

Bilaga 5 Kapacitet nuvarande anläggning

Datum 2009-11-12

Ramboll Sverige AB
Box 17009, Krukmakargatan 21
104 62 Stockholm

Uppdrag Idéförslag – Utveckling av Käppalaverket
Beställare Käppalaförbundet

T: +46-10-615 60 00
D: +46 (0)10 615 64 66
F: +46-10-615 20 00
www.ramboll.se

Unr 613K0935156

Ramboll Sverige AB
Org nr 556133-0506

1. KÄPPALA AVLOPPSRENINGSVÄRK – KAPACITET VID NUVARANDE PROCESSUTFORMNING

För att kontrollera vilken kapacitet reningsverket har måste främst rimliga reaktionshastigheter för kväve fastställas. Driftsättet påverkar också värdena, liksom avloppsvattnets kvalitet och temperatur. Uppskattningen av reaktionshastigheter mm har i detta skede gjorts för endast en temperatur: 12 °C. Alla uppgifter som är beroende av vattentemperaturen nedan anges vid denna temperatur.

Den aeroba slamålder som krävs för att uppnå en stabil nitrifikation kan beräknas till 9,0 d. Vid den ursprungliga dimensioneringen räknade K-konsult med 9,2 d.

Hösten 2006 beräknades nitrifikations- och denitrifikationshastigheterna i reningsverket. De nitrifikationshastigheter som beräknades var något låga i förhållande till de värden som anges i litteraturen. Förklaringen till detta är att nitrifikationen var fullständig i anläggningen, dvs. hela kapaciteten utnyttjades inte. Dessa beräknade värdena kan därför inte användas. De denitrifikationshastigheter som beräknades är å andra sidan orimligt höga, högre än de värden som i litteraturen anges för metanol som kolkälla. Någon förklaring till dessa värden har inte kunnat ges och dessa kan inte användas.

Denitrifikationshastigheten (DN-hastigheten) är enligt litteraturuppgifter ca 0,025 kg NO₃-N/kg VSS, d. Vid den ursprungliga dimensioneringen användes en hastighet på 0,034 NO₃-N/kg VSS, d. Den senare hastigheten baserades på mätningar. Hur dessa mätningar utfördes beskrevs inte.

Bilaga 5

Idéförslag – Utveckling av Käppalaverket

Unr 613K0935156

Den nitrifikationshastighet (N-hastighet) som uppnås är bl. a beroende av förhållandet mellan halterna BOD och kväve i till bioprocessen inkommande vatten, eftersom förhållandet påverkar andelen nitrifikationsbakterier i slammet. Med ledning av litteraturuppgifter bedöms nitrifikationshastigheten bli ca 0,044 kg NH₄-N/kg VSS, d (=1,83 g NH₄-N/kg VSS, h). Vid den ursprungliga dimensioneringen 1992 användes N-hastigheten 0,035 kg NH₄-N/kg VSS, d, vilken baserades på mätningar.

1.1 Nuvarande krav: 8 mg BOD/I; 0,3 mg P/I; 10 mg N/I

Vid kontrollen av erforderliga reaktionshastigheter mm har belastningen på reningsverket inledningsvis antagits motsvara 700 000 pe. Den nya delen antas drivas med förfällning och ta emot 64 % av flödet, medan den gamla delen antas drivas för biologisk fosforavskiljning så som sker idag och ta emot resterande flöde, 36 %. Flödesfördelningen är den som angavs i K-konsults utredning från 1992. De belastningar som använts vid uppskattningen av kapaciteten framgår av följande sammanställning:

			Gamla delen	Nya delen	TOTALT
Årsmedeltemp		°C	12	12	12
Anslutning	Befolkning, fysisk	pe	252 000	448 000	700 000
Flöden	Q medel	m ³ /d	92 000	165 000	257 000
	Q dim	m ³ /h	3 240	5 760	9 000
	Q maxdim, Försed	m ³ /h	7 800	13 800	21 600
	Q max, Bio	m ³ /h	7 800	13 800	21 600
Belastning	BOD ₇	kg/d	17 640	31 360	49 000
	Tot-P	kg/d	380	670	1 050
	Tot-N	kg/d	3 020	5 380	8 400

De specifika belastningarna för BOD₇, Tot-P och Tot-N på 70 g/pe, d, 1,5 g/pe, d och 12 g/pe, d har använts vid beräkningen av totala belastningen.

Filtren belastas av flödet från båda linjerna. Vid behov doseras fällningskemikalier till utflödet från gamla linjen före filtren. Detta bör givetvis kunna ske också till utflödet från nya delen.

1.1.1 Nya linjen

Den biologiska processens kapacitet kan enkelt ökas om belastningen minskar genom att förfällning sker. I nedanstående massbalans har antagits att förfällning sker i nya linjen så att reduktionen av BOD och kväve blir ca 40 % respektive 15 %. Reduktionen av halten fosfor antas bli 50 %.

Den biologiska processen är uppdelad i delvolymmer som kan enbart luftas, enbart omröras eller aningen luftas eller omröras. De volymer och ytor som finns i nya linjen framgår av följande sammanställning.

Anläggningsdel	Volym resp. yta
Försedimentering	4 300 m ²
Biologisk rening	
Anaerobi/Inblandningszon	7 300 m ³
Anox	25 000 – 40 000 m ³
Aerob	43 900 – 58 900 m ³
Avluftning	3 300 m ³
Luftad kanal	2 900 m ³
TOTALT BIOLOGI	97 400 m ³
Eftersedimentering	7 200 m ²

Vattendjupet i försedimenteringsbassängerna är 3,55 m och i eftersedimenteringsbassängerna 6,1 m.

Samtliga uppgifter har tagits ur "Käppalaverket; Principförslag", K konsult 1992.

Slamhalten i bassängen har antagits vara 4 kg/m³, varav 62 % har antagits vara organiskt.

En massbalans för nya linjen med belastningar och reduktioner enligt ovan och med antagandet att 50 % av det kväve som binds i primär – och bioslam frigörs vid rötningen och återförs till verket visas nedan.

Massbalans vattenbehandling nya delen

Parameter	kg/d		
	BOD ₇	Tot-N	Tot-P
In till reningsverket	31 360	5 380	670
Avskiljt i försed	12 544	807	335
Efter försed	18 816	4 573	335
Bundet i bioslammet	-	840	140
Recirkulerat i rejekt	-	823	
Efter bio (ej denitrifierat, att nitrifiera)	-	4 557	195
Efter bio (ej denitrifierat), mg/l	-	28	1,2

Bilaga 5

Idéförslag – Utveckling av Käppalaverket

Unr 613K0935156

Parameter	mg/l samt kg/d		
	BOD ₇	Tot-N	Tot-P
Önskad utg. halt, mg/l	8	10	0,3
Önskad utg. mängd, kg/d	1 320	1 650	50
Erforderl. avskiljning, kg/d (tex denitrifikation samt simultanfällning/efterfällning)	-	2 907	146

Vid beräkningen av massbalansen har antagits att bioslamproduktionen är 0,8 kg TSS/kg BOD och att slammet innehåller 9 % kväve och 1,5 % fosfor räknat på VSS.

Med slamproduktionen 0,8 kg TSS/kg BOD blir slamproduktionen i den biologiska processen $0,8 \times 18\,816 = 15\,050$ kg TSS/d.

Av sammanställningen av tillgängliga volymer framgår att den biologiska processen bara kan drivas med två volymindelningar. Den aeroba slamålder respektive de nitrifikations- och denitrifikationshastigheter som måste uppnås vid de olika volymerna framgår nedan.

	Volymindelning 1	Volymindelning 2
Anox volym, m ³	32 300	47 300
Aerob volym, m ³	65 100	50 100
Slamålder, d	17,3	13
Erf denitr.hastighet, kg NO ₃ -N/kg	0,036	0,025
VSS-d		
Erf. nitrif.hastighet, kg NH ₄ -N/kg	0,028	0,037
VSS-d		

Den aeroba slamåldern är tillräcklig för att uppnå en stabil nitrifikation.

Nitrifikationshastigheten vid 12 °C kan enligt ovan sättas till ca 0,044 kg NH₄-N/kg VSS, d. Oavsett volymindelning klaras således nitrifikationen.

Denitrifikationshastigheten är enligt litteraturuppgifter ca 0,025 kg NO₃-N/kg VSS, d. Detta innebär att volymindelning 1 inte skulle klara kraven. (K-konsult anger emellertid dimensionerande hastighet till 0,034 NO₃-N/kg VSS•d.)

Kol:kväveförhållandet blir enligt massbalansen 6,5 räknat på den mängd kväve som skall avskiljas. Detta bör vara tillräckligt, speciellt som förfällningen i första hand avskiljer den fraktion av kolkällan som är mest svärnedbrytbar.

