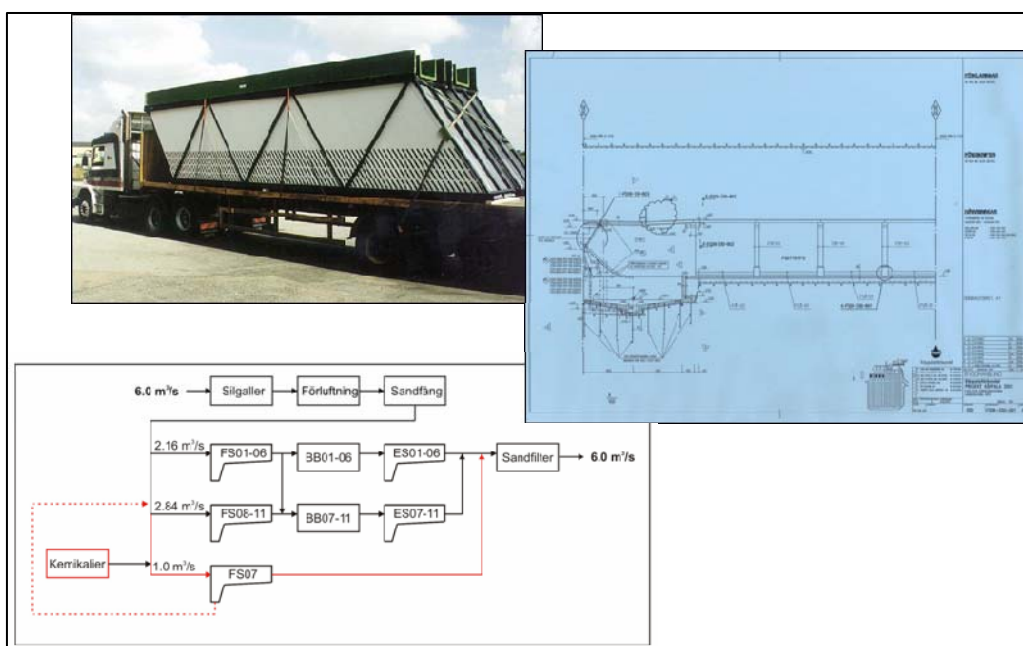


Käppalaförbundet

BRÄDDVATTENRENING MED DIREKTFÄLLNING OCH LAMELLEDIMENTERING PÅ KÄPPALAVERKET



STOCKHOLM 2010-08-20

Sweco Environment AB
Processanläggningar

Erik Lindblom
Jonas Grundestam
Jan Friberg

1 (35)

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	SAMMANFATTNING	5
1.1	FALL 1	5
1.2	FALL 2	5
2	BAKGRUND	7
3	FÖRUTSÄTTNINGAR	8
3.1	ALLMÄNNA FÖRUTSÄTTNINGAR	8
3.2	FALL 1	8
3.2.1	FLÖDEN	8
3.2.2	FÖRORENINGSBELASTNING OCH RENINGSGRAD	8
3.3	FALL 2	9
3.3.1	FLÖDEN	9
3.3.2	FÖRORENINGSBELASTNING OCH RENINGSGRAD	9
4	TEKNIK	10
4.1	DIREKTFÄLLNING	10
4.2	LAMELLEDIMENTERING	13
5	FÖRSLAG FALL 1, Q = 6.0 M³/S	15
5.1	ÖVERSIKT	15
5.2	HYDRAULISK SITUATION FALL 1	16
5.2.1	INLOPPSKANAL, SILGALLER OCH SANDFÅNG	16
5.2.2	FÖRDELNINGSTUNNEL FT21/22 OCH FÖRSEDIMENTERINGSBASSÄNG FS07-11	17
5.2.3	NY FÖRBILEDNINGSKANAL I FÖRDELNINGSTUNNEL FT32	17
5.3	IMPLEMENTERING AV DIREKTFÄLLNING	19
5.3.1	DIMENSIONERING OCH FUNKTION	19
5.4	FÖRVÄNTAD RENINGSGRAD	20
5.5	UTFORMNING AV KEMIKALIEDOSERING	21
5.5.1	VAL AV KEMIKALIER	21
5.5.2	MÄNGD FÄLLNINGSKEMIKALIE	21
5.5.3	POLYMERFÖRBRUKNING	21
5.5.4	STYRNING AV DOSERINGSMÄNGD	21
6	FÖRSLAG FALL 2, Q = 9.0 M³/S	22
6.1	ÖVERSIKT	22
6.2	HYDRAULISK SITUATION FALL 2	23
6.2.1	INLOPPSKANAL OCH SILGALLER	23
6.2.2	FÖRBILEDNING AV FÖRLUFTNING OCH UPPSTART AV GAMMALT SANDFÅNG	23
6.2.3	FÖRDELNINGSTUNNEL FT21 OCH FT22	25
6.2.4	FÖRSEDIMENTERINGSBASSÄNG FS07, FS08, FS09, FS10 OCH FS11	25
6.2.5	FÖRBILEDNING AV 1 M ³ /S	25
6.2.6	VAL AV BRÄDDNINGSKANAL	26

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

6.3	INSTALLATION AV LAMELLER	26
6.3.1	DIMENSIONERING	26
6.3.2	SLAMSKRAPOR	28
6.3.3	BRYGGOR	28
6.4	KEMIKALIEDOSERING	28
6.5	LEDNING AV BRÄDDVATTEN	28
6.5.1	PUMPNING	28
6.5.2	TÖMNING	28
6.5.3	VAD HÄNDER VID LÄGRE FLÖDEN?	29
7	KOSTNADSKALKYLER	30
7.1	ANLÄGGNINGSKOSTANDSKALKYL	30
7.2	DRIFT- OCH UNDERHÅLLSKOSTNADSKALKYL	31
7.2.1	KEMIKALIEKOSTNADER	32
7.2.2	ELENERGIKOSTNADER	32
7.2.3	UNDERHÅLLSKOSTNADER	33
7.2.4	SAMMANFATTNING DRIFTKOSTNADER	33
8	REFERENSER	34

Appendix 1: Lameller i försedimenteringsbassäng FS07-11, ungefärliga dimensioner
Appendix 2: Detaljerade anläggningskostnadskalkyler

1 SAMMANFATTNING

I denna förstudie undersöks direktfällning och lamellsedimentering i försedimenteringen som möjliga tekniska lösningar för att rena avloppsvattenflöden som på grund av kapacitetsbrist inte kan behandlas i Käppalaverkets biologiska reningssteg. Två fall studeras.

I Fall 1 är inkommande flöde 6.0 m³/s. Av dessa går 5.0 m³/s normalt genom verket medan 1.0 m³/s förbileds det biologiska reningssteget direkt till sandfiltren.

Reningsgraden för förbiledningsvattnet är 90 % Tot-P, 70 % BOD₇ och 10 % Tot-N.

I Fall 2 är inkommande flöde 9.0 m³/s. Av dessa går 5.0 m³/s normalt genom verket medan 1.0 m³/s förbileds det biologiska reningssteget direkt till sandfiltren. Dessutom bräddas 3.0 m³/s direkt ut. För förbilednings- och bräddningsvattnet gäller samma reningsgrad som i Fall 1.

1.1 FALL 1

För Fall 1 föreslås det att försedimenteringsbassäng FS07 görs om till direktfällningsbassäng. En ny förbiledningskanal i befintlig kanal anläggs också mellan bassängens utlopp och befintlig förbiledningstunnel i centraltunneln. En invallad lagringstank för fällningskemikalie placeras utomhus under skärmtak och en ny polymerstation placeras i containerhallen.

Under höglödesperioder styrs flöden överstigande 5.0 m³/s in i försedimenteringsbassäng FS07 där fällningskemikalie och polymer tillsätts i inloppet. Tills dess att bassängen är fylld utnyttjas den som utjämningsvolym. Om bassängen fylls rinner direktfällt vatten över i den nya förbiledningskanalen och vidare till sandfiltren. Efter höglödesperioden töms bassängen till fördelningstunnel FT22 med hjälp av befintlig primärslampump.

Den maximala ytbelastningen på FS07 blir 4.2 m/h. Detta är högt men inte extremt. För att kunna välja ut optimala kemikalier och fastställa vilken reningsgrad som kan uppnås behöver man utföra experiment i fullskala.

Anläggningskostnaden för Fall 1 är 3 200 000 kr. Driftkostnaden är 1 000 kr/h vid maximalt förbiledningsflöde. Underhållskostnader på 48 000 kr/år tillkommer. Kostnadskalkylerna redovisas i Kapitel 7 och Bilaga 2.

1.2 FALL 2

I Fall 2 ökar belastningen signifikant. I lösningen hamnar belastningsökningen på det som kallas Käppalas "nya" del. Det föreslås att lameller installeras i försedimenteringsbassäng FS07, FS08, FS09, FS10 och FS11. FS07 fungerar som utjämningsmagasin och direktfällningsbassäng på samma sätt som i Fall 1. I Fall 2 blir det möjligt att dessutom direktfälla i FS08 och FS09. En till invallad lagringstank för fällningskemikalie placeras utomhus under skärmtak

Förbildningen av $1 \text{ m}^3/\text{s}$ sker på samma sätt som i Fall 1. I slutet av FS07, FS08 och FS09 byggs pumpgropar där totalt 6 propellerpumpar placeras. Dessa pumpar $3 \text{ m}^3/\text{s}$ bräddvatten upp i rännor som anläggs hängande över bassängerna. Bräddvattnet samlas upp i en ledning som dras till befintlig bräddkanal i fördelningstunnel FT11 dit det rinner med självfall.

Den maximala lamellytbelastningen i försedimenteringsbassäng FS11 och FS10 blir $1.30 \text{ m}^3 / (\text{m}^2_{\text{Lamell}} \cdot \text{h})$. Lamellytan är tillräcklig för traditionell försedimentering. Den maximala lamellytbelastningen i FS07, FS08 och FS09 blir $1.23 \text{ m}^3 / (\text{m}^2_{\text{Lamell}} \cdot \text{h})$. Detta är något högre än vad en konservativ dimensionering av lamellsedimentering med direkrfällning skulle ge. Anledningen är bassängvolymerna; det kan bli problematiskt att få plats med fler lameller. Experiment i fullskala behöver utföras för att fastställa den precisa reningsgraden som kan uppnås med den i rapporten föreslagna dimensioneringen.

Anläggningskostnaden för Fall 2 är 96 200 000 kr. Driftkostnaden är 4 000 kr/h vid maximalt förbildnings- och bräddflöde. Underhållskostnader på 1 700 000 kr/år tillkommer. Kostnadskalkylerna redovisas i Kapitel 7 och Bilaga 2.

2 BAKGRUND

Käpplaförbundet står inför nya utmaningar som alla innebär att reningsanläggningen behöver ses över:

- En fortsatt befolkningstillväxt i redan anslutna kommuner
- Ett uttalat intresse från nya kommuner att ansluta till verket
- Utökade reningskrav

Enligt en undersökning som Naturvårdsverket utfört, baserat på inrapporterad data till Svenska Miljöportalen, bräddar i genomsnitt ca 5 % av flödet till svenska reningsverk. Undersökningen redovisades vid VA-mässan 2009. Denna relativt begränsade volym beräknas dock stå för 12 % av den totala fosforbelastningen från anläggningarna. Motsvarande siffra för BOD₇ är ca 10 % medan kväve står för 1.5 %. Med detta vill alltså naturvårdsverket peka på att åtgärder för att minska bräddvolymerna vid reningsverk är ett effektivt sätt att minska föroreningsbelastningen från verken.

