

Fördjupad processutredning 900k

Diarienummer

Projektnummer

1320041722

Huvudrapport

Slutlig version

Peter Ek
Ramboll Sweden AB

2020-09-18



Bilagor

Bilaga	Titel	Upprättad av	Datum	Reviderad
1	Beslutslogg	Stefan Erikstam	2020-07-01	
2	RA Dimensionerande förutsättningar 900k	Jonas Grundestam	2020-01-20	REV B
3	Dimensionering 2040 L01-06	Peter Ek	2020-08-31	
4	Dimensionering 2040 L07-11	Peter Ek	2020-08-31	
5	Dimensionering 2050 L01-06	Peter Ek	2020-08-31	
6	Dimensionering 2050 L07-11	Peter Ek	2020-08-31	
7	Mötesanteckningar Analys av scenarion för MBBR i Nya verket 2040 och 2050	Peter Ek	2020-06-16	Rev 4

Sammanfattning

I den utredning som dokumenteras i denna rapport, fördjupad processutredning, har framtida förslag för både år 2040 och 2050 tas fram för huvudströmmen. Det kommer även att byggas en rejektvattenrening utanför berget. Den dimensioneras för år 2050.

Denna rapport omfattar vattenbehandlingen men inte slamhanteringen. Under arbetet har vi analyserat möjligheterna att uppnå de strikta utsläppsvillkoren inom befintliga volymer, hela tiden beaktande processreduktion och behovet att få en så flexibel process som möjligt.

Processdimensionering har gjorts för 2040, linje 01-06 och linje 07-11 samt 2050, linje 01-06 och linje 07-11. Det avslutande skedet har bestått i att göra en känslighetsanalys som syftar till att utröna vilka verktyg som finns att tillgå.

Vid dimensionering av biostegets linje 07-11 ska dimensionering ske så att utsläppsvillkoren uppfylls vid 1 av 5 linjer ur drift för underhåll, dvs för fallet N-1. Dimensionering av biostegets linje 01-06 ska ske så att utsläppsvillkoren uppfylls då alla linjer är i drift, dvs för fallet N-0. Detta gäller för både 2040 och 2050.

Rejektvattenrening ska byggas för drift som 4 parallella linjer och dimensionering ske så att utsläppsvillkoren uppfylls vid 4 av 4 linjer i drift, dvs för fallet N-0.

Befintlig inloppspumpstation, galler och sandfång bedöms ha tillräcklig kapacitet för det framtida flödet. Flödet till sandfång och till efterföljande steg kommer att begränsas till Q_{\max} 5 m³/s i framtiden och överskjutande flöden hanteras i högflödesreningen. Den befintliga högflödesreningen av typ ballastförstärkt sedimentering kommer hantera allt överskjutande flöde vilket leds direkt från galler till högflödesreningen med total kapacitet för 3 m³/s.

Försedimenteringen för samtliga linjer sker utan tillsatts av fällningskemikalie i den nya processen. Det ska dock finnas möjlighet att vid behov dosera järnklorid.

För att Käppalaverket ska kunna uppnå de nya utsläppsvillkoren till år 2026 samt den ökande kapaciteten till år 2040 måste det byggas om. Aktivslamprocessen i linje 01-06 behöver byggas om för att inrymma efterdenitrifikation inför år 2040. Linje 07-11 behöver byggas om till MBBR med för- och efterdenitrifikation. Mellan 2040 och 2050 behöver aktivslamprocessen i linje 01-06 byggas om till MBBR med för- och efterdenitrifikation för att uppfylla de ytterligare skärpta utsläppskraven och belastningen inför år 2050.

För linje 07-11 krävs tester och fortsatta utredningar för att säkerställa separationskapaciteten för avskiljning av bio/kemslam efter MBBR.

Befintliga sandfilters kapacitet har *preliminärt* bedömts vara ca 4 m³/s under vinter och vår. Total framtida filterkapacitet (oavsett teknik) behöver vara 5 m³/s. Möjligheten av att komplettera anläggningen med skivfilter är under utredning, vilka i så fall installeras för parallell drift (i dagens eftersedimentering 01) med sandfiltren.

Innehållsförteckning

1. Inledning	6
1.1. Bakgrund	6
1.2. Omfattning och avgränsning	6
1.3. Förklaring av bilagors innehåll	8
1.4. Benämningar och förkortningar	9
2. Befintlig anläggning	10
2.1. Dimensionerande belastning befintlig anläggning	12
2.2. Dimensionerande flöden befintlig anläggning	12
2.3. Anläggningsdata	13
3. Dimensionerande förutsättningar framtida process	14
3.1. Dimensionerande flöden	14
3.2. Inkommande föroreningsbelastning	15
3.3. Utsläppsvillkor och produktionsmål	16
3.4. Vattentemperatur	17
3.5. Processreduktion	18
4. Processutformning framtida process	19
4.1. Övergripande beskrivning	19
4.2. Grovrening	21
4.3. Försedimentering	21
4.4. Biologiskt reningssteg 2040	24
4.4.1. Biobassänger år 2040	24
4.4.2. Eftersedimentering år 2040	27
4.5. Biologiskt reningssteg 2050	30
4.5.1. Biobassänger år 2050	31
4.5.2. Eftersedimentering år 2050	34
4.6. Slutfiltrering med fällning 2050	35
4.7. Högflödesrening	37
4.8. Rejekvattenrening 2050	37
5. Känslighetsanalys processdimensionering 2050	38
5.1. Beskrivning av testscenarion	38
5.2. Möjliga åtgärder	39
5.3. Resultat från känslighetsanalys	40
5.4. Sammanfattning	41

6. Luftbehov	43
6.1. År 2040	44
6.2. År 2050	45
7. Kemikalieförbrukning	46
8. Slamproduktion	50
9. Förslag på framtida utredningar/försök	53

1. Inledning

1.1. Bakgrund

Käppala avloppsreningsverk står inför en fortsatt befolkningstillväxt i nu anslutna kommuner och ökade reningskrav med utgångspunkt från vattendirektivet och Baltic Sea Action Plan, BSAP. Käppalaförbundet har sökt och fått tillstånd för framtida utökad verksamhet vid Käppala reningsverk motsvarande 900 000 pe. Belastningen 900 000 pe förväntas uppnås år 2050. De nya utsläppskraven träder i kraft under 2026. År 2040 förväntas belastningen på reningsverket motsvara 785 000 pe.

