

Förstudie

Käppalaförbundet

Projekt Käppala 2020

Lidingö 2010-12-23

Andreas Thunberg

Innehållsförteckning

1	Bakgrund	4
2	Idéförslag.....	4
2.1	Förslag som inte ingår i det fortsatta arbetet	5
2.1.1	Mekanisk rening	5
2.1.2	Biosteg	6
2.1.3	Eftersedimentering.....	6
2.1.4	Sandfilter	7
2.1.5	Bräddvattenrening	7
2.1.6	Läkemedelsrening	7
2.2	Förslag som ingår i det fortsatta arbetet	8
2.2.1	Mekanisk rening	8
2.2.2	Försedimentering	8
2.2.3	Biobassänger	8
2.2.4	Eftersedimentering.....	9
2.2.5	Bräddvattenrening	9
2.2.6	Läkemedelsrening	9
3	Framtida utbyggnad - principiella överväganden	9
3.1	Hydraulik och flöden	10
3.2	Slambehandlingen.....	14
3.2.1	Rötkammare	14
3.2.2	Slamavvattning.....	17
4	Utbyggnadsförslag.....	17
4.1	Bräddvattenrening	17
4.1.1	Processutformning	18
4.1.2	Implementering på Käppala	19
4.1.3	För- och nackdelar	21
4.2	Huvudlinjen	21
4.2.1	Kolkälla	22
4.2.2	MBBR	23
4.2.3	Vakuumbehandling av bioslam	23
4.2.4	Fosforavskiljning.....	26
4.3	Slambehandling	27
4.3.1	Rötkammare	27
4.3.2	Slamavvattning.....	28
5	Åtgärder, tidplan och kostnadsbild	28
5.1	Fall 1 - Nuvarande reningskrav.....	29
5.1.1	Milstolpe 1 - Nuvarande belastning upp till 700 000 p e.....	29
5.1.2	Milstolpe 2 - Belastning motsvarande 700 000 p e.....	33
5.1.3	Milstolpe 3 – Belastning motsvarande 900 000 p e.....	37
5.2	Fall 2 – Skärpta reningskrav	39
5.2.1	Milstolpe 1 – Nuvarande belastning upp till 700 000 p e	39
5.2.2	Milstolpe 2 – Belastning motsvarande 700 000 p e.....	44
5.2.3	Milstolpe 3 - Belastning motsvarande 900 000 p e.....	48
5.3	Ekonomisk analys	52
5.3.1	Nuvarande krav	53

5.3.2 Skärpta krav	55
6 Referenser	58
BILAGA I	60
BILAGA II	61
BILAGA III	62
BILAGA IV	63
BILAGA V	64
BILAGA VI	65
BILAGA VII	66
BILAGA VIII	67

1 Bakgrund

Käppalaverket står inför en rad utmaningar som innebär att reningsverkets kapacitet måste ses över. Reningsverket byggdes ut under 90-talet för att kunna hantera en belastning motsvarande 700 000 p e ¹⁾ i samband med att kväverening infördes. Dagens belastning uppgår till ca 550 000 p e med maximala dygnsbelastningar på ca 600 000 p e. Under kommande 20 års period väntas belastningen från redan anslutna kommuner öka med ca 100 000 p e och ett antal nya kommuner har ansökt om eller aviserat intresse för anslutning, som mest kan 200 000 p e väntas från dessa kommuner om samtliga ansluts.

I november 2007 tog Östersjöländernas ministrar beslut om en åtgärdsplan för Östersjön inom ramen för HELCOM. Åtgärdsplanen är benämnd Baltic Sea Action Plan (BSAP) och har som mål att uppnå god ekologisk status i Östersjön till år 2021. I denna plan finns förslag på skärpta reningskrav för närsalter från avloppsreningsverk. Vidare kan också krav på läkemedelsrening väntas, men här är det ännu oklart vad som ska innefattas i ett sådant krav samt vilka reduktionskraven kan bli.

För att kunna hantera eventuella skärpta krav i kombination med en ökad belastning har Käppalaförbundet initierat projekt Käppala 2020.

I projektets första fas tog Käppalaförbundet hjälp av fyra teknikkonsulter för att finna möjliga processtekniska lösningar för en ökad belastning och skärpta reningskrav. Under hösten 2009 redovisades deras förslag. Det framgick att reningsverket är väl tilltaget i volym och att det finns flera möjliga vägar att gå för att möta framtida krav. Nästa fas i projektet var att sälla bland de inlämnade förslagen för att finna de mest lämpliga lösningarna. Ett antal tilläggsbeställningar gick därefter ut där mer detaljerade beräkningar efterfrågades.

Denna rapport syftar till att ge förslag på en etappvis utbyggnad av reningsverket och fortsatt arbete i projektet. En grov kostnadsbild presenteras också som underlag till frågan om anslutning av nya kommuner.

2 Idéförslag

Ett antal grundförutsättningar gavs till teknikkonsulterna, dessa var följande;

1. Möjlig utbyggnad av berganläggningen föreligger endast nedåt, i sida eller uppåt finns inga möjligheter. Ny teknik och andra processlösningar premieras framför större volymer i vattenreningen.
2. Allt vatten som uppkommer i anslutna kommuner skall tas om hand då det uppkommer, ingen annan flödesutjämning än den som finns i Lidingötunneln om 40 000 m³ finns tillgänglig.

¹⁾ 1 pe = 70 g BOD₇/person•dag

3. Uppdraget begränsas till vattenbehandlingen. Tunnelsystem, inloppspumpar och slambehandling ska inte ingå i studien.
4. Två belastningssituationer ska undersökas; 700 000 p e samt 900 000 p e.
5. En reduktion med 90 % av läkemedelsrester ska undersökas separat.
6. Ingen bräddning av orenat avloppsvatten får förekomma.
7. Två olika fall gäller för reningskraven.
 - a. Total-N 10 mg/L; Total-P 0,3 mg/L; BOD₇ 8 mg/L.
 - b. Total-N 5 mg/L; Total-P 0,1 mg/L; BOD₇ 4 mg/L.

Samtliga inlämnade förslag visade att Käppalaverket har väl tilltagna volymer och att reningsverkets kapacitet är långt ifrån uppnådd förutsatt att processen modifieras. Förslagen skiljde sig kraftigt åt sinsemellan, vissa innebar mycket stora omställningar medan andra var mer modesta. Ett huvudspår i de inlämnade förslagen är att slamseparation och hydraulik är de viktigaste frågorna för verkets kapacitet, inte den organiska kapaciteten.

Under projektets första fas valdes ett antal processer ut för vidare studier och andra inte. Nedan summeras kortfattat de processer som har föreslagits och vilka som har valts ut för fortsatt arbete. För mer detaljerade beskrivningar hänvisas till de inlämnade rapporterna [1], [2], [3], [4] samt en sammanställning av dessa [5].

2.1 Förslag som inte ingår i det fortsatta arbetet

2.1.1 Mekanisk rening

Galler

- Istället för de idag befintliga steggallren har hålsilar med håldiameter 2 mm föreslagits. Hålsilarna krävs för att minska halten av finpartikulär suspenderad substans till MBR enheter som skulle placeras i biobassängerna. Lösningen har dock förkastats p g a mycket stora drift- och investeringskostnader för MBR- enheterna. Dessutom krävs ett högre tryckfall över silarna vilket innebär omställningar i framförlliggande kanal.

Sandfång

- Gamla avställda sandfång tas i drift för att öka den hydrauliska kapaciteten till 9 m³/s. Här ska allt flöde sedan ledas genom den biologiska reningen. Mycket stora omställningar krävs för att kunna hantera hydrauliken och går emot principen att utnyttja befintliga volymer så långt som möjligt.
- Gamla avställda sandfång tas i drift för att öka den hydrauliska kapaciteten till 9 m³/s, därefter leds vatten till en ombyggd linje där bräddvattenrening genomförs med lamellflotationsenheter. Förslaget innebär stora omställningar för att kunna hantera hydrauliken och andra metoder är mer kostnadseffektiva (se stycke 2.2.5).

2.1.2 Biosteg

- Krauss- processen har lyfts fram som en möjlig lösning för att öka reningsverkets kvävereningsskapacitet. Metoden innebär separat returslamluftning och tillsats av ammoniumrikt rejecktatten vilket ska frigöra volymer i huvudlinjen. Under 90-talet genomfördes försök med Krauss-processen på Käppala. Resultaten visade på kraftigt förbättrade nitrifikationshastigheter men stundtals också instabila förhållanden och försämrade slamegenskaper. Dessutom kan det fosfatrika rejecktattnet överbelasta de linjer där Krauss används och därmed äventyra utgående fosforhalter. Processen har inte valts ut som förstahandsval men kan undersökas som ett sidospår i det fortsatta arbetet.
- SSH (sidoströmshydrolys) har föreslagits i kombination med biologisk fosforrening. Här frigörs VFA (flyktiga fettsyror) via returslamhydrolys vilket ger en mer stabil och effektivare fosforavskiljning. Biologisk fosforrening används i nuvarande process och uppvisar stundtals instabila driftförhållanden. Ett återkommande problem är kraftig internbelastning av fosfat från rötkammarna, ibland motsvarande 50 % av inkommande fosforbelastning. Vid skärpta reningskrav kan inte sådana situationer tillåtas uppstå och biologisk fosforavskiljning anses då inte vara en lämplig lösning.
- Överordnad styrning av SCADA. Genom att kontrollera interna flöden och optimera styrningen med så kallad multikriterie- kontroll kan reningsverkets kapacitet ökas. Förslaget medför relativt låga investerings- och driftkostnader men anses vara för osäkert för att lösa de scenarios som väntas. Det har heller inte redovisats några exakta processberäkningar som visar att framtida krav kan hanteras med metoden.
- ATS (Aeration Tank Settling) innebär att delar av biobassängerna utnyttjas till sedimentation vid höga flöden, detta för att avlasta eftersedimenteringarna. Metoden försämrar avskiljningsgraden av främst kväve och vilar på ett antagande om att utspädningsfaktorn säkerställer utgående halter vilket anses vara osäkert med skärpta reningskrav.
- Intermittent luftning har lagts fram som en metod för att optimera kvävereningen. Här skapas oxiska/anoxiska volymer i tid istället för spatialt vilket leder till en ökad flexibilitet. Metoden är välbeprövad och kan öka kapaciteten på reningsverket, dock är storleken på denna ökning relativt osäker och kostnaden för att införa intermittent luftning stor i jämförelse med andra mer säkra tekniker [6].

2.1.3 Eftersedimentering

- Att installera lameller i eftersedimenteringarna har föreslagits för att hantera en ökad slamytbelastning, dock ingår också en utbyggnad med fler bassänger i förslaget vilket går emot principen att utnyttja befintlig anläggning maximalt.
- MBR (Membrane Bio Reactors) kan helt eller delvis ersätta eftersedimenteringsbassängerna. Slamhalterna kan därmed höjas kraftigt i biobassängerna och stora utrymmen frigörs. Dock kräver enheterna mycket

underhåll (1 ggr/vecka med citronsyra och hypoklorit) och investeringskostnaderna blir mycket stora.

- Efterpolering med lameller och bärarmaterial innan sandfilter. För att säkerställa utgående fosfathalter placeras en Actiflo- enhet (se stycke 4.1) i en avställd eftersedimenteringsbassäng. Att minska antalet eftersedimenteringsbassänger anses dock inte vara lämpligt med tanke på att slamytbelastningen kommer att vara hög när belastningen har ökat. Metoden anses också vara mer lämpad för bräddvattenrening än kontinuerlig drift p g a relativt stora driftkostnader.

2.1.4 Sandfilter

- Genom att bygga fler sandfilter minimeras risken för igensättning om slamflykt från eftersedimenteringar uppstår. Eftersom förslaget går emot principen att utnyttja befintlig anläggning maximalt anses det inte vara en lämplig lösning.

2.1.5 Bräddvattenrening

- Genom att installera lameller i försedimenteringar i kombination med kraftig direktfällning kan vatten ledas förbi biosteget direkt till sandfiltren eller tillbaka till bräddtunnel FT11 och vidare till recipient. Denna metod har utretts djupare [7] men det visade sig att stora omställningar skulle krävas för att kunna hantera flödena. Dels måste avställda sandfång tas i drift och förluftningskanalen efter silgaller modifieras, dels innebär detta att en eller flera av de befintliga försedimenteringsbassängerna tas ur reguljär drift. Lösningen är också betydligt mer kostsam än andra mer beprövade metoder för bräddvattenrening (se stycke 4.1).
- Lamellflotation i försedimentering, biosteg och eftersedimentering. Genom att installera lamellenheter i en hel linje (från försedimentering till eftersedimentering) kan 3 m³/s renas som bräddvatten. Dock innebär detta att en hel linje tas ur drift vilket inte krävs med andra mindre utrymmeskrävande metoder (se stycke 2.2.5 och 4.1).

2.1.6 Läkemedelsrening

För läkemedelsreningen har samtliga av de inlämnade idéförslagen baserats på det arbete som har utförts i Stockholm Vattens läkemedelsprojekt [8]. Fortfarande kvarstår frågetecken kring vilka substanser man bör fokusera på, främst eftersom deras ekotoxikologiska effekter till stor del är okända men också för att endast en bråkdel av substanserna är kartlagda. Två metoder har dock lyfts fram som mer lämpliga än andra, ozonering och/eller aktivt kol. Vad som skiljer förslagen åt är i huvudsak placeringen av en kontaktbassäng för ozon, alternativt aktivt kol. Följande förslag har valts bort från fortsatt arbete;

- Kolfilter placeras direkt efter sandfilter eller i ett nytt plan. Nya volymer skulle därmed krävas och uttjänt kol måste omhändertas. Förslaget strider mot principen att utnyttja befintliga volymer maximalt.

- Kontaktbassäng för ozon i befintliga sandfilter eller i eftersedimenteringar. Sandfiltren ersätts med MBR- enheter i slutet av eftersedimenteringarna. Eftersom MBR-enheter har valts bort på grund av höga investeringskostnader kan inte förslaget genomföras.

2.2 Förslag som ingår i det fortsatta arbetet

2.2.1 Mekanisk rening

Sandfång

- Inloppsluckorna till befintliga sandfång öppnas upp för att minska tryckförluster och sänka nivån i förluftningskanalerna. En hydraulisk modell över det mekaniska reningssteget har visat att detta är en nödvändig åtgärd för att kunna leda 6 m³/s genom huvudlinjen (se stycke 3.1).

2.2.2 Försedimentering

- Förfällning med järn- eller aluminiumsalter utförs i försedimentering. Vid ett framtida krav på 0,1 mg Total-P/L kan förfällning bli nödvändig. Käppalaverkets sandfilter är idag byggda med en efterpolering med järnsulfat. Vid kraftig dosering av järnsulfat uppstår situationer med igensättning av filtren. Det är därför av stor vikt att inte hålla höga doser på filtren under längre perioder. Genom att utföra en kraftigare simultanfällning kan sandfiltren avlastas. Dock kan detta medföra problem, och speciellt under årets kallare period, i och med att den biologiska slamåldern då sänks. Genom en kombination av förfällning, simultanfällning och efterpolering kan låga fosforhalter uppnås utan att sänka slamåldern för mycket för kväveareningen. Om dosen av järnsulfat ligger högt på sandfiltren påbörjas en relativt mild förfällning med järnklorid för att inte behöva avskilja all fosfor i biosteget. Här bör då särskild hänsyn tas till effekten på kolkällan till kväveareningen samt till att fosforbrist lätt kan uppstå om dosen blir för kraftig.

2.2.3 Biobassänger

- För att öka kvävereningskapaciteten förordas efterdenitrifikation med extern kolkälla. Käppalaförbundet har sedan tidigare planer på att utvärdera effekterna av extern kolkälla och förslaget ingår i det fortsatta arbetet.
- Flera av förslagen innefattar olika versioner av MBBR (Moving Bed Bio Reactor) eller IFAS (Integrated Fixed- film Activated Sludge). Detta är processer där bärrmaterial tillsätts till hela eller delar av biobassängerna. I och med att biomassan växer på bärarna istället för i suspension krävs kortare hydrauliska uppehållstider och höga slamhalter kan hållas. Detta ökar reningskapaciteten i en given volym. MBBR kräver dock högre syrehalter och externt kol men är väl beprövade och ger dessutom hög motståndskraft mot "wash out".

- Ökad slamhalt i biobassängerna. Här föreslås en ökning av MLSS- halten i biosteget för att erhålla tillräcklig kapacitet. I förslaget ingår en avgasning av bioslammet (se stycke 2.2.4) för att förbättra slammets sedimenteringsegenskaper och motverka slamflykt från eftersedimenteringsbassängerna. Metoden är mycket kostnadseffektiv och grundar sig i en redan väl fungerande process (aktivslamprocessen).

2.2.4 Eftersedimentering

I flera av förslagen identifierades slamseparation som huvudfrågan för att öka reningsverkets kapacitet. Redan nu uppstår problem med slamflykt till sandfilter och problemet skulle bli än större med samma process och ökad belastning.

- Avgasning av slam [1], [13] är en metod som har utvecklats under de senaste 15 åren. Här utsätts hela flödet från biosteget för vakuum innan den leds till eftersedimenteringarna. Behandlingen tillåter kraftigt förhöjda halter av MLSS i biobassängerna och medföljande kapacitetsökning. Käppalaverket uppvisar ett klart behov av förbättrade slamegenskaper och tekniken anses som mycket intressant.
- En enkel åtgärd som har föreslagits för att förbättra den hydrauliska kapaciteten hos eftersedimenteringarna kan vara att installera dämpskärmar och/eller bafflar för att motverka densitetsströmmar. Förslaget är mycket kostnadseffektivt och ingår i fortsatt arbete.

2.2.5 Bräddvattenrening

- Lamellsedimentation med ballastmaterial. En mycket kompakt och effektiv metod för att rena bräddvatten är lamellseparation kombinerat med ballastmaterial. En metod som bygger på denna princip är VA-ingenjörernas Actiflo. Sådana enheter är ofta kompakta och kan placeras i ett eller flera av de gamla avställda sandfången och inverkar inte på övriga delar av reningsverket. Metoden har också visat sig vara den mest kostnadseffektiva lösningen för bräddvattenrening på Käppala och tekniken anses därför som mycket intressant.

2.2.6 Läkemedelsrening

- Kontaktbassäng för ozon placeras i en avställd biobassäng i reningsverkets gamla del. Syrgas framställs på plats med VPSA (Vacuum Pressure Swing Adsorption). Detta spår anses som intressant eftersom befintlig anläggning då utnyttjas maximalt. Fortfarande kvarstår dock utredningar kring praktiskt genomförande och huruvida utrymme finns att ställa av en hel biobassäng.

3 Framtida utbyggnad - principiella överväganden

Som redovisat i stycke 2 har ett stort antal processtekniska lösningar presenterats, vissa har stämt bättre överrens med de givna förutsättningarna än andra och har därför valts ut för

fortsatt arbete. Ett antal principiella överväganden har gjorts för att kunna sälla bland förslagen.

- Befintliga volymer ska användas så långt det är möjligt, förslag där stora byggnationer ingår blir oftast kostsamma och har därför valts bort.
- Nya processlösningar måste vara realistiska och redan beprövade. En tekniskt enkel lösning premieras dessutom framför komplexa.
- Ett rimligt mått av risktagande tillåts ingå för att inte få orimliga investerings- och driftkostnader. Vissa förslag har inneburit onödigt stora säkerhetsmarginaler och därmed också höga kostnader. Andra har istället inneburit att för stora risker tas för att hålla kostnaderna nere.
- Nya processlösningar ska komma i etapper allteftersom behoven uppstår. Målsättningen är också att finna tekniker som lätt kan kombineras med andra tekniker.

I stycke 3 redovisas de problem som berör hydrauliken. Här diskuteras också de delar som inte har ingått i idéförslagen, rötning och slamavvattnings. I stycke 4 motiveras och beskrivs de utvalda teknikerna mer ingående. Slutligen, i stycke 5, presenteras en plan för en framtida utbyggnad baserat på två fall; i) med nuvarande reningskrav och ii) med skärpta krav.

Läkemedelsrening kommer endast att diskuteras i korthet eftersom det fortfarande är svårt att sätta om framtida krav.

3.1 Hydraulik och flöden

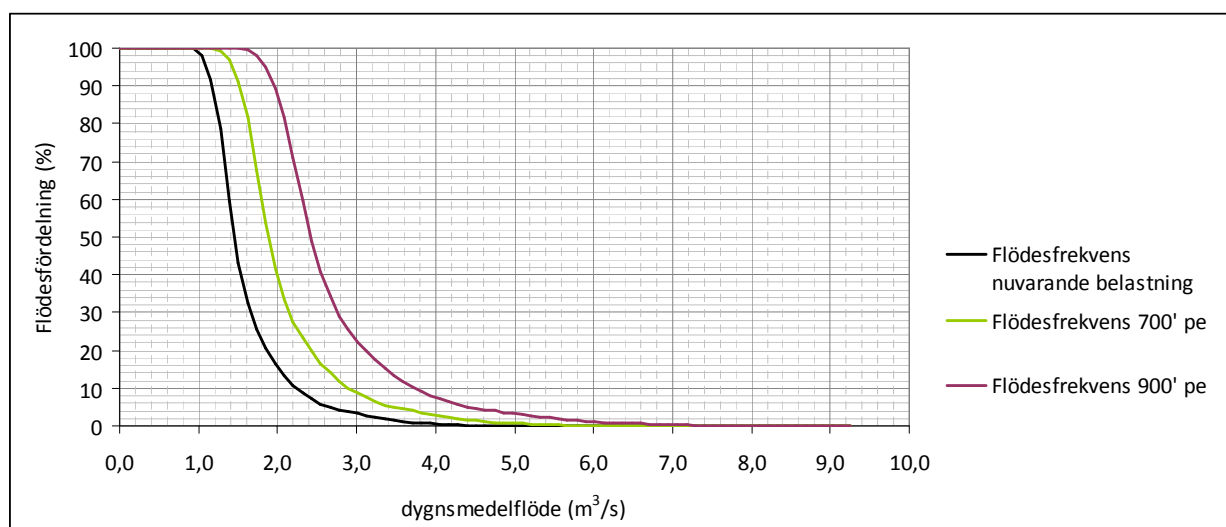
En mycket viktig parameter som påverkar utformandet av den framtida processen är den hydrauliska belastningen på reningsverket. I dagsläget har inkommande flöden mellan 6- 7 m³/s som mest uppkommit under kortare perioder vid kraftiga regn eller snösmältning. I tabell 1 visas reningsverkets nominella kapacitet, här framgår att biosteg och eftersedimentering är byggda för att hantera 5 m³/s. Dock har större flöden, ca 6 m³/s belastat dessa delar under kortare perioder.

Tabell 1 – Dimensionerade maxflöden.

Processteg	Dimensionerat flöde (m ³ /s)
Galler	10
Sandfång	6
Försedimentering	6
Biobassänger	5
Eftersedimentering	5
Sandfilter	6

Vid en ökad anslutning kan ännu större flöden väntas och åtgärder för att stärka upp vissa delar av processen hydrauliskt kommer därför bli aktuella. Innan beslut kan tas om sådana insatser måste varaktigheten hos flödena undersökas. I figur 1 visas fördelningen av reningsverkets inkommande flöden som dygnsmedelvärden mellan åren 2000- 2009. I figuren visas också den förväntade situationen när belastningen har ökat till 700 000 respektive 900 000 p e. De framtida flödena är framräknade från antagandet att flödesfördelningen är densamma som under åren 2000- 2009. Visserligen kan ett ändrat klimat medföra större nederbördsmängder men samtidigt kan toppflöden jämnas mer när längre överföringsledningar används. I kurvorna går att utläsa hur det nuvarande dygnsmedelflödet till Käppalaverket ligger över 2 m³/s ca 10 % av tiden och att dygnsmedelflöden över 6 m³/s uppkommer inte alls, maximala toppar över 6 m³/s har visserligen uppstått men endast under ett fåtal timmar. Det största varaktiga flödet som har uppstått (ca 0,5 % av tiden) är 4 m³/s. Med en framtida anslutning till 700 000 p e förväntas dygnsmedelflödet ligga över 3 m³/s ca 10 % av tiden och överstiga 5 m³/s ca 0,8 % av tiden samt 6 m³/s ca 0,1 % av tiden.