Rapporten redovisar också implementerade tekniker för bräddvattenrening på några av de stora avloppsverken i Sverige. Exempel på tekniker är Actiflo vid Västra Strandens avloppsreningsverk i Halmstad, skivfilter i kombination kemisk fällning, magasinering av flödestoppar och direktfällning vid Sjölanda avloppsreningsverk i Malmö samt slutligen grovrening, förbigång av biosteget samt behandling i sandfilter vid Henriksdals avloppsreningsverk i Stockholm.

På Käppalaverket sker i nuläget bräddning främst efter fingaller. Ett visst flöde kan dessutom förbiledas det biologiska reningssteget från försedimenteringsbassängerna direkt till sandfiltren.

Det finns ett behov av att uppgradera Käppalaverkets bräddvattenhantering. Sweco Environment AB har därför fått i uppdrag att undersöka direktfällning och lamellsedimentering i försedimenteringen som möjliga tekniska lösningar för att rena avloppsvattenflöden som på grund av kapacitetsbrist inte kan behandlas i Käppalaverkets biologiska reningssteg.

3 FÖRUTSÄTTNINGAR

3.1 ALLMÄNNA FÖRUTSÄTTNINGAR

I rapporten studeras två belastningsfall, Fall 1 och Fall 2. Den del av Käppalaverkets försedimenteringssteg som byggdes ut under 1990-talet, ibland kallad "den nya delen", undersöks. De fem nya försedimenteringsbassängerna (FS) har beteckningen FS07, FS08, FS09, FS10 och FS11.

Försedimenteringsbassängerna i Käppalaverkets gamla del, FS01, FS02, FS03, FS04, FS05 och FS06 förutsätts fungera tillfredsställande då de belastas med 36 % av 6 m³/s dvs med 2.16 m³/s.

I denna studie förutsätts vidare följande hydrauliska kapacitet på befintliga processenheter:

- Galler: 10 m³/s
- Sandfång: 6 m³/s
- Försedimentering: 6 m³/s
- Luftningsbassänger: 5 m³/s
- Eftersedimentering: 5 m³/s
- Sandfilter: 6 m³/s

De flöden som analyseras är väl definierade i projektbeställningen och redovisas nedan. Redovisad föroreningsbelastning för de två fallen är tagna från Sweco:s idéförslag.

3.2 FALL 1

3.2.1 FLÖDEN

För flöden definieras Fall 1 enligt följande:

- 6 m³/s kommer in till verket och leds genom silgaller, förluftning, sandfång och försedimentering
- 5 m³/s går vidare till biologisk rening
- 1 m³/s förbileds till sandfilter

3.2.2 FÖRORENINGSBELASTNING OCH RENINGSGRAD

Föroreningsbelastningen i Fall 1 är tagen ifrån SWECO:s idéförslag och redovisas i Tabell 3.1 nedan. I tabellen visas också den reningsgrad som krävs för den del av flödet som leds förbi det biologiska reningssteget direkt till sandfiltren.

Tabell 3.1. Föroreningsbelastning i Fall 1 samt önskad reningsgrad. Från Sweco:s idéförslag.

	Inkommande verk		Utgående förbiledning	Reningsgrad förbiledning
	kg/d	mg/l	mg/l	%
BOD7	49 000	95.5	28.3	70
Total-P	1 050	2.0	0.2	90
Total-N	6 720	16.2	14.6	10

3.3 FALL 2

3.3.1 FLÖDEN

För flöden definieras Fall 2 enligt följande:

- 9 m³/s kommer in till verket och leds genom silgaller
- 5 m³/s går vidare till biologisk rening
- 1 m³/s förbileds till sandfilter
- 3 m³/s bräddas

3.3.2 FÖRORENINGSBELASTNING OCH RENINGSGRAD

Föroreningsbelastningen i Fall 2 är tagen ifrån SWECO:s idéförslag och redovisas i Tabell 3.2 nedan. I tabellen visas också den reningsgrad som krävs för den del av flödet som bräddas och den del som leds förbi det biologiska reningssteget direkt till sandfiltren.

Tabell 3.2. Föroreningsbelastning i Fall 2 samt önskad reningsgrad. Från Sweco:s idéförslag.

	Inkommande verk		Utgående förbiledning/bräddning	Reningsgrad förbiledning/bräddning
	kg/d	mg/l	mg/l	%
BOD7	63 000	81.0	24.3	70
Total-P	1 350	1.7	0.17	90
Total-N	10 800	11.1	10.0	10

4 TEKNIK

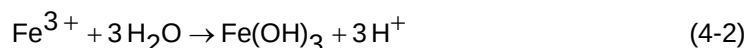
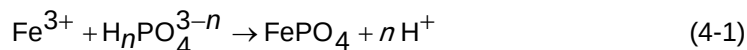
Reningstekniken som studeras i denna rapport bygger på att föroreningar separeras från vattenfasen genom tillsats av fällningskemikalie och försedimentering som görs så effektiv som möjligt. För att öka kapaciteten på sedimenteringen kan lameller installeras.

En fördel med både fällning och lamellsedimentering är att man kan utnyttja befintliga volymer på verket.

4.1 DIREKTFÄLLNING

Vid direktfällning tillsätts fällningskemikalier efter grovreningen. Direktfällning skiljer sig från förfällning genom att vara det ända reningssteget. Efter inblandning anordnas ibland en flockningszon där utflockning av suspenderat material och bildandet av fosföroreningar kan ske. Därefter renas vattnet genom att partiklar och flockar sedimenterar.

De vanligaste fällningskemikalierna är olika typer av aluminium- eller järnsalt. Vid inblandning av t ex ett järnsalt i avloppsvatten fälls fosfat ut dels genom en direkt reaktion med fällningskemikalien (4-1) dels genom adsorption till de hydroxider som bildas då saltet reagerar med vatten (4-2) (Metcalf and Eddy Inc., 2003):



Hydroxiden växer efter hand till och bildar flockar. Fällning genom reaktion med kemikalien ger en mer effektiv separationsprocess än adsorption till hydroxiden. Det är på grund av detta som det är viktigt med välomrörda förhållanden där fällningskemikalien doseras; reaktion 4-1 premieras vid turbulenta förhållanden (Lindquist, 2003).

Reaktion 4-1 och 4-2 är förenklingar av verkligheten och kan inte användas för att beräkna den exakta mängden erforderlig fällningskemikalie. Andra reaktioner i vattnet samt miljöfaktorer som alkalinitet och pH spelar in. Den optimala fällningskemikalien samt doseringsstrategi bestäms därför med hjälp av labb- och fullskaleförsök.

Till hydroxidflocken som bildas adsorberar också negativt laddade slampartiklar. Detta medför att man vid fällning även får en förbättrad SS- och BOD-reduktion. Man får också en ökad kvävereduktion eftersom partikulärt organiskt material innehåller kväve.

Genom att tillsätta polymer ökar flockbildningen ytterligare och man får bättre sedimentationsegenskaper.

Det går att uppnå mycket god reningseffekt med direktfällning. Tabell 4.1 visar en sammanställning av reningsresultat med direktfällning från 87 norska reningsverk. Reningsgraderna för BOD₇ (84 %), Tot-P (95 %) och Tot-N (21 %) i dessa verk överstiger de reningsgrader som angivits som förutsättning i denna utredning. I tabellen ser man också att det går att nå låga Tot-P koncentrationer på ned till 0.1 mg P/l.

Tabell 4.1. Resultat och koncentrationsintervall från 87 norska direktfällningsverk under 1990. Från (Ødegaard och Karlsson, 1994).

Parameter	N ¹⁾	n ²⁾	Influent mg/l	Effluent mg/l	Removal ³⁾ %
BOD ₇	23	183	167 ± 95	27.2 ± 12.7	83.7
COD	87	1193	463 ± 251	104 ± 38	77.5
TOC	58	820	76.7 ± 45.8	23.8 ± 11.2	69.0
Tot. P	87	1270	5.24 ± 2.53	0.26 ± 0.16	95.0
SS	78	931	233 ± 186	16.6 ± 9.6	92.9
Tot. N	37	246	33.7 ± 21.3	26.6 ± 9.4	21.1

¹⁾ Number of plants ²⁾ Number of monthly averages ³⁾ Based on average infl. and effl. concent.

Fällningsförsök i labbskala med goda resultat har tidigare gjorts på Käppala (Ciba Scandinavia AB, 2009). Resultat från dessa visas i Tabell 4.2.

Tabell 4.2. Exempel på reningsgrad (%) med kemisk fällning samt den reningsgrad som önskas i denna utredning.

	Önskad reningsgrad	Norge ¹	Ryaverket ²	Käppala ³
SS		93	89	
BOD7	70	84		
Tot-COD		77.5		78
Tot-P	90	95	85	89
Tot-N	10	21		

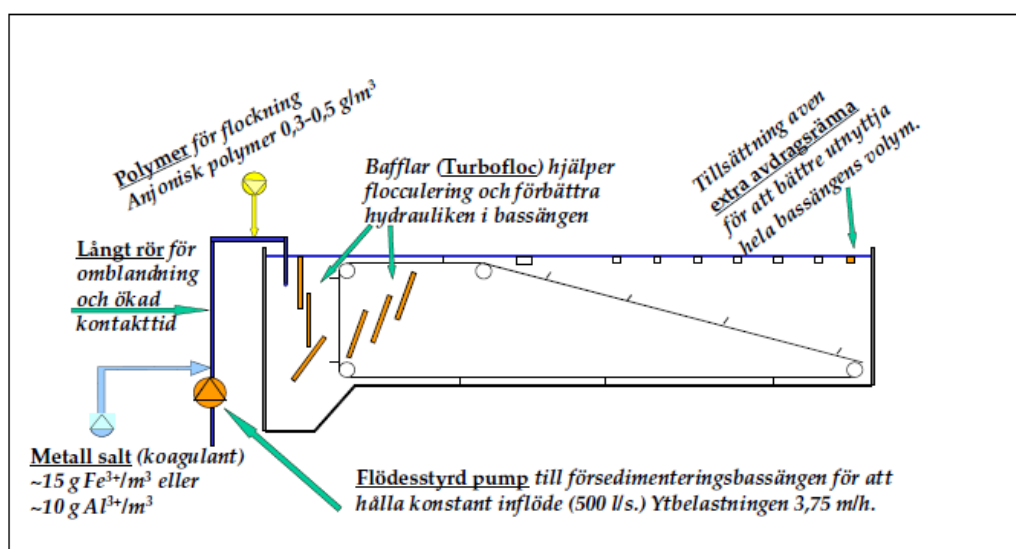
¹ Genomsnittliga resultat från 87 norska reningsverk under 1990, se Tabell 4.1.

² Järnbaserat metallsalt (17 g Fe/m³) och anjonpolymer. Ytbelastning 3.75 m/h

³ Fällningsförsök med flockulatorer (1-liters bägare), polyaluminiumklorid (103 g/m³) och högmolekylär polymer

Tabell 4.2 visar också resultat från försök med direktfällning som utförts på Ryaverket i Göteborg (Nordqvist och Mattsson, 2003). Man uppnår inte 90 % fosforreduktion men det eftersträvades heller inte i detta fall. Försöken på Ryaverket påminner mycket om det förslag som ges i denna rapport och det rekommenderas att detta studeras om man går vidare med direktfällningsförsök på Käppala.

På Ryaverket la man stor vikt vid att flockning och således avskiljning kan förbättras ytterligare genom att införa goda förhållanden för inblandning av kemikalier samt bafflar för att förbättra flockbildning i bassängen, se Figur 4.1.