Den första delen av processarbetet med utvald teknik för biosteget, MBBR, genomfördes hösten 2019 och redovisades i en förstudie levererad 2019-11-15. I samband med leveransen av förstudien upptäcktes ett problem med mätningen av inkommande belastning på Käppala som användes under förstudien. Käppala uppdaterade senare de dimensionerande underlagen för projektet 2020-01-20.

Enligt plan skulle man därefter inträda i uppdragsskedet principförslag. På grund av att tidplanen var mycket ansträngd och att omfattningen av förstudien behövde kompletteras med fördjupade processutredningar beslutades att utföra två parallella utredningar, principförslag och fördjupad processutredning. Processunderlag till principförslaget togs fram i PM:et *Underlag till övriga teknikområden, TO, Best guess från TO process*. Fokus för principförslaget har varit att fördjupa sig i anläggningstekniken snarare än i processen. Fokus för det andra uppdraget, den fördjupade processutredningen, har däremot varit att genomföra en fördjupad processanalys, vilken redovisas i föreliggande rapport.

1.2. Omfattning och avgränsning

Den parallella utredningen, principförslag fokuserar på ombyggnad till år 2040. I den utredning som dokumenteras i denna rapport, fördjupad processutredning, ska framtida förslag för både år 2040 och 2050 tas fram för huvudströmmen. Det kommer att byggas en rejektvattenrening utanför berget. För rejektvattenreningen finns däremot bara ett dimensionerande årtal, vilket är 2050.

Denna rapport omfattar vattenbehandlingen samt slamproduktionen från processen men inte den övriga slamhanteringen.

Rejektvattenreningen utreds som en del av den fördjupade processutredningen men är fortfarande pågående och kommer rapporteras separat. Denna process beskrivs därför endast med avseende på dess påverkan på huvudströmsbehandlingen.

En värdering av en högflödessituation i december 2019 har genomförts. Det drogs då en *preliminär* slutsats att sandfiltrens kapacitet idag är 4 m³/s under vinter och vår. Inte bara flödet utan även susphalten avgör kapaciteten på filtren, varför det ännu finns stora osäkerheter i den preliminära kapaciteten 4 m³/s. Därför har försök initierats som mera detaljerat ska utvärdera sandfiltrens kapacitet vid dagens uppströms liggande process. Detta

ska utgöra grunden för en bedömning av kapaciteten vid framtida processlösning. Detta arbete pågår ännu och redovisas separat. Total framtida filterkapacitet (oavsett teknik) har beslutats behöva vara 5 m³/s. Inom den fördjupade processutredningen utreds möjligheten att komplettera anläggningen med skivfilter, vilka i så fall installeras för parallell drift med sandfiltren. Detta arbete pågår ännu och redovisas separat. Som förutsättning gäller att eftersedimentering 01 reserveras från start för att inrymma utökad filterkapacitet. Hur vattnet ska ledas till och från detta filtersteg ligger utanför detta uppdrags omfattning. Hydraulik och ritningsarbete ligger också utanför uppdragsomfattningen.

Inom uppdraget har referenser hämtats in från anläggningar med MBBR-teknik. Detta redovisas i *PM Referenser MBBR* daterad 2020-09-18 (arbetsdokument). På motsvarande sätt har referenser hämtats in av skivfilter från anläggningar och leverantörer, *PM Information skivfilter* daterad 2020-09-18 (arbetsdokument). Inget av dessa PM biläggs denna rapport.

Med hänsyn till att separat redovisning sker av rejektvattenrening, sandfilter och skivfilter så är tyngdpunkten på denna rapport huvudströmsbehandlingen i sin helhet, dvs från inlopp till utlopp, men på grund av dess betydelse och komplexitet ägnas mest utrymme åt den biologiska reningen.

Under arbetet har vi analyserat möjligheterna att uppnå de strikta utsläppsvillkoren inom befintliga volymer, hela tiden beaktande processreduktion och behovet att få en så flexibel process som möjligt. Sistnämnda behov grundar sig i att projektet bryter ny mark i Norden avseende nivå av utsläppsvillkor och att prognoser över framtida temperatur, flöden och belastningar är just prognoser medan visshet uppträder först när det dimensionerande året har uppnåtts.

Arbetet har inletts genom att i processgruppen (Käppalaförbundet och Ramboll) fastställa och dokumentera de allra flesta viktiga processparametrar inför processberäkningarna i en beslutslogg, se bilaga 1.

Därefter genomfördes en scenarioanalys som dels syftade till att för projektdeltagarna redovisa vilka olika möjliga åtgärder som finns och inte bara "gå rakt på målet", dels syftade till att "tratta ned" antalet aktuella alternativ och komma fram till en möjlig bästa lösning. Denna scenarioanalys redovisas som mötesanteckningar, se bilaga 7.

Därefter har processdimensionering skett av utvald lösning. Det har gjorts för 2040, linje 01-06 och linje 07-11 samt 2050, linje 01-06 och linje 07-11. Det betyder att totalt 4 olika lösningar och processdimensioneringar har tagits fram.

Det avslutande skedet har bestått i att göra en känslighetsanalys som syftar till att utröna vilka verktyg som finns att tillgå om den framtida verkligheten skulle medföra tex lägre temperatur eller högre belastning alternativt vad som krävs av huvudströmsbehandlingen för att uppfylla utsläppsvillkoren om underhåll behöver göras på rejektvattenreningen. Denna känslighetsanalys har genomförts för fallet 2050 linje 07-11, vilket har störst betydelse då dess kapacitet motsvarar 80 % av framtida belastning på Käppalaverket.

1.3. Förklaring av bilagors innehåll

Till denna rapport finns 7 bilagor som ligger till grund för arbetet med den fördjupade processtudien.