Den högsta belastningen med 900 000 p e ger ett flöde över 3,7 m³/s för 10 % av tiden, överstiger 5 m³/s för 3 % av tiden, 6 m³/s för 1 % av tiden och 7 m³/s för 0,3 % av tiden. Flöden på 9 m³/s förväntas inte uppstå alls som dygnsmedelvärden, endast som momentana toppar.



Figur 1 – Flödesfördelning för nuvarande och framtida belastning.

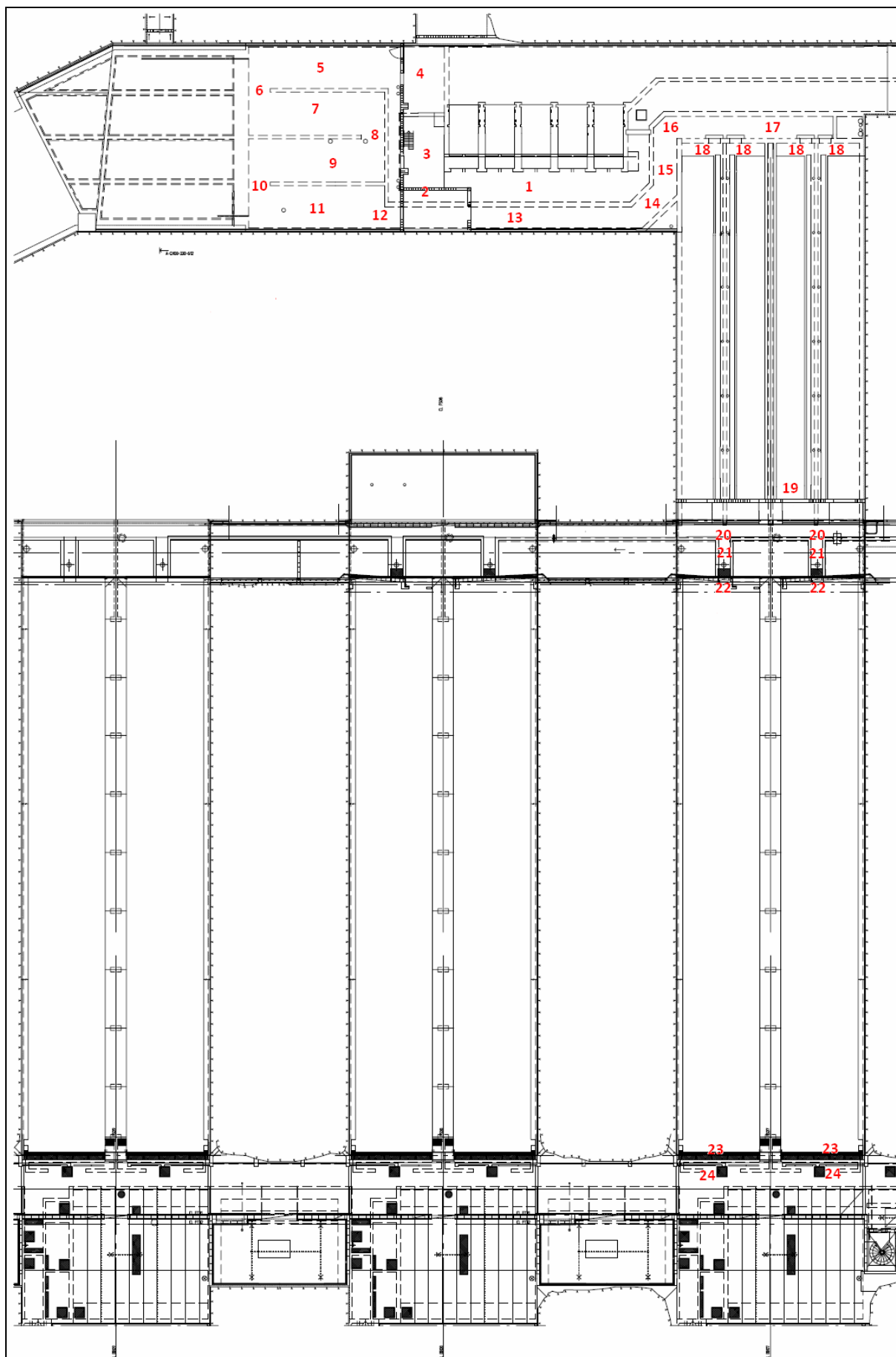
Flödesanalysen visar på hur biosteg och eftersedimentering når upp till sin nominella kapacitet vid 0,8 % av tiden med 700 000 p e och vid 3 % av tiden med 900 000 p e. Att dimensionera den biologiska reningen för högre värden än den nu nominella kapaciteten kan därför inte anses vara rimligt eftersom frekvensen och varaktigheten för sådana flöden är mycket liten. Reningsverket skulle då vara överdimensionerat under större delen av tiden. Dock innebär skärpta reningskrav, främst för fosfor, att inget vatten kan tillåtas att brädda orenat. Fokus bör därför ligga på en effektiv bräddvattenrening och ett maximalt flöde genom huvudlinjen på 5-6 m³/s.

I tabell 1 framgår att sandfången är dimensionerade för 6 m³/s, men här råder vissa tvivel kring nivån i framförbyggande kanaler vid höga flöden. I figur 2 och 3 visas en hydraulisk

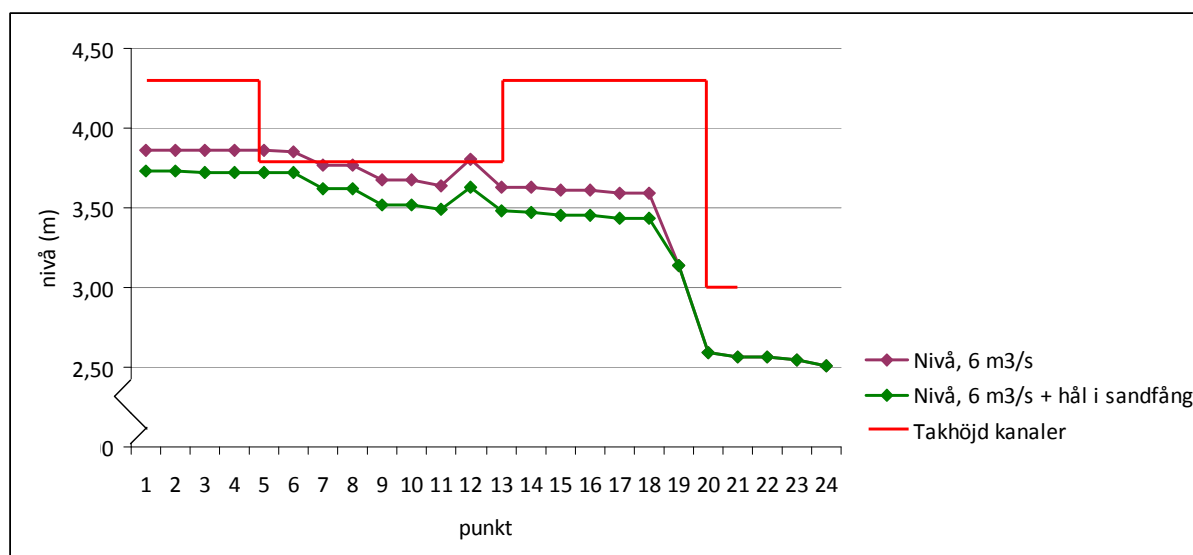
modell över processen från silgaller till utlopp från försedimentering. Siffrorna i figur 2 anger beräkningspunkterna i modellen, i figur 3 visas sedan vattennivåer vid dessa punkter samt takhöjd i kanalerna. Nivåerna i figuren baseras på ett inkommande flöde på $6 \text{ m}^3/\text{s}$. En kurva visar nivån för fallet med befintliga inloppsluckor på sandfången. Det framgår i denna hur nivån då når högre än lägsta takhöjd i delar av förluftningskanalen. Det kan således bli problematiskt att leda in $6 \text{ m}^3/\text{s}$ om inte åtgärder utförs på inloppet till sandfången. I figuren visas också nivån efter att en sådan åtgärd har genomförts. Här har ett runt hål med diametern 500 mm lagts till för att minska förlusten över inloppet. Nivåerna ligger därefter med marginal under lägsta takhöjd.

Flöden över $6 \text{ m}^3/\text{s}$ kan inte gå via förluftningskanalen utan måste ledas direkt efter galler till kanal FT11 via befintlig bräddningslucka.

Sandfiltrens nominella kapacitet är angiven till $6 \text{ m}^3/\text{s}$. Som tidigare nämnts finns också här tvivel kring den faktiska kapaciteten i vissa driftsituationer. Det är av yttersta vikt att sandfiltren fungerar väl och kan hantera $5\text{-}6 \text{ m}^3/\text{s}$ under längre perioder utan igensättning, speciellt när belastningen ökar och om skärpta krav kommer. Parallellt med projekt Käppala 2020 kommer därför filtrens skick att utredas och eventuella åtgärder utföras. Det förutsätts därför fortsättningsvis i denna rapport att filtren kan hantera sin nominella kapacitet.



Figur 2 – Beräkningpunkter för hydraulisk modell.



Figur 3 – Vattennivåer och takhöjd i kanaler med nuvarande inlopp till sandfång samt med nytt inlopp.

3.2 Slambehandlingen

3.2.1 Rötkammare

Käppalaverket rötar idag primärslam och överskottslam i två rötkammare på 9400 m³ vardera. Primärslammet rötas separat i ena rötkammaren varefter slammet leds till den andra rötkammaren där även centrifugerat överskottslam rötas. Processutformningen ser ut på detta sätt för att motverka att skumning uppstår när filamenthaltigt överskottslam blandas med primärslam som har en hög gaspotential. Denna utformning medför en högre hydraulisk belastning på den andra rötkammaren (R200) och en ökning av antalet anslutna skulle kunna leda till överbelastning. En fråga att besvara i det framtida arbetet är därför när ett behov ytterligare rötningsvolym uppstår.

Med dagens belastning på rötkammare R200 fås en uppehållstid (HRT) som ligger mellan 9-15 dygn. Teoretiskt sett bör uppehållstiden alltid ligga över 12 dygn eftersom de tillväxtbegränsande mikroorganismerna (metanogener som nyttjar acetat eller vätgas som substrat) har en generationstid mellan 1- 12 dagar [9]. Kortare uppehållstid medför således en risk att delar av mikrosamhället sköljs ut vilket skulle inverka negativt på rötningsprocessen. Under våren och försommaren när belastningen av överskottslam är stor på R200 finns därför teoretiskt sett en risk för sänkt gasproduktion. En trolig anledning till att rötningsprocessen ändå är stabil i R200 året om är för att ympning av livskraftiga metanogener hela tiden sker från R100.

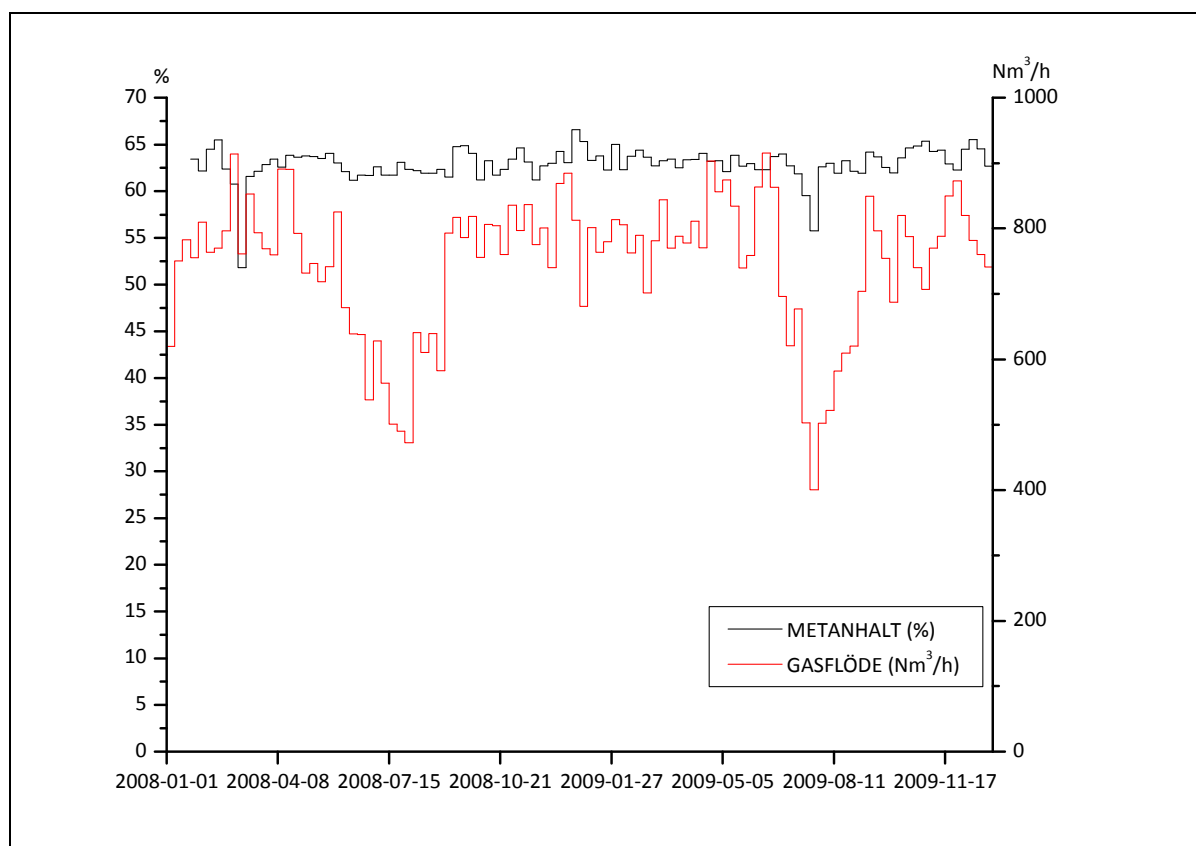
Eftersom att primärslammet står för ca 80- 85 % av den totala biogasproduktionen medför en nedgång i gasproduktionen från R200 endast en mindre inverkan på den totala gasproduktionen. Av allvarigare karaktär är istället om primärslammets uppehållstid sänks under en längre period. Vid större underhåll eller vid haverier i någon av rötkammarna kan detta ske. Vid sådana situationer utförs samrötning av bioslammet och primärslammet med en total uppehållstid mellan 8- 14 dagar beroende på årstid och slamproduktion. Här sker då

ingen ympning av friska metanogener till rötkammaren (så som är fallet för R200 vid normal drift) och risken för wash out är därför större.

En annan parameter som bör beaktas är rötkammarnas organiska belastning (OLR). En mesofil rötkammare sägs vara högt belastad vid $3 \text{ kg VS/m}^3 \times \text{d}$ med en övre gräns kring $4 \text{ kg VS/m}^3 \times \text{d}$. Rötkammare R100 har en organisk belastning som varierar mellan ca 2 till $4 \text{ kg VS/m}^3 \times \text{d}$ och rötkammare R200 mellan ca 1,5 till $3,5 \text{ kg VS/m}^3 \times \text{d}$. Båda rötkammarna kan därför anses vara högt belastade.

Vid samrötning i bara en rötkammare är den organiska belastningen betydligt högre än rekommenderade värden. Eftersom metanbildande mikroorganismer har en fördubblingstid som kan vara upp emot två veckor kan en plötslig ökning av den organiska belastningen medföra ett överskott av icke- nedbrutet material, som t ex olika fettsyror vilket i sin tur kan ge en instabil process med risk för sänkt pH värde. Primärslammet är också tämligen lättnedbrytbart vilket lättare kan leda till en ansamling av fettsyror på grund av för snabb nedbrytning.

Under sommaren 2008 och 2009 utfördes byte av omrörare i R100 respektive R200. Arbetet var förlagt till sommarmånaderna eftersom både primär- och överskottslamproduktionen då är låg. Vid båda tillfällena utfördes samrötning av primär- och överskottslam vilket ledde till en sänkning av den hydrauliska uppehållstiden till ca 9 dagar. Den organiska belastningen låg kring $4,5 \text{ kg VS/m}^3 \times \text{d}$. Detta inverkade också negativt på gasproduktionen. I Figur 4 visas gasproduktionen från rötkammarna under åren 2008 och 2009 tillsammans med on-line mätning av metanhalten. Som medel ligger metanhalten vid 63 %. De två rötkammartömningarna framgår tydligt i grafen och vid den andra tömningen framgår hur också metanhalten sjönk vilket är en indikation på att rötningsprocessen stördes.



Figur 4 – Rötgasproduktion och metanhalt 2008-2010.

Under tömningen av rötkammarna sjönk gasproduktionen till 470 och 400 Nm³/h som veckomedelvärden för år 2008 respektive 2009. Detta är nästan hälften av genomsnittligt årsmedelvärde med båda rötkammarna i drift (750 Nm³/h).

Eftersom Käppalaförbundet har tagit en uppgraderingsanläggning för fordonsgas i drift under 2010 måste liknande situationer undvikas i framtiden om möjligt. Som veckomedelvärde bör inte rågasproduktionen understiga 500 Nm³/h för att leveransen av gas ska vara tillfredställande för mottagande part. Enligt driftinstruktion ska rötkammarna tömmas och rengöras var 6:e år vilket ur den aspekten kan innebära en risk.

Med en ökad anslutning till verket kommer visserligen mer slam produceras och gasproduktionen att öka, men samtidigt blir uppehållstiden lägre och vid samrötning kan en kritisk nivå nås där rötkammarna går sura eller att "wash out" sker. Det är därför av vikt att behovet av en ny rötkammare undersöks redan nu.

Ett antal utredningar från Käppala har redan undersökt behovet av en tredje rötkammare [10], [11]. Här har man också tittat på framtida hygieniseringskrav, möjligheten till mottagande av externt material samt ställt termofil rötning mot mesofil. Ännu finns stora osäkerheter kring vilka krav som kan komma för hygieniseringen och inte minst gäller detta för Käppalaverket som redan har en hygienisering av slammet genom KemiCond processen. Om denna metod blir godkänd som hygienisering, vilket är fallet i Finland, kommer en ny rötkammare sannolikt utformas för mesofil drift. Om metoden inte blir godkänd kommer istället termofil rötning eller pastörisering krävas. I denna rapport förutsätts att KemiCond blir godkänd och en ny rötkammare blir därför mesofil.

3.2.2 Slamavvattning

På Käppala utförs slutavvattning med Kemicond processen följt av en mekanisk avvattning med 4 st hydrauliska kolvpressar. Den årliga slamproduktionen från rötkammarna är ca 310 000 m³/år vilket medför en genomsnittlig belastning på pressarna på ca 35 m³/h. Detta värde fluktuerar dock och en maximal kapacitet kring 60 m³/h är önskvärd. Dagens slamavvattning kan endast hantera ca 45 m³/h på grund av att slamtransportörerna efter Bucherpressarna lätt överbelastas av den stora mängden slam som släpps momentant från pressarna. Redan nu finns därför ett behov av ökad kapacitet och processen är under delar av året en mycket trång sektion. Det huvudsakliga problemet med dagens slamavvattning är att slamtransportörerna (centrumlösa skruvtransportörer) varken kan hantera mängden slam som släpps momentant från Bucherpressarna eller variationen i TS-halten. Som mest kan TS-halter över 50 % uppnås vilket innebär att slammet får karaktären av en lös lera (vid skjuvsförsök uppgick kohesionen till 5 kPa och friktionsvinkeln till 14°). Sådana egenskaper sliter kraftigt på materialet i transportörerna. Å andra sidan kan betydligt lägre TS-halter kring 25- 30 % fås när ett högt slamflöde genom pressarna är nödvändigt. Vid dessa TS-halter är slitaget på transportskruvarna normalt men slammet har då istället en tendens att packas samman till en hård massa som sätter igen transportörerna. I och med lägre TS-halter stiger också mängden slam som måste transporteras vilket förvärrar situationen. Om alla fyra pressarna tömmer sitt slam samtidigt fås en momentan belastning på skruvtransportörerna på hela 16 ton. För att avlasta skruvarna tömmer nu pressarna sitt slam under en längre tid vilket förbrukar kapacitet i onödan. Ett projekt har därför startats upp för att förbättra utlastningen (se stycke 4.3.2).

4 Utbyggnadsförslag

4.1 Bräddvattenrening

Analysen av den hydrauliska situationen visar på ett framtida behov av en långt gående bräddvattenrening, speciellt med skärpta reningskrav. Flera lösningar har föreslagits (se stycke 2.1 och 2.2) men mest kostnads- och resurseffektivt är bräddvattenrening med lamellenheter och ballastmaterial, liknande Actiflo. Ett mycket stort antal sådana enheter finns dessutom installerade på reningsverk världen över, och deras effektivitet är väl känd.

I detta stycke redovisas översiktligt en lösning för bräddvattenrening med Actiflo på Käppalaverket. *Andra fabrikat finns tillgängliga på marknaden och kan bli aktuella i ett senare skede.*

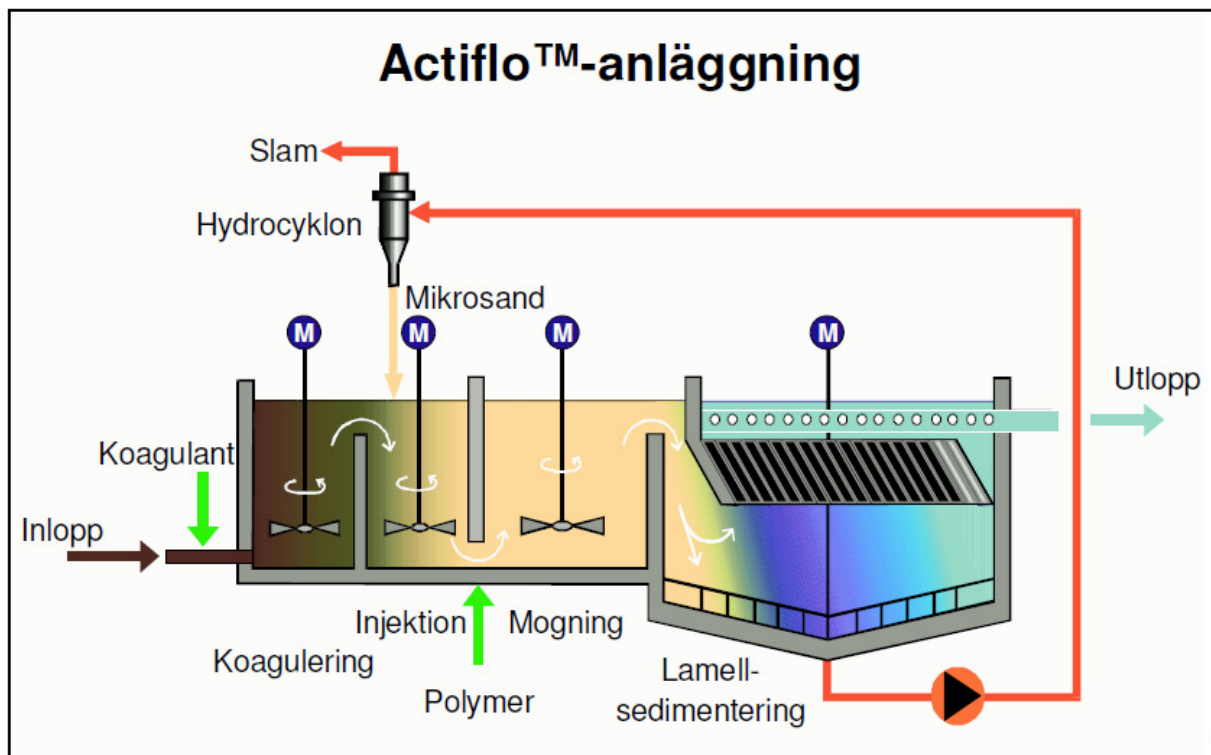
Den hydrauliska analysen visar att maximalt ca 6 m³/s kan ledas genom huvudlinjen. Sett som dygnsmedelvärden kommer inte flöden högre än ca 7,8 m³/s att existera förutsatt att flödesprofilen är densamma även vid 900 000 p e. Däremot kan högre flöden uppstå momentant, hela 9 m³/s har därför använts som maximalt värde till dimensionering. Detta innebär att bräddvattenreningen måste kunna hantera 3 m³/s med långt gående rening.