Figur 4.1: Översikt över direktfällningsförsök på Ryaverket. Från Nordqvist och Mattsson (2003).

En flödessimulering gjordes för att studera och optimera effekten av bafflar, som sedan placerades i bassängens inloppsände för att skapa en jämnare flödesbild i försedimenteringsbassängen och turbulens i inloppet.

För att styra kemikaliedoseringen användes på Ryaverket periodvis en partikelladdningsdetektor (för polymer) med goda resultat. Den allmänna åsikten är annars att man inte behöver mer avancerade sensorer än susp- och flödesmätare för att styra doseringen.

På Ryaverket hade man en ytbelastning om 3.75 m/h. Den kemikalieleverantör som kontaktats i detta projekt har erfarenhet från att det går att nå en ganska bra reduktion med en ytbelastning på upp till 8.5 m3/h. Detta är extremt och kräver att man har bra kontroll över kemikalieinblandningen och bra sedimenteringsförhållanden.

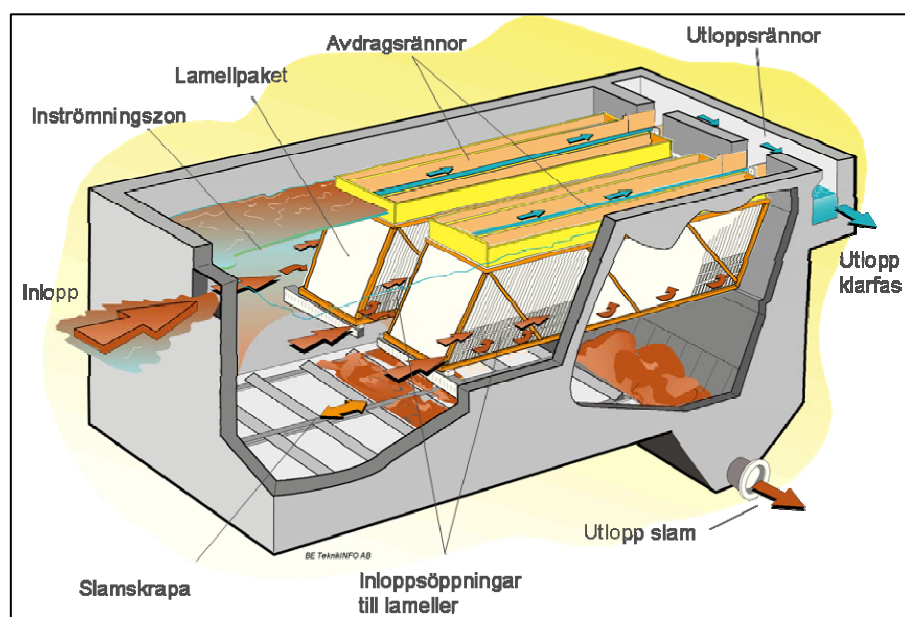
Det svårt att bedöma hur stor ytbelastning man klarar. Många parametrar spelar in. Djupet på bassängen kommer att avgöra hur tjockt slamlager som kan tillåtas. Hur effektiv inblandning av kemikalie man har är också viktigt. Fullskaleförsök måste genomföras för att faställa detta.

4.2 LAMELLEDIMENTERING

För att öka sedimenteringsytan och den hydrauliska kapaciteten på försedimenteringssteget kan lameller installeras i bassängerna.

Användningen av lameller i försedimenteringssteget har kommit till en omfattande användning de senaste åren i Europa, där begränsningen av byggvolym och ytor sedan länge varit ett uttalat krav. Exempelvis byggs det centrala avloppsverket i Budapest (dimensionerat för 1.5 miljoner PE) med ett försedimenteringssteg baserat på lamelledimentering. Andra länder som sedan länge tillämpar lamelledimentering i försedimenteringen är Frankrike, Belgien, Storbritannien och Österrike.

Figur 4.2 visar ett exempel på hur lameller kan placeras i en försedimenteringsbassäng av den typ som finns på Käppalaverket. Bilden illustrerar också den huvudsakliga funktionen.

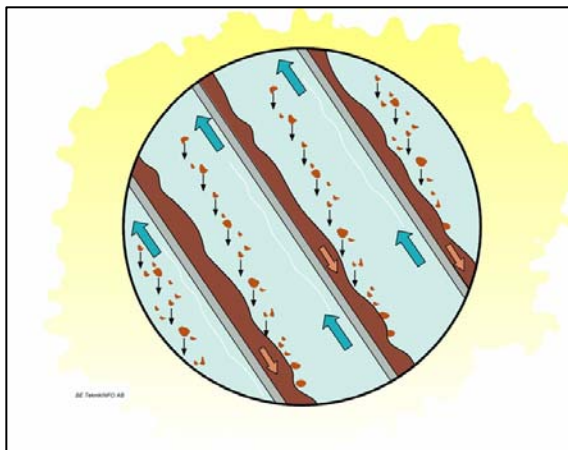


Figur 4.2: Illustration över funktion av lamelledimentering. Bild från Nordic Water.

Vätskan leds in i lamellpaketen genom öppningar på sidan och strömmar uppåt mellan lamellerna till avdragsrännorna.

Partiklarna sedimenterar på de snedställda, parallella lamellskivorna och glider av egen vikt ner till utrymmet under lamellpaketen, se Figur 4.3 för en detalj.

Öppningarna ovanför lamellpaketen är dimensionerade så att det uppstår ett tryckfall över avdragsrännorna. Detta tvingar flödet att jämt fördelas över alla lamellskivor, vilka alltså utnyttjas optimalt.



Figur 4.3: Partiklarna sedimenterar på de snedställda, parallella lamellskivorna och glider av egen vikt ner till utrymmet under lamellpaketen. Bild från Nordic Water.

När man diskuterar ytbelastning i samband med lameller och sedimenteringsbassänger är det viktigt att definiera vilken yta som avses, bassängarea eller lamellyta.

Den vanliga definitionen av ytbelastning är flöde per bassängarea, $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \text{ bassäng})$, vilken ofta anges med enheten m/h . Lamellevarantörer beräknar ytbelastningen som flöde per kvadratmeter projicerad lamellyta., alltså lamellytbelastning. Om denna uttrycks som ovan med enheten m/h kan viss förvirring uppstå. Vi kommer därför att använda enheten $\text{m}^3/(\text{m}^2_{\text{Lamell}} \cdot \text{h})$ för ytbelastningen av en försedimenteringsbassäng med lameller installerade.

Ett dimensioneringsvärde för vanlig försedimentering är $1.40 \text{ m}^3 / (\text{m}^2_{\text{Lamell}} \cdot \text{h})$. För direktfällning används $1.0 \text{ m}^3 / (\text{m}^2_{\text{Lamell}} \cdot \text{h})$.

Lameller behöver underhållas. Ungefär två gånger per år behöver försedimenteringsbassängerna tömmas och spolade rena.

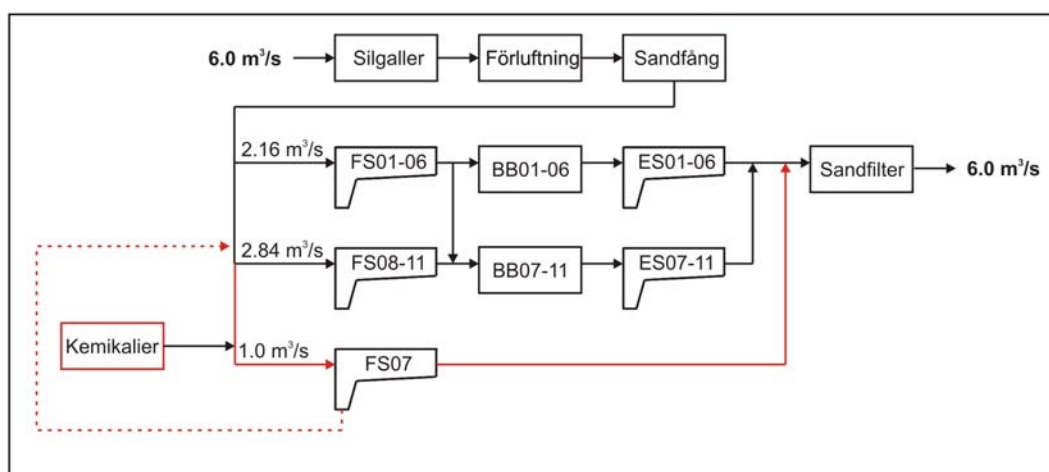
5 FÖRSLAG FALL 1, $Q = 6.0 \text{ m}^3/\text{s}$

5.1 ÖVERSIKT

I Figur 5.1 visas ett blockschema över förslaget för Fall 1.

Inkommande avloppsvattenflöde, $6.0 \text{ m}^3/\text{s}$, leds genom galler, förluftning och sandfång. Denna första del av reningen sker på samma sätt som idag. Det är inte säkert att man i dagsläget klarar att leda detta flöde genom förluftning och sandfång vilket visas tillsammans med möjliga åtgärder i Avsnitt 5.2.1.

Efter sandfången delas flödet upp mellan den gamla och nya försedimenteringen. Maximalt $2.16 \text{ m}^3/\text{s}$ går vidare till de gamla försedimenteringsbassängerna FS01-06. Detta flöde motsvarar 36 % av det totala flödet och skall enligt förutsättningarna kunna belasta den gamla försedimenteringen.



Figur 5.1. Blockschema över förslaget för Fall 1.

Av det återstående flödet ($3.84 \text{ m}^3/\text{s}$) som går till försedimenteringens nya del behandlas $2.84 \text{ m}^3/\text{s}$ på vanligt vis i FS08, FS09, FS10 och FS11.

Försedimenteringsbassäng FS07 designas som direktfällningsbassäng. En automatlucka i inloppet till FS07 öppnas så att $1 \text{ m}^3/\text{s}$ rinner in i FS07. Fällningskemikalie och polymer doseras till inloppet. När FS07 är fylld rinner vattnet över i en nybyggd kanal i fördelningstunnel FT32. Härifrån rinner det direktfällda vattnet till förbiledningstunneln i T100 och vidare till sandfiltren. Detta beskrivs vidare i Avsnitt 5.2.3. När inkommande flöde avtar stängs automatluckan i inloppet till FS07 och primärslampumpen används för att tömma bassängen till fördelningstunnel FT22. Om FS07 inte hinner fyllas används alltså bassängen som utjämningsmagasin; därigenom kan förbiledning undvikas.

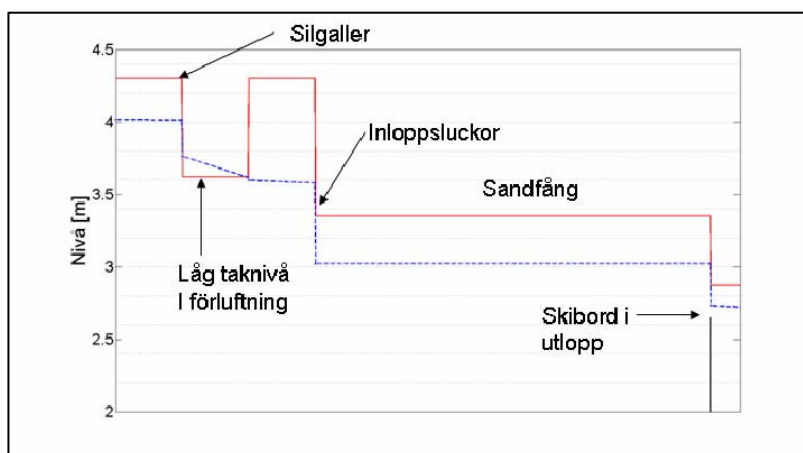
En invallad lagringstank för fällningskemikalie placeras utomhus. En polymerberedare placeras i containerhallen. Utformningen av kemikaliedoseringen beskrivs i Avsnitt 5.5.