Bilaga 1 innehåller den beslutslogg där beslut tagna i processgruppen bestående av representanter från Ramboll och Käppalaverket bokförts.

I bilaga 2 återfinns de dimensionerande förutsättningarna som givits från projektets början. Denna bilaga består av PM:et RA Dimensionerande förutsättningar med sina underbilagor 1.1 och 1.2.

Bilaga 3 utgörs av processdimensionering för det dimensionerande årtalet 2040 för linje 01-06. Inför denna dimensionering gjordes en analys av olika scenarion (se Bilaga 7), ur vilken alternativet benämnt alternativ L valdes ut som det alternativ för vilken en ”skarp” processdimensionering skulle genomföras.

I bilaga 4 presenteras processdimensionering för linje 07-11 år 2040.

I bilaga 5 och bilaga 6 presenteras processdimensionering för linje 01-06 och linje 07-11 för år 2050.

Bilaga 7 innehåller Mötesanteckningar från processmöten *Analys av scenarion för MBBR i Nya verket 2040 och 2050*. De redovisar den analys av olika möjliga scenarion som har gjorts. Utifrån dessa scenarion har beslut tagits av vilket som ska utgöra grunden för ”skarp” processdimensionering för respektive linje och dimensionerande år.

1.4. Benämningar och förkortningar

I dokumentet används följande benämningar och förkortningar vilka definieras i korthet:

Q_{\min}	Lägsta förekommande avloppsvattenflöde
Q_{medel}	Medelvärdet av avloppsvattenflöde
Q_{dim}	Dimensionerande avloppsvattenflöde
Q_{max}	Maximalt förekommande avloppsvattenflöde
Linje	Består av försedimentering, bioblock och eftersedimentering
Fallet N	Driftfall då alla linjer är i drift
Fallet N-1	Driftfall då alla linjer utom 1 st är i drift (1 st underhålls)
Flockning	Bildande av större flockar utifrån mindre partiklar och lösta ämnen med hjälp av kemikalier
Primärslam	Slamproduktion från försedimenteringsbassänger
Returslam	Slam som pumpas i retur tillbaka till bioblock från eftersedimentering för att bibehålla önskad slamhalt hos aktivslamprocessen
Nitratrecirkulation	Nitratrikt vatten pumpas tillbaka från de aeroba zonerna till de anoxa zonerna för att få till stånd en fördenitrifikationsprocess.
Överskottsslam	Slamproduktion från bioblocket
AS	Aktivt slam
Esed	Eftersedimenteringsbassäng
MBBR	Biofilmsprocess med rörliga bärare i bioreaktorer (Moving Bed Biofilm Reactor)
Biobassäng, bioreaktor	En anpassad volym för önskad process i bioblocket
Anoxisk zon	En icke syresatt men omrörd zon där denitrifikation av nitrat sker
Anaerob zon	En icke syresatt men omrörd zon i bioblocket där anaeroba mikroorganismer får möjlighet att växa till sig.
Aerob/Ox/Oxisk zon	En syresatt zon i bioblocket där BOD bryts ner och ammoniumkväve omvandlas till nitrat, omrörning sker via tillsatt luft
Deox zon	Zon för förbrukning av syre innan en denitrifikationszon
För-/efterdenitrifikation (FDN/EDN)	En icke syresatt men omrörd zon där denitrifikation av nitratkväve sker (anoxisk zon)
Efteroxidation	Zon för oxidation av syreförbrukande ämnen, främst rester av extern kolkälla som har doserats till föregående efterdenitrifikation
Slutpolering	Sista reningssteget av avloppsvattnet
Högflödesrening	Särskild reningsteknik för ett delflöde som normalt nyttjas vid högre flöden
Rejektvattenrening	Rening av rejektvatten, vilket uppstår vid avvattning av rötat slam.

2. Befintlig anläggning

Käppalaverket har idag 11 linjer varav 6 linjer (linje 01-06) tillhör den äldre delen av verket och 5 linjer (linje 07-11) tillhör den nyare delen.

Inlopp, galler och sandfång

Avloppsvatten når reningsverket via inloppspumpstationen samt via dykarledningar, 2 st från Värmdö och 2 st från Nacka kommun. Vattnet passerar först grovningen med galler, förluftning och sandfång. Antal och övrig info angående dessa processteg ses i tabell 1.

Tabell 1. Specifikationer för inlopp och grovningen

Processteg	Antal	Övrigt
Inloppspumpar (st)	8	
Galler (st)	10	3 mm spaltvidd
Förluftning	1	8 min uppehållstid vid Q_{dim}
Sandfång (st)	4	12 min uppehållstid vid Q_{dim}

Försedimentering

Slamavskiljning sker i ett första steg i försedimenteringsbassängerna utan förfällning. Försedimenteringen består av 11 separata linjer. Flödet som leds till försedimenteringarna är optimerade utifrån efterföljande biostegs volymer och utformning. Fördelningen av flödet mellan linje 01-06 och linje 07-11 är 36 % respektive 64 %.

Biologisk rening

Den biologiska reningen sker i en aktivslamprocess för att reducera BOD₇, kväve samt fosfor. Fosforavskiljningen sker genom Bio-P i linje 01-06. I linje 07-11 sker avskiljningen genom kemisk simultanfällning med järnsulfat. Järnsulfatdosering sker till samlingsledningen för returslam. Därefter leds vattnet till eftersedimenteringen som består av 11 separata linjer.

Slutpolering

Slutbehandlingen sker i en filteranläggning för reduktion av suspenderade ämnen med utfällning av fosfor. Som slutpolering finns 30 nedströms tvåmediafilter bestående av sand 1,2-2,0 mm och krossad leca 2,5-4,0 mm. Fällning med järnsulfat sker genom dosering till samlingskanalen innan filtren. Filtren är dimensionerade för en maxbelastning av 6 m³/s över filtren. Av dessa 6 m³/s består 5 m³/s av biologiskt behandlat vatten och 1 m³/s av endast förfällt vatten som kan ledas förbi biologin. Den verkliga kapaciteten är lägre än så och är under utredning.