Kraven på avskiljningsgrad är följande;

- 90 % avskiljning av Total-P
- 70 % avskiljning av BOD₇
- 10 % avskiljning av Total-N

4.1.1 Processutformning

Metoden innebär ett mycket kompakt system för rening av främst fosfor och BOD₇ och bygger på en kraftig fällning med koagulanter och polymer samt avskiljning av slam via lamellsedimentering. För att öka avskiljningsgraden och sedimenteringshastigheten tillsätts sand som bärrmaterial. Metoden tar upp ca 1/10 av den yta som skulle krävas med en konventionell fällning. I figur 5 visas principen för en Actioflo- enhet.



Figur 5 – Principskiss över Actioflo- enhet.

De olika stegen i reningsprocessen är följande;

1. Koagulering

Inkommande bräddvatten måste vara mekaniskt grovrenat, därefter tillsätts en koagulant i form av ett metallsalt. För att få en god flockbildning krävs trevärda metallsalter, så som järnklorid eller aluminiumsulfat. Vattenlösliga substanser bildar då olösliga fällningar i form av kolloidala partiklar. I en koaguleringskammare blandas metallsalterna in ordentligt med en toppmonterad omrörare. Här slås mindre kolloidala partiklar samman och bildar så kallade primärpartiklar.

2. Injektion av mikrosand

Vattnets leds därefter in i en injektionstank, här tillsätts mikrosand som blandas in med en toppmonterad omrörare. Mikrosanden stimulerar ytterliggare flockbildning genom att fungera som "grodd".

3. Tillsats av polymer och mogning

I nästkommande steg tillsätts en anjonisk polymer som stärker och kompakterar de bildade flockarna. Flockarna stärks ytterliggare i relativt lugna förhållanden i mognadstanken där lugn omrörning sker.

4. Lamellsedimentation

De bildade flockarna har en mycket hög sedimenteringshastighet och avskiljs sedan snabbt i lamellseparatorn. Ytbelastningen i systemet är ca 80 gånger högre än vad som ofta anges som övre gräns i en konventionell fällningsbassäng. Ovan lamellerna leds sedan renat vatten ut till recipient.

5. Regenerering av sand

Det sedimenterade slammet pumpas ut från botten av sedimenteringsbassängen. Slamflödet uppgår normalt till 4-6 % av inkommande flöde beroende på TS-halt i slam/sandblandningen. Genom att pumpa slammet genom två hydrocykloner skapas en centrifugalkraft som avskiljer den tyngre sanden från slammet. Sanden kan därefter ledas tillbaka till injektionstanken och slammet till slambehandling eller försedimentering.

4.1.2 Implementering på Käppala

Eftersom tekniken inte är utrymmeskrävande kan enheterna placeras så att övriga anläggningsdelar påverkas mycket lite. Genom att utnyttja en eller flera av de gamla avställda sandfången kan investeringskostnaden och inverkan på övriga anläggningsdelar minimeras. De avställda sandfången ligger dessutom i direkt kontakt med redan befintlig bräddningskanal. På grund av detta har de avställda sandfången valts ut som en lämplig plats för placering av bräddvattenreningen.

Flödeskrav

Flödesanalysen visade att det sannolikt kommer att dröja innan dygnsmedelflöden större än huvudlinjens kapacitet blir frekventa. Ihållande bräddningsperioder är inte att vänta innan en belastning på åtminstone 700 000 p e har uppnåtts. Detta förutsätter dock att huvudlinjen kan hantera dimensionerade flöden i alla lägen. Under våren 2010 uppstod en mycket kraftig snösmältning föregången av en ovanligt kall vinter med små vattenmängder. Ytbelastningen på eftersedimenteringarna låg under flera månader kring 0,3 och 0,4 m/h i gamla respektive nya delen. Detta är ca hälften av dimensionerade värden. Förhållandena ledde därmed till en anrikning av slam med låg sedimenteringshastighet. När sedan flödena ökade kraftigt uppstod en mer eller mindre okontrollerad slamflykt som varade under en tvåveckorsperiod. Stora mängder vatten bräddades och riktvärdet för fosfor överskreds för kvartal 1 och för BOD₇ för mars månad. Situationen kan anses som extrem men visade samtidigt på nödvändigheten av en bräddvattenrening inom en relativt snar framtid. Om

skärpta reningskrav blir verklighet kommer bräddvattenrening att vara oundviklig eftersom inget vatten då kan bräddas orenat.

Tekniken uppvisar en mer stabil och effektiv prestanda om fasta dimensionerade flöden kan hållas. För att säkerställa en hög avskiljningsgrad har det därför förutsatts att en anläggning på Käppala ska köras med fasta flöden. Genom att magasinera vatten i Lidingötunneln och därefter sänka nivån med ett fast och högt flöde blir detta möjligt. Detta medför dessutom att bräddning undviks i det längsta, om flödesbelastningen minskar innan tunneln är full kan huvudlinjen istället ta den uppdämda mängden. Principen kan utnyttjas ännu längre om magasinering tillåts även i andra delar av tunnelsystemet.

Med detta som bakgrund har två flödessituationer med Actiflo undersökts;

- Som en etappvis utbyggnad med 2 enheter med en kapacitet på $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ vardera, placerade i varsitt sandfång
- Som en enhet dimensionerad för $3 \text{ m}^3/\text{s}$ i ett sandfång.

Ombyggnadsbehov

Eftersom enheterna placeras i gamla avställda sandfång kommer relativt små omställningar krävas i övriga delar av verket. Översiktliga ritningar och processschema redovisas i bilaga I-III.

Fall 1 - $3 \text{ m}^3/\text{s}$

Här byggs sandfånget närmast huvudtunnel T100 om för att hysa en Actiflo med kapaciteten $3 \text{ m}^3/\text{s}$. När bräddning ska utföras kommer $3 \text{ m}^3/\text{s}$ ledas till bräddtunnel FT11 direkt efter silgaller. Befintlig bräddtunnel går förbi sandfånget och endast inloppet måste anpassas. Bräddat vatten leds tillbaka till FT11 och ut till recipient. Den största åtgärden som måste genomföras är utvidgning av det befintliga sandfånget. En yta motsvarande 307 m^2 krävs vilket innebär att ca 2300 m^3 berg måste sprängas ut.

Följande är de planerade åtgärderna;

- Ny kanallucka installeras i FT11 för att leda vatten in till sandfång
- Pumpar till sprinklersystem (i dagsläget placerade under sandfånget) flyttas
- Befintliga betongkonstruktioner rivs i sandfång
- Försiktig bergssprängning av ny berghall (för att inte skada fördelningstunnel i FT21), bergförstärkning och sprutbetong på alla bergytor
- Gjutning, armering, formsättning
- Nytt inlopp till sandfång
- Maskiner och utrustning samt elinstallationer, apparat och styrschåp
- Doseringsutrustning för järn och polymer, befintliga fickor i SA00 används till järnklorid, ny polymerutrustning anläggs vid sandfång.

Fall 2 - $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Skillnaden mot fall 1 blir här att endast 850 m^3 berg måste tas från sidan av de avställda sandfången samt att pumparna till sprinklersystemet kan stå kvar. I övrigt är åtgärderna de samma.

4.1.3 För- och nackdelar

Enheter liknande Actiflo är väl beprövade och kan garantera en väl fungerande avskiljningsgrad. Med den föreslagna placeringen fås en mycket liten inverkan på övriga processdelar vilket är en fördel under bräddningstillfällen då övriga anläggningsdelar redan är hårt ansatta. Enheterna är dessutom fullt automatiserade och kan startas upp automatiskt när bräddning måste påbörjas. I och med att vatten först kommer att magasineras i Lidingötunneln (och eventuellt även andra delar av tunnelsystemet) kan bräddning undvikas i längsta möjligaste mån.

Lamellenheterna behöver manuell rengöring efter 2- 3 bräddningstillfällen, dock är de få och relativt lättillgängliga. Andra undersökta metoder har inneburit att ett mycket stort antal lamellenheter installeras och dessutom används kontinuerligt vilket skulle innebära ett stort underhållsbehov.

Verkningsgraden hos hydrocyklonerna sägs vara ca 99,9 % vilket innebär att en mindre mängd sand smiter från enheten. Efter en viss tids drift måste därför sand fyllas på. Om enheten används ofta kan behovet vara så pass stort att en sandsilo bör byggas. Detta kan dock göras i efterhand om behovet uppstår och kommer inte påverka kostnadsbilden nämnvärt. Det finns också exempel där avskiljningsgraden har varit lägre och mer sand har avgått. Vid mer frekvent drift skulle förlusten då kunna bli betydande.

Mellan bräddningstillfällen måste enheterna vara vattenfyllda för att inte mikrosanden ska kompakteras i bassängerna. För att motverka bildande av svavelväte och luktproblem måste vattnet bytas ut, uppskattningsvis en gång i veckan, vilket innebär ett visst underhåll och tillsyn av en anläggning som står i "stand-by" större delen av tiden.

4.2 Huvudlinjen

För den biologiska reningen har ett stort antal processer undersökts. Efter utvärdering enligt tidigare beskrivna överväganden har fyra processer valts ut för att möta framtida scenarios. Dessa fyra processer är;

1. Kolkälla – För att med relativt enkla åtgärder öka reningsverkets kvävereningskapacitet kan extern kolkälla doseras för efterdenitrifikation.
2. MBBR teknik – Delar av biosteget ställs om till en bärarprocess
3. Avgasning av bioslam – En mycket lovande teknik som ännu inte har slagit igenom i Skandinavien, finns dock på ett 40-tal anläggningar runt om i världen.
4. Förfällning – För att möta skärpta reningskrav för fosfor kan förfällning bli nödvändig i kombination med simultanfällning och efterpolering på sandfilter.

I följande stycken motiveras valet av dessa processer, i stycke 5 och 6 redovisas hur dessa processer kan implementeras på Käppala för fallet med nuvarande krav respektive skärpta krav. Där redovisas också kostnadsbilder för omställningarna.

4.2.1 Kolkälla

Käppala har väl tilltagna volymer och under större delen av året är nitrifikationen fullständig. Begränsande för kvävereningen är istället denitrifikationen. Reduktionsgraden av nitrat är kopplad till denitrifierande mikroorganismers tillväxthastighet. I ekvation 1 visas hur tillväxthastigheten i huvudsak styrs av tre parametrar; kolkälla, syrehalt och nitrathalt.

$$\mu = \mu_{\max} \left[\frac{S}{S + K_S} \right] \left[\frac{K_{DO}}{K_{DO} + DO} \right] \left[\frac{NO_3}{NO_3 + K_{NO_3}} \right] \quad (1)$$

Där

μ = tillväxthastighet hos denitrifierare [g nya celler/(g cell-dygn)]

$\mu_{\max}$ = maximal tillväxthastighet hos denitrifierare [g nya celler/(g cell-dygn)]

S = koncentration av lättillgängligt organiskt material [mg/l]

K_S = konstant för halva mättnadskoncentrationen av lättillgängligt organiskt substrat [mg/l]

K_{DO} = inhiberingskonstant för löst syre [mg/l]

K_{NO_3} = konstant för halva mättnadskoncentrationen av löst nitrat [mg/l]

DO = löst syre [mg/l]

NO_3 = koncentration av löst nitrat [mg/l]

När det gäller syre- och nitrathalt övervakas processen noggrant för att skapa de rätta förutsättningarna, men för kolkällan är situationen en annan. Eftersom den enda tillgängliga kolkällan till fördenitrifikationen på Käppala är innehållet i inkommande vatten finns i dagsläget ingen riktig möjlighet att påverka koncentrationen. Begränsningen av kolkälla är under delar av året mycket påtaglig och tillfälliga utsläpp av t ex melass från Jästfabriken eller glykol från Arlanda flygplats ger ofta en tydlig nedgång i utgående nitrathalter.

Denitrifikationshastigheten är också oftast relativt låg i en fördenitrifikationsprocess, ca 1,4 g NO_3 -N/kg VSS·h vid 12 °C, jämfört med en efterdenitrifikation med externt kol, 3- 5 g NO_3 -N /kg VSS·h.

En möjlig väg att gå för att öka Käppalaverkets kvävereningskapacitet är därför att införa en efterdenitrifikation med tillsats av extern kolkälla. En sådan process kan som första steg implementeras relativt enkelt till den idag befintliga processen. Vid kraftigt ökad belastning och/eller skärpta reningskrav kan en redan byggd doseringsanläggning därefter anpassas till andra processer som t ex MBBR (Se stycke 4.2.2.). Dosering av kolkälla underlättar också användandet av förfällning vilket kan bli en nödvändighet med skärpta krav och ökad belastning (se stycke 4.2.4).

Käppalaförbundet har låtit göra beräkningar av kapaciteten [12] för nuvarande process modifierad med efterdenitrifikation och externt kol för att utreda hur långt man kan nå med en aktivslamprocess. Samma beräkningar utfördes också i kombination med MBBR vilket medför större omställningar men också högre reningskapacitet.

Tre olika typer av kolkälla undersöktes, metanol, etanol samt en produkt benämnd Brentaplust VP1. De två alkoholerna innebär att ett utökat tillstånd för brandfarlig vara måste sökas. Brentaplust VP1 är varken brandfarlig eller giftig och klassas inte som farligt gods och är därför lättare att hantera. Beräkningarna baserades på samma scenarios som i de tidigare inlämnade idéförslagen, d v s 700 000 samt 900 000 p e i kombination med nuvarande eller skärpta reningskrav. Det framgick att den organiska kapaciteten i biosteget utformat som ASP är mer än tillräcklig för att kunna hantera 900 000 p e med skärpta reningskrav. Dock krävs en hög slamhalt i biosteget vilket innebär att andra åtgärder (se stycke 4.2.3) måste genomföras för att inte överbelasta eftersedimenteringarna. I kombination med MBBR blir kapaciteten ännu större och risken att överbelasta eftersedimenteringarna minimeras.

4.2.2 MBBR

MBBR har på senare år blivit allt mer vanligt i kommunala reningsverk. Metoden innebär att bärarmaterial tillsätts till hela biosteget eller till enskilda zoner (IFAS- processer) för tillväxt av biofilm. I och med att biomassan växer på bärarna istället för i suspension krävs kortare hydrauliska uppehållstider och höga slamhalter kan då hållas (hög halt mikroorganismer per bassängvolym). Tack vare detta kan reningskapaciteten i en given volym ökas kraftigt. Vid högflödes- situationer minimeras risken för wash out eller slamflykt till eftersedimenteringar vilket medför att dimensionerade flöden lättare kan hållas. Belastningen på eftersedimenteringen blir även vid normal drift betydligt lägre om en renodlad MBBR process används eftersom inget returslam krävs. Dessutom får tillväxt av filamentbakterier mindre inverkan på processen eftersom dessa sitter fast i biofilmen.

Nackdelar med processen är att biofilmens tjocklek kräver höga syrehalter och extern kolkälla. Membranluftarsystemet i Käppalaverkets aeroba zoner skulle med denna lösning bytas ut till grovblåsiga system. Som en följd krävs då större deoxzoner för att inte få flotation i eftersedimenteringar. MBBR ger också upphov till en högre halt av findispersa flockar som kan leda till igensättning av sandfilter eller förhöjda utgående fosforhalter, en flockning med t ex järnklorid är därför nödvändig innan eftersedimentering. För att hålla bärarmaterialet på plats krävs också silar i slutet av biobassängerna.

Käppalaförbundet har låtit göra beräkningar av kapaciteten [12] för en MBBR process i delar av de gamla linjernas biosteg. Förbrukningstal för kolkälla och syrebehov har här tagits fram tillsammans med nödvändiga investeringskostnader. Studien visade att MBBR är en lämplig lösning för Käppala men medför relativt höga investerings- och driftkostnader. Att behålla ASP i längsta möjligaste mån bör därför eftersträvas.

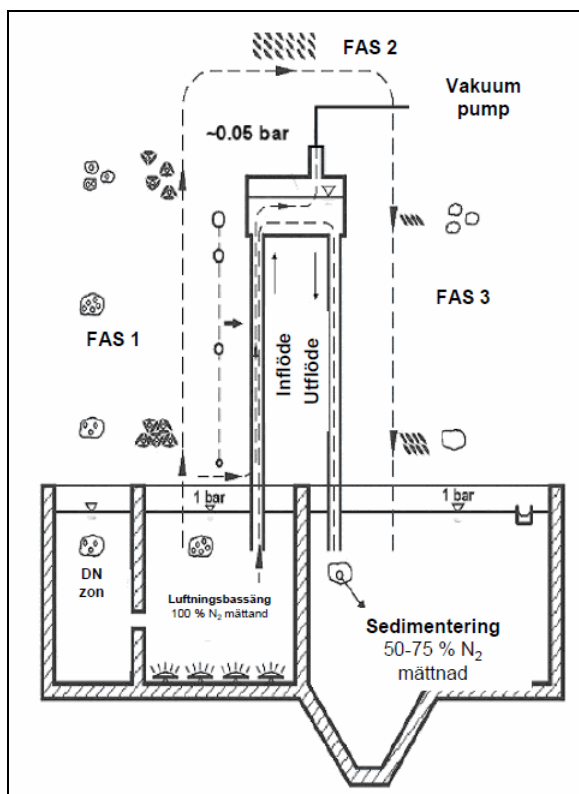
4.2.3 Vakuumbehandling av bioslam

Samtliga idéförslag fastslog att reningskapaciteten kan ökas kraftigt med relativt enkla åtgärder. Genom att öka slamhalten och tillsätta externt kol är reningskapaciteten mer än tillräcklig för att möta även det tuffaste scenariot, åtminstone för kväveavskiljningen. En sådan lösning skulle dock innebära en risk för att eftersedimenteringarna överbelastas med

slamflykt redan vid måttliga flöden. Slammets sedimenteringsegenskaper är därför avgörande för valet av processutformning.

En mycket intressant metod har utvecklats under de senaste 15 åren för att förbättra slamegenskaperna i ett aktivslamsystem, vakuumbehandling av bioslam. Tekniken bygger på att hela vattenströmmen från biosteget utsätts för vakuum innan det leds till eftersedimentering. Den bakomliggande principen är Henry's lag som beskriver gasers löslighet i vatten som funktion av rådande tryck. Ett sänkt tryck sänker lösligheten för gaser i vatten varför dessa då separeras från vattenfasen. Om slam utsätts för ett undertryck frigörs därmed gaser samtidigt som flockar slås sönder. När slammet återigen utsätts för atmosfärstryck skapas nya flockar men med betydligt bättre sedimenteringsegenskaper.

Genom att leda bioslammet via ett avgasningstorn kan på så sätt sedimenteringsegenskaperna förbättras väsentligt. I figur 6 visas en principskiss för metoden.



Figur 6 – Avgasning av bioslam.

Avgasningen sker i tre faser:

1. Fas 1
 - a. Uppehållstid 4- 7 sekunder
 - b. Snabbt tryckfall till ca 0,05 bar
 - c. Mikrobubblor skapas i slamflockarna som sväller 20- 25 ggr
 - d. Partiell sönderdelning av flockarna

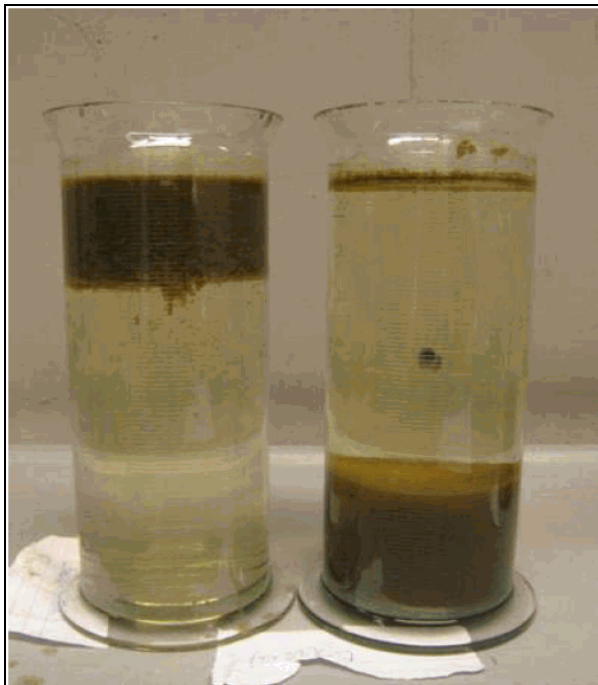
2. Fas 2

- a. Uppehållstid 6- 9 sekunder
- b. Omblandning under lågt tryck, gas evakueras
- c. Kvävgas och koldioxid ventileras från slamflocken
- d. Slamflockar slås sönder

3. Fas 3

- a. Uppehållstid 5- 8 sekunder
- b. Atmosfärstryck infinner sig
- c. Flockar återskapas

Käppalaförbundet har låtit utföra labbförsök med metoden för att undersöka dess effekter [13]. Enligt leverantören av metoden kan sedimenteringsegenskaperna ofta förbättras så mycket att slamytbelastningen till eftersedimenteringarna kan dubblas. Slamhalter kring 6 g MLSS/m³ i biosteget anges som rimliga vilket skulle innebära en ökning av slamytbelastningen från dimensionerade maximala värden på 4,9 och 6,4 kg MLSS/m²·h till hela 7,4 och 9,6 kg MLSS/m²·h för gamla respektive nya delens linjer. Med så höga slamhalter och i kombination med extern kolkälla visar processberäkningar att även 900 000 p e och skärpta reningskrav kan hanteras med en konventionell aktivslamprocess. I figur 7 visas en bild från försöket där bioslam från nya delens linjer utsattes för ett undertryck på 40 mbar. Slamhalten var vid tidpunkten för försöket 3,5 kg MLSS/m³, slammet hade dessutom mycket dåliga sedimenteringsegenskaper med filamentindex 5. Bilden visar situationen ett dygn efter det att avgasning skett. I referensprovet uppstod kraftig flotation till skillnad från det avgasade provet.



Figur 7 – Bioslam utsatt för undertryck, referens till vänster i bilden.

För att uppnå ett tillräckligt undertryck krävs att avgasningstanken befinner sig ca 9,5 m ovan vattenytan vilket innebär att hål på ca 44 m³ måste tas ut ovan varje enhet.

4.2.4 Fosforavskiljning

Fokus för de undersökta processerna har varit kvävereningens kapacitet eftersom denna är mer beroende av de utrymmen som finns tillgängliga. Dock bör det poängteras att vid skärpta krav finns endast mycket små marginaler avseende fosforavskiljningen, 0,1 mg Total-P/L i utgående vatten är svårt att uppnå med nuvarande process.

Vid ett sådant scenario är det osannolikt att den biologiska fosforeringen (bio-P) som idag används i den gamla delens linjer kan behållas. Främst beror detta på den internbelastning som ofta uppstår på våren när uttaget av överskottslam till rötkammarna är stor. I rötkammarnas anaeroba förhållanden sker då ett fosforsläpp som leder till en internbelastning (uppemot 50 % av inkommande fosforbelastning). Även i efter-sedimenteringarna kan anaeroba förhållanden leda till fosforsläpp. Dessutom har processen stundtals varit svårkontrollerad eftersom även denna begränsas av kolkälla, främst i form av flyktiga fettsyror. I nuläget har förhöjda halter av fosfat från dessa linjer kompensats av en ökad dosering på sandfiltren. Men vid kraftiga flöden kan detta innebära att sandfiltrens hydrauliska kapacitet försämras. Denna kapacitetsnedsättning beror på de gel- liknande metallhydroxider som bildas när ett järnsalt tillsätts till vattnet (svepkoagulering). Redan nu finns därför ett incitament för att frångå den biologiska fosforeringen. Under våren 2011 kommer simultanfällning användas i samtliga linjer för att undersöka om sådana effekter kan motverkas i samband med snösmältningen.

Simultanfällningen som idag används fungerar mycket bra. Avskiljningsgrader kring 90 % avseende fosfor är inte ovanligt. Eftersom fällningen utförs simultant i biosteget fås en sänkt slamålder hos bioslammet på grund av det kemslam som bildas. Simultanfällningen kan därför inverka på kvävereningen negativt i och med en lägre slamålder för bioslammet. Normalt består slammet i biosteget till ca 30 % av kemslam. Detta kan givetvis kompenseras av en högre slamhalt men då riskeras överbelastning av eftersedimenteringarna.

En sammanställning av avskiljningsgraden av fosfor i 87 reningsverk i Norden [7], [14] har visat på hur förfällning och/eller efterfällning kan ge betydligt högre avskiljningsgrader än simultanfällning. Åtgärderna för att ställa om processen på Käppala till förfällning är också relativt enkla där sandfånet kan fungera som inblandningszon. Dock krävs en ny doseringsanläggning om trevärda järn- eller aluminiumsalter ska användas.

En nackdel med förfällning är att även BOD reduceras kraftigt och behovet av extern kolkälla ökar. Dessutom kan en långt gången förfällning innebära fosforbrist i biosteget vilket kan påverka slammets kvalitet. Käppalaverket har under årets kalla delar ofta stora problem med slamsvällning och skumning. En av huvudorsakerna till att bräddningsperioden under våren 2010 var så kraftig var just dålig slamkvalitet. Förklaringen ligger till stor del i den processutformning som idag används. I huvudsak uppstår problemen av filamentbildande bakterier och vid dessa bräddgrader av typen *M. Parvicella*. Enligt två vedertagna teorier (*Methabolic Selection Theory* samt *Storage Selection Theory*, [15]) har en konkurrens-situation uppstått mellan flockbildande och filamentbildande mikroorganismer där filamentbildarna har övertaget. Kortfattat säger denna att lågt belastade processer med fördenitrifikation mycket lätt kan utsättas för kraftig tillväxt av filament och leda till dåliga sedimenteringsegenskaper. En kraftig förfällning kan leda till fosforbrist och vilket ytterligare försämrar situationen.

En möjlighet för att undvika detta scenario och ändå nå ner till 0,1 mg Total-P/L är att kombinera förfällning med simultanfällning och efterpolering på sandfiltren. Som tidigare nämnts är det samtidigt viktigt att inte överdosera järn på sandfiltren. Strategin blir enligt nedan;

1. Simultanfällning utförs i biosteg, slamåldern och slamytbelastning på eftersedimentering avgör hur kraftig denna kan vara. Detta blir basen i fosforavskiljningen.
2. Efterpolering på sandfilter. En viss dos blir nödvändig för att nå ner till 0,1 mg total-P/l. Med en simultanfällning som är så kraftig som möjligt enligt punkt 1 hålls dosen vid låga värden.
3. Om dosen av järn på filter ändå är kraftig under längre perioder påbörjas förfällning automatiskt. Denna förfällning är då tillräckligt låg för att inte orsaka fosforbrist i biosteget och syftar till att avlasta efterföljande fällningssteg.

Om en MBBR process blir aktuell så kommer dessa linjer varken använda förfällning eller simultanfällning. Huvudorsaken till detta är för att undvika utfällning av järnsalter på bärarmaterialet. Där används då istället en efterfällning med järnklorid (JKL) i kombination med polering på sandfiltren. Efterfällning med JKL är också nödvändig för att hålla halten av findisperst material nere.

4.3 Slambehandling

4.3.1 Rötkammare

I och med de krav som ställs på gasproduktionen med en uppgraderingsanläggning finns ett klart incitament för att ha en redundans i rötkammarvolymerna. Som redovisat i stycke 3.2.1 finns nu endast små marginaler att spela på och speciellt vid underhåll eller haveri när enkammar drift är nödvändig. Med en ökad belastning på reningsverket kommer situationen bli svårhanterbar om inte rötkammarvolymerna utökas. Om Kemicond processen inte blir godkänd som hygieniseringsmetod finns i dagsläget två andra möjliga alternativ till hygienisering, pastörisering eller termofil rötning. Här skulle då tillkommande rötkammarvolym eventuellt bli termofil. Konfigurationen av rötkammarna är heller inte bestämda i detta läge och möjligheten till samrötning med externt material ska utredas i ett separat projekt under 2011. I ytterliggare ett projekt, BOA+, utreds kostnaderna förknippade med en mottagningsstation för externt material.

I denna förstudie antas det dock att Kemicond blir godkänd och att mesofil rötning kan användas. Käppala har därför låtit utreda möjligheten att anlägga en till mesofil rötkammare om 9000 m³ i berget bredvid de redan befintliga rötkammarna. Ca 4300 m³ berg sprängs då ut för kammaren och 280 m³ måste tas ut för en anslutningstunnel

4.3.2 Slamavvattning

I och med att utlastningen av slam redan idag är en flaskhals i processen (stycke 3.2.2) har ett projekt påbörjats där en ny byggnad för kolvpressarna och slamutlastningen ingår [16]. Byggnaden är tänkt att placeras på gården mot rötkammarna. Genom att placera kolvpressarna ovan slamsilos där utmatningen sker med glidramar finns ingen risk för överlast av transportsystemet. Utmatningen av slammet kommer att ske inomhus till lastbilar för vidare transport. I Bilaga IV-VI visas ritningar från förstudien till projektet (STIL projektet). Här redovisas fem kolvpressar vilket kommer att täcka nödvändig kapacitet upp till ca 700 000 p e. Utrymme finns därefter för en sjätte press vilket ökar kapaciteten till 900 000 p e. Beslut har redan tagits om att under 2011 påbörja arbetet med denna lösning med fem pressar. Investeringskostnaden för den nya slamavvattningen har redan budgeterats och kommer därför inte tas med i denna förstudie. Dock kommer ökade driftkostnader och ytterligare utbyggnad till 900 000 p e att inkluderas.

5 Åtgärder, tidplan och kostnadsbild

I stycke 4 motiveras de olika teknikvalen, i följande stycke redovisas förslag på när åtgärder kan komma att krävas tillsammans med en kostnadsbild. I ett senare skede bör ett antal delprojekt genomföras för en mer detaljerad bild.

Eftersom skärpa reningskrav är att vänta, men tidpunkten för dessa fortfarande är okänd, kommer två separata fall att presenteras (stycke 5.1 och 5.2); ett med nuvarande krav och ett med skärpta krav. Varje fall baseras på tre milstolpar; innan 700 000 p e, vid 700 000 p e samt vid 900 000 p e. När detta sker i tid beror på när och om fler kommuner ansluts.

Varje milstolpe kommer dessutom ha två tekniklösningar. Förstahandsval kommer att vara den kostnadseffektiva vakuumtekniken. Om denna teknik inte fungerar som önskat kommer andrahandsvalet vara en MBBR process i vissa linjer. Försättningsvis kommer linje 1-6 kallas för "gamla delen" och linje 7-11 för "nya delen".

I tabell 2 visas de förutsättningar som antas gälla vid de två milstolparna 700 000 och 900 000 p e.

Tabell 2 – Belastning och flöden vid 700 000 respektive 900 000 p e

Parameter	700 000 p e	900 000 p e
Medelflöde (m^3/s) ²⁾	2,6	3,4
Maximalt dygnsflöde (m^3/s)	6,0	7,8
Momentant maxflöde (m^3/s)	7,0	9,0
Belastning BOD ₇ (kg/d)	49 000	63 000
Belastning Total-P (kg/d)	1 050	1 350
Belastning Total-N (kg/d)	8 400	10 800

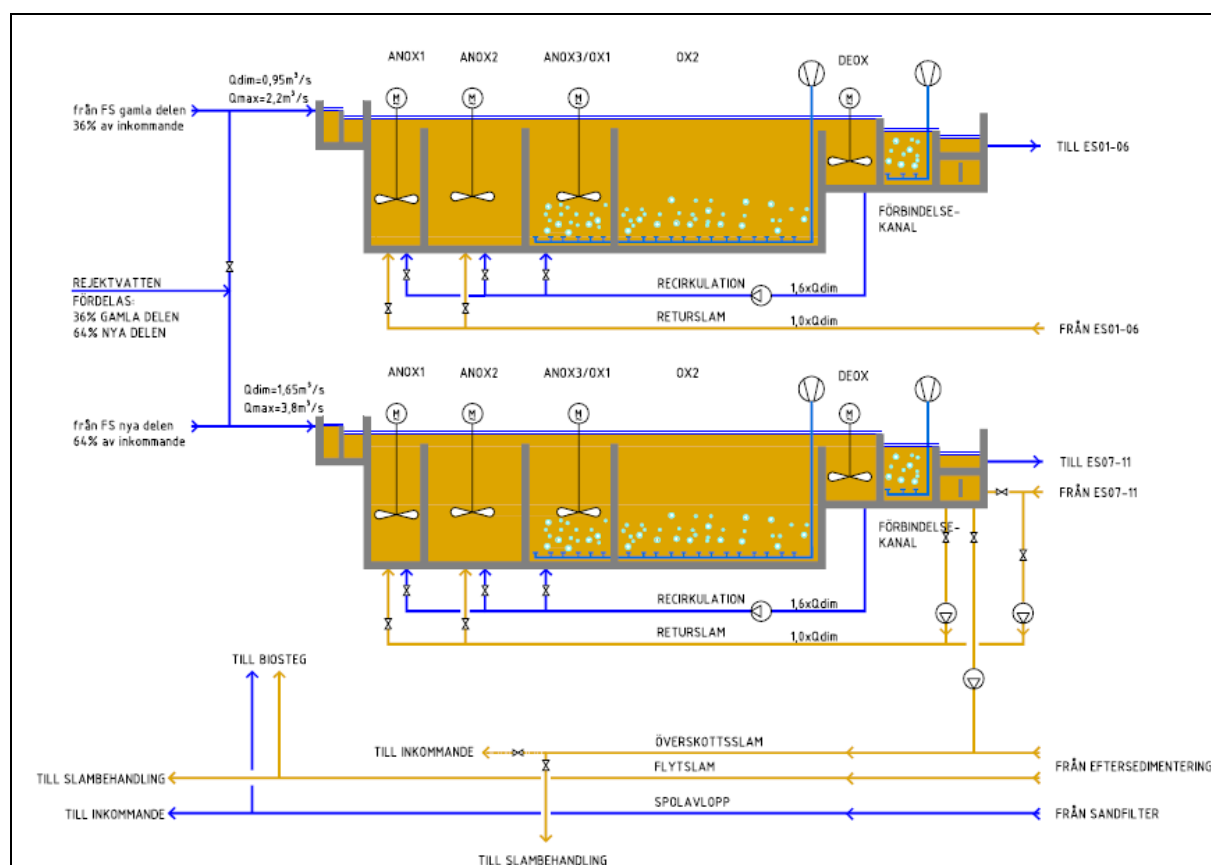
²⁾ Från WSP's rapport [3].

5.1 Fall 1 - Nuvarande reningskrav

5.1.1 Milstolpe 1 - Nuvarande belastning upp till 700 000 p e

Den biologiska reningen kan i dagsläget hantera en ökad belastning utan större omställningar i processutformningen. Faktum är att beräkningar visar att reningskapaciteten är tillräcklig upp till 700 000 p e med endast små omställningar och med hanterbara slamhalter (maximalt 3,0 och 3,5 g MLSS/L i gamla respektive nya delens biobassänger). Den i dagsläget använda bio-P processen måste dock frångås och de anaeroba zonerna måste ställas om till anoxiska zoner både i gamla och nya delens linjer. De oxiska zonerna i gamla delens linjer måste också kompletteras med fler luftare. Fosforavskiljning utförs istället via simultanfällning med järnsulfat i samtliga linjer. I figur 8 visas zonindelningen för samtliga linjer.

Med dessa slamhalter förutsätts dock ideala driftförhållanden och genomsnittliga flöden. Ingen hänsyn tas då till dåliga sedimenteringsegenskaper eller höga flöden. Erfarenhetsmässigt finns en oro för att denna processutformning kan leda till slamflykt från eftersedimenteringarna och igensättning av sandfiltren under årets kallare delar. Sandfiltren har dessutom uppvisat en successiv försämring under de senaste åren vilket tros vara kopplat till beläggningar av järnhydroxid från efterpoleringen. Ett separat projekt kommer att utföras parallellt med Käppala 2020 där sandfiltrens nominella kapacitet säkerställs.



Figur 8 – omställning av biosteget innan 700 000 p e.

Allt eftersom belastningen närmar sig 700 000 p e kommer risken för slamflykt vid höga flöden att öka om inte sedimenteringsegenskaperna förbättras. Ett antal åtgärder bör därför genomföras relativt snart för att motverka problemen.

En relativt enkel åtgärd som ska utföras för att förbättra eftersedimenteringarnas kapacitet, är installation av dämpskärmar eller bafflar. Detta kan motverka densitetsströmmar vid höga flöden och att slamflykt uppstår.

Men hjälp av vakuumbehandlingen (stycke 4.2.3) kan slammets sedimenteringsegenskaper förbättras väsentligt. Förutsättningen är givetvis att tekniken fungerar som utlovat vilket måste testas i full skala i ett bioblock. Detta bör göras så snart som möjligt för att beslut om fortsatt arbete ska kunna tas. Om tekniken inte presterar som lovat föreslås att ett fullskaleförsök för rening med MBBR istället påbörjas. Med en MBBR process kommer också extern kolkälla vara nödvändig. Även om aktivslamprocessen och vakuumtekniken fungerar som utlovat kan dock extern kolkälla bli aktuell eftersom detta medför lägre slamhalter i biobassängerna och därmed lägre belastning på eftersedimenteringarna. Försök med kolkälla bör således påbörjas oavsett vilken teknik som väljs (vakuumteknik eller MBBR). En försöksanläggning anläggs därför för dosering till BB11 i kombination med vakuumtekniken. Om MBBR blir aktuell kan denna anläggning sen kopplas samman till de bassänger där MBBR nyttjas.

Vid 700 000 p e förväntas momentana flöden upp till $7 \text{ m}^3/\text{s}$ vilket innebär att bräddning måste utföras oftare. Redan i dagsläget har situationer uppstått där stora mängder vatten bräddats. Bräddvattenrening bör därför ha implementerats långt innan 700 000 p e är uppnådd. I stycke 4.1 redovisas två fall för bräddvattenreningen med Activflo, ett med två mindre enheter som hanterar $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ vardera och ett med en större enhet som kan hantera $3 \text{ m}^3/\text{s}$. Visserligen kan andra fabrikat bli aktuella men de framtagna kostnaderna antas ändå vara representativa i detta skede. Investeringskostnaden för två mindre enheter blir betydligt dyrare än att direkt installera en stor enhet och underhållsbehovet ökar i och med fler maskindelar. Ett motiv för att installera två små enheter skulle vara att sprida kostnaderna över tid men detta kan inte anses vara kostnadseffektivt eftersom behovet med säkerhet kommer i framtiden. En stor enhet innebär dessutom att två sandfång fortfarande finns kvar och eventuellt kan användas till andra framtida processer (t.ex läkemedelsrening). I detta förslag ingår därför en stor enhet istället för två små. I och med en väl fungerande bräddvattenrening antas att vakuumtekniken inte blir nödvändig i samtliga block förrän vid 700 000 p e.

Sandfångens inlopp ska i samband med byggandet av bräddvattenreningen öppnas upp för att säkerställa flöden på $6 \text{ m}^3/\text{s}$ genom huvudlinjen.

För att kunna upprätthålla en hög gasproduktion i alla lägen och inte riskera överbelastning allt eftersom belastningen stiger krävs att en tredje rötkammare om 9000 m^3 anläggs redan innan 700 000 p e är uppnått, eftersom kemicond förutsätts vara godkänd för hygienisering antas rötkammaren vara mesofil. Möjligheten till samrötning med externt material samt rötkammarens placering kommer att utredas i ett separat projekt som påbörjas under våren 2011.

För slamavvattningen antas att den nya utlastningen (stycke 4.3.2) har tagits i drift långt innan 700 000 p e är uppnått. Här används endast fyra Bucherpressar vilket är i underkant när belastningen närmar sig 700 000 p e. Med den nya utlastningen kommer dock pressarnas kapacitet att öka med 10- 20 % tack vare att utlastningen inte längre begränsar pressarnas tömningstid. Det antas därför att ingen ny press behövs innan 700 000 p e är uppnått. Investeringskostnaden för den nya slamutlastningen inkluderas inte i denna rapport.

Nedan sammanfattas de föreslagna åtgärderna som bör genomföras innan 700 000 p e är uppnått, följt av en kostnadsbild. För mer detaljerade uppgifter om åtgärderna se [1], [2], [3], [12], [13], [18].

- Omställning av anaeroba zoner till anoxiska samt komplettering av luftarsystem i oxisk zon i gamla delens linjer.
- Slamhalter som mest 3,0 respektive 3,5 g MLSS/L i nya respektive gamla delen.
- Simultanfällning implementeras till samtliga linjer.
- Försöksanläggning för avgasningstorn installeras i BB11.
- Försöksanläggning för kolkälla installeras i BB11.
- Dämpskärmar installeras i ES01 och ES11 som försök. Om det faller väl ut modifieras samtliga eftersedimenteringar.
- Om vakuumteknik inte fungerar som önskat påbörjas förstudie med MBBR. Därefter ställs BB01 om till en MBBR process som fullskaleförsök. Den redan anlagda försöksanläggningen för kolkälla kopplas samman med linjen.
- Bräddvattenrening för 3 m³/s anläggs i avställt sandfång, inlopp till sandfång öppnas upp.
- Ny röt-kammare om 9000 m³ anläggs, 4300 m³ berg tas ut, ny anslutningstunnel från redan befintlig kommunikationstunnel anläggs.

I tabell 3 redovisas bedömda investeringskostnader för omställningarna. Ökade drift och underhållskostnader redovisas inte för denna milstolpe eftersom den inte berör en given belastning utan istället situationen från nuvarande belastning upp till 700 000 p e.

Tabell 3 - Investeringskostnader för nödvändiga åtgärder innan 700 000 p e med nuvarande krav.

Processdel	Investeringskostnad (kkkr)
Omställning av zoner i biosteg samt dämpskärmar i eftersedimenteringar	
Process och maskin	4 500
Bygg	2 100
Elutrustning	500
Oförutsedda kostnader	1 800
Projektering och genomförande	1 600
Summa	10 500
Bräddvattenrening (Actiflo)	
Rivning samt sprängning och förstärkning	6 400

Betongkonstruktioner	4 500
Maskinutrustning	8 900
Instrument och styr	800
Montage för maskin och el	2 400
Allmän el	650
Ventilation	300
VVS installation	150
Flödesmätare, ombyggnad för koagulant	250
Design, projektering, upphandling, byggledning, drifttagning, intrimning	5 000
Oförutsedda kostnader	2 440
Summa	31 800
Ökad rötkammarvolym	
Maskinutrustning	12 125
El och automation	2 925
Bygg	16 300
Projektering och byggledning	4 702
Oförutsedda kostnader	3 135
Summa	39 200
Försöksanläggning för avgasningstorn	
Avgasningsanläggning	1 500
Montage	375
Sprängning för hål	110
El och automation	20
Intransport berg, utvändigt upplag	60
Projektering, byggledning etc.	41
Oförutsedda kostnader	207
Summa	2 300
Försöksanläggning kolkälla	
Process och maskin	1 000
Bygg	1 300
Elutrustning	500
Oförutsedda kostnader	700
Projektering och genomförande	600
Summa	4 100
Försöksanläggning MBBR	
Process och maskin	28 500
Bygg	1 700
Elutrustning	1 200
Oförutsedda kostnader	7 800
Projektering och genomförande	7 200
Summa	46 400

Inlopp sandfång	Uppskattat till 500
Summa investeringar	88 400 (134 800)³⁾

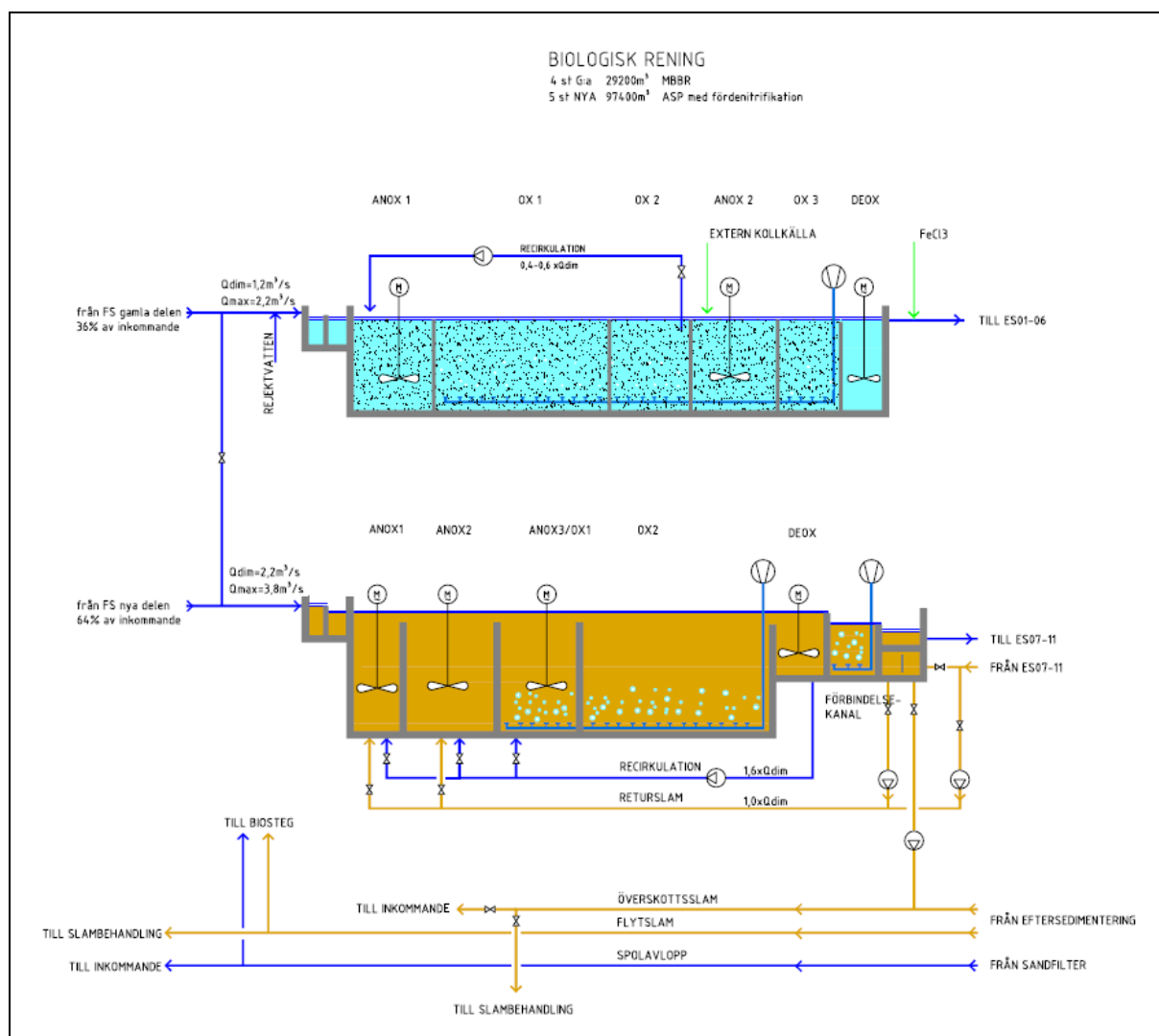
³⁾ Endast om vakuumteknik inte fungerar som önskat.

5.1.2 Milstolpe 2 - Belastning motsvarande 700 000 p e

När belastningen har uppnått 700 000 p e kommer flöden över 5 m³/s vara relativt vanligt förekommande. En långt gående bräddvattenrening ska då vara implementerad. Om försöket med avgasning har fallit väl ut installeras torn i samtliga bassänger. I och med detta kan den nödvändiga slamhalten på 3,0 och 3,5 g MLSS/L i nya respektive gamla delen hållas utan att eftersedimenteringarna överbelastas vid höga flöden. Blåsmaskinerna i gamla delens linjer måste stärkas med ytterliggare en maskin på 17 000 m³/h. Simultanfällning nyttjas fortfarande i samtliga linjer i kombination med efterpolering på sandfiltren.

Om vakuumtekniken inte har gett de resultat som utlovats påbörjas istället ombyggnad av ytterligare 3 linjer i gamla delen till en MBBR process. Med en optimal fyllnadsgrad av bärarmaterial på 37- 42 % behöver endast två till biobassänger ställas om till en MBBR process. Dock kommer fyra linjer (tre linjer till) krävas när belastningen har nått upp till 900 000 p e. Det är därför mer kostnadseffektivt att direkt anlägga fyra linjer och istället hålla en lägre fyllnadsgrad till en början. Med en MBBR process krävs också kolkälla och ett grovblåst luftarsystem samt att järnklorid doseras innan eftersedimentering för att motverka höga halter av findispersa flockar till sandfiltren och för att hålla utgående fosfat låg. Simultanfällning tillämpas då endast i nya delens linjer där aktivslamprocessen fortfarande används. Här krävs ingen omställning av zoner och processberäkningar visar att extern kolkälla inte blir nödvändig, slamhalten kan hållas vid en acceptabel nivå på 3,0 kg MLSS/m³. Dock måste en till blåsmaskin med en kapacitet på 10 000 m³/h installeras. Eftersom endast 4 linjer används i gamla delens linjer kan en framtida läkemedelsrening rymmas i en av de avställda linjerna. I figur 9 visas processutformningen för denna lösning. Den tidigare omställningen av de anaeroba zonerna till anoxiska zoner (stycke 5.1.1.) ska bibehållas.

En tredje rötkammare är redan tagen i drift och volymen på 9000 m³ kommer krävas för rötning av slam, om externt slam skall emotes måste behovet av ytterliggare volymer övervägas samt belastningen på slamavvattningen. Den ökade slammängden medför att slamavvattningsens fyra Bucherpressar inte räcker till och en femte maskin installeras.



Figur 9 – Omställning av biosteget för en MBBR process vid 700 000 p e och nuvarande krav.

Nedan sammanfattas de föreslagna åtgärderna som bör genomföras när 700 000 p e är uppnått, följt av en kostnadsbild. För detaljerade uppgifter se ref [1],[16], [18].

- Slamhalter kring 3,0 och 3,5 g MLSS/L i nya respektive gamla delen, ytterligare luftarkapacitet krävs och en blåsmaskin à 17 000 m³/h installeras.
- Vakuumteknik installeras i samtliga biobassänger.
- Om vakuumteknik ej fungerar som önskat ställs ytterligare 3 linjer om till MBBR. Nytt luftarsystem, omrörare och omläggning av zoner krävs samt efterdenitrifikation med extern kolkälla. Järnklorid doseras till eftersedimenteringar för att minska halten av findispersa flockar och fosfat.
- En femte Bucherpress installeras i slamavvattningen.

I tabell 4 redovisas bedömda investeringskostnader för omställningarna för fallet då vakuumteknik används. Tabell 5 visar fallet med MBBR.

Tabell 4 – Investeringskostnader för nödvändiga åtgärder vid 700 000 p e med ASP och vakuumteknik med nuvarande krav.

Processdel	Investeringskostnad (kkkr)
Avgasningstorn i biobassänger	
Avgasningsanläggning	24 000
Montage	6 000
Sprängning för hål	1 760
El och automation	400
Intransport berg, utvändigt upplag	965
Entreprenadsamordning	1 988
Projektering, byggledning etc.	8 077
Oförutsedda kostnader	3 313
Summa	46 500
Extra luftningskapacitet BB01-06	
Process och maskin	16 000
Bygg	500
Ventilation	(10 000)
Elutrustning	3 400
Oförutsedda kostnader	7 500
Projektering och genomförande	6 800
Summa	34 200 (44 200)⁴
Bucherpress #5	
Maskin	4 200
El och automation	250
Montage	250
Projektering	50
Oförutsedda kostnader	470
Summa	5 220
Summa investeringar	85 900 (95 900)⁴

Tabell 5 - Investeringskostnader för nödvändiga åtgärder vid 700 000 p e med MBBR och nuvarande krav.

Processdel	Investeringskostnad (kkkr)
Omställning till MBBR i tre linjer	
Process och maskin	75 000
Bygg	3 400
Ventilation	-
Elutrustning	3 600
Oförutsedda kostnader	20 500
Projektering och genomförande	19 000
Summa	121 500

Extra luftningskapacitet BB07-11	
Process och maskin	7 500
Bygg	500
Ventilation	10 000 ⁴
Elutrustning	1 500
Oförutsedda kostnader	4 900
Projektering och genomförande	4 500
Summa	18 900 (28 900)⁴
Bucherpress #5	
Maskin	4 200
El och automation	250
Montage	250
Projektering	50
Oförutsedda kostnader	470
Summa	5 220
Summa investeringar	145 600 (155 600)⁴

⁴⁾ Antaget att befintlig installation inte kan hantera de erforderliga luftflödena.

Drift och underhållskostnader redovisas som särkostnader för de två olika förslagen i tabell 6 och 7. För fallet med MBBR redovisas endast etanol som kolkälla. Metanol och den icke-brandfarliga VP1 har utelämnats. Etanol är att föredra framför metanol och VP1 dels för att den innebär lägre driftkostnader med också för att denna kolkälla kan doseras vid behov. Mikroorganismerna behöver tid för att vänja sig vid metanol och doseringen måste därför vara mer kontinuerlig. Siffrorna som redovisas är särkostnader. Här bör poängteras att priset för etanol kan variera kraftigt och därmed också driftkostnaderna.

Tabell 6 – Drift- och underhållskostnader för en aktivslamprocess med vakuumteknik vid 700 000 p e och nuvarande krav.

Post	Kostnad (kkr/år)
Elförbrukning	10 790
Underhåll maskin	1450
Bräddvattenrening	270 ⁵⁾
Totalt	12 500

Tabell 7 – Drift- och underhållskostnader för en MBBR process vid 700 000 p e och nuvarande krav.

Post	Kostnad (kkr/år)
Elförbrukning	11 330
Underhåll maskin	1 600
Kolkälla (etanol)	6 200
Fällningskemikalier	1 600
Bräddvattenrening	270 ⁵⁾
Totalt	21 000

⁵⁾ Årskostnad baserat på att 10⁶ m³/år bräddas.

5.1.3 Milstolpe 3 – Belastning motsvarande 900 000 p e

När belastningen uppgår till 900 000 ställs stora krav på processen. Inkommande flöde beräknas ligga vid 3,4 m³/s som medel och dygnsmedelflöden på 7,8 m³/s kan uppstå. En väl fungerande bräddvattenrening är därmed nödvändig. Höga krav ställs också på biosteget och slammets egenskaper.

Processberäkningar visar att biostegets kapacitet är tillräcklig för att kunna hantera denna belastning med en fördenitrifikation och utan kolkälla. Dock krävs slamhalter på 4,0 och 4,5 g MLSS/L i nya respektive gamla delens linjer. Detta förutsätter således att vakuumtekniken fungerar som utlovat för att inte överbelasta eftersedimenteringarna. De redan utförda omställningarna i de anaeroba zonerna lämnas orörda (stycke 5.1.1) och simultanfällning används fortfarande för fosforavskiljning. Utformningen som redovisas i figur 8 gäller således fortfarande. Ett nytt luftningssystem kommer dock att krävas till gamla delens linjer.

Om vakuumtekniken inte har fungerat så är gamla delens linjer redan omställda till en MBBR process. Vissa omställningar krävs dock för att kunna hantera en ökad belastning. Detta innebär i princip ökad fyllnadsgrad av bärarmaterialet och förstärkning av luftningssystemet med en kapacitet på 17 000 m³/h till gamla delen och 10 000 m³/h till nya delen. Processutformningen är därför samma som i figur 9.

Den tredje rötkammarens hela volym krävs nu för att röta primär- och bioslam. Om externt material rötas krävs ytterliggare rötkammarvolym. De ökade slammängderna medför att mer kapacitet krävs i slamavvattningen. En sjätte Bucherpress och tillhörande slamsilo måste därmed anläggas. I förstudien till den nya slamutlastningen [16] finns två alternativa placeringar av slamavvattningen. I denna rapport antas "Alternativ 1" gälla, d v s att byggnaden placeras på innergården. Nedan sammanfattas de föreslagna åtgärderna som bör genomföras när 900 000 p e är uppnått, följt av en kostnadsbild. För mer detaljerade uppgifter se [16], [18].

- Maximala slamhalter vid 4,0 och 4,5 g MLSS/L i nya respektive gamla delen med vakuumteknik, nytt luftarsystem installeras.
- Om vakuumteknik ej fungerar som utlovat har processen redan ställts om till MBBR i fyra linjer. Mer bärarmaterial krävs då i dessa linjer samt ökad luftningskapacitet i samtliga linjer.
- Slamavvattningen byggs ut med ytterliggare en Bucherpress och tillhörande silos.

I tabell 8 redovisas bedömda investeringskostnader för omställningarna för fallet då vakuumteknik används. I tabell 9 visas fallet med MBBR.

Tabell 8 – Investeringskostnader för nödvändiga åtgärder vid 900 000 p e med en aktivslamprocess och vakuumteknik med nuvarande krav.

Processdel	Investeringskostnad (kkkr)
Ökad luftningskapacitet BB01-06	
Process och maskin	40 000
Bygg	500
Elutrustning	2 800
Oförutsedda kostnader	10 800
Projektering och genomförande	9 900
Summa	64 000
Bucherpress #6 och slamsilo	
Bygg	4 836
Elutrustning	2 092
Maskin	10 461
Styr och regler	1 569
Oförutsedda kostnader	2 589
Projektering och genomförande	4 457
Summa	26 000
Summa investeringar	90 000

Tabell 9 – Investeringskostnader för nödvändiga åtgärder vid 900 000 p e med MBBR och nuvarande krav.

Processdel	Investeringskostnad (kkkr)
Bucherpress #6 och slamsilos	
Bygg	4 836
Elutrustning	2 092
Maskin	10 461
Styr och regler	1 569
Oförutsedda kostnader	2 589
Projektering och genomförande	4 457
Summa	26 000
Bärarmaterial och luftningskapacitet	
Process och maskin	18 000
Bygg	300
Elutrustning	1 900
Oförutsedda kostnader	5 000
Projektering och genomförande	4 600
Summa	29 800

Ökad luftningskapacitet BB07-11	
Process och maskin	24 000
Bygg	500
Elutrustning	2 500
Oförutsedda kostnader	6 700
Projektering och genomföring	6 200
Summa	39 900
Summa investeringar	95 700

Drift och underhållskostnader redovisas för de två olika förslagen i tabell 10 och 11. Endast etanol redovisas som kolkälla i fallet med MBBR. Etanol är att föredra framför metanol och VP1 p g a lägre driftkostnader men också för att etanol kan doseras vid behov. Mikroorganismerna behöver tid för att vänja sig vid metanol och doseringen måste därför vara mer kontinuerlig. Siffrorna som redovisas är särkostnader.

Tabell 10 – Drift- och underhållskostnader för en aktivslamprocess med vakuumteknik vid 900 000 p e och nuvarande krav.

Post	Kostnad (kkkr/år)
Elförbrukning	24 400
Underhåll maskin	2 250
Bräddvattenrening	540 ⁶⁾
Totalt	26 700

Tabell 11 – Drift- och underhållskostnader för en MBBR process vid 900 000 p e och nuvarande krav.

Post	Kostnad (kkkr/år)
Elförbrukning	23 900
Underhåll maskin	900
Kolkälla (etanol)	7 800
Fällningskemikalier	2 100
Bräddvattenrening	540 ⁶⁾
Totalt	35 200

⁶⁾ Årskostnad baserat på att $2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}$ bräddas.

5.2 Fall 2 – Skärpta reningskrav

5.2.1 Milstolpe 1 – Nuvarande belastning upp till 700 000 p e

Grundprincipen för de omställningar som redovisas i stycke 5.1 kommer att gälla även om nya reningskrav kommer. Det vill säga, om vakuumtekniken fungerar så är den att föredra, annars ställs vissa linjer om till en MBBR process. När det gäller fosforreningen krävs sannolikt andra lösningar än en renodlad simultanfällning. I dagsläget är fosfathalten i utgående vatten från eftersedimenteringarna ofta lägre än 0,4 mg/L. Via sandfiltren avskiljs sedan fosfat och suspenderad substans tillräckligt effektivt för att som årsmedelvärde ligga under 0,2 mg total-P/L. Om belastningen ökar och nya krav ställs är det dock osannolikt att

denna lösning är tillräcklig. Genom att öka doseringen till simultanfällningen kan visserligen lägre utgående fosforhalter uppnås, men eftersom mängden kemsam då ökar kan det resultera i otillräckliga slamåldrar för att samtidigt kunna hantera ett kvävereningskrav på 5 mg total-N/L. Dessutom innebär en ökad slammängd i biosteget att eftersedimenteringarna belastas hårdare, något som om möjligt bör undvikas för att motverka slamflykt till sandfiltren.

Samtidigt kan en väl fungerande vakuumteknik innebära att denna effekt motverkas eftersom slamhalterna (och därmed även slamåldern) kan ökas kraftigt utan att riskera slamflykt. I och med detta skulle simultanfällningen kunna drivas betydligt längre än idag. En relativt enkel åtgärd som också bör utföras för att förbättra eftersedimenteringarnas kapacitet, oavsett MBBR eller vakuumteknik, är installation av dämpskärmar eller bafflar. Detta kan motverka densitetsströmmar vid höga flöden och att slamflykt uppstår.

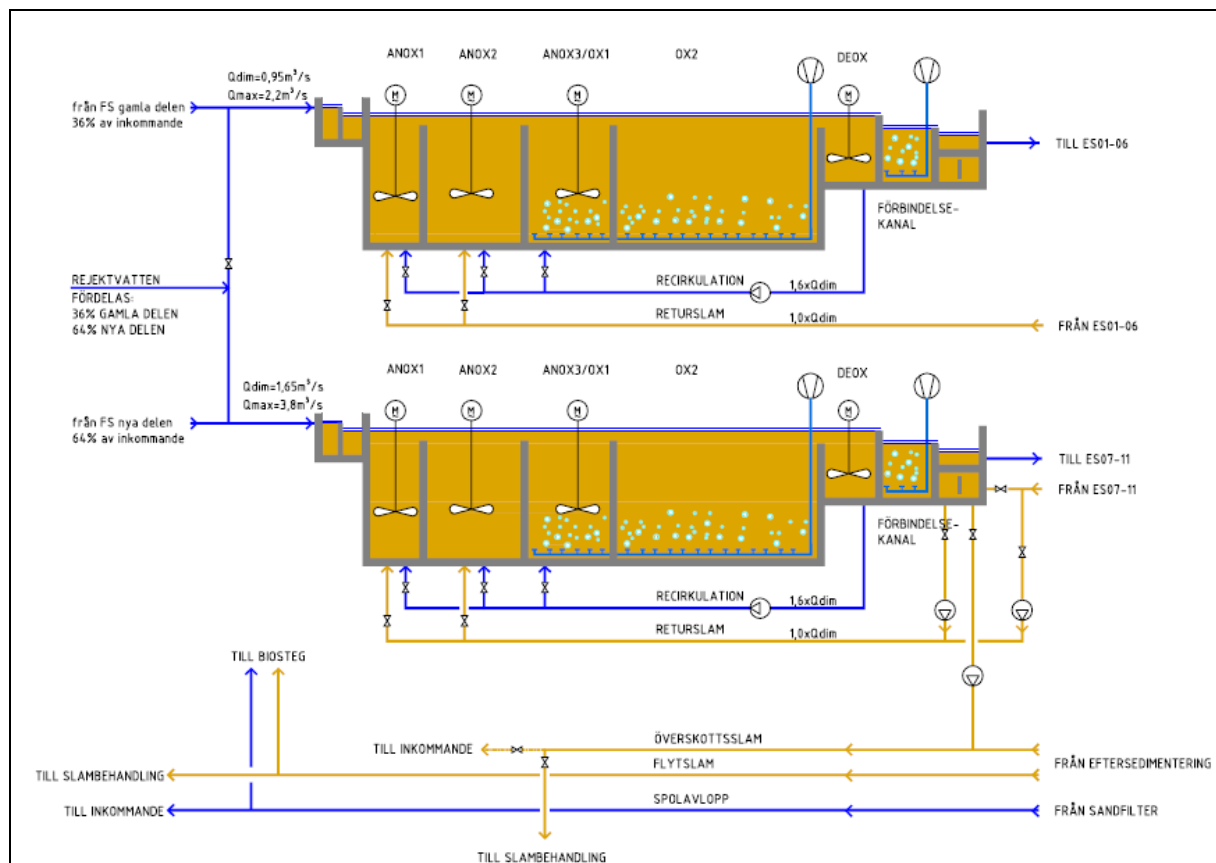
Ett alternativ till simultanfällning kan också vara förfällning. Försök på Käppala [17] visar på en avskiljningsgrad på över 95 % vid kraftig dosering av järnklorid och anjonisk polymer. Här skulle också problematiken med överbelastade eftersedimenteringar minimeras. Trots detta anses inte förfällning vara hela lösningen. Med en kraftig dosering riskeras nämligen fosforbrist med försämrad nitrifikation och tillväxt av filament som följd. Behovet av extern kolkälla ökar också med en sådan lösning.

En rimlig väg att gå kan därför vara att kombinera förfällning med simultanfällning och efterpolering. Här kan då fosforhalten ut från försedimenteringarna hållas kring nivåer över 1 mg/L vilket ofta anges som en undre gräns för att undvika fosforbrist. Resterande fosfor avskiljs därefter via biologisk assimilation och simultanfällning. För att säkerställa utgående värden nyttjas också den redan idag använda efterpoleringen på sandfiltren. Strategin skulle därmed vara att först utnyttja simultanfällningen så långt som möjligt. Därefter polera med tvåvärd järnsulfat på sandfiltren och om det inte räcker till, påbörja en förfällning med trevärd järnklorid.

Processberäkningar visar att dagens volymer räcker till för att kunna hantera skärpta reningskrav med en aktivslamprocess. Dock krävs ännu högre slamhalter jämfört med fallen med nuvarande krav och vakuumtekniken måste därmed implementeras relativt snart. Ett första steg är att testa tekniken i ett bioblock i full skala. Om tekniken inte fungerar som utlovat påbörjas istället direkt en förstudie för en MBBR process. Oavsett om vakuumtekniken eller en MBBR process blir aktuell så måste extern kolkälla nyttjas för att nå ned till 5 mg total-N/L och pilotförsök utförs därför också med efterdenitrifikation.

För fosforreningen krävs vissa omställningar för att kunna nyttja trevärda järnsalter till förfällningen. Aluminiumsalter anses inte vara ett alternativ så länge som Kemicond används till slutavvattnings. Aluminium stör redox- reaktionerna i den kemiska behandlingen och har visat sig leda till en väsentlig försämring av pressarnas kapacitet.

Eftersom biologisk fosforrening inte är ett rimligt alternativ kommer de anaeroba zonerna ställas om till anoxiska zoner i samtliga bassänger. I figur 10 visas en schematisk bild över denna omställning med nuvarande aktivslamprocess.



Figur 10 – Omställning av biosteget innan 700 000 p e vid skärpta krav.

I och med fosforkravet krävs också att inget vatten tillåts att brädda orenat. En effektiv bräddvattenrening måste därför ha implementerats innan skärpta krav träder i kraft. Sandfångens inlopp ska i samband med byggandet av bräddvattenreningen öppnas upp för att säkerställa flöden på $6 \text{ m}^3/\text{s}$ genom huvudlinjen.

Nya reningskrav kommer inte att inverka nämnvärt på rötningen. Här krävs oavsett reningskrav en utökad kapacitet innan 700 000 p e nås om en hög gasproduktion ska kunna upprätthållas i alla lägen. En utökad rötkammarvolym på 9000 m^3 bör därför ha tagits i drift innan 700 000 p e. Det antas att Kemicond är godkänd som hygieniseringsmetod och att mesofil rötning utförs i samtliga rötkammare.

Den nya byggnaden för slamavvattningen (stycke 4.3.2) har tagits i drift långt innan 700 000 p e är uppnått. Med endast fyra Bucherpressar kommer kapaciteten vara något i underkant men det antas att dessa räcker upp till 700 000 p e. Främst tack vare det faktum att varje press får en kapacitetsökning på 10-20 % i och med den nya utlastningen (silos). Investeringskostnaden för den nya slamutlastningen inkluderas inte i denna rapport.

Nedan sammanfattas kortfattat vilka försök och åtgärder som måste genomföras innan belastningen har uppnått 700 000 p e. Det har antagits att införande av skärpta reningskrav inte kommer att ske innan 700 000 p e och att det finns ett utrymme för utvärdering av nya processer. Om skärpta reningskrav införs tidigare kommer de åtgärder som presenteras för milstolpe 2 (stycke 5.2.2) istället att behöva utföras.

- Omställning av anaeroba zoner till anoxiska. Om vakuumteknik fungerar som utlovat kommer också luftarsystemet i första oxiska zonen i gamla delens linjer modifieras.
- Försök påbörjas med förfällning i kombination med simultanfällning, ny doseringsanläggning krävs för dosering av JKL.
- Försöksanläggning för avgasningstorn installeras i BB11.
- Försöksanläggning för kolkälla installeras i BB11.
- Om vakuumteknik ej fungerar som önskat påbörjas fullskaleförsök med MBBR.
- Dämpskärmar installeras i ES01 och ES11 som försök. Om det faller väl ut modifieras samtliga eftersedimenteringar.
- Bräddvattenrening för 3 m³/s installeras i gammalt sandfång, inlopp till befintliga sandfång öppnas upp.
- Ny rötkammare om 9000 m³ anläggs, 4300 m³ berg tas ut, ny anslutningstunnel från redan befintlig kommunikationstunnel anläggs.

I tabell 12 redovisas bedömda investeringskostnader för omställningarna. Ökade drift och underhållskostnader redovisas inte för denna milstolpe eftersom den inte berör en given belastning utan istället situationen från nuvarande belastning upp till 700 000 p e.

Tabell 12 – Investeringskostnader för nödvändiga åtgärder innan 700 000 p e med skärpta krav.

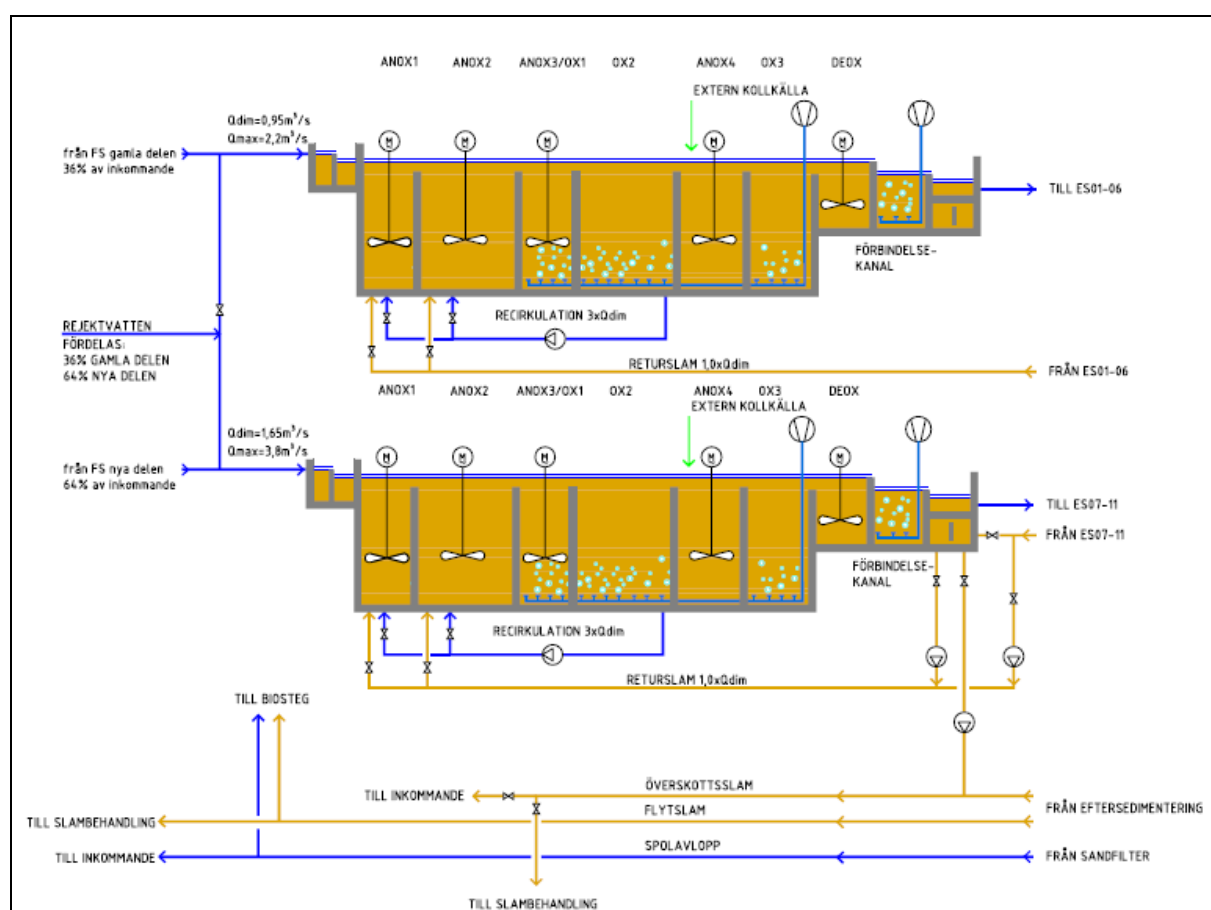
Processdel	Investeringskostnad (kkr)
Omställning av zoner i biosteg samt dämpskärmar i eftersedimenteringar	
Process och maskin	4 500
Bygg	2 400
Elutrustning	500
Oförutsedda kostnader	1 900
Projektering och genomförande	1 700
Summa	11 000
Bräddvattenrening (Actiflo)	
Rivning samt sprängning och förstärkning	6 400
Betongkonstruktioner	4 500
Maskinutrustning	8 900
Instrument och styr	800
Montage för maskin och el	2 400
Allmän el	650
Ventilation	300
VVS installation	150
Flödesmätare, ombyggnad för koagulant	250
Design, projektering, upphandling	5 000
Oförutsedda kostnader	2 440
Summa	31 800
Ökad rötkammarvolym	

Maskinutrustning	12 125
El och automation	2 925
Bygg	16 300
Projektering och byggledning	4 702
Oförutsedda kostnader	3 135
Summa	39 200
Försöksanläggning för avgasningstorn	
Avgasningsanläggning	1 500
Montage	375
Sprängning för hål	110
El och automation	20
Intransport berg, utvändigt upplag	60
Projektering, byggledning etc.	41
Oförutsedda kostnader	207
Summa	2300
Försöksanläggning kolkälla	
Process och maskin	1 000
Bygg	1 300
Elutrustning	500
Oförutsedda kostnader	700
Projektering och genomförande	600
Summa	4 100
Försök med för- & simultanfällning	
Maskin och el	1 200
Bygg	400
Oförutsedda kostnader	400
Projektering och genomförande	300
Summa	2 300
Försökslinje med MBBR	
Process och maskin	28 500
Bygg	1 700
Elutrustning	1 200
Oförutsedda kostnader	7 800
Projektering och genomförande	7 200
Summa	46 400
Nya inlopp till sandfång	Uppskattat till 500
Summa investeringar	91 200 (137 600)⁷⁾

⁷⁾ Endast om vakuumteknik inte fungerar som väntat.

5.2.2 Milstolpe 2 – Belastning motsvarande 700 000 p e

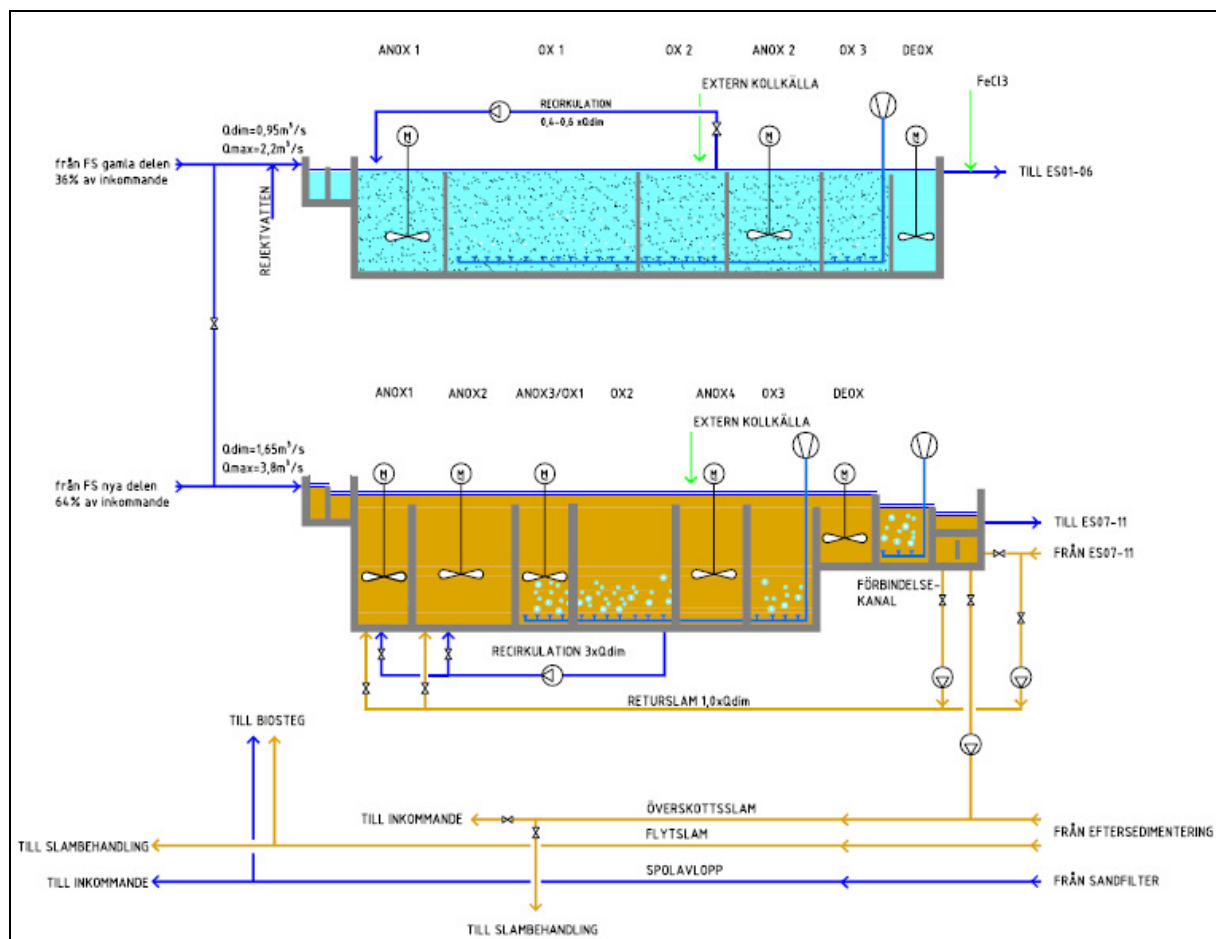
Med skärpta reningskrav och en belastning motsvarande 700 000 p e ställs stora krav på en väl fungerande bräddvattenrening. Även huvudlinjens fosforavskiljning måste vara effektiv och kombinationen av förfällning, simultanfällning och efterpolering används i samtliga linjer förutsatt att vakuumtekniken har fallit väl ut. Då installeras också avgasningstorn i samtliga biobassänger. Extern kolkälla och efterdenitrifikation blir ändå nödvändig för att klara av kvävekraven. Med maximala slamhalter på 3,5 och 4,0 mg/L i nya respektive gamla delens linjer säkerställs halter under 5 mg total-N/L. Stora omställningar av zonindelningen samt luftningssystemet krävs i samtliga biobassänger. Den redan genomförda omställningen av anaeroba zoner till anoxiska zoner (stycke 5.1.1.) ska bibehållas. I Figur 11 visas processlayouten.



Figur 11 – Zonindelning med ASP vid 700 000 p e och skärpta krav.

Om vakuumtekniken inte fungerar som utlovat kommer istället en MBBR process att implementeras till fyra av den gamla delens linjer. Med en optimal fyllnadsgrad av bärrmaterial på 42-50 % krävs att endast tre biobassänger ställs om till en MBBR process. Dock kommer fyra linjer krävas när belastningen har nått upp till 900 000 p e och det är därför mer kostnadseffektivt att direkt anlägga fyra linjer och istället hålla en lägre fyllnadsgrad till en början. Med en MBBR process krävs också kolkälla och ett grovblåsig

luftarsystem samt att järnklorid doseras innan eftersedimentering för att motverka höga halter av findispersa flockar och fosfor. Till dessa linjer används då inte förfällning och simultanfällning, endast efterfällning och polering på sandfiltren. Det krävs inga större omställningar av eftersedimenteringarna för denna lösning. Eftersom endast 4 linjer används i gamla delen kan en framtida läkemedelsrening rymmas i en av de avställda linjerna. Nya delens linjer drivs här som en aktivslamprocess med efterdenitrifikation och extern kolkälla. Maximala slamhalter kring 3,0 mg/L kommer att krävas i aktivslamprocessen. Den tidigare omställningen av de anaeroba zonerna till anoxiska zoner (stycke 5.1.1.) ska bibehållas. I figur 12 visas processutformningen.



Figur 12 – Processutformning med MBBR och ASP vid 700 000 p e och skärpta krav.

Den tredje röt-kammaren är redan tagen i drift och den ökade slamm-mängden medför att om externt material ska emottas så måste ytterligare röt-kammar-volymer tillkomma. Slamavvattningsens fyra Bucherpressar kommer här inte räcka till kapacitetsmässigt och en femte maskin installeras.

Nedan sammanfattas de föreslagna åtgärderna som bör genomföras när 700 000 p e är uppnått, följt av en kostnadsbild. För detaljerade uppgifter om åtgärderna se [1], [2], [3],[12], [13], [18].

- Maximala slamhalter på 3,5 och 4,0 g MLSS/L i nya respektive gamla delen.
- Vakuumtorn installeras i samtliga biobassänger.

- Omställning av zoner och komplettering av nytt luftningssystem i samtliga linjer.
- Installation av ny utrustning för dosering av kolkälla till samtliga linjer.
- Förfällning i kombination med simultanfällning och efterpolering på sandfilter används i samtliga linjer.
- Om vakuumteknik ej fungerar som önskat ställs totalt fyra linjer istället om till MBBR, en linje är då redan omställd. Nytt luftarsystem krävs då i gamla delens linjer samt installation av doseringsanläggning för järnklorid och kolkälla. Omläggning av zoner och förstärkning av luftningssystemet för efterdenitrifikation krävs i nya delens linjer.
- En femte Bucherpress installeras i den nya slamavvattningen.

I tabell 13 redovisas bedömda investeringskostnader för omställningarna för fallet då vakuumteknik används. Tabell 14 visar fallet med MBBR.

Tabell 13 – Investeringskostnader för ASP och vakuumteknik vid 700 000 p e med skärpta krav.

Processdel	Investeringskostnad (kkkr)
Avgasningstorn i biobassänger	
Avgasningsanläggning	24 000
Montage	6 000
Sprängning för hål	1 760
El och automation	400
Intransport berg, utvändigt upplag	965
Entreprenadsamordning	1 988
Projektering, byggledning etc.	8 077
Oförutsedda kostnader	3 313
Summa	46 500
Omställning till efterdenitrifikation	
Process och maskin	55 000
Bygg	8 000
Ventilation	10 000 ⁸⁾
Elutrustning	7 500
Oförutsedda kostnader	20 100
Projektering och genomförande	18 500
Summa	109 100 (119 100)⁸⁾
Bucherpress #5	
Maskin	4 200
El och automation	250
Montage	250
Projektering	50
Oförutsett 10 %	470
Summa	5 220
Summa investeringar	167 800 (170 800)⁸⁾

Tabell 14 – Investeringskostnader för MBBR vid 700 000 p e med skärpta krav.

Processdel	Investeringskostnad (kkkr)
Omställning till MBBR i tre linjer	
Process och maskin	75 000
Bygg	3 000
Elutrustning	4 500
Oförutsedda kostnader	20 600
Projektering och genomförande	19 000
Summa	122 100
Omställning till efterdentrifikation BB07-11	
Process och maskin	28 000
Bygg	7 000
Ventilation	10 000 ⁸⁾
Elutrustning	3 500
Oförutsedda kostnader 25 %	12 100
Projektering och genomförande	11 200
Summa	61 800 (71 800)⁸⁾
Bucherpress #5	
Maskin	4 200
El och automation	250
Montage	250
Projektering	50
Oförutsett 10 %	470
Summa	5 220
Summa investeringar	189 000 (199 000)⁸⁾

⁸⁾Antaget att befintlig ventilation ej är tillräcklig, dock ej utrett.

Drift och underhållskostnader redovisas för de två olika förslagen i tabell 15 och 16. Endast etanol redovisas som kolkälla. Etanol har valts framför metanol och VP1 dels p g a lägre driftkostnader med också för att denna kolkälla kan doseras vid behov. Siffrorna som redovisas är särkostnader. Kostnaderna för bräddvattenrening baseras på att 10⁶ m³/år bräddas.

Tabell 15 – Drift- och underhållskostnader för en aktivslamprocess med vakuumteknik vid 700 000 p e och skärpta krav.

Post	Kostnad (kkkr/år)
Elförbrukning	11 400
Underhåll maskin	2 650
Kolkälla (etanol)	5 400

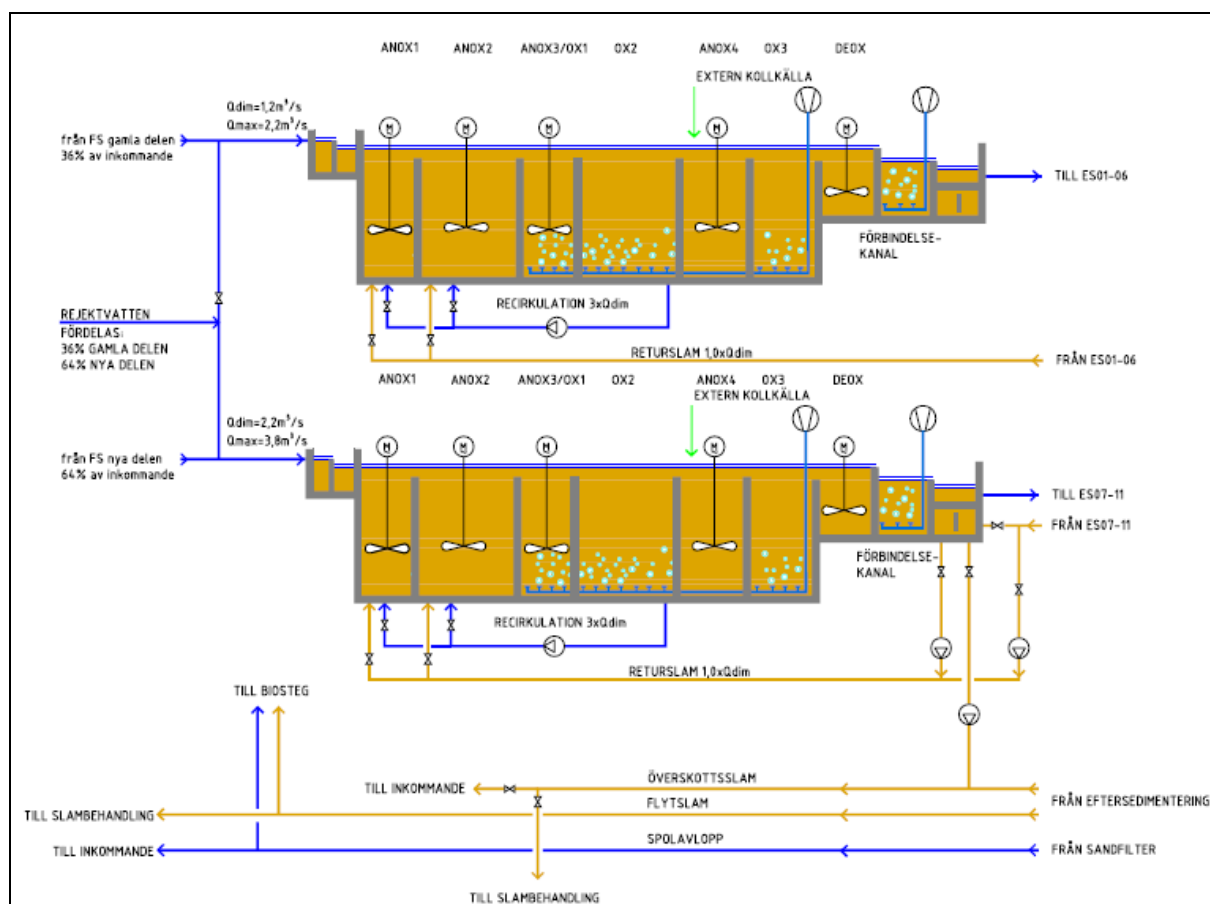
Fällningskemikalier	8 400
Bräddvattenrening	270
Totalt	28 100

Tabell 16 – Drift- och underhållskostnader för en MBBR process vid 700 000 p e med skärpta krav.

Post	Kostnad (kkkr/år)
Elförbrukning	13 100
Underhåll maskin	2 100
Kolkälla (etanol)	11 500
Fällningskemikalier	7 000
Bräddvattenrening	270
Totalt	34 000

5.2.3 Milstolpe 3 - Belastning motsvarande 900 000 p e

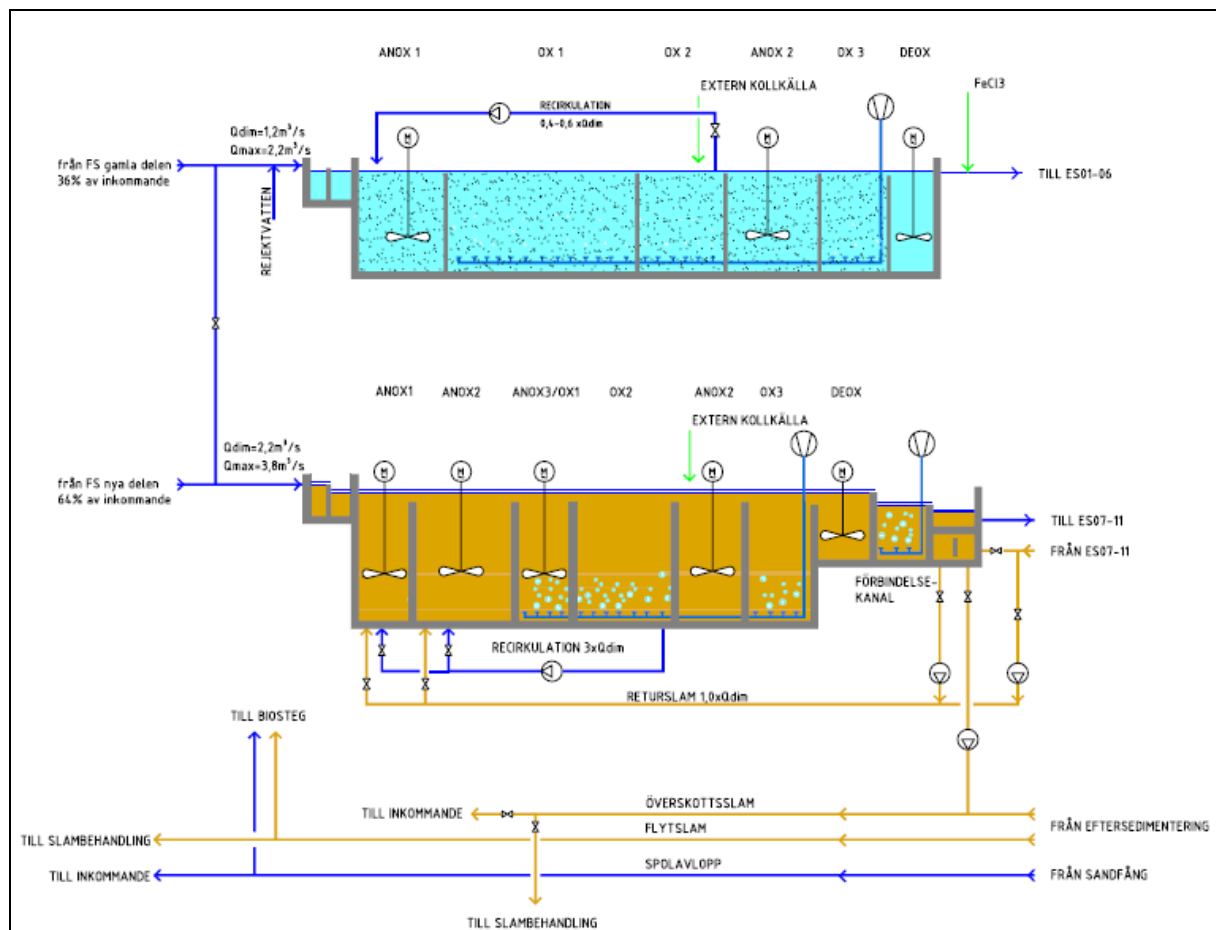
När belastningen uppgår till 900 000 p e ställs stora krav på processen. Inkommande flöde beräknas ligga vid 3,4 m³/s som medel och dygnsmedelflöden på 7,8 m³/s kan uppstå. En väl fungerande bräddvattenrening är därmed nödvändig. Höga krav ställs också på biosteget och slammets egenskaper. Processberäkningar visar att aktivslamprocessen har tillräcklig kapacitet för att kunna hantera denna belastning med för- och efterdenitrifikation samt extern kolkälla. Dock krävs slamhalter på 4,5 och 5,0 g MLSS/L i nya respektive gamla delens linjer. Detta förutsätter att vakuumtekniken fungerar som utlovat för att inte överbelasta eftersedimenteringarna. De redan utförda omställningar av zonindelningen som utförts vid 700 000 p e lämnas orörda men en till blåsmaskin måste installeras för redundans. I figur 13 visas processutformningen.



Figur 13 – Zonindelning med ASP vid 900 000 p e och skärpta reningskrav.

För fosforreningen används fortfarande förfällning i kombination med simultanfällning och efterpolering på sandfiltren. Det är här viktigt att dämpskärmar har installerats i eftersedimenteringarna och att sandfiltren klarar sin nominella kapacitet på 6 m³/s.

Om vakuumtekniken inte har fungerat som utlovat är redan gamla delens linjer omställda till en MBBR process. I princip krävs då enbart mer bärmaterial, kolkälla och ytterligare en blåsmaskin för redundans. I aktivslamprocessen i nya delens linjer krävs då en maximal slamhalt på 3,5 g MLSS/L vilket kan anses vara högt under årets kalla period. Det är därför av stor vikt att vara minimera simultanfällningen för att på så sätt hålla slamproduktionen nere. Även här bör en till blåsmaskin installeras för redundans. I de linjer där MBBR används sker fosforavskiljningen med efterfällning och polering på sandfiltren. I figur 14 visas processutformningen för fallet med MBBR.



Figur 14 – Zonindelning med ASP vid 900 000 p e och skärpta reningskrav.

Den ökade belastningen på slamavvattningen medför att ytterligare kapacitet krävs och en sjätte Bucherpress och tillhörande slamsilo måste anläggas i befintlig avvattningsbyggnad.

Nedan sammanfattas de föreslagna åtgärderna som bör genomföras när 900 000 p e är uppnått, följt av en kostnadsbild.

- Maximala slamhalter på 4,5 och 5,0 g MLSS/L i nya respektive gamla delen med vakuumtekniken.
- Komplettering blåsmaskin à 10 000 Nm³/h krävs till nya delens linjer.
- Om vakuumteknik ej fungerar som utlovat används redan MBBR i fyra av gamla delens linjer. Här krävs dock större mängd bärmaterial och en till blåsmaskin à 17 000 Nm³/h för redundans. Också nya delens linjer kräver ytterligare luftningskapacitet med en till blåsmaskin à 10 000 Nm³/h.
- En sjätte Bucherpress och tillhörande slamsilos anläggs i slamavvattningen.

I tabell 17 redovisas bedömda investeringskostnader för omställningarna för fallet då vakuumteknik används. Tabell 18 visar fallet med MBBR.

Tabell 17 – Investeringskostnader för ASP och vakuumteknik vid 900 000 p e skärpta krav.