5.2 HYDRAULISK SITUATION FALL 1

Vid dimensioneringen av Käppalas nya del användes ett $Q_{\max}$ på $6.0 \text{ m}^3/\text{s}$ alltså samma flöde som studeras i detta Fall 1. Hydrauliskt sett medför alltså inte Fall 1 några stora utmaningar.

5.2.1 INLOPPSKANAL, SILGALLER OCH SANDFÅNG

Figur 5.2 visar en beräknad hydraulisk profil från inloppspumparna och vidare genom silgaller, förluftningen och sandfång. Beräkningen är gjord för flödet $6.0 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figur 5.2. Hydraulisk profil från inloppspumpar till sandfångens utlopp. Röd linje: taknivå. Blå linje: beräknad vattennivå vid $Q=6.0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Enligt byggritningarna är nivån på skibordet i sandfångens utlopp $+2.65 \text{ m}$. För att $6 \text{ m}^3/\text{s}$ skall rinna över behöver vattennivån i sandfången vara ungefär $+3.0 \text{ m}$. Man får ganska stora förluster genom de fyra inloppsluckorna vilket medför en erforderlig nivå på 3.6 m utanför sandfången.

Bottennivån i både kanalen från inloppspumparna, förluftningen och inloppskanalen till sandfången är $+0.0 \text{ m}$. I inloppskanalen från inloppspumparna samt i inloppskanalen till sandfången är taknivån $+4.30 \text{ m}$. I förluftningen är den lägre ($+3.62 \text{ m}$).

Även om det är relativt låga vattenhastigheter i förluftningen, $0.5\text{-}1.0 \text{ m/s}$, kan man inte bortse från hydrauliska förluster. Flödet vänder t ex 90°C åtta gånger. Förlusterna i förluftningen uppskattas till ca 20 cm .

Med en erfarenhetsmässigt antagen förlust på 25 cm över silgallren hamnar man på ca +4.0 m vid inloppspumparna.

Även om hydrauliska beräkningar inte ger exakta resultat kan man dra slutsatsen att det i nuläget är svårt att leda 6.0 m³/s genom silgaller och sandfång. Man skall definitivt inte öka flödet mer utan att vidta åtgärder. En möjlig åtgärd är att öka arean på inloppsluckorna till sandfången och på så sätt reducera förlusterna. Ett annat alternativ är att förbileda förluftningssteget. Detta diskuteras vidare i Fall 2 i Avsnitt 6.2.2.

5.2.2 FÖRDELNINGSTUNNEL FT21/22 OCH FÖRSEDIMENTERINGSBASSÄNG FS07-11

Eftersom flödena är i samma storleksordning som dimensionerande $Q_{\max}$ blir inga stora hydrauliska åtgärder nödvändiga.

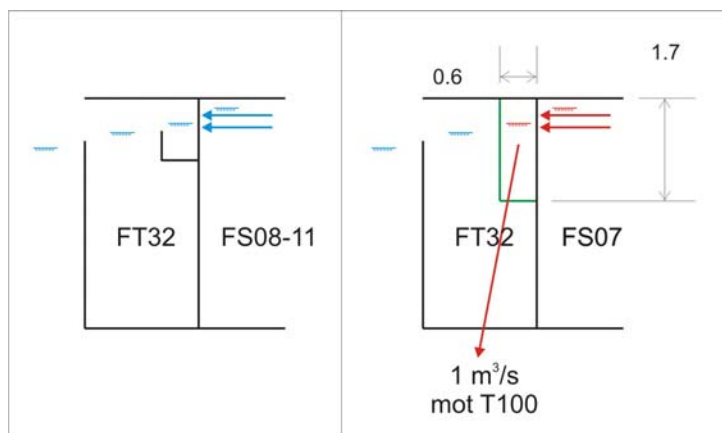
Arean på de utloppshål i försedimenteringsbassängernas utlopp, genom vilka vatten rinner över i fördelningstunnlarna FT31/FT32, påverkar flödesfördelningen i verket. Eftersom försedimenteringsbassäng FS07 i denna lösning är avställd under normala driftförhållanden minskar den totala "utloppsarean" i nya delen. För att inte belastningen skall blir för stor på gamla delen kan befintlig reglerlucka i FT21 användas för att begränsa flödet.

5.2.3 NY FÖRBILEDNINGSKANAL I FÖRDELNINGSTUNNEL FT32

I förslaget förbileds 1.0 m³/s direktfällt vatten från försedimenteringsbassäng FS07 till sandfiltren. Befintlig förbiledningskanal i T100 som är dimensionerad för detta flöde utnyttjas. För att leda direktfällt vatten separat från övrigt vatten från FS07 till T100 behöver dock en ny kanal byggas.

Figur 5.3 (vänster) visar en längdsektion över utloppen från försedimenteringsbassäng FS07-11 så som de är konstruerade idag. Vatten rinner från bassängerna genom hål in i en utloppsränna och över i fördelningstunnel FT32.

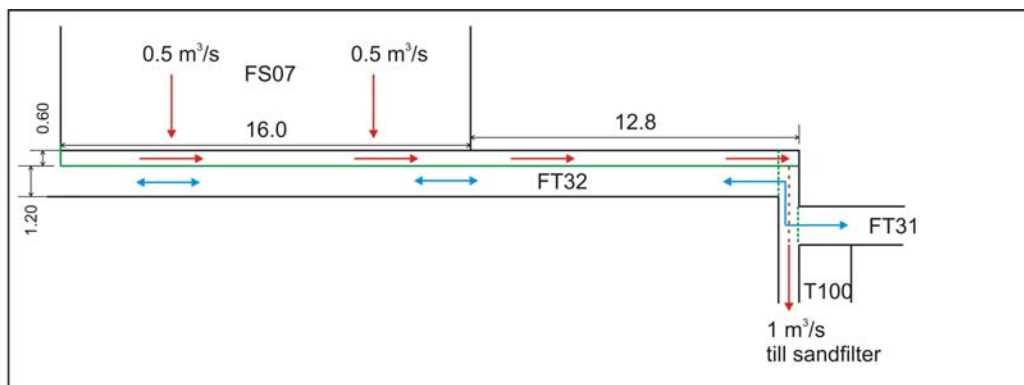
För att förbileda 1 m³/s föreslås att utloppsrännan i FS07 görs om till en separat kanal för direktfällt vatten. Detta illustreras av de gröna linjerna i den högra figuren. Den nya kanalen får en ungefärlig tvärsnittsarea om 1 m².



Figur 5.3. Längsektion över utloppen från försedimenteringsbassäng FS07-11. Vänster: Konstruktion som den ser ut idag. Höger: Föreslagen ombyggnad i FS07.

Figur 5.4 visar en planskiss över området från FS07 vidare ner mot centraltunneln T100 där FT32 möter FT31. Det direktfällda vattnet (röda pilar) rinner ungefär 30 meter i den nya kanalen som avgränsas av den gröna linjen.

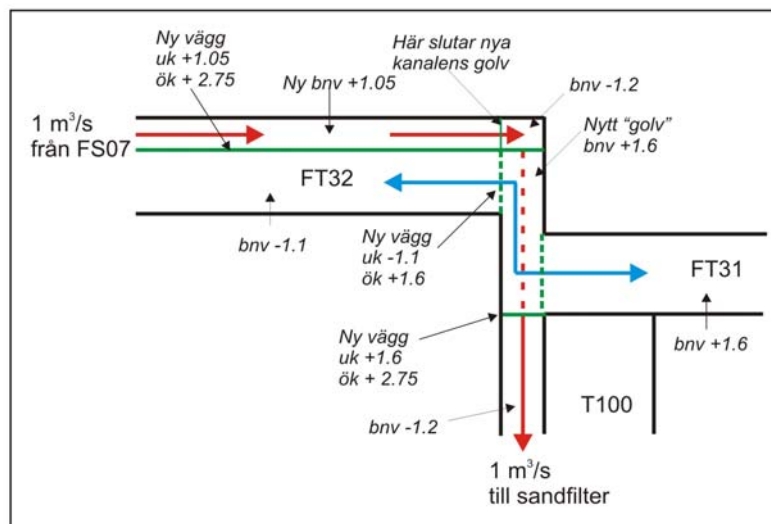
FT32 och FT31 är kommunicerande dvs övrigt vatten (blå pilar) kan rinna åt bägge håll mellan gamla och nya delen.



Figur 5.4. Ungefärlig planskiss över ny förbiledningskanal (grön linje). Se också Figur 5.5.

Figur 5.5 visar hur det direktfällda vattnet når förbiledningskanalen i T100 där det sedan rinner vidare ner till sandfiltren. I den befintliga fördelningstunneln FT32 är bottenivån - 1.1. Tunneln kommunicerar idag med fördelningstunneln FT31 som ligger högre med bottenivå +1.6 m. I förslaget byggs FT31 ut över T100. Två våningar skapas och det

direktfällda vattnet dyker under (röd streckad linje) vattnet som skall vidare till biologisk rening.



Figur 5.5. Planskiss som illustrerar hur direktfällt vatten leds från ny kanal i fördelningstunnel FT32 till befintlig förbiledningskanal i T100.

5.3 IMPLEMENTERING AV DIREKTFÄLLNING

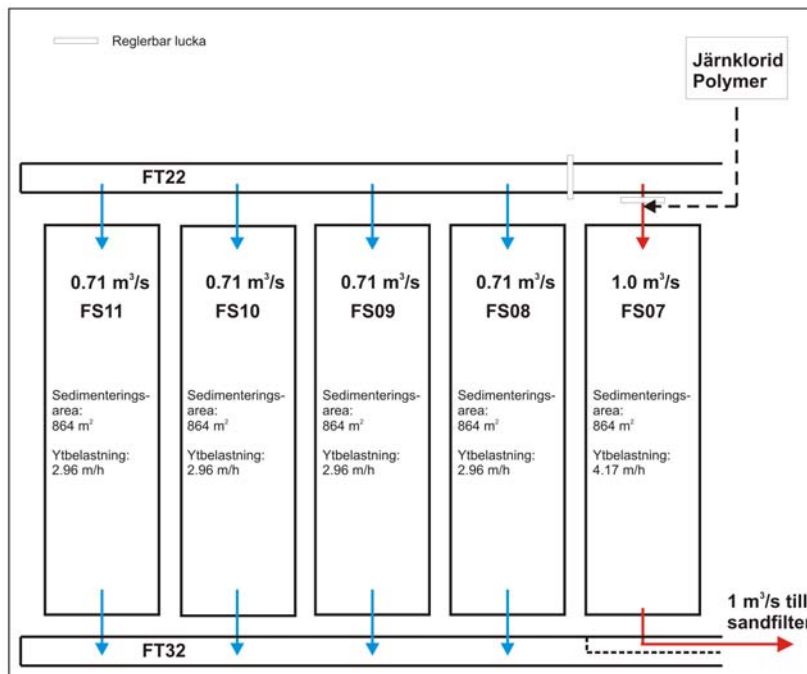
5.3.1 DIMENSIONERING OCH FUNKTION

Figur 5.6 visar den hydrauliska belastningen på försedimenteringsbassäng FS07-11 vid flödet $6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Två stycken reglerbara luckor, en i fördelningstunnel FT22 och en i inloppet till FS07 styr flödena så att $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ rinner in i FS07.

Försedimenteringsbassängerna FS08-11 är identiska och resterande flöde fördelas jämt över dessa. Belastningen blir $0.71 \text{ m}^3/\text{s}$ per bassäng vilket enligt förutsättningarna är hanterbart för normal försedimentering; FS07-11 är dimensionerade för ett Q_{max} på $4.0 \text{ m}^3/\text{s}$ vilket fördelat på fem bassänger ger $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$ per bassäng.

I inloppet till FS07 doseras fällningskemikalie och polymer. Volymen i FS07 är $3\,070 \text{ m}^3$ vilket medför att det tar 51 minuter att fylla FS07. Därefter rinner $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ ner i den nya förbiledningskanalen och vidare till T100 och sandfiltren. Ytbelastningen på FS07 blir $4.18 \text{ m}^3/\text{h}$. När inkommande flöde sjunker under $5.0 \text{ m}^3/\text{s}$ stängs inloppsluckan till FS07 och bassängen töms successivt till fördelningstunnel FT22 med hjälp av primärslampumparna.



Figur 5.6. Hydraulisk belastning på bassängerna FS07-11 vid 6.0 m³/s enligt förslaget för Fall1.

De två reglerluckor som installeras kan användas för att förbilda vatten även när flödet är lägre än 5.0 m³/s.

Om man vill kunna använda försedimenteringsbassäng FS07 helt vanligt som idag går man miste om utjämningsfunktionen. Man behöver i så fall installera ytterligare två reglerluckor vid utloppet i den nya förbiledningskanalen. Denna kostnad är inte medräknad i kostnadskalkylerna.

5.4 FÖRVÄNTAD RENINGSGRAD

Enligt den kemikalieleverantör som kontaktats i detta projekt är det ur kemisk synvinkel möjligt att uppnå de reningsgrader som angivits. Den ytbelastning som maximalt uppnås i försedimenteringsbassäng FS07 (4.17 m/h) är hög men inte extrem. Som jämförelse kan nämnas Ryaverket i Göteborg som gjorde sina försök med en ytbelastning 3.75 m/h. Man skall också ha i åtanke att det vatten som förbileds i Fall 1 kommer att passera ytterligare ett reningssteg (sandfiltren) innan utloppet.

Det bästa sättet att ta reda på vilken reningsgrad man kan förvänta sig är att göra fullskaleförsök. På Ryaverket utfördes även flödessimuleringar för att studera strömningsförhållandena i försedimenteringsbassängerna. Resultaten från sådana kan

användas för att designa baffelsystem som kan optimera reningseffekten av kemisk fällning.

5.5 UTFORMNING AV KEMIKALIEDOSERING

5.5.1 VAL AV KEMIKALIER

Det nödvändigt att göra labb- och fullskaleförsök för att kunna välja ut optimala fällningskemikalier.

Nedan räknar vi med järnklorid som fällningskemikalie och en anjonpolymer som flockningsmedel.

5.5.2 MÄNGD FÄLLNINGSKEMIKALIE

Återigen blir det nödvändigt att göra labb- och fullskaleexperiment för att finna den optimala doseringsmängden. De reningsgrader från Ryaverket som redovisats i Avsnitt 4.1, är från försök där man doserat ca 17 g Fe/m³ och 0.3 g polymer/m³. Vid labbförsök på Käppala erhöles goda resultat med 19.6-24.5 g Fe/m³.

Eftersom den förutsatta reningsgraden är hög har vi valt att räkna med 25 g Fe/m³ och 0.4 g polymer/m³. En typisk järnkloridprodukt innehåller 137 g Fe/kg produkt vilket ger en doseringsmängd på 182 g produkt/m³ eller 129 ml produkt/m³. I Fall 1 där 1.0 m³/s direktfälls blir doseringsmängden ungefär 464 l/h.

Det är alltså relativt stora volymer fällningskemikalie som kan komma att behöva tillsättas. Kostnadskalkylen har gjorts för en lagringstank på 15 m³. Denna räcker för ca 32 timmars fällning vid maxbelastning. Eftersom lagringstanken blir så stor föreslås det att den invallas och placeras utomhus under skärmtak istället för i containerhallen som det ursprungligen var tänkt.

5.5.3 POLYMERFÖRBRUKNING

Polymerförbrukningen beräknas med antagandet att 0.4 mg polymer doseras per m³ vatten. Förbrukningen blir då 1.4 kg polymer/h vid direktfällning av 1.0 m³/s.

Polymerlösningen bereds från pulverform på Käppala med en ny polymerberedare, vilken placeras i containerhallen.

5.5.4 STYRNING AV DOSERINGSMÄNGD

För att kunna styra kemikaliedoseringen automatiskt har en nivå- och suspmätare inkluderats i kostnadskalkylen.

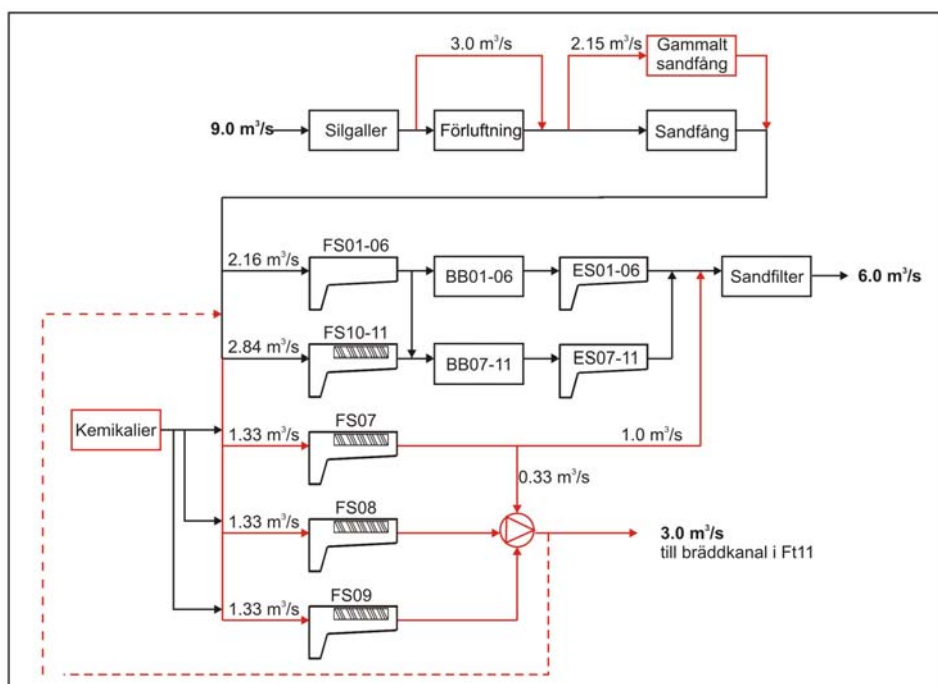
6 FÖRSLAG FALL 2, $Q = 9.0 \text{ M}^3/\text{S}$

6.1 ÖVERSIKT

I Figur 6.1 visas ett blockschema över förslaget till Fall 2.

Inkommande avloppsvattenflöde, $9.0 \text{ m}^3/\text{s}$, leds från inloppspumparna genom silgaller. Därefter bedöms det att maximalt $6.0 \text{ m}^3/\text{s}$ kan skickas genom förluftningen; i förslaget förbileds $3.0 \text{ m}^3/\text{s}$ direkt till sandfången. Detta diskuteras vidare i Avsnitt 6.2.2 nedan.

Den hydrauliska belastningen på sandfången som är i drift idag blir hög när inflödet ökar till $9.0 \text{ m}^3/\text{s}$. Det föreslås därför att ett av de gamla sandfången tas i drift. Även detta behandlas mer i detalj i Avsnitt 6.2.2.



Figur 6.1. Blockschema över förslaget till Fall 2.

Flödet till de gamla försedimenteringsbassängerna FS01-06 begränsas till $2.16 \text{ m}^3/\text{s}$. Resterande $6.84 \text{ m}^3/\text{s}$ går vidare till de nya försedimenteringsbassängerna FS07-11. Den hydrauliska belastningen på dessa blir då signifikant högre än det $Q_{\max}$ ($4.0 \text{ m}^3/\text{s}$) som användes vid den ursprungliga dimensioneringen av FS07-11.

För att öka kapaciteten i FS07, FS08, FS09, FS10 och FS11 installeras lameller i samtliga av dessa försedimenteringsbassänger. Dimensioneringen och installationen av lameller beskrivs i Avsnitt 6.3.

Tre av försedimenteringsbassängerna, FS07, FS08 och FS09 designas för bräddvattenrening. Till dessa skall man kunna dosera fällningskemikalie och polymer i bräddsituationer.

I slutet av FS07, FS08 och FS09 placeras pumpgruppar med två propellerpumpar per bassäng. 1.0 m³/s rinner från FS07 ut i den nya kanalen i fördelningstunnel FT32 och vidare genom förbiledningskanalen i T100 till sandfiltren. Bräddvattenflödet, 3 m³/s, pumpas med propellerpumparna upp i rännor som går tillbaks över bassängerna till en ledning som går vidare till den befintliga bräddkanalen FT11-BK. Förslaget för ledning av bräddvatten beskrivs i Avsnitt 6.5.1-2. I Avsnitt 6.5.3 redovisas möjligheten att koppla in bräddvattenbassängerna successivt beroende på hur stort inflödet till verket är.

6.2 HYDRAULISK SITUATION FALL 2

6.2.1 INLOPPSKANAL OCH SILGALLER

I detta projekt förutsätts det att inloppspumpar, inloppskanal och silgaller klarar 9 m³/s.

6.2.2 FÖRBILEDNING AV FÖRLUFTNING OCH UPPSTART AV GAMMALT SANDFÅNG

I Avsnitt 5.2.1 är förluftningens maxkapacitet i nuläget ca 6 m³/s, detta delvis på grund av den relativt låga kanalhöjden i denna anläggningsdel. För att Käppalaverket skall klara Fall 2 med ett inflöde om 9 m³/s behöver man därför antingen förstora förluftningskanalen, minska förlusterna i sandfångets inloppsluckor eller förbileda flöden över 6 m³/s. Vi analyserar det senare alternativet, vilket kommer att beskrivas nedan.

Tabell 6.1 visar belastningen på sandfången som idag är i drift vid 6.0 m³/s respektive 9.0 m³/s. Luftade sandfång skall ha en uppehållstid på 2-5 min vid $Q_{\max}$ enligt Metcalf and Eddy, Inc. (2003). I det ursprungliga principförslaget från 1992 är sandfången dimensionerade för ett $Q_{\max}$ på ungefär 4.0 m³/s.

I tabellen framgår det att uppehållstiden i sandfången på Käppala blir 2.4 min vid 9 m³/s, alltså i den undre delen av vad som kan anses optimalt.

Tabell 6.1. Volym och uppehållstid för sandfången för Fall 1 och Fall 2.

		Befintliga sandfång		Bef. sandfång och ett gammalt sandfång	
Volym	m ³	1300		1800	
Flöde	m ³ /s	6.0	9.0	6.0	9.0
Upphållstid	min	3.6	2.4	5	3.3

Förutom avskiljningsfunktionen är det oklart ur konstruktionssynpunkt om enbart befintliga sandfång kan klara det höga flödet i Fall 2. Vi har t ex utfört hydrauliska beräkningar som visar att om 9.0 m³/s skall tas genom enbart de nya sandfången så behöver antalet inloppsluckor dubblas från fyra till åtta stycken.

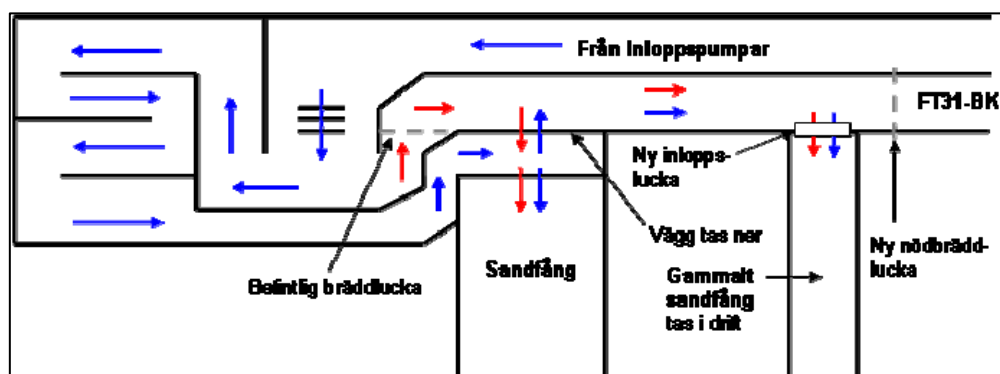
Slutsatsen blir att det är osäkert om befintliga sandfång klarar ett flöde på 9.0 m³/s. Det föreslås därför att det gamla avställda sandfång (SF01) som står närmast de befintliga sandfången tas i drift. Om så görs och flödet fördelas efter sandfångens volym går 28 % till det gamla sandfånget. Erhållen belastning visas i den högra delen av Tabell 6.1. Upphållstiden vid 9.0 m³/s blir 3.3 min vilket inte är mycket lägre än uppehållstiden man har idag vid 6.0 m³/s (3.6 min).

Den integrerade lösningen med förbiledning av förluftssteget och uppstart av ett gammalt sandfång illustreras i Figur 6.2.

Blå pilar visar flödesvägen då inkommande flöde är i intervallet 0-6.0 m³/s. Tanken är att det gamla sandfånget skall vara i kontinuerlig drift och därför öppnas väggen som avgränsar befintligt sandfångs inloppskanal och starten av bräddkanalen FT11-BK. Inloppen till befintligt och gammalt sandfång utformas med reglerbara luckor. Dessa ställs in så att 72 % av flödet går till befintliga sandfång och 28 % till det gamla.

Röda pilar visar det flöde om maximalt 3.0 m³/s som tillkommer då inkommande flöde överstiger 6.0 m³/s. Detta förbileds med hjälp av den befintliga reglerlucka (idag bräddlucka) som finns vild silgallren.

En ny nödbräddlucka behöver installeras i bräddkanal FT11-BK. När denna öppnas skall inloppen till sandfången stängas, därför behövs det justerbara luckor i inloppen till dessa.



Figur 6.2. Förslag på förbiledning av förluftning och uppstart av gammalt sandfång.
Blå pilar: 0-6 m³/s. Röda pilar: 0-3 m³/s.

6.2.3 FÖRDELNINGSTUNNEL FT21 OCH FT22

Från sandfången rinner vattnet ut i fördelningstunnlarna FT21 och FT22. 6.84 m³/s skall rinna till de nya försedimenteringsbassängerna. Eftersom 2.5 m³/s nu går genom det gamla sandfången skall 0.34 m³/s rinna från detta genom FT21 till FT22 och in i försedimenteringsbassäng FS07-11.

Det behöver utredas vidare om man behöver vidta åtgärder för att undvika att belastningen på de gamla försedimenteringsbassängerna blir för stor.

Hydrauliska beräkningar visar att det är möjligt att leda 6.84 m³/s i FT22.

6.2.4 FÖRSEDIMENTERINGSBASSÄNG FS07, FS08, FS09, FS10 OCH FS11

I samtliga nya försedimenteringsbassänger blir man tvungen att ändra på utformandet av inlopp och utlopp. Lamellerna kommer att påverka hydrauliken vilket behöver studeras närmare.

I försedimenteringsbassängerna FS10 och FS11 är flödet 1.42 m³/s vilket är mycket högre än det $Q_{\max}$ som användes vid dimensioneringen, vilket innebär att inloppen samt avbördningshål i utloppen kommer att få öppnas upp.

Även i försedimenteringsbassängerna FS07, FS08 och FS09 där flödet är 1.33 m³/s kommer inloppen att behöva öppnas upp. Utformandet av utloppen från de tre direktfällningsbassängerna är speciell och beskrivs vidare i Avsnitt 6.5 nedan.

6.2.5 FÖRBILEDNING AV 1 m³/s

På samma sätt som i Fall 1 (se Avsnitt 5.2.3) rinner 1.0 m³/s från försedimenteringsbassäng FS07 till den nya kanalen i fördelningstunnel FT32 och vidare till befintlig förbiledningstunnel i T100.

6.2.6 VAL AV BRÄDDNINGSKANAL

Det gäller att 3.0 m³/s skall bräddas ut från försedimenteringsbassängerna FS07, FS08 och FS09. Tre olika möjligheter har undersökts:

1. Bräddning i tunnarna T100 och FT51. I denna lösning skulle den nya förbiledningskanalen i FT32 ansluta till även FS08 och FS09. Allt direktfällt vatten, alltså 4.0 m³/s, skulle sedan ledas till tunneln i T100. Tunneln i T100 skulle sektionvis gå full. Vid FT51 skulle 1.0 m³/s ledas till sandfilter och 3.0 m³/s i en ny 130 meter lång ledning i FT51 ut till befintlig nödbräddlucka. Den nya ledningen skulle minst ha dimensionen 1600 mm. Preliminära beräkningar visar att denna lösning är möjlig ur hydraulisk synvinkel. Det har ännu inte utretts hur funktionen av FT51 skulle påverkas av den nya ledningen.
2. Bräddning i FT31-BK. I denna lösning skulle den nya förbiledningskanalen i FT32 ansluta till även FS08 och FS09. Allt direktfällt vatten, alltså 4.0 m³/s, skulle sedan ledas till starten av tunneln i T100. Här skulle 1.0 m³/s gå vidare mot sandfiltren och 3.0 m³/s bräddas genom bräddkanalen i FT31. Det har ännu inte undersökts hur bräddvattnet skulle ledas från FT32 till FT31. Preliminära beräkningar visar att det är möjligt att leda 3.0 m³/s i FT31-BK och att lösningen är möjlig ur hydraulisk synvinkel. I bräddkanalen i FT31 ligger det idag el som är dyr att flytta.
3. Bräddning i FT11-BK. Efter diskussioner med Käppalaförbundet beslutades det att bräddning i FT11 är mest lämplig för fortsatta undersökningar. Eftersom denna bräddkanal används idag har det förutsatts att den hydrauliskt klarar av att leda 3.0 m³/s. Dessvärre kan inte direktfällt vatten från FS07-09 rinna med självfall till FT11. Vi förslår därför en lösning med pumpning till rännor som redovisas i Avsnitt 6.5.

6.3 INSTALLATION AV LAMELLER

6.3.1 DIMENSIONERING

I Figur 6.3 visas flödessituationen på nya försedimenteringen vid flödet 9.0 m³/s.

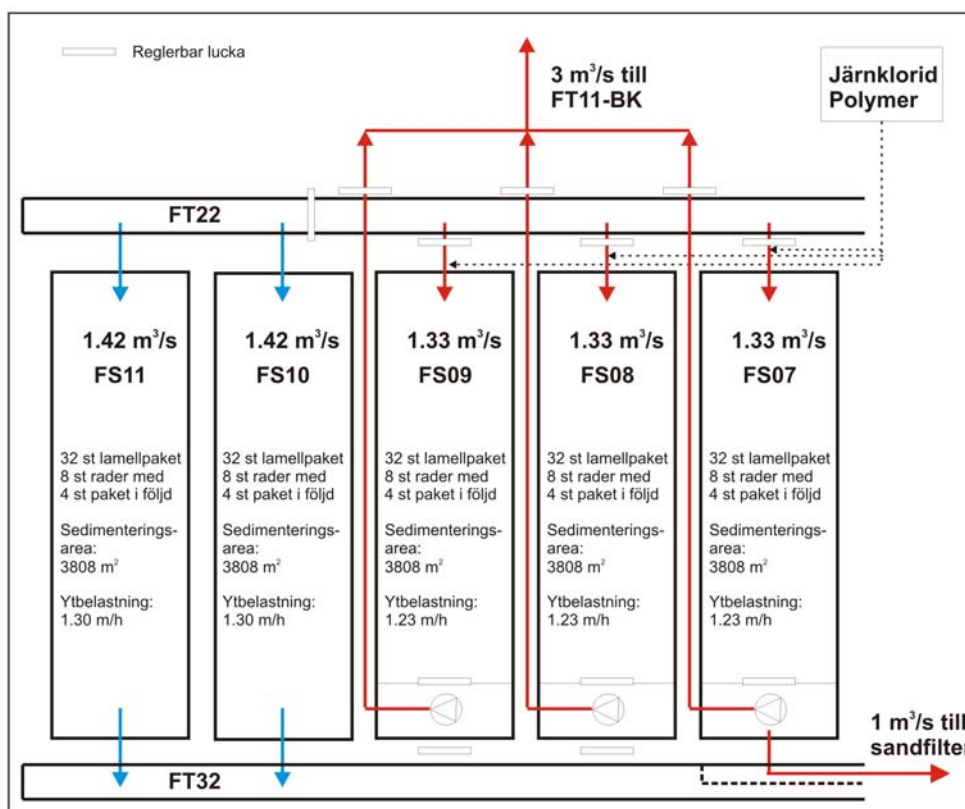
Åtta stycken rader med fyra lamellpaket i följd installeras i vardera av försedimenteringsbassäng FS07, FS08, FS09, FS10 och FS11. Lamellernas lutning är 55 °C. Totalt sätt installeras 32 lamellpaket per bassäng vilket med vald lamelltyp ger 3 808 m² projicerad lamellyta per bassäng.

Av 9.0 m³/s går 6.84 m³/s till nya delen. Av dessa skall 4.0 m³/s direktfällas med fällningskemikalie och polymer. I vårt förslag designas försedimenteringsbassäng FS07, FS08 och FS09 för direktfällning.

Försedimenteringsbassäng FS11 och FS10 designas för enbart lamellsedimentering. En reglerlucka i fördelningstunnel FT22 mellan FS09 och FS10 används för att begränsa

flödet till FS10-11. FS11 och FS10 är identiskt utformade dvs flödet fördelas jämt över dessa och blir $1.42 \text{ m}^3/\text{s}$. Lamellytbelastningen blir $1.30 \text{ m}^3/(\text{m}^2_{\text{Lamell}} \cdot \text{h})$ vilket skall vara tillräckligt för vanlig försedimentering. Den lamelleverantör som kontaktats nämner $1.40 \text{ m}^3/(\text{m}^2_{\text{Lamell}} \cdot \text{h})$ som ett "konservativt" värde för dimensionering av lameller för försedimentering.

Reglerluckor i inloppen till försedimenteringsbassäng FS07, FS08 och FS09 tillgodoser att $4.0 \text{ m}^3/\text{s}$ fördelas jämnt över dessa tre bassänger. Ytbelastningen blir $1.23 \text{ m}^3/(\text{m}^2_{\text{Lamell}} \cdot \text{h})$. Detta är något högre än det värde ($1 \text{ m}^3/(\text{m}^2_{\text{Lamell}} \cdot \text{h})$) lamelleverantören angett som standard vid dimensionering av lamellsedimentering och direktfällning. I föreslagna lösning kommer denna ytbelastning överstigas då inflödet överstiger $8.2 \text{ m}^3/\text{s}$. Om fullskaleförsök visar att reningsgraden inte blir tillräcklig kan man överväga att installera fem paket i följd istället för fyra i direktfällningsbassängerna. Man blir då tvungen att stötta upp balkarna som håller uppe lamellpaketen från botten av bassängernas slamficka. I Appendix 1 finns en översiktlig skiss med mått på lameller och bassänger.



Figur 6.3. Föreslagna flödes- och belastningssituation på nya försedimenteringen vid $Q = 9.0 \text{ m}^3/\text{s}$. Ytbelastningarna avser lamellytbelastning, $\text{m}^3/(\text{m}^2_{\text{Lamell}} \cdot \text{h})$.

I Appendix 1 ser man att avståndet mellan bassängbotten och lamellpaketens underkant är 0.8 m vilket är relativt lågt. Det är därför viktigt att i en förstudie kontrollera slamvolymen för att säkerställa att slammet inte bygger upp på botten och in i skivorna

6.3.2 SLAMSKRAPOR

Befintliga traversskrapor (fem st.) demonteras och ersätts av tio st. Zickert botten-slamskrapor som för primärslammet till slamfickan i början av försedimenteringsbassängerna. Två st. skrapor placeras i varje bassäng.

6.3.3 BRYGGOR

För att kunna rengöra lamellerna installeras två stycken elektriska gångbryggor över samtliga försedimenteringsbassänger.

6.4 KEMIKALIEDOSERING

Kemikaliedoseringen sker i princip på samma sätt som i Fall 1, se Avsnitt 5.5. I Fall 2 skall man dock kunna dosera kemikalier till både försedimenteringsbassäng FS07, FS08 och FS09, vilket kräver tre doseringspumpar. Erforderlig volym för lagring av fällningskemikalie uppskattas också bli större än i Fall 1. I kostnadskalkylen har ytterligare en lagringstank med volym 35 m³ inklusive invallning och tak inkluderats.

6.5 LEDNING AV BRÄDDVATTEN

6.5.1 PUMPNING

I slutet av försedimenteringsbassäng FS07, FS08 och FS09 sätts nya betongväggar upp. Detta skapar tre stycken pumpgropar. I var och en av dessa placeras två stycken propellerpumpar. Vattnet rinner i lamellernas avdragsrännor över respektive betongväggar i pumpgroparna. Pumparna regleras efter ett börvärde på vattennivåerna i FS07-09. Vattnet pumpas upp i tre stycken rännor som hänger i taket ovanför försedimenteringsbassängerna. Rännorna rinner ca 60 meter till en självfallsledning ca 170 meter till bräddkanalen i fördelningstunnel FT11. Det behöver undersökas vidare hur och var i verket denna ledning skall dras.

Vid maxflödet 9.0 m³/s pumpas 1.33 m³/s från vardera av bassäng FS09-10. Rännorna görs 2 meter breda. I FS07 rinner 1.0 m³/s över till den nya kanalen i FT32 och vidare till sandfiltren. Därför bräddas bara 0.33 m³/s och rännan över FS07 kan göras mindre (1 meter bred).

6.5.2 TÖMNING

Efter en bräddsituation skall det finnas möjlighet att tömma försedimenteringsbassängerna. I betongväggarna som avgränsar pumpgroparna sätts därför öppningsbara luckor som öppnas vid tömning. I rännorna i höjd med fördelningstunnel FT22 sätts två

luckor per ränna. Vid tömning stänger luckan mot självfallsledningen och öppnar mot FT22. Vid tömningen av försedimenteringsbassängerna stänger man dess inloppsluckor.

Det sista vattnet som finns i försedimenteringsbassängernas slamfickor töms till FT22 med befintliga primärslampumpar.

6.5.3 VAD HÄNDER VID LÄGRE FLÖDEN?

Sammanfattningsvis innebär förslaget att man vid ett totalt inflöde på 9.0 m³/s direktfäller och bräddar i försedimenteringsbassäng FS07, FS08 och FS09.

Försedimenteringsbassäng FS10 och FS11 används för vanlig försedimentering. När inflödet till verket sjunker sker följande:

När inflödet understiger 7.67 m³/s direktfäller och bräddar man i FS07 och FS08.

Utloppsluckorna i FS09 öppnas och bassängen övergår i normal drift och fungerar på samma sätt som FS10 och FS11. Tre försedimenteringsbassänger, FS09, FS10 och FS11, används alltså för vanlig försedimentering.

När inflödet till verket understiger 6.33 m³/s kan även utloppsluckorna till FS08 öppnas. Fyra försedimenteringsbassänger, FS08-11, används då för vanlig försedimentering och direktfällning sker endast i FS07.

7 KOSTNADSKALKYLER

7.1 ANLÄGGNINGSKOSTANDSKALKYL

Anläggningskostnadskalkyler har tagits fram för Fall 1 och Fall 2 av föreslagen bräddvattenrening. Kostnadskalkylen är uppförd för samtliga föreslagna åtgärder i bygg, maskin samt el- och automation.

Kostnadsposten oförutsedda utgifter är satt till 15 % av entreprenadkostnaden för bygg och maskin. Projektering, byggledning, kontroll etc. är satt till 25 % av entreprenadkostnaden.

I Tabell 7.1 och Tabell 7.2 redovisas sammanfattande anläggningskostnader för Fall 1 och Fall 2. I Appendix 2 redovisas även detaljerade anläggningskostnadskalkyler. Anläggningskostnaden är beräknad med prisnivå juni 2010.

Tabell 7.1: Anläggningskostnad för Fall 1.

Kostnadspost	Kostnad
Bygg	746 000 kr
Maskin	1 052 000 kr
El och automation	300 000 kr
Entreprenadsamordning	105 500 kr
Oförutsett	331 500 kr
Entreprenadkostnad	2 541 500 kr
Projektering, byggledning, kontroll etc.	635 500 kr
Anläggningskostnad	3 177 000 kr

Anläggningskostnadskalkylen för Fall 2 förutsätter att anläggningen för Fall 1 redan har uppförts. Gemensamma anläggningsdelar innefattar kemikalietankar, polymerberedare etc.

Tabell 7.2: Anläggningskostnad för Fall 2.

Kostnadspost	Kostnad
Bygg	12 564 000 kr
Maskin	52 220 500 kr
El och automation	1 600 000 kr
Entreprenadsamordning	3 319 500 kr
Oförutsett	10 456 000 kr
Entreprenadkostnad	80 160 000 kr
Projektering, byggledning, kontroll etc.	16 032 000 kr
Anläggningskostnad	96 192 000 kr

7.2 DRIFT- OCH UNDERHÅLLSKOSTNADSKALKYL

Med lamellsedimentering och direktfällning fås en större primärslamproduktion. Den ökade slammängden kan också påverka Käppalaverkets biogasproduktion. I denna kalkyl analyseras inte eventuella kostnader eller vinster som den ökade primärslammängden kan komma att medföra.

Principlösningen med direktfällning i FS07, motsvarande Fall 1, förväntas inte påverka Käppalaverkets elenergiförbrukning. Enhetspriser använda vid beräkningen av driftkostnader redovisas i Tabell 7.3.

Tabell 7.3: Enhetspriser för beräkning av driftkostnader.

Kostnadspost	Enhetspris	Värde
Elström	kr/kWh	1.0
Fällningskemikalie	kr/ton	1 400
Polymer	kr/ton	30 000
Underhåll i % av investeringskostnad:		
Bygg	%	1
Maskin, el och automation	%	3

7.2.1 KEMIKALIEKOSTNADER

De årliga kemikaliekostnaderna är direkt proportionella mot den volym som direktfälls. I Tabell 7.4 anges kostnaderna dels som en kostnad per volym direktfällt vatten dels som en kostnad per timme vid maxflöde alltså då 1 respektive 4 m³/s direktfälls.

Som tidigare nämnts är det i det enskilda fallet svårt att säga vilken och hur mycket fällningskemikalie och polymer som behöver doseras. Detta skall testas genom labb- och fullskaleexperiment.

I kostnads kalkylen har vi räknat med att man behöver upprätthålla en järnkonzentration om 25 mg Fe/l i det vatten som direktfälls. Motsvarande koncentration för polymer har satts till 0.4 mg/l. Detta är relativt höga koncentrationer som återspeglar de högt satta reningsmålen. Kemikaliekostnaden redovisas i Tabell 7.4.

Tabell 7.4. Sammanställning av kemikaliekostnader.

Kostnadspost		Enhet	Värde
Kostnad per direktfälld volym			
	Fällningskemikalie	SEK/m ³	0.26
	Polymer	SEK/m ³	0.012
Kostnad per timme Fall 1			
	Fällningskemikalie	SEK/h	920
	Polymer	SEK/h	43
Kostnad per timme Fall 2			
	Fällningskemikalie	SEK/h	3 680
	Polymer	SEK/h	173

7.2.2 ELENERGIKOSTNADER

Elenergi kostnaden för bräddvattenreningen i Fall 1 och Fall 2 har beräknats som en specifik kostnad per timme, på samma sätt som beräkningen för kemikaliekostnaden.

Fall 1 innebär inte några nya motordrifter som ger tillkommande kostnader för elenergianvändning.

Lösningen för fall 2 innefattar nya motordrifter i form av propellerpumpar för återpumpning av direktfällt vatten till bräddkanal FT11-BK samt maskinell utrustning för det gamla sandfånet.

Beräknad energiförbrukning redovisas i Tabell 7.5.

Tabell 7.5. Sammanställning elkostnader för elenergi, Fall 2.

Kostnadspost	Enhet	Värde
Återpumpning	kWh/h	105
Maskinutrustning sandfång	kWh/h	35
Totalt energibehov	kWh/h	140
Total elkostnad	kr/h	140

7.2.3 UNDERHÅLLSKOSTNADER

Underhållskostnader beräknas schablonmässigt efter följande modell:

- Årliga underhållskostnader för byggnadsarbeten beräknas till 1.0 % av investerat värde.
- För maskin- och elektriskutrustning är kostnaden 3.0 % av investerat värde.

Underhållkostnaderna beräknade i kr/år redovisas i Tabell 7.6.

Tabell 7.6. Sammanställning av årskostnader för underhåll för Fall 1 och Fall 2.

Kostnadspost	Enhet	Fall 1	Fall 2
Byggnadsarbeten	kr/år	7 460	125 640
Maskin, el o automation	kr/år	40 560	1 614 615
Årlig underhållskostnad	kr/år	48 020	1 740 255

7.2.4 SAMMANFATTNING DRIFTKOSTNADER

Den sammanlagda driftkostnaden, uttryckt i kr/h, för Fall 1 och Fall 2 redovisas i tabell 7.7 nedan.

Tabell 7.7. Sammanställning driftkostnader Fall 1 och Fall 2.

Kostnadspost	Enhet	Fall 1	Fall 2
Elenergi	kr/h	-	140
Kemikalier	kr/h	963	3 853
Total kostnad	kr/h	963	3 993

8 REFERENSER

Ciba Scandinavia AB (2009). Fällningsförsök på Käppala reningsverk.

Lindquist, A. (Ed.). *Konsten att rena vatten*. Pub.: Kemira Kemwater, 2003.

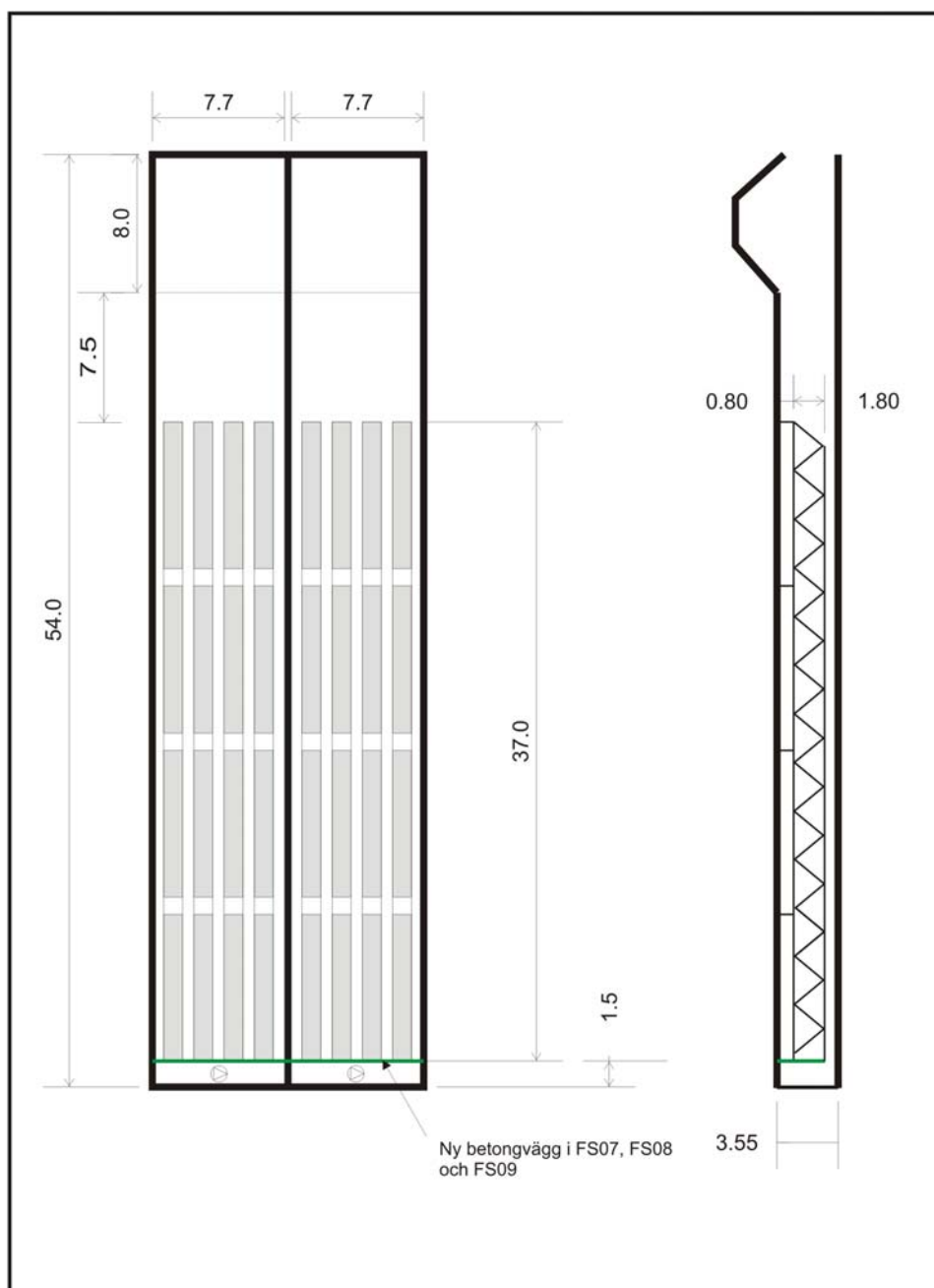
Metcalf and Eddy Inc. *Wastewater Engineering – Treatment and Reuse* (4th ed). McGraw-Hill, 2003.

Nordqvist A. och Mattsson A. Direktfällning på Ryaverket. Gryaab Rapport 2003:6.

Utveckling av Käppalaverket – Idéförslag. Sweco Environment AB, 2009.

Ødegaard H och Karlsson I. Chemical Water and Wastewater Treatment – Value for Money, I: Chemical Water and Wastewater Treatment IV, H.H. Hahn et al (Eds), sid 191-209, 1994.

Appendix 1 – lameller i försedimenteringsbassäng FS07-11, ungefärliga dimensioner



APPENDIX 2



Uppdrag / Assignment Käppala ARV	Upprättad av / Issued by Esbjörn Öhrström	Datum / Date 2010-07-02	Sida / Page 2/4
Beställare/Client Käppalaförbundet	Kontrollerad av / Checked by Erik Lindblom	Ändr / Rev	
Uppdragsnr./Reference No 1839 101 000	Godkänd av / Approved by Jan Friberg	Status-ersätter / P Ändr. / Rev Gällande	

Kalkyl: 6 m3/s, Fall 1

Byggnadsdel	Antal	Enhet	Kapacitet	Pris/ enhet	Pris	Kommentar
Försedimentering						
Reglerbara lucka, inlopp	2	st		100 000 kr	200 000 kr	
Ny tömningsledn diam 100, bef primärslampump	100	m		2 200 kr	220 000 kr	
Åtgärder utlopp	1	st		100 000 kr	100 000 kr	Omfattning okänd
El och automation					50 000 kr	
Kemikaliedosering						
Kemikalietank 15 m3, utomhus	1	st			40 000 kr	
Invallning tank, skärmtak	15	m2		6 000 kr	90 000 kr	
Påfyllnadsanordning, nivå	1	st			25 000 kr	
Doseringspump	1	st		30 000 kr	30 000 kr	
Doseringsledning					50 000 kr	
Polymerberedare Tomal	1	st		253 000 kr	253 000 kr	
Lyftanordning säckar	1	st			50 000 kr	
Suspmätare Cerlic	1	st		32 000 kr	32 000 kr	
Nivåmätare	1	st		10 000 kr	10 000 kr	
Nöd- och ögondusch	1	st		30 000 kr	30 000 kr	
VVB 3 kW	1	st		10 000 kr	10 000 kr	
Montage	40%				232 000 kr	
El och automation					250 000 kr	
Förbildningskanal						
Rivning bef kanal	16	m		2 000 kr	32 000 kr	
Förbildningskanal betong	30	m		10 000 kr	300 000 kr	
Golv och vägg vid kanal					50 000 kr	
Intransport i berg, utvändigt upplag	3%				50 500 kr	
Entreprenadsamordning	5%				105 500 kr	
Entreprenadpåslag					- kr	Ingår ovan i resp post
OF	15%				331 500 kr	
Entreprenadkostnad					2 541 500 kr	
Proj, byggledning, kontroll	25%				635 500 kr	
Anläggningskostnad					3 177 000 kr	

Uppdrag / Assignment Käppala ARV	Upprättad av / Issued by Esbjörn Öhrström	Datum / Date 2010-07-02	Sida / Page 2/4
Beställare/Client Käppalaförbundet	Kontrollerad av / Checked by Erik Lindblom	Ändr / Rev	
Uppdragsnr./Reference No 1839 101 000	Godkänd av / Approved by Jan Friberg	Status-ersätter / F Ändr. / Rev Gällande	1

Kalkyl: 9 m3/s, Fall 2

Byggnadsdel	Antal	Enhet	Kapacitet	Pris/ enhet	Pris	Kommentar
Försedimentering						
Betongväggar, pumpgrop	3	st		205 000 kr	615 000 kr	
Luckor i ny betongvägg	3	st		100 000 kr	300 000 kr	
Upplagsbalkar, lamellpaket					4 500 000 kr	
Lamellpaket, inkl montage	160	st		225 000 kr	36 000 000 kr	NW Lamella LP190/119-08
Bottenslamskrapor, inkl montage	10	st		250 000 kr	2 500 000 kr	Zickert
Reglerbara luckor, inlopp	5	st		100 000 kr	500 000 kr	
Reglerbara luckor, FT22	1	st		100 000 kr	100 000 kr	
Elektriska gångbryggor	10	st		300 000 kr	3 000 000 kr	
Rivning traversskrapor	5	st		36 000 kr	180 000 kr	
Propellerpumpar	6	st		350 000 kr	2 100 000 kr	Typ ABS VUP601ME450/6-51
Frekvensomformar 45 kW	6	st		35 000 kr	210 000 kr	
Nivåmätare	5	st		10 000 kr	50 000 kr	
Ny tömningsledn diam 100, bef primärslampump	100	m				Bef Fall 1
Ny ledn, bef primärslampump	200	m		2 200 kr	440 000 kr	
Spolustrustning, för lameller	10	st		20 000 kr	200 000 kr	
Åtgärder utlopp	1	st				Bef Fall 1
Åtgärder inlopp, utlopp	4	st		100 000 kr	400 000 kr	Omfattning okänd
2 st rännor, 2m, upphängda	120	m		20 000 kr	2 400 000 kr	
1 st rännor, 1m, upphängda	60	m		10 000 kr	600 000 kr	
Luckor i rännor	6	st		60 000 kr	360 000 kr	
GAP-ledning diam 1200	30	m		15 000 kr	450 000 kr	
GAP-ledning diam 1600	140	m		18 000 kr	2 520 000 kr	
Montage bryggor, pumpar, rör, rännor	25%				2 747 500 kr	
El och automation					1 000 000 kr	
Kemikaliedosering						
Kemikalietank 15 m3, utomhus	1	st				Bef Fall 1
Kemikalietank 35 m3, utomhus	1	st			160 000 kr	Tillsammans med tank 15 m3, bef Fall 1.
Invallning tank, skärmtak	15	m2				Bef Fall 1
Invallning tank, skärmtak	35	m2		6 000 kr	210 000 kr	
Påfyllnadsanordning, nivå	1	st				Bef Fall 1
Ihopkoppling tankar	1	st		10 000 kr	10 000 kr	
Doseringspump	1	st				Bef Fall 1
Doseringspump	2	st		30 000 kr	60 000 kr	
Doseringsledning						Bef Fall 1
Doseringsledning					100 000 kr	
Polymerberedare	1	st				Bef Fall 1
Lyftanordning säckar	1	st				Bef Fall 1
Suspmätare	1	st				Bef Fall 1
Nivåmätare	1	st				Bef Fall 1
Nöd- och ögondusch	1	st				Bef Fall 1
VVB 3 kW	1	st				Bef Fall 1
Montage	40%				216 000 kr	
El och automation						Bef Fall 1
El och automation					100 000 kr	
Gamla sandfånet						
Blåsmaskin					75 000 kr	800 Nm3/h

Grovblåsig luftarsystem	80	m		2 000 kr	160 000 kr	
Travers med sandpump					350 000 kr	
Ventiler					100 000 kr	
Ledning sandvatten diam 80	160	m		2 000 kr	320 000 kr	
Reglerbara inloppsluckor	1	st		100 000 kr	100 000 kr	
Rivning betongvägg			2x15 m		100 000 kr	
Reglerbar nödbreddlucka	1	st		250 000 kr	250 000 kr	
Montage	35%				509 500 kr	
El och automation					500 000 kr	
Förbildningskanal						
<i>Rivning bef kanal</i>	16	m				<i>Bef Fall 1</i>
<i>Förbildningskanal betong</i>	30	m				<i>Bef Fall 1</i>
<i>Golv och vägg vid kanal</i>						<i>Bef Fall 1</i>
Intransport i berg, utvändigt upplag	3%				1 891 500 kr	
Entreprenadsamordning	5%				3 319 500 kr	
Entreprenadpåslag					- kr	Ingår ovan i resp post
OF	15%				10 456 000 kr	
Entreprenadkostnad					80 160 000 kr	
Proj, byggledning, kontroll	20%				16 032 000 kr	
Anläggningskostnad					96 192 000 kr	