antal linjer	st	54
	Yta	m ² /st	60
	Yta	m ²	3240
	Ytbelastning (Q_{dim})	m/h	3,5
	Ytbelastning (Q_{max})	m/h	10

Filtersteget består av tvåmediafilter med total bäddtjocklek 1,5 m. Det finns 30 st 60 m² filter, dvs total filteryta 1800 m². Filtersteget utökas med 24 st nya filter av samma sort som finns idag.

Lösningen med MBBR är väl beprövad, även om den inte är vanlig vid så stora anläggningar som det rör sig om här. Åtgärderna i bassängerna är omfattande för att inte "pluttarna" ska slitas ut i förtid. Sedimenteringsförhållandena är tilltalande. Vill man öka sedimenteringskapaciteten avsevärt kan lamellsedimentering alternativt flotation införas.