Enligt kontrollen ovan bör den biologiska processen ha en kapacitet som överstiger 64 % av 700 000 pe om volymindelning 2 används och om förfällning används. (En relativt kraftig förfällning ger dessutom en större mängd primärslam och därmed en ökad gasproduktion vid slamrötningen.) Inte heller

Bilaga 5

Idéförslag – Utveckling av Käppalaverket

Unr 613K0935156

fosforkravet bör utgöra något problem. Om man antar att den dimensionerande denitrifikationshastigheten är 0,025 kg NO₃-N/kg VSS, d (=1,1 g NO₃-N/kg VSS, h) kan belastningen öka med ca 20 %. Ovanstående slutsatser förutsätter dock att separationsprocesserna har en tillräckligt hög kapacitet.

De hydrauliska belastningar som fås på separationsprocesserna framgår av nedanstående tabell.

Flöde	Hydraulisk belastning, m ³ /m ² ·h	
	Försedimentering	Eftersedimentering
Q _{dim}	1,34	0,80
Q _{max}	3,21	1,92

Belastningen på sedimenteringsbassängerna ligger på en acceptabel nivå också vid den högsta hydrauliska belastningen. Varaktigheten på de högsta flödena kan med ledning av uppmätta flöden under år 2008 bedömas som kort. Slamytbelastningen på mellansedimenteringsbassängen blir ca 3,2 kg TSS/m², h räknat på totala flödet genom bassängerna vid dimensionerande flöde och ca 7,7 TSS/m², h vid maximala flödet. Detta är acceptabla belastningar. Slamytbelastningen anges exklusive returslamflödet.

1.1.2 Gamla linjen

Den gamla linjen antas drivas som idag, dvs. med biologisk fosforavskiljning. Den biologiska processen är också här uppdelad i delvolymmer som kan enbart luftas, enbart omröras eller aningen luftas eller omröras. De volymer och ytor som finns i gamla linjen framgår av följande sammanställning.

Anläggningsdel	Volym resp. yta
Försedimentering	3 450 m ²
Biologisk rening	
Anaerobi/Inblandningszon	2 900 m ³
Anox	13 000 – 16 000 – 21 000 m ³
Aerob	24 300 – 29 300 – 33 300 m ³
Avluftning	4 300 m ³
TOTALT	54 500 m ³
Eftersedimentering	5 300 m ²

Vattendjupet i försedimenteringsbassängerna är 2,55 m och i eftersedimenteringsbassängerna 4 m.

Samtliga uppgifter har tagits ur "Käppalaverket; Principförslag", K konsult 1992.

Slamhalten i bassängen har också för gamla linjen antagits vara 4 kg/m³, varav 72 % har antagits vara organiskt.

En massbalans för gamla linjen med belastningar enligt ovan visas nedan. Reduktionerna i försedimenteringsbassängerna har antagits till 30 % för BOD samt 10 % för kväve och fosfor.

Massbalans vattenbehandling gamla delen

Parameter	kg/d		
	BOD ₇	Tot-N	Tot-P
In till reningsverket	17 640	3 020	380
Avskiljt i försed	5 292	302	38
Efter försed	12 348	2 718	342
Bundet i bioslammet	-	480	284
Recirkulerat i rejekt	-	391	-
Efter bio (ej denitrifierat, att nitrifiera)	-	2 629	58
Efter bio (ej denitrifierat), mg/l	-	29	0,6

Parameter	mg/l samt kg/d		
	BOD ₇	Tot-N	Tot-P
Önskad utg. halt, mg/l	8	10	0,3
Önskad utg. mängd, kg/d	736	920	28
Erforderl. avskiljning, kg/d (tex denitrifikation samt simultanfällning/efterfällning)	-	1 709	30

Vid beräkningen av massbalansen har antagits att bioslamproduktionen är 0,6 kg TSS/kg BOD och att slammet innehåller 9 % kväve räknat på VSS.

För fosfor anges i litteraturen att en väl fungerande process för biologisk fosforavskiljning resulterar i en fosforhalt i det biologiska överskottsslammet på 3-5 % av TSS. (I en helt optimal process kan motsvarande siffra vara 10-15 %.) I massbalansen ovan har räknats med en fosforhalt på 4 % av TSS i slammet. I verklig drift kommer denna halt att variera beroende på avloppsvattnets kvalitet. Resultatet för fosfor i massbalansen stämmer väl överens med de resultat som rapporterats från Käppala. (Manhem och Palmgren: "Upgrading and expansion of the Käppala wastewater treatment plant; Operational experiences and results".) Uppehållstiden i den anaeroba volymen var ca 1,3 h räknat på medelflödet under år 2008. Motsvarande uppehållstid blir i detta fall ca 0,9 h räknat på dimensionerande flöde. Detta är en låg uppehållstid men bör vara tillräckligt. Vid högre flöden kan man dock förvänta sig en försämrad

fosforavskiljning även om avloppsvattnets kvalitet (tillgången på lättnedbrytbara organiska ämnen) är en nog så viktig faktor.

I massbalansen har också antagits att ingen recirkulation av fosfor sker från slambehandlingen. Detta är med största sannolikhet inte sant. Hur stor recirkulation som sker beror på hur slambehandlingen sker och – framför allt – på slammets innehåll av metalljoner. Eftersom förfällning antas ske i den nya delen kommer dock metallhalten i slammet i rötkamrarna att vara relativt hög, varför fosforsläppet bör vara relativt lågt. En mindre dos fällningskemikalie måste tillsättas före filtren.

Med slamproduktionen 0,6 kg TSS/kg BOD blir slamproduktionen i den biologiska processen $0,5 \times 12\,348 = 7\,409$ kg TSS/d.

Av sammanställningen av tillgängliga volymer framgår att den biologiska processen kan drivas med tre volymindelningar. Den aeroba slamåldern respektive de nitrifikations- och denitrifikationshastigheter som måste uppnås vid de olika volymerna framgår nedan.

	Volymindelning 1	Volymindelning 2	Volymindelning 3
Anaerob volym, m ³	2 900	2 900	2 900
Anox volym, m ³	13 000	16 000	21 000
Aerob volym, m ³	37 600	34 600	29 600
Slamålder, d	20,3	18,7	16,0
Erf denitr.hastighet, kg NO ₃ -N/kg VSS·d	0,046	0,037	0,028
Erf. nitrif.hastighet, kg NH ₄ -N/kg VSS·d	0,024	0,026	0,031

Nitrifikationen skulle kunna klaras oavsett volymindelning, eftersom såväl den aeroba slamåldern som erforderlig nitrifikationshastighet klaras med god marginal.

Kol: kväveförhållandet blir enligt massbalansen 7,1 räknat på den mängd kväve som skall avskiljas. Detta är fullt tillräckligt.

Vid denitrifikationshastigheten ca 0,024 kg NO₃-N/kg VSS·d kommer inte volymindelningarna 1 och 2 uppfylla kraven. Inte heller volymindelning 3 skulle klara detta, även om skillnaden inte är stor. (K-konsult anger emellertid dimensionerande hastighet till 0,034 NO₃-N/kg VSS·d.) Vilken hastighet som kan nås i praktiken beror dock på avloppsvattnets kvalitet och en högre hastighet kan mycket väl nås om avloppsvattnet innehåller lättnedbrytbara organiska ämnen, t ex från någon av industrierna som är anslutna till verket.

De hydrauliska belastningar som fås på separationsprocesserna framgår av nedanstående tabell.

Bilaga 5

Idéförslag – Utveckling av Käppalaverket

Unr 613K0935156

Flöde	Hydraulisk belastning, m ³ /m ² ·h	
	Försedimentering	Eftersedimentering
Q _{dim}	0,94	0,61
Q _{max}	2,26	1,22

Belastningen på sedimenteringsbassängerna ligger på en acceptabel nivå också vid den högsta hydrauliska belastningen. Slamytbelastningen på eftersedimenteringsbassängen blir ca 2,4 kg TSS/m², h vid dimensionerande flöde och ca 4,9 TSS/m², h vid maximala flödet. Detta är acceptabla belastningar även. Slamytbelastningen anges, precis som i resten av rapporten, exklusive returslamflödet.

Slutsats:

Slutsatsen är att den gamla linjen skulle kunna klara en belastning motsvarande 36 % av 700 000 p (där den nya delen belastas med resterande 64 %) med knapp marginal. Vilken marginal som finns är oklart, eftersom avloppsvattnets kvalitet inte är känd i detalj. Om K-konsumts angivna denitrifikationshastighet från 1992 gäller kan belastningen ökas med ca 20 %, speciellt som belastningen på separationsprocesserna är låga. (Om den anoxa volymen kunde ökas på den aeroba delens bekostnad skulle en väsentligt högre belastning kunna klaras. Detsamma gäller om förfällning införs, varvid dock den biologiska fosforavskiljningen utgår.)

1.1.3 Sandfilter

Flödena från den nya och gamla linjen antas sammanföras före sandfiltren. Den totala filterytan är 1 800 m² och ytbelastningen vid dimensionerande flöde är 5 m/h.

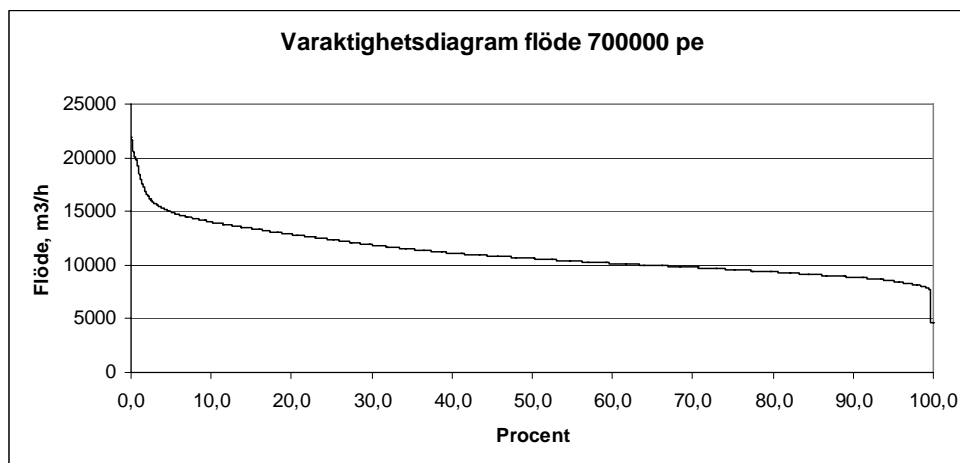
Den maximala belastningen på sandfiltren är något hög. Enligt uppgift kan de aktuella filtren inte klara en belastning som överstiger 5 m³/s (18 000 m³/h), vilket motsvarar en ytbelastning på 10 m³/m²·h. Om reningsverket skall kunna ta emot en belastning motsvarande 700 000 pe måste därför ett litet flöde bräddas efter mellansedimenteringsbassängerna för att filtren inte skall överbelastas.

Om man antar att flödesvariationen liknar den som uppmättes år 2008, men att medelflödet ökat till ca 3,0 m³/s (10 800 m³/h) vilket motsvarar medelflödet vid belastningen 700 000 pe, erhålls en varaktighetskurva enligt figuren nedan. Enligt förutsättningarna givna av Käppala är maxflödet vid 700 000 pe 21 600 m³/h, vilket stämmer bra med nedanstående varaktighetsdiagram.

Bilaga 5

Idéförslag – Utveckling av Käppalaverket

Unr 613K0935156



Om maximal belastning på filtren sätts till 18 000 m³/h (ytbelastning 10 m/h) måste ca 0,2 % av årsflödet bräddas förbi filtren. I första hand riskeras fosforkravet vid en sådan bräddning. Med förfällning i nya delen av verket samt en svag fällning före filtren bör nuvarande krav kunna klaras vid denna lilla bräddning.

1.1.4 Sammanfattning, nuvarande krav

Sammanfattningsvis kan konstateras vid nuvarande utsläppskrav:

- En belastning motsvarande ca 700 000 pe bör kunna klaras med nuvarande reningsprocesser med förfällning i nya delen och biologisk fosforavskiljning i gamla delen om bräddningsmöjlighet anordnas före sandfiltren. Det är dock "på gränsen" gällande denitrifikationshastigheten. Man bör därför noggrant mäta denitrifikationshastigheten.
- Den trånga sektionen i verket är sandfiltrens kapacitet.
- Reningsverket kapacitet skulle kunna ökas med ca 20 % vid bibehållande av biologisk fosforavskiljning i gamla delen om:
 - Sandfiltrens kapacitet ökas med 20 å 25 %.
 - Mellanväggar installeras i de stora aeroba volymerna i de 6 linjerna i gamla delen så att den anoxa volymen kan ökas vid låga vattentemperaturer. Luftningssystemet måste då också byggas om så att lufttillförseln till dessa volymer kan stoppas samtidigt som mekaniska omrörare installeras.

Det bör betonas att ovanstående slutsatser baseras på en översiktlig processberäkning enbart vid årsmedeltemperaturen av avloppsvattnet. En noggrannare analys av processerna bör göras över ett helt år vid alla förekommande vattentemperaturer.

1.2 Skärpta krav: 4 mg BOD/l; 0,1 mg P/l; 5 mg N/l

Enligt uppgift är maximala recirkulationsgraden av nitrat 3 gånger och slamrecirkulationen 1 gång dimensionerande flöde, vilket var 9000 m³/h (2,5 m³/s). Detta innebär att den andel av kvävet in till bioprocessen (minus assimilerad kvävemängd) som medföljer utgående vatten är $Q/Q_x(1 + 1 + 3)$. Av massbalanserna ovan framgår att den halt kväve som inte är denitrifierad efter bioprocessen (och som alltså måste recirkuleras till anoxvolymen) är ca 28 mg/l. Högst 18 % (=5 mg N/l) av 28 mg N/l får medfölja utgående vatten, vilket ger medelflödet 7 900 m³/h (2,2 m³/s): $4 \times 9000 / ((28-5)/5)$.

Medelflödet 7 900 m³/h motsvarar ca 520 000 pe. Enligt Miljörapporten för år 2008 var belastningen ca 480 000 pe. (I verkligheten sker en viss denitrifikation också i andra volymer än i anoxzonerna, men knappast i tillräckligt hög utsträckning.)

En maximal recirkulation vid ett flöde lägre än det dimensionerande har nackdelen att den recirkulerande mängden syre blir stor i förhållande till inkommande flöde trots deoxzonerna. Recirkulerat syre konsumerar de mest lättnedbrytbara organiska ämnena. Tillgången till lättnedbrytbara ämnen skulle dessutom kunna bli ett problem, speciellt i nya delen. Kvoten BOD/N räknat på det kväve som skall denitrifieras blir enligt beräkningarna ovan för gamla delen ca 7,1 och för nya ca 6,5. Teoretiskt skall detta räcka, men i praktiken kan det bli knappt om syre recirkuleras. Vid mycket låga halter kol minskar dessutom denitrifikationshastigheten.

Kravet på en högsta halt BOD i utgående vatten på 4 mg/l bör med de låga belastningar på bioprocessen som är fallet kunna klaras. Också fosfor kravet om 0,1 mg/l bör kunna klaras med förfällning och en lätt fällning före filtren men då får ingen bräddning ske. Detta bör heller inte vara nödvändigt vid ett medelflöde på 2,2 m³/s. Om man antar en flödesfördelning enligt figuren ovan men med medelflödet 2,2 m³/s så är det precis på gränsen till att bräddning förbi filtren måste ske.

Av ovanstående framgår att en utgående vattenkvalitet motsvarande det **skärpta kravet teoretiskt bör kunna klaras upp till en belastning motsvarande ca 520 000 pe** (= $2,2 \times 3600 \times 24 \times 700 \text{ 000} / 257 \text{ 000}$). Detta förutsätter dock att inte "riktvärdestiden" (månadsmedel => veckomedel etc) förändras.

Eftersom belastningen enligt Miljörapporten för år 2008 var ca 480 000 pe innebär allt detta ändå, pga belastningsvariationer, i praktiken att reningsverket måste byggas om redan nu om man ska klara strängare utsläppsvillkor.

För att klara de skärpta kraven **vid högre belastning** krävs någon/några av följande åtgärder:

- Rejektvattenrening. En rejektvattenrening med 90 % kväveavskiljning sänker kvävehalten i huvudströmmen med ca 4 mg/l.
- Utbyggnad av filterkapaciteten så att ingen bräddning sker.
- Komplettering av bioprocessen med en anläggning för efterdenitrifikation med extern kolkälla.
- Ombyggnad av befintlig anläggning till en anläggning för efterdenitrifikation med extern kolkälla. En sådan ombyggnad skulle spara volym, eftersom denitrifikationshastigheten skulle öka väsentligt vid användning av t ex metanol som kolkälla. Samtidigt skulle driftskostnaden öka.

För att säkerställa fosforkravet måste dock vid ett medelflöde överstigande ca 2,2 m³/s sandfiltrens kapacitet ökas, eftersom detta stränga krav inte tillåter någon bräddning.

För att klara de strängare kraven måste sammanfattningsvis åtgärder vidtas när belastningen överstiger ca 520 000 pe (med en viss reservation för tillgången på kol för denitrifikationen). Vid högre belastning måste åtgärder vidtas för att öka avskiljningen av kväve. Dessutom måste sandfiltrens kapaciteten ökas så att ingen bräddning förbi filtren sker.