Högflödesrening

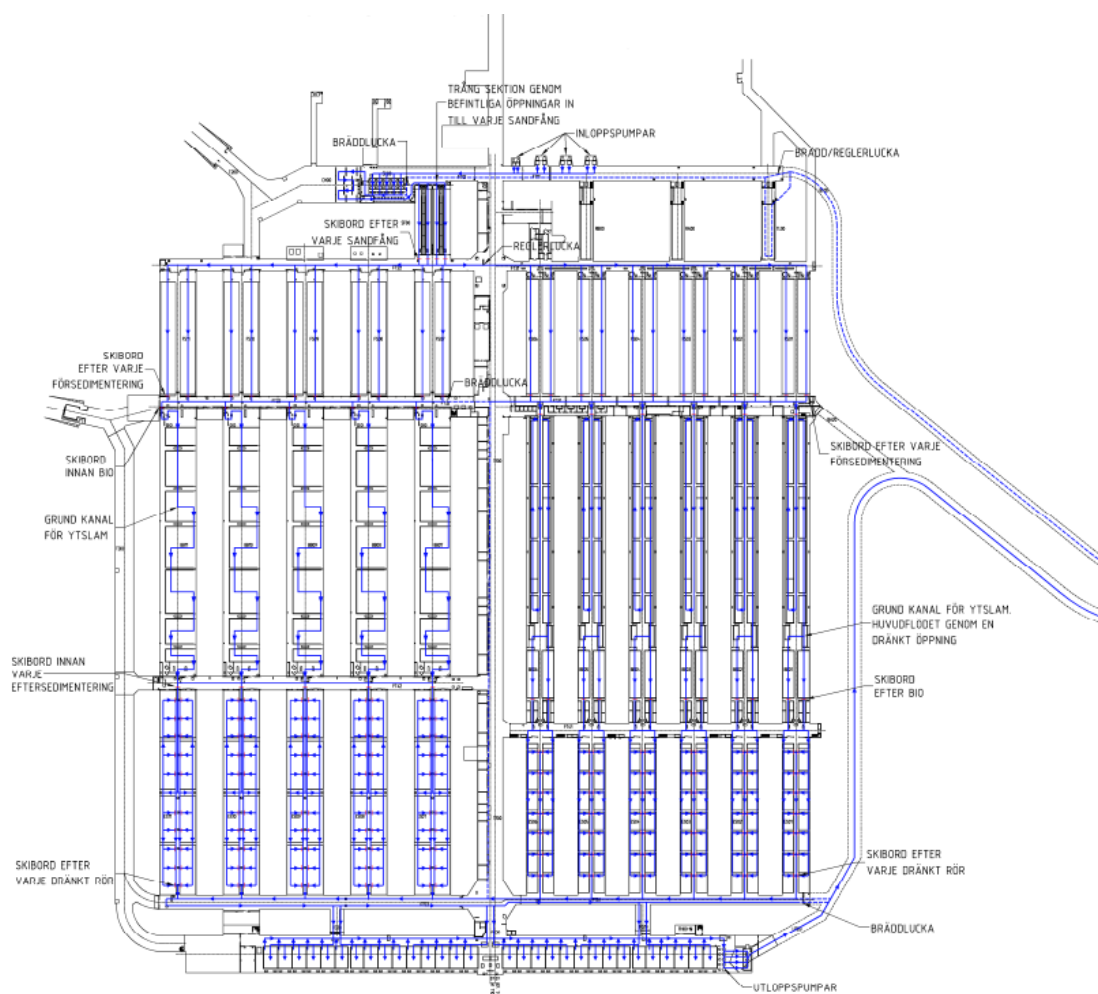
Sedan 2019 finns en högflödesrening tillgänglig för drift som består av en ballastförstärkt fällning. Den är dimensionerad för ett flöde om 3 m³/s vilket innebär att sandfiltren i framtiden inte kommer att behöva ta emot något vatten som inte har blivit biologiskt behandlat.

Slambehandling

Slammet från processen förtjockas, stabiliseras anaerobt genom rötning och avvattnas innan bortförel från området.

Ingen rening av rejektvatten sker idag. Rejektet leds tillbaka till huvudströmsbehandlingen.

Mestadelen av den gas som bildas vid rötningen uppgraderas till fordonsgas och säljs till SL (Stockholms länstrafik). Vid överproduktion samt driftstörning förbränns gasen i gaspannor där den blir till fjärrvärme alternativt facklas bort. En mindre del av gasen används för uppvärmning av anläggningen.



Figur 1. Flödesplan befintligt verk.

Kemikalier

Dagens järnsulfatmottagning är i dåligt skick och behöver byggas om eller ersättas vid fortsatt användning. Järnsulfat används i dag till biologin i aktivt slam och till slutpoleringen på filter.

Lagringstankar finns redan för järnklorid, vilka försörjer högflödesreningen. Järnklorid används idag i högflödesreningen upp till 43 m³/d (1,75 m³/h vid 3 m/s) under perioder med de högsta flödena (enligt utbildningsmaterial för Käppala: ”Högflödesrening – Process och drift”). Vid järnkloridanläggningen finns 3 tankar á 50 m³ samt en dagtank på 2 m³.

Polymer används idag i slamhanteringen men inte i övriga reningsverket.

2.1. Dimensionerande belastning befintlig anläggning

I tabell 2 visas dimensionerande belastning över befintligt reningsverk.

Tabell 2. Dimensionerande belastning för befintligt reningsverk (Driftinstruktion Käppala 2001).

Parameter	Enhet	Värde
BOD ₇	Ton/d	43
Tot-N	Ton/d	7,0
Tot-P	Ton/d	1,4

BOD₇-belastningen motsvarar 614 300 pe (70 g BOD₇/pe, d).

2.2. Dimensionerande flöden befintlig anläggning

Det dimensionerande flödet för nuvarande anläggning presenteras i tabell 3.