Processdel	Investeringskostnad (kkkr)
Ökad luftningskapacitet	
Process och maskin	5 000
Bygg	500
Elutrustning	1 500
Oförutsedda kostnader	1 800
Projektering och genomförande	1 600
Summa	10 400
Bucherpress #6 och slamsilo	
Bygg	4 836
Elutrustning	2 092
Maskin	10 461
Styr och regler	1 569
Oförutsedda kostnader	2 589
Projektering och genomförande	4 457
Summa	26 000
Summa investeringar	36 400

Tabell 18 – Investeringskostnader för MBBR vid 900 000 p e och skärpta krav.

Processdel	Investeringskostnad (kkkr)
Ökad luftningskapacitet och bärarmaterial	
Process och maskin	18 000
Bygg	300
Elutrustning	2 000
Oförutsedda kostnader	5 100
Projektering och genomförande	4 600
Summa	30 000
Ökad luftningskapacitet BB07-11	
Process och maskin	5 000
Bygg	500
Elutrustning	1 500
Oförutsedda kostnader	1 800
Projektering och genomförande	1 600
Summa	10 400
Bucherpress #6 och slamsilo	
Bygg	4 836
Elutrustning	2 092

Maskin	10 461
Styr och regler	1 569
Oförutsedda kostnader	2 589
Projektering och genomförande	4 457
Summa	26 000
Summa investeringar	66 400

I tabell 19 och 20 redovisas drift och underhållskostnader de två olika förslagen. Etanol har valts som extern kolkälla. Siffrorna som redovisas är särkostnader. Kostnaderna för bräddvattenrening baseras på att $2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{år}$ bräddas.

Tabell 19 – Drift- och underhållskostnader för aktivslamprocess med vakuumteknik vid 900 000 p e och skärpta reningskrav.

Post	Kostnad (kkkr/år)
Elförbrukning	24 700
Underhåll maskin	2 750
Kolkälla (etanol)	7 000
Fällningskemikalier	11 000
Bräddvattenrening	540
Totalt	46 000

Tabell 20 – Drift- och underhållskostnader för MBBR process vid 900 000 p e och skärpta reningskrav.

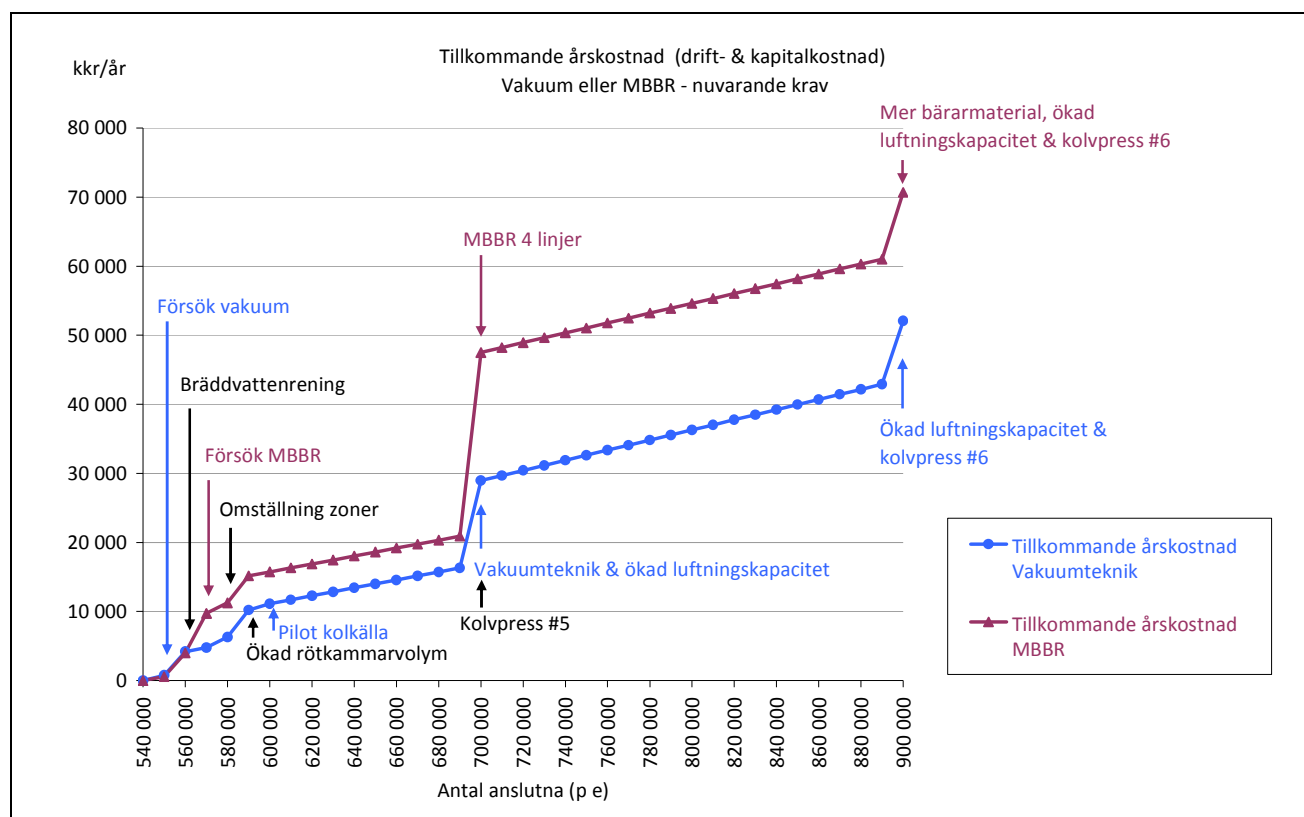
Post	Kostnad (kkkr/år)
Elförbrukning	24 500
Underhåll maskin	2 600
Kolkälla (etanol)	14 800
Fällningskemikalier	9 100
Bräddvattenrening	540
Totalt	51 500

5.3 Ekonomisk analys

En översiktlig bild av nödvändiga åtgärder för fallen med skärpta eller nuvarande krav redovisas i Bilaga VII och VIII. Här har investeringskostnaderna delats upp i generella åtgärder som måste utföras oavsett val av teknik, samt för fallet med vakuumtekniken eller MBBR. Vita rutor illustrerar generella åtgärder, gröna vakuumtekniken och gula MBBR. Kostnaderna är också uppdelade i en tidsskala om tre fall; vad som måste utföras vid milstolpe 1, 2 och 3. Tillkommande drift- och underhållskostnader direkt kopplade till de två teknikerna har delats upp enligt samma tidsskala. Inga siffror kan redovisas för milstolpe 1 eftersom detta inte avser en given belastning.

5.3.1 Nuvarande krav

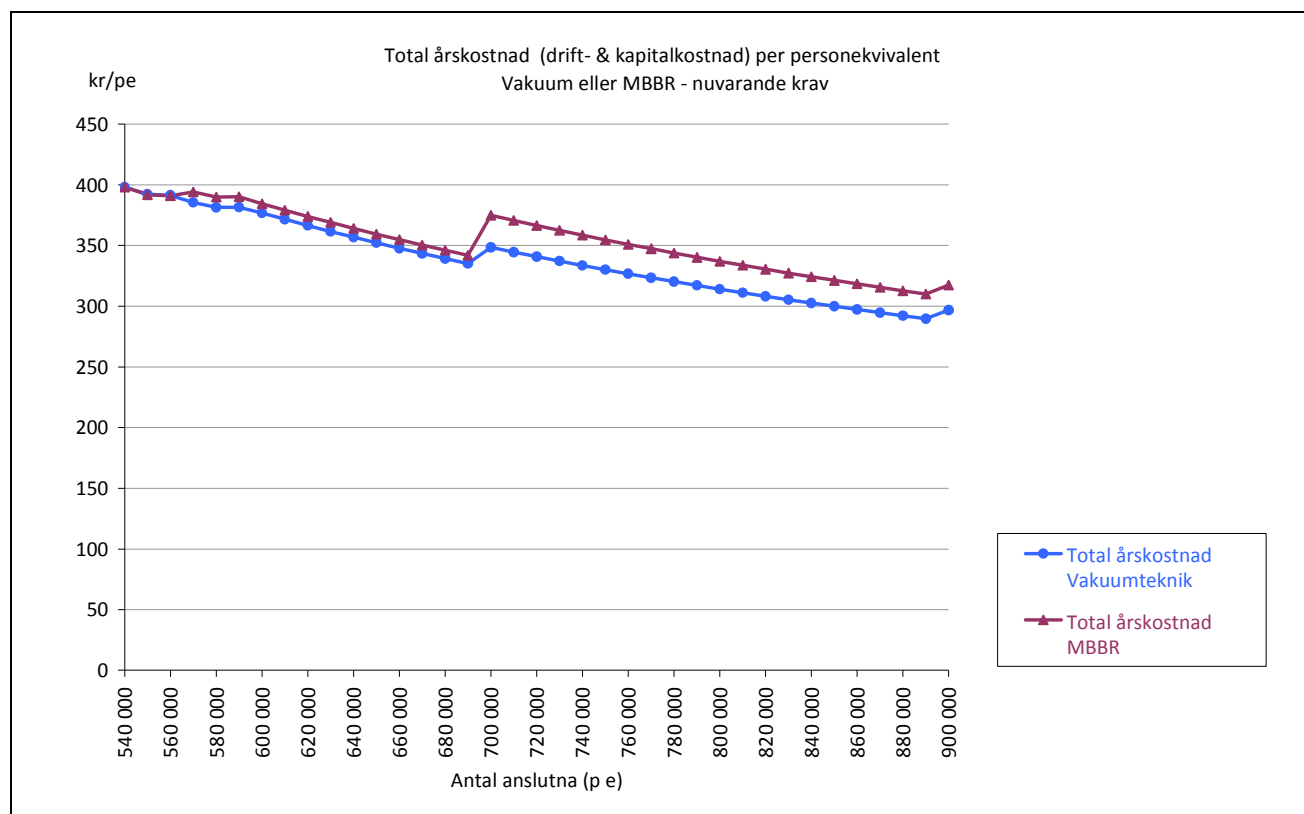
I figur 15 redovisas totala tillkommande kostnaderna för reningsverket, d v s drift och kapitalkostnader allteftersom belastningen ökar för fallet med nuvarande krav. Här är inte reningsverkets redan existerande årliga kostnad inkluderad, endast tillkommande kostnader. I figuren illustreras åtgärderna med pilar, blåa för vakuumteknik, gröna för MBBR och svarta för generella åtgärder som måste utföras oavsett teknik. Det framgår här att MBBR blir en mer kostsam lösning vilket till stor del beror på högre driftkostnader än med vakuumtekniken, se tabell 6, 7, 10 och 11 för jämförelse mellan metoderna. Två stora kliv i årskostnaderna uppstår när vakuumteknik eller MBBR införs vid 700 000 p e samt vid kapacitetsökningen vid 900 000 p e. Innan 700 000 p e uppnås tillräcklig kapacitet med hjälp av införande av bräddvattenrening vid 560 000 p e och förlängda anoxiska zoner.



Figur 15 – Tillkommande årliga drift- och kapitalkostnader med nuvarande krav för de två olika teknikerna.

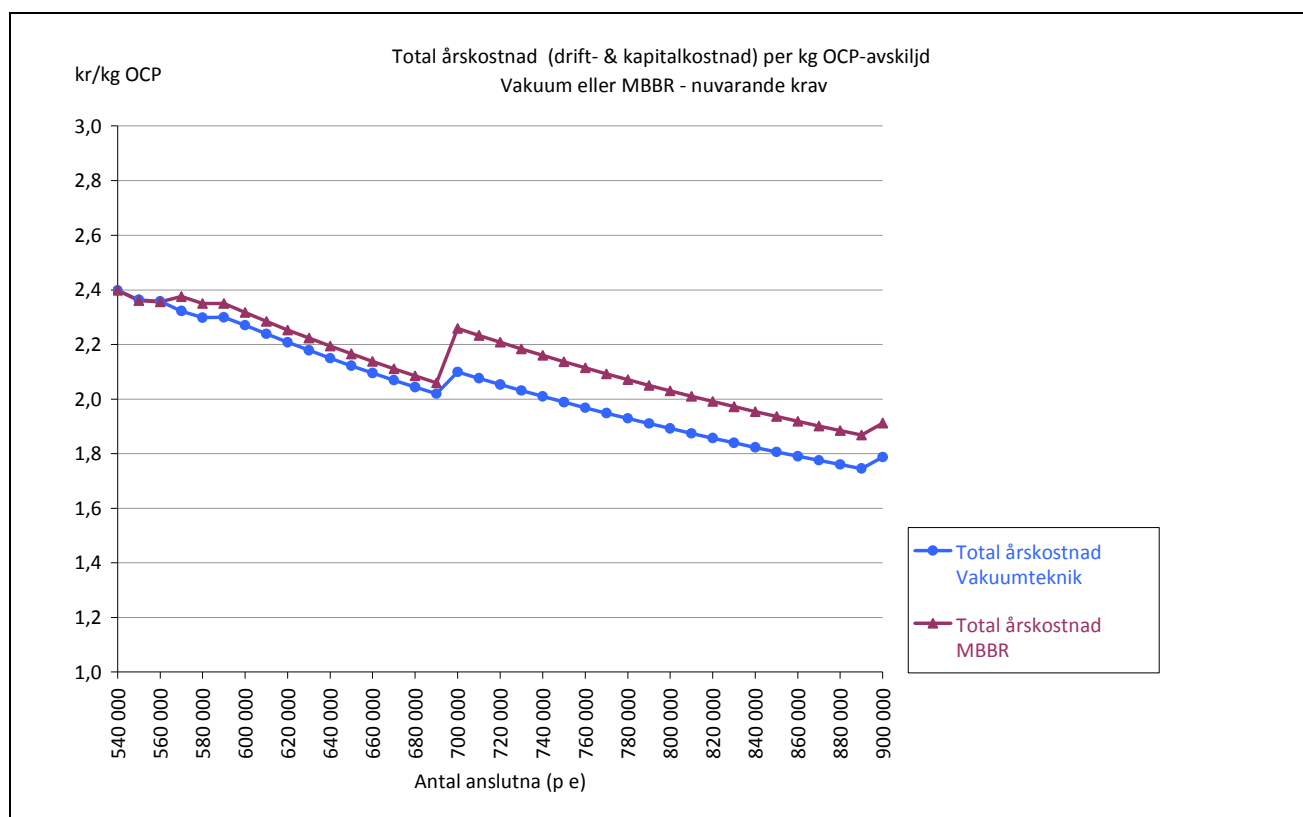
Figur 16 visar Käppalaverkets totala, inte tillkommande, drift- och kapitalkostnader i förhållande till antal anslutna. Figuren avser fallet med nuvarande krav och de två olika teknikerna. Samma åtgärder som redovisas med pilar i figur 15 ligger till grund för variationerna i kurvorna. Figuren visar tydligt på kostnadseffektiviteten i att öka anslutningsgraden på en stor anläggning som Käppalaverket. Tack vare redan utförda investeringar kan nästan 400 000 p e anslutas till en betydligt lägre kostnad än vad ett nytt reningsverk av motsvarande kapacitet skulle kosta och sett över tid blir den totala årskostnaden per abonnent lägre. Vid tidpunkter där större åtgärder utförs kommer dock kostnaden per abonnent stiga momentant. Därefter dröjer ett antal år i (beroende på ökningen av p e) innan kostnaderna nere på samma nivåer igen. Enligt detta resonemang

kan det vara gynnsamt för abonnenterna att nya kommuner ansluts i samband med de stora omställningarna så att kostnaderna per abonnent blir oförändrade eller till och med sänks.



Figur 16 – Totala årliga kostnader per antal anslutna för de två olika teknikerna med nuvarande krav.

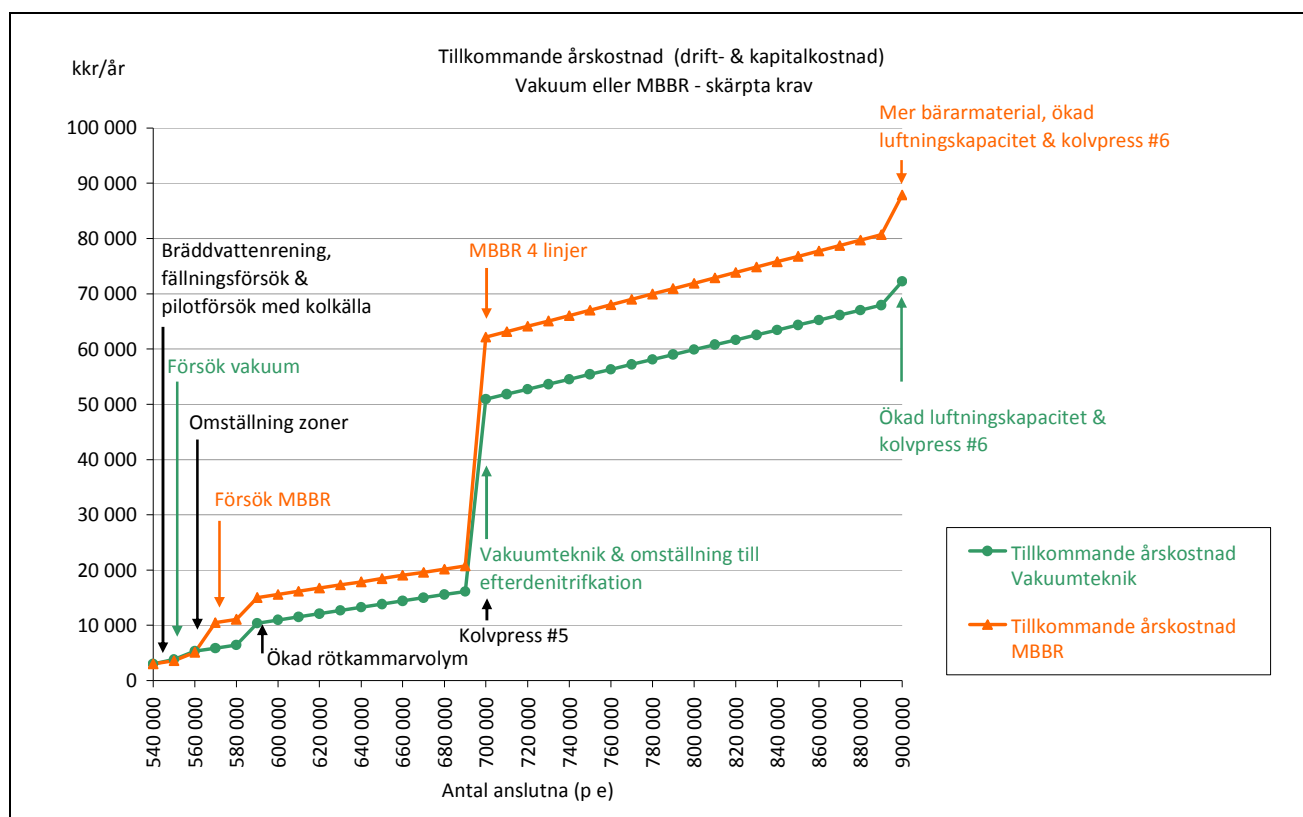
Liknande trend kan ses när totala årskostnaden relateras till mängden avskiljd OCP vilket visas i figur 17. Här representeras den avskiljda mängden kväve, fosfor och COD med samlingstermen OCP (Oxygen Consumption Potential) för att kunna mäta den totala "reningsgraden". Med nuvarande krav är det en relativt stor skillnad i reningskostnaden mellan de två metoderna, mycket beroende på att MBBR kräver externt kol till skillnad från vakuumtekniken.



Figur 17 – Totala årliga kostnader per kg avskiljd OCP för de två olika teknikerna med nuvarande krav.

5.3.2 Skärpta krav

I figur 18 redovisas totala tillkommande kostnaderna för reningsverket, d v s drift- och kapitalkostnader allteftersom belastningen ökar för fallet med skärpta krav. Vid jämförelse med motsvarande kurva med nuvarande krav, Figur 15, syns att skillnaden mellan de två teknikerna nu är mindre. Detta beror främst på att båda teknikerna nu kräver extern kolkälla. I Bilaga VII och VIII framgår också hur de totala investeringskostnaderna sett över tid är relativt lika för fallet med skärpta eller nuvarande krav, men hur driftkostnaderna påverkas kraftigt av skärpta krav.

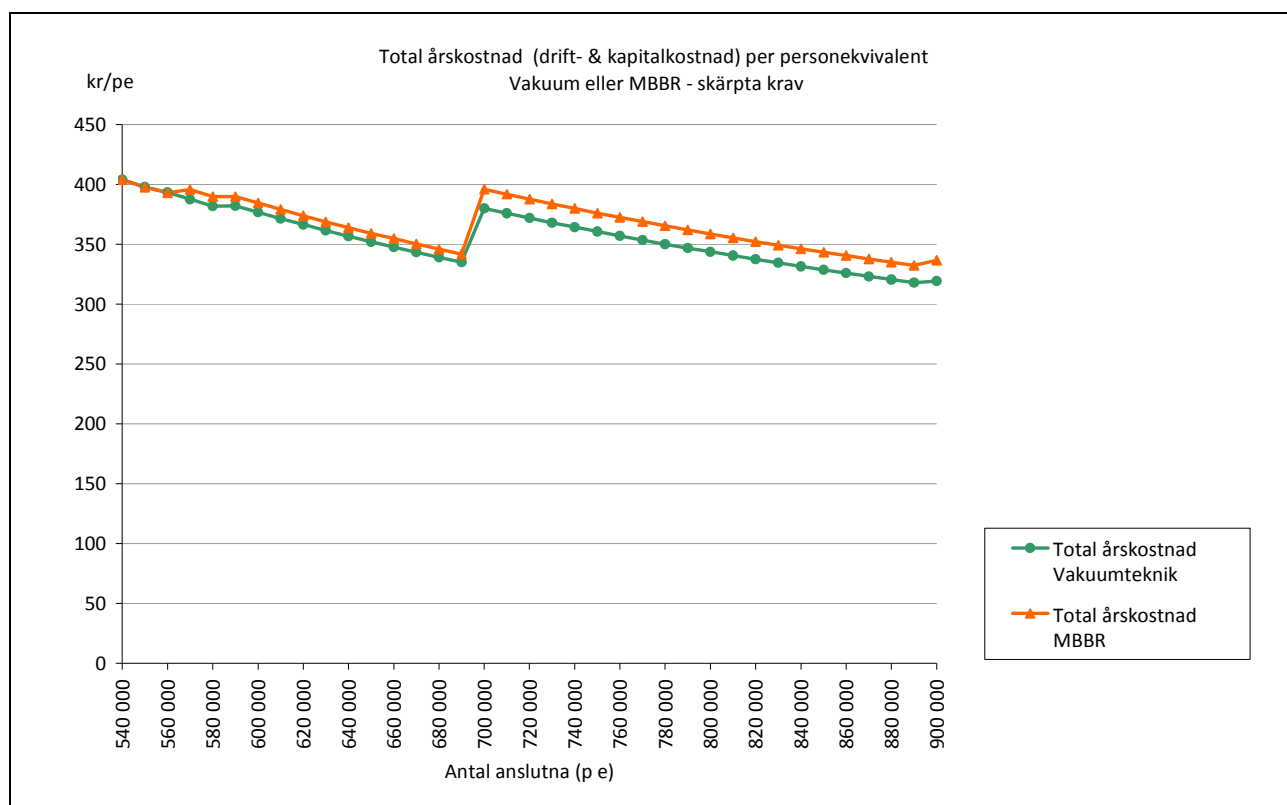


Figur 18 – Tillkommande årliga kostnader för de två olika teknikerna med skärpta krav.

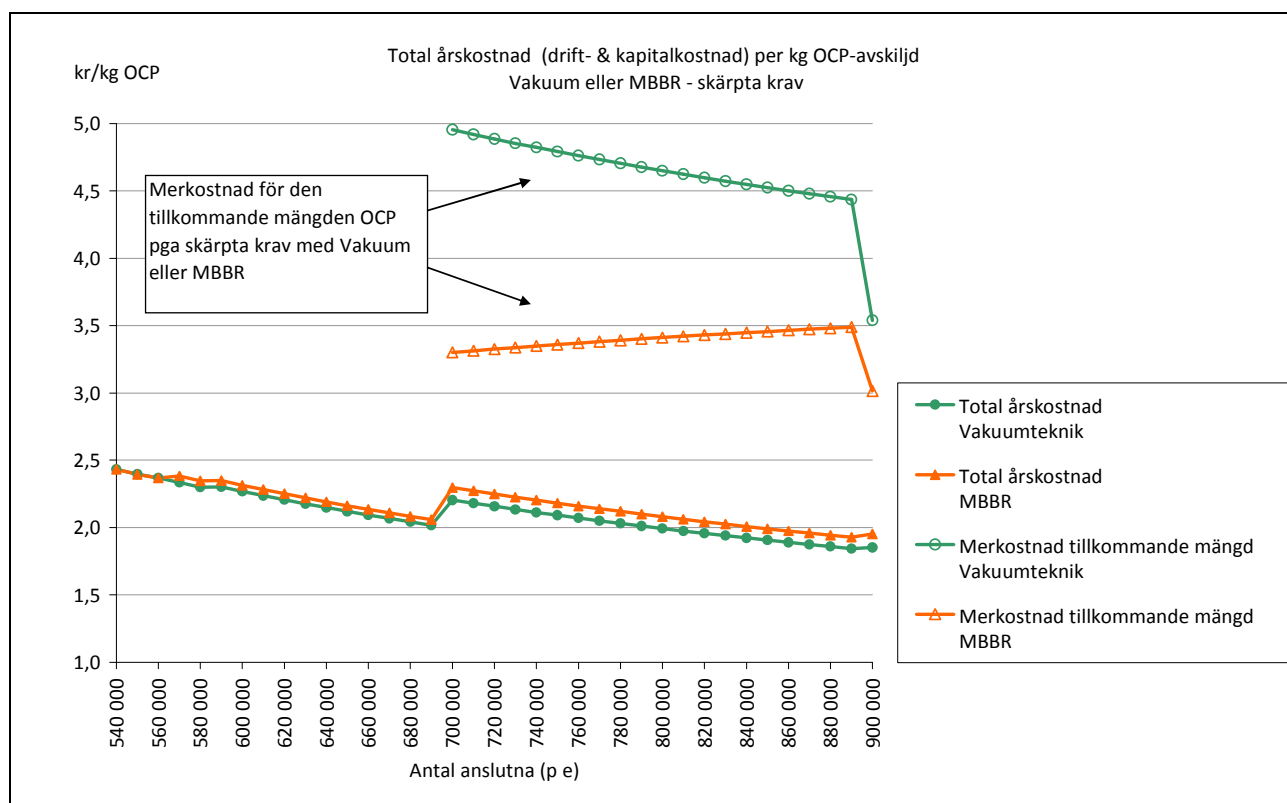
I Figur 19 visas total årlig kostnad per antal anslutna och som med nuvarande krav syns en nedgående trend. Eftersom det är antaget att skärpta krav inte införs förrän vid 700 000 p e påminner kurvorna för skärpta krav mycket om kurvorna för nuvarande krav fram till 700 000 p e. Dock tillkommer eller tidigareläggs vissa försök.

I figur 20 visas de totala årliga kostnaderna per kg avskiljd OCP. I figuren visas också två kurvor där den tillkommande kostnaden som skärpta krav medför har ställts i relation till den tillkommande mängden OCP som avskiljs. Kurvorna visar således merkostnaden för skärpta krav för de två teknikerna. Det framgår hur dessa tillkommande kilon i vissa perioder får en kostnad som är dubbelt så hög som kostnaden för den totala mängden OCP som avskiljs.

Det framgår också hur denna tillkommande kostnad blir mycket högre med vakuumteknik vilket beror på att extern kolkälla då krävs, vid nuvarande krav kan vakuumtekniken hantera en belastning upp till 900 000 p e utan externt kol.



Figur 19 – Totala årliga kostnader för de två olika teknikerna med skärpta krav.



Figur 20 – Totala årliga kostnader per kg avskiljd OCP för de två olika teknikerna samt merkostnad för tillkommande mängd OCP med skärpta krav.

6 Referenser

- (1) J. Grundestam, S. Morling, C. Andersson, J. Friberg. Utveckling av Käppalaverket – Idéförslag. SWECO. Stockholm 2009-11-13.
- (2) R. Cederborg m fl. Idéförslag Käppala avloppsreningsverk - Förslag till framtida vattenbehandling. VA- ingenjörerna 2009-11-12
- (3) K. Ekman, K. Starberg. Utveckling av Käppalaverket – Idéförslag. WSP 2009-11-13.
- (4) P. Ek m fl. Idéförslag – Utveckling av Käppalaverket. Ramböll Sverige AB, 2009-11-13.
- (5) A. Thunberg . Utvärderingsunderlag till idéskisser Käppala 2020 – 2009-12-14.
- (6) O. Tottie. Implementering av intermittent luftning i Käppala ARV. ATEK avvattningsteknik 2010-07-29.
- (7) E. Lindblom, J. Grundestam & J. Friberg. Bräddvattenrening med direktfällning och lamellsedimentering på Käppalaverket. Sweco Environment AB 2010-08-20.
- (8) C. Wahlberg, B. Björleinius, N. Paxéus. Läkemedelsrester i Stockholm Vattens vattenmiljö – Förekomst, förebyggande åtgärder och rening av avloppsvatten. Stockholm Vatten 2010.
- (9) Å. Jarvis, A. Schnurer. Mikrobiologisk handbok för biogasanläggningar. Svenskt Gastekniskt Center – Juni 2009. Rapport SGC 207-1102-7371.
- (10) A-M, Borglund. Kartläggning av Käppalaverkets rötkammardrift. Delrapport från projekt rörande Käppalaverkets rötningskapacitet. Käppalaverket 2005-11-30.
- (11) A-M, Sunding. Kapacitetshöjning med termofil rötning på Käppalaverket – Förstudie. Käppalaverket 2007-02-21.
- (12) K. Ekman, R. Ullman, A. Ullman, K. Starberg. Utveckling av Käppalaverket. Behov av kolkälla med MBBR och ASP. WSP Samhällsbyggnad 2010-08-16.
- (13) M. Jaki Borg, S. Morling, J. Grundestam, J. Friberg. Laboratorieförsök med avgasning av aktivt och rötat slam. Sweco Environment AB 2010-09-20.
- (14) L. Gillberg m fl. Konsten att rena vatten. Kemira Kemwater 2003. ISBN 91-631-4353-4.

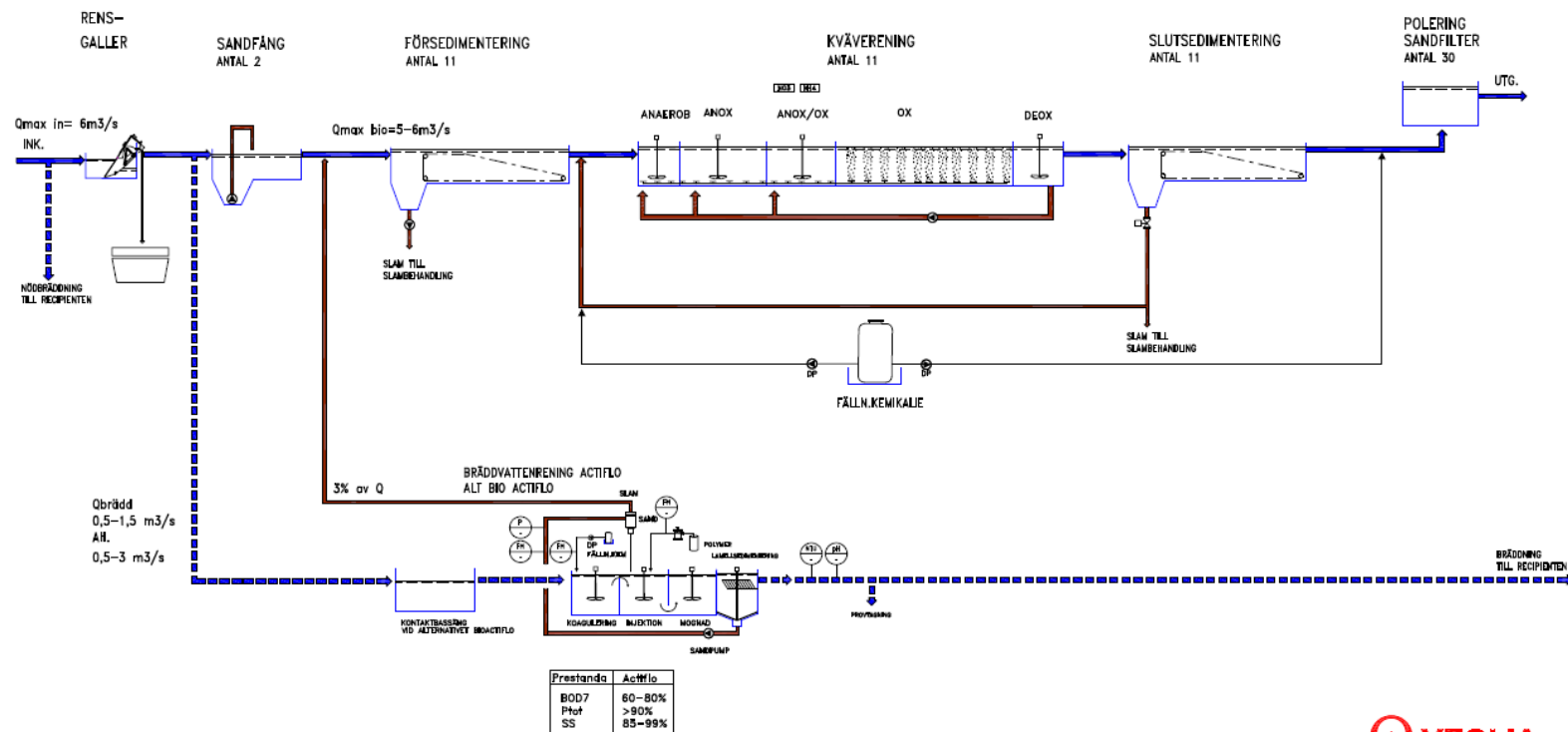
- (15) R. Seviour, P. H. Nielsen. Microbial Ecology of Activated Sludge. IWA Publishing, 2010 London. ISBN 10:1843390329.
- (16) M. Biderheim. Förstudie slamhantering efter avvattnings – Käppalaverket. Ramböll Sverige AB, Stockholm 2010-08-26.
- (17) S. Sjögren. Försök utförda i Käppalas laboratorium 2008. CIBA.
- (18) K. Ekman, R. Ullman, A. Ullman. Komplettering till Förstudie, Projekt Käppala 2020. WSP Samhällsbyggnad 2010-10-29.
- (19) S.Tyrbo. Käppalaverket ny röt-kammare – Underlag för kalkyl. WSP Samhällsbyggnad 2010-06-23.

BILAGA I - Processutformning

KÄPPALA AVLOPPSRENINGSVRK

FLIK 1

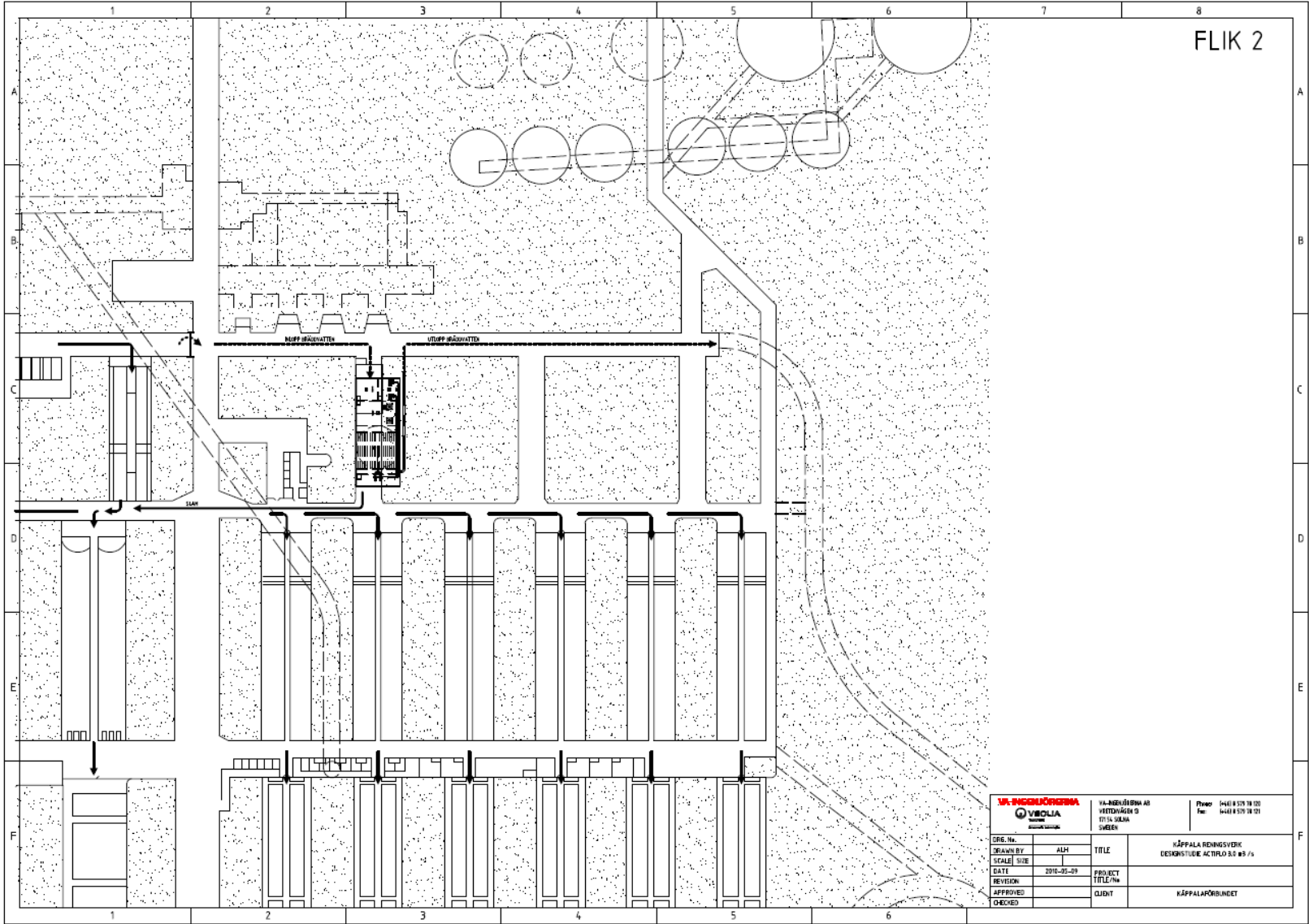
UPPRÄTTAD: 2010-06-14



VEOLIA
WATER
Solutions & Technologies

VA-INGENJÖRERNA 2010

BILAGA II – Fall 1, 3 m³/s



[illegible]

FLIK 5

STIL förslag ny slamavvattningsbyggnad

KÄPPALA
För renare sjöar och skärgård

KÄPPALAVERKET

Plandetalj skala 1:1000

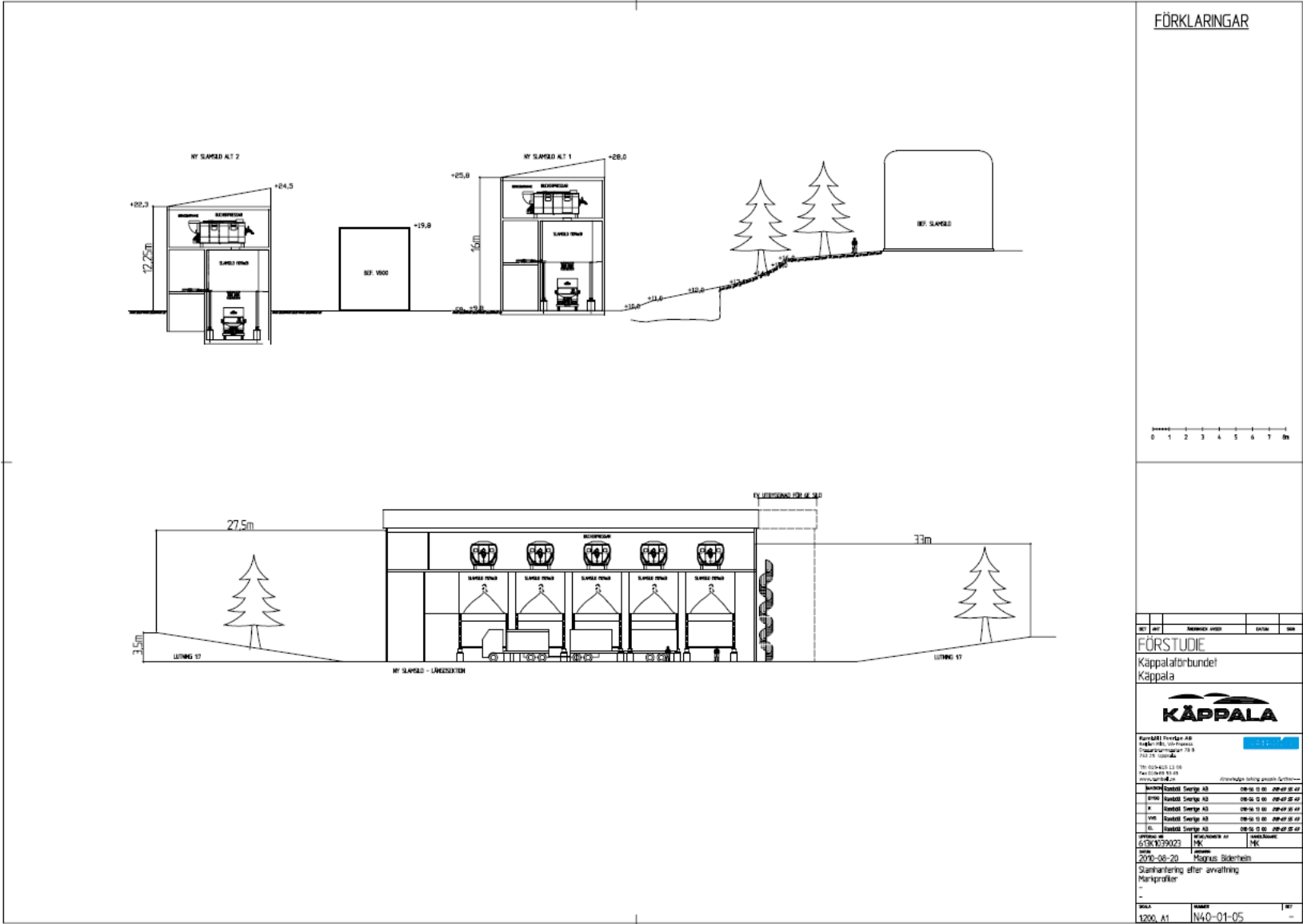
Högsta marknivå invid hus
-16.00+
15.00
MMN ▼ +12.06
+9.8
Fasadyta

ÖST VÄST NORD SYD

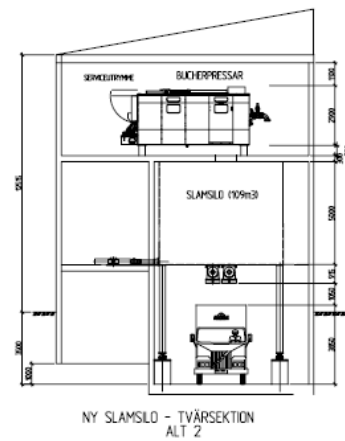
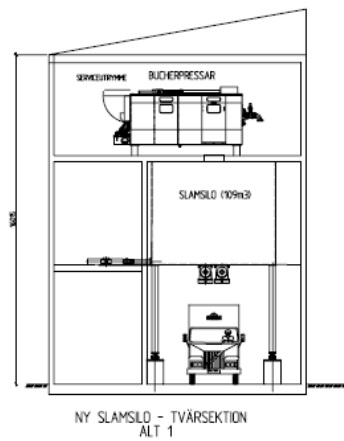
Byggnadshöjd (H) med hänsyn till markens medelnivå enl. PBF (Plan och byggregister) = 13.74m

Byggnadshöjd (H) med hänsyn till markens medelnivå enl. PBF (Plan och byggförordningen) = 13.74m

BILAGA V – Markprofiler ny slamutlastning



BILAGA VI – Tvärsektioner ny slamutlastning



FÖRKLARINGAR



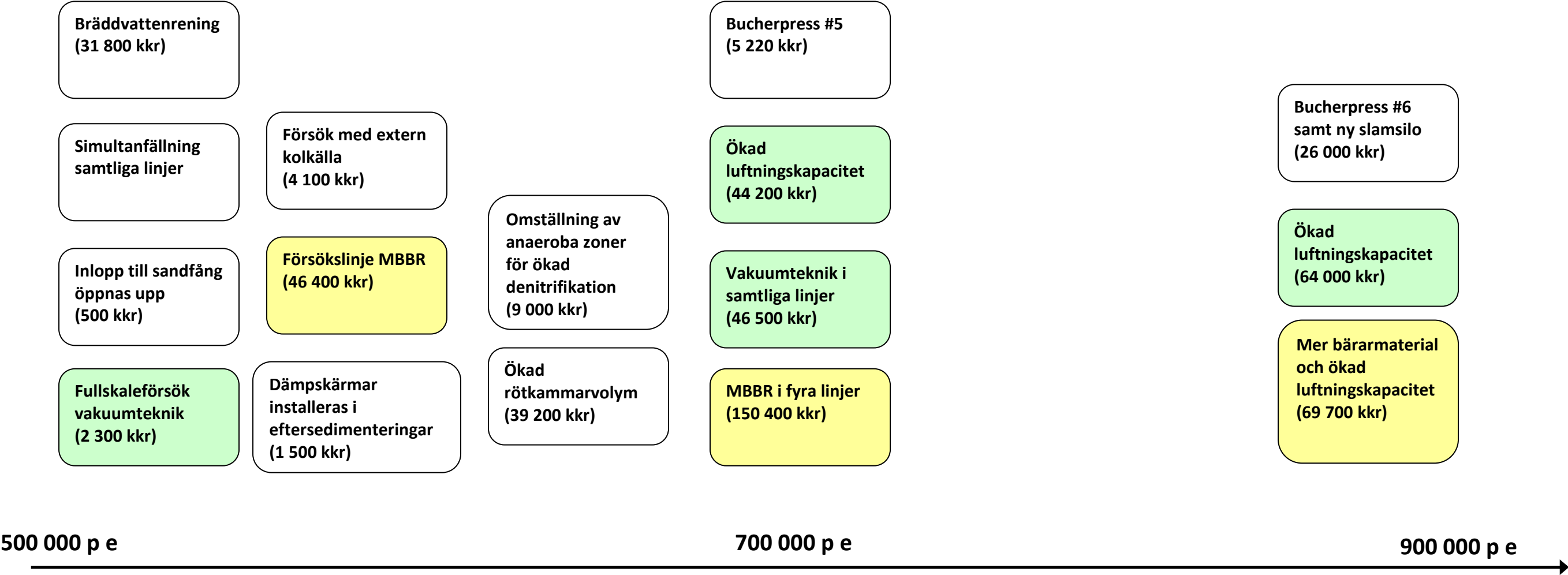
A horizontal number line with arrows at both ends. It has tick marks labeled 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, and 8. The number 4 is circled.

[illegible]

BILAGA VII – Översiktsbild åtgärder, nuvarande reningskrav

<u>Investeringar (kk)</u>	<u>< 700 000 p e</u>	<u>700 000 p e</u>	<u>900 000 p e</u>	<u>Totalt</u>
Generella	86 100	4 800	26 000	116 900
Vakuumteknik	2 300	90 700	64 000	157 000
MBBR	46 400	150 200	69 700	266 300

<u>Drift & UH (tillkommande, kkr)</u>	<u>700 000 p e</u>	<u>900 000 p e</u>
Med vakuumteknik	12 500	26 700
Med MBBR	21 000	35 200



BILAGA VIII – Översiktsbild åtgärder, skärpta reningskrav

<u>Investeringar (kkkr)</u>	<u>< 700 000 p e</u>	<u>700 000 p e</u>	<u>900 000 p e</u>	<u>Totalt</u>
Generella	88 900	5 220	26 000	120 100
Vakuumteknik	2 300	165 600	10 400	178 300
MBBR	46 400	193 900	40 400	280 700

<u>Drift & UH (tillkommande, kkr)</u>	<u>700 000 p e</u>	<u>900 000 p e</u>
Med vakuumteknik	28 100	46 000
Med MBBR	34 000	51 500