Tabell 3. Dimensionerande flöden per anläggningsdel (Driftinstruktion Käppala 2001).

Parameter	Enhet	Värde
Q _{medel}	m ³ /s	2,44
Q _{dim}	m ³ /s	2,5
Q _{max} inloppspumpsstation	m ³ /s	10
Q _{max} galler	m ³ /s	10
Q _{max} sandfång	m ³ /s	6
Q _{max} försed	m ³ /s	6
Q _{max} biosteg	m ³ /s	5
Q _{max} filter	m ³ /s	6 ¹
Q _{max} högflödesrening	m ³ /s	3

¹Utvärdering av verklig kapacitet pågår. Preliminär kapacitet är ca 4 m³/s vinter-vår.

2.3. Anläggningsdata

I tabell 4 redovisas anläggningsdata över vattenbehandlingen.

Tabell 4. Anläggningsdata över vattenbehandlingen (källa: Driftinstruktionen för data med avseende på förluftning, sandfång samt försedimentering. PM inmätning av bassänger för data med avseende på biobassänger och eftersedimentering).

Volymer och areor – befintligt verk	Enhet	Linje 01-06	Linje 07-11	Linje 01-11
Förluftning ¹	m ³	-	-	1 200
Sandfång ¹	m ³	-	-	1 700
<u>Försedimentering</u>				
Area	m ²	3 450	4 300	-
Djup	m	2,6	3,6	-
<u>Biobassäng</u>				
Djup	m	5,9	10,0	-
Djup deoxzon	m	5,6	5,9	-
Anaerob	m ³	3 610	6 380	-
Anox		13 600	29 400	-
Anox/Ox	m ³	5 240	10 900	-
Ox	m ³	21 840	42 900	-
Deox	m ³	4 400	3 650	-
Total AS reaktor	m ³	48 670	92 880	-
<u>Eftersedimentering</u>				
Area	m ²	5 050	6 920	-
Djup	m ³	4,0	6,1	-
Volym	m ³	17 260	40 360	-
<u>Sandfilter¹</u>	m ²	-	-	1 800

¹Gemensam för båda delarna av verket.

3. Dimensionerande förutsättningar framtida process

Nedan beskrivs den framtida processen på Käppalaverket för år 2040 respektive 2050.

De reningskrav som framtida Käppalaverket ska uppfylla beskrivs i tillståndet som givits enligt dom i Mark- och Miljödomstolen den 2019-02-13. Domen vann laga kraft 2019-06-25 vilket innebär att de nya utsläppskraven träder i kraft under 2026 vilket medför uppföljning årsmedel år 2027.

Projektet har beslutat att luft- och elbehov, ventilation samt kemikaliesystem dimensioneras för år 2050 eftersom dessa system skulle kräva stora åtgärder vid förändringar i senare skeden.

3.1. Dimensionerande flöden

De dimensionerande inkommande flödena har definierats av Käppala, se bilaga 2, och presenteras i tabell 5 och tabell 6. Flödesprognosen bygger på basåret 2018 och flödesvariationerna bygger på statistik från 2012.

Tabell 5. Dimensionerande inkommande flöden 2040 (dygnsupplösning samt timupplösning på underlag).

Storhet	Värde [m ³ /d]	Värde [m ³ /h]	Värde [m ³ /s]
Q _{max}	-	25 000	6,97
Q _{medel}	189 000	7 900	2,19
Q _{min}	-	4 100	1,14

Tabell 6. Dimensionerande inkommande flöden 2050 (dygnsupplösning samt timupplösning på underlag).

Storhet	Värde [m ³ /d]	Värde [m ³ /h]	Värde [m ³ /s]
Q _{max}	-	28 000	7,78
Q _{medel}	214 000	8 900	2,47
Q _{min}	-	4 600	1,28

I tabell 7 redovisas dimensionerande flöden i det framtida Käppalaverket.

Tabell 7. Dimensionerande flöden per anläggningsdel.

Parameter	Enhet	2040	2050
Q _{dim}	m ³ /h	8 700	9 800
	m ³ /s	2,41	2,72
Q _{dim, galler}	m/s	10	10
Q _{max, sandfång}	m ³ /h	18 000	18 000
	m ³ /s	5	5
Q _{max, försedimentering}	m ³ /h	18 000	18 000
	m ³ /s	5	5
Q _{max, biologisk rening}	m ³ /h	18 000	18 000
	m ³ /s	5	5
Q _{max, filter} ¹	m ³ /h	18 000	18 000
	m ³ /s	5	5
Q _{max, högflödesrening}	m ³ /h	10 800	10 800
	m ³ /s	3	3

¹Denna kapacitet bedöms i nuläget behöva täckas av både sandfilter och skivfilter tillsammans.

Efter galler kommer enbart flöden upp till 5 m³/s ledas vidare till sandfång och vidare till efterföljande delar av anläggningen. Allt överskjutande flöde hanteras i högflödesreningen och leds sedan till utloppet av verket.

3.2. Inkommande föroreningsbelastning

I tabell 8 visas prognosticerad dimensionerande belastning dvs medelbelastning för det framtida Käppalaverket. Som dimensionerande belastning har medelbelastningen valts.

Tabell 8. Dimensionerande belastning för det framtida Käppalaverket.

Storhet	Enhet	2040	2050
BOD ₇	kg/d	55 000	64 000
Tot-N	kg/d	10 080	11 700
Tot-P	kg/d	1 240	1 440

BOD₇-belastningen motsvarar 785 000 pe år 2040 och 900 000 pe år 2050 (70 g BOD₇/pe, dygn).

3.3. Utsläppsvillkor och produktionsmål

De reningskrav som Käppalaverket ska uppfylla i framtiden beskrivs i tillståndet som givits enligt dom i Mark- och Miljödomstolen den 2019-02-13, se tabell 9. De nya utsläppskraven träder i kraft under 2026 vilket medför uppföljning av årsmedel år 2027.

Tabell 9. Tillståndsgivna reningskrav.

Begränsningsvärden, halter som kalenderårsmedelvärde				
	Till och med sju år från lagakraftvunnet beslut om tillstånd		Efter sju år från lagakraftvunnet beslut om tillstånd	
	mg/l	ton/år	mg/l	ton/år
BOD ₇	8	-	6	-
Tot-N	10	-	6	400
Tot-P	0,3	-	0,20	13

Utsläppsvillkor skall uppfyllas enligt domen. Produktionsmålen har fastslagits av Käppala på eget initiativ och innebär att processdimensionering ska göras för dessa nivåer.

Provpunkten där dessa värden ska uppfyllas är utgående prov på befintlig provpunkt inklusive delbehandlat vatten i högflödesreningen och eventuellt bypass/bräddning från och med inloppspumpstationen och vidare nedströms i reningsverket. Ett eventuellt skivfilter och en framtida läkemedelsrening behöver också tas med i en ny strategi för den framtida provtagningen.

I tabell 10 redovisas utsläppskraven och produktionsmålen som är beslutade för det dimensionerande året 2040. Den begränsande totalmängden av kväve och fosfor i tillståndet innebär att kravet på de utgående halterna blir ännu striktare än vad tillståndet medger. Värdena härleds från mängdvillkor och prognostiserat flöde för 2040

Tabell 10. Utsläppskrav enligt erhållet tillstånd från 2019-06-25 för det dimensionerande året 2040 samt produktionsmål (enligt beslutslogg Bilaga 1).

Storhet	mg/l	Ton/år	Medel för perioden
Utsläppsvillkor			
BOD ₇	6	-	Årsmedel
Tot-P	0,19	13	Årsmedel
Tot-N	5,8	400	Årsmedel
Produktionsmål			
BOD ₇	4	-	Årsmedel
Tot-P	0,14	13	Årsmedel
Tot-N	5,0	400	Årsmedel

I tabell 11 redovisas utsläppskraven och produktionsmålen som är beslutade för det dimensionerande året 2050.

Tabell 11. Utsläppskrav enligt erhållet tillstånd från 2019-06-25 för det dimensionerande året 2050 samt produktionsmål (enligt beslutslogg Bilaga 1).

Storhet	mg/l	Ton/år	Medel för perioden
Utsläppsvillkor			
BOD ₇	6	-	Årsmedel
Tot-P	0,17	13	Årsmedel
Tot-N	5,13	400	Årsmedel
Produktionsmål			
BOD ₇	4	-	Årsmedel
Tot-P	0,12	13	Årsmedel
Tot-N	4,5	400	Årsmedel

Vi antar att TSS ut från filtren är 5 mg/l. Utifrån produktionsmålet för Tot-P 0,12 mg/l krävs då att fosfat, PO₄-P, ut från filtren är 0,04 mg/l.

3.4. Vattentemperatur

Temperaturförhållandena år 2012 har beslutats vara dimensionerande år och avloppsvattentemperaturen för det året presenteras i tabell 12 som medelvärde per månad. Årsmedeltemperaturen är 13,6 °C och den kallaste månaden är 10,2 °C. De strikta utsläppskraven innebär att produktionsmålen måste uppnås varje månad under året och därför dimensioneras processen efter den lägsta månadstemperaturen, 10 °C.

Tabell 12. Dimensionerande avloppsvattentemperatur.

Storhet	Enhet	Värde
Januari	°C	11,2
Februari	°C	10,2
Mars	°C	10,3
April	°C	10,4
Maj	°C	13,2
Juni	°C	13,9
Juli	°C	15,5
Augusti	°C	16,6
September	°C	16,1
Oktober	°C	14,6
November	°C	13,1
December	°C	11,8

3.5. Processredundans

Vid underhåll i en av biobassängerna i huvudströmmen då MBBR-teknik har valts uppstår en utmaning avseende materialhantering pga den stora mängden bärare som då behöver tömmas och flyttas. Det innebär längre stilleståndstider än vid tex aktivt slam, vilket har/kan ha påverkan på möjligheterna att uppfylla de framtida strikta utsläppsvillkoren.

Processredundans är därför av stor vikt för framtida drift.

Nedan redovisas förutsättningar kring processredundans som har fastställts under uppdraget:

- Vid dimensionering av biostegets linje 07-11 ska dimensionering ske så att utsläppsvillkoren uppfylls vid 1 av 5 linjer ur drift för underhåll, dvs för fallet N-1.
- Ovanstående ska gälla för både 2040 och 2050.
- Ovanstående gäller om en biobassäng eller en eftersedimentering tas ur drift eller om både en biobassäng och en eftersedimentering tas ur drift.
- Dimensionering av biostegets linje 01-06 ska ske så att utsläppsvillkoren uppfylls då alla linjer är i drift, dvs för fallet N-0.
- Rejektivattenrening ska byggas för drift som 4 parallella linjer.
- Dimensionering av rejektivattenrening ska göras så att utsläppsvillkoren uppfylls vid 4 av 4 linjer i drift, dvs för fallet N-0. Det betyder att utsläppsvillkoren endast kan uppnås när alla rejektivattenlinjer är i drift.
- Filterkapaciteten ska vara 5 m³/s vid Q_{max}. Om tillkommande kapacitet behöver byggas så byggs med överkapacitet för att täcka upp för backspolning och underhåll. Detta gäller oavsett val av filterteknik. Erforderlig processredundans har ännu inte fastställts.

4. Processutformning framtida process

För att Käppalaverket ska kunna uppnå de nya utsläppsvillkoren till år 2026 samt den ökande kapaciteten till år 2040 måste det byggas om. Aktivslamprocessen i linje 01-06 behöver byggas om för att inrymma efterdenitrifikation inför år 2040. Linje 07-11 behöver byggas om till MBBR med för- och efterdenitrifikation. Mellan 2040 och 2050 behöver aktivslamprocessen i linje 01-06 byggas om till MBBR med för- och efterdenitrifikation för att uppfylla de ytterligare skärpta utsläppskraven och belastningen inför år 2050.

Tabell 13 visar antalet erforderliga linjer och vilken process som är i drift år 2040 och 2050 för att nå uppställda utsläppskrav. Första siffran anger antalet biobassänger (bioreaktorer) och den andra anger antalet eftersedimenteringsbassänger. AS anger att processen utgörs av aktivt slam.

Tabell 13. Utformning och antal erforderliga linjer.

År	Linje 01-06	Linje 07-11
2040	6 + 5 (AS)	¹ 5 + 5 (MBBR)
2050	3 + 5 (MBBR)	¹ 5 + 5 (MBBR)

¹varav 4 linjer ska kunna behandla hela flödet och uppfylla utsläppsvillkoren.

4.1. Övergripande beskrivning

Under detta avsnitt beskrivs processen övergripande för att få en helhetsbild av reningsverket och vilka förändringar som sker i den befintliga processen.

Fram till år 2040 kommer kapaciteten av aktivt slam i linje 01-06 att ökas genom införandet av efterdenitrifikation och möjligheten att dosera kolkälla (till både för- och efterdenitrifikation) och att dosera polymer för att höja separationskapaciteten. Alla 5 linjer av linje 07 - 11 konverteras till MBBR och dosering av kolkälla både till för- och efterdenitrifikation ska kunna ske. Efterfällning (järn/aluminium) och flockning införs till linje 07 – 11; polymer ska kunna doseras vid behov. Av linje 07-11s 5 linjer (MBBR) kommer 4 linjer kunna hantera 80 % av inkommande flöde och få reningskapacitet för 80 % medan linje 01-06 (aktivt slam) har kapacitet motsvarande 20 % av total inkommande belastning. Den hydrauliska kapaciteten ska dock precis som idag vara 36 % i linje 01-06 för att kunna ha flexibilitet och en möjlighet att kunna utnyttja framtida teknikutveckling. Om en linje av linje 01-06 skulle behöva stängas ner leds detta vatten i första hand om till linje 07-11.

Ca år 2040 kommer kapaciteten i linje 01-06 att ökas inför kraven mot horisonten år 2050 genom ombyggnad till MBBR och flockning i 3 biobassänger vid samtidigt bibehållande av 5 eftersedimenteringsbassänger. Möjligheten ska finnas att dosera kolkälla (till både för- och efterdenitrifikation). Linje 01-06 kommer kunna ha kapacitet motsvarande 25 % av belastningen även om 20 % kapacitet skulle vara tillräckligt. Detta på grund av att linje 07-11 kommer ha kapacitet att behandla 80 % av belastningen till önskat utsläppsvillkor även mot år 2050 utan ytterligare investeringar.

Inlopp, galler och sandfång

Befintlig inloppspumpstation, galler samt sandfång har en tillräcklig kapacitet för det framtida flödet. Flödet till sandfång och till efterföljande steg kommer att begränsas till Q_{\max} 5 m³/s i framtiden och överskjutande flöden hanteras i högflödesreningen.

Försedimentering

Flödesfördelningen före/efter försedimenteringen har inte studerats inom detta uppdrag. I arbetet med principförslaget har man kommit fram till följande: Efter sandfånget fördelas vattnet ut på befintliga försedimenteringar med 20 % av flödet till linje 01-06 och 80 % till linje 07-11 genom att en befintlig reglerlucka stryker mot linje 01-06. Hydraulisk ska det vara möjligt att fördela 36 % av flödet till linje 1-6 respektive 64 % av flödet till linje 7-11. Det skall vara möjligt att förfälla i förluftningen innan sandfånget och försedimenteringarna vid behov. Tvärkanalen efter försedimenteringarna mellan linje 01-06 och linje 07-11 sammanlänkas för att kunna leda om flödet under ombyggnation eller underhåll av enskilda linjer.

Biologisk rening

Flödesfördelningen före/efter försedimenteringen har inte studerats inom detta uppdrag. I arbetet med principförslaget har man kommit fram till följande: Flödesfördelningen till biologin styrs genom separat pumpning av biopumpar över befintliga skibord till respektive Linje 07-11. Detta för att få en god kontroll på fördelningen och kunna hantera de olika ombyggnadskedena som verket kommer genomgå som en del av detta projekt. Fördelningen i linje 01 - 06 sker precis som idag över skibord. Flödesfördelningen till biologin är 20 % av flödet till linje 01 - 06 och 80% till linje 07-11. Möjligheten att kunna leda upp till 36 % av flödet genom linje 01-06 som i befintlig anläggning skall dock bibehållas för framtida optimering av processen.

Efterpolering och rejektvattenrening

Efterpoleringen kommer även i fortsättningen att utföras genom att fälla på befintliga sandfilter. Kapaciteten i dagens sandfilter är dock begränsade och en utredning pågår för att möjligtvis kunna hantera ett delflöde i en skivfilteranläggning i dagens eftersedimentering i linje 1.

En rejektvattenrening kommer att anläggas på marknivå för att minska internbelastningen på den nya processen. Rejektvattenreningen ingår i en separat utredning.

4.2. Grovrening

Kapacitet på befintliga galler är högre än den dimensionerande maxbelastningen för år 2040 och 2050 och är därför tillräckliga även för framtiden, se tabell 3.

Sandfånget får ett lägre maxflöde än det var dimensionerat för eftersom högflödesreningen kommer ta delar av dagens flödestoppar vilket ger en förbättrad funktion vid högre flöden. I tabell 14 presenteras anläggningsdata över sandfånget.

Tabell 14. Anläggningsdata sandfång.

Parameter	Enhet	2040	2050
Q_{dim}	m^3/s	2,41	2,72
Q_{max}	m^3/s	5	5
Antal bassänger	st	4	4
Ovanyta totalt ¹	m^2	425	425
Volym total	m^3	1700	1700
Ytbelastning Q_{dim}	m/h	21	23
Ytbelastning Q_{max}	m/h	42	42
Uppehållstid Q_{dim}	min	11	10
Uppehållstid Q_{max}	min	5,5	5,5

¹Ovanyta sandfång är uppmätt från ritning (.dwg).

4.3. Försedimentering

Dagens försedimenteringar kommer i framtiden att hantera ett Q_{dim} på 2,41 m^3/s år 2040 och 2,72 m^3/s år 2050 samt ett Q_{max} på 5 m^3/s (för både 2040 och 2050) vilket är mindre än dagens dimensionerande Q_{max} (på 6 m^3/s).

Flödesfördelningen kommer att förändras från dagens fördelning på 64/36 till 80/20 (linje 07-11/linje 01-06) vilket innebär en förbättrad funktion över försedimenteringarna i linje 01-06. Flödet ökar i linje 07-11 men de bedöms ha en fortsatt god funktion. Högflödesreningen avlastar processen och tar hand om överskjutande flöden över 5 m^3/s . Anläggningsdata för försedimenteringarna för år 2040 respektive 2050 presenteras i tabell 15 och tabell 16.

Tabell 15. Anläggningsdata försedimentering 2040.

Parameter	Enhet	Försedimentering	Försedimentering
		01 - 06	07 - 11
Q_{dim}	m^3/s	0,48	1,93
Q_{max}	m^3/s	1,0	4,0
Antal bassänger	st	6	5
Area _{total}	m^2	3 450	4 300
Ytbelastning Q_{dim} (N)	m/h	0,5	1,6
Ytbelastning Q_{max} (N)	m/h	1,0	3,3
Ytbelastning Q_{dim} (N-1)	m/h	0,6	2,0
Ytbelastning Q_{max} (N-1)	m/h	1,3	4,2

Tabell 16. Anläggningsdata försedimentering 2050.

Parameter	Enhet	Försedimentering	Försedimentering
		01 - 06	07 - 11
Q_{dim}	m^3/s	0,54	2,18
Q_{max}	m^3/s	1,0	4,0
Antal bassänger	st	6	5
Area _{total}	m^2	3 450	4 300
Ytbelastning Q_{dim} (N)	m/h	0,6	1,8
Ytbelastning Q_{max} (N)	m/h	1,0	3,3
Ytbelastning Q_{dim} (N-1)	m/h	0,7	2,3
Ytbelastning Q_{max} (N-1)	m/h	1,3	4,2

Norsk Vann rekommenderar att ytbelastningen för försedimentering vid Q_{dim} och Q_{max} är 2,4 respektive 4,8 m/h. Dessa rekommendationer uppfylls i samtliga fall. Även då en försedimentering är ur drift.

Tabell 17. Anläggningsdata eftersedimentering.

Parameter	Enhet	Eftersedimentering	Eftersedimentering
		01-06	07-11
Andel av flöde	%	20	80
Q_{dim}	m^3/h	1 733	6 930
	m^3/s	0,5	1,93
Q_{max}	m^3/h	3 600	14 400
	m^3/s	1	4
Antal bassänger, N	st	5	5
Area _{total}	m^2	4 200	6 900
Ytbelastning Q_{dim} (N)	m/h	0,41	1,0
Ytbelastning Q_{max} (N)	m/h	0,86	2,1
Ytbelastning Q_{dim} (N-1)	m/h	0,51	1,3
Ytbelastning Q_{max} (N-1)	m/h	1,1	2,6

Kapaciteten på 1,3 m/h i linje 07-11 är precis tillräcklig vid Q_{dim} om en eftersedimentering behöver tas ur drift, N-1. Vid Q_{max} överskrids rekommenderad ytbelastning både vid full drift (N) och om en sedimentering behöver tas ur drift (N-1) och kapaciteten är därför inte tillräcklig.

Försedimenteringen drivs för samtliga linjer utan tillsats av fällningskemikalie. Det ska dock kunna doseras järnklorid innan försedimenteringarna vid behov. Det är bra att kunna ha möjlighet till förfällning vid ökad belastning, tex när linjer tas ur drift vid normal driftsituation, samt vid drift under ombyggnad.

Vald dimensionerande avskiljningsgrad i försedimenteringen presenteras i tabell 18. Den bygger på ordinarie driftdata från linje 01-10 och från förfällningsförsök i linje 11. BOD₇-avskiljningen i dagen försedimenteringar är mycket hög. Det planeras för att ingen förfällning kommer ske till någon linje under hela perioden fram till år 2050. Däremot ska installation ske från start så att möjligheten finns att dosera järnklorid.

Tabell 18. Avskiljningsgrader försedimentering (Bilaga 1 beslutslogg).

Parameter	Enhet	Utan fällning	Fällning med järnklorid
BOD ₇	%	50	55
Kväve	%	10	10
Fosfor	%	13	70
TSS	%	65	80

4.4. Biologiskt reningssteg 2040

I detta avsnitt presenteras utformningen av den nya processen och processparametrar för den ombyggda aktivslamprocessen och MBBR-processen. Volymerna för biobassängerna med aktivt slam och MBBR presenteras i tabell 19. Dimensionering har gjorts för fallet N-1, dvs med 4 av 5 linjer biobassäng i drift, för linje 07-11. För linje 01-06 har däremot dimensionering gjorts för fallet N-0, dvs med alla 6 linjer biobassäng i drift.

Tabell 19. Volym för aktivt slam linje 01-06 samt för MBBR linje 07-11. För linje 01-06 används samtliga liner, totalt 6 linjer. För linje 07-11 är en linje redundant varav 4 linjer är dimensionerande.

Process	Linje 01-06	Linje 01-06	Linje 07-11	Linje 07-11
	m ³ tot för 6 linjer	m ³ /linje	m ³ tot för 4 linjer	m ³ /linje
FDN	17 200	2 867	28 600	7 150
Anox/Ox	5 200	867	-	-
BODox	-	-	8 700	2 175
NIT1	20 300	3 383	17 300	4 325
NIT2	-	-	5 200	1 300
Deox	1 600	267	3 300	825
EDN	4 400	733	8 300	2 075
Efterox	-	-	2 900	725
Totalt, bioreaktor	48 700	8 117	74 300	18 575

4.4.1. Biobassänger år 2040

Biologi Linje 01 - 06

Befintliga biobassänger byggs om så att man får följande zonindelning: anox (fördenitrifikation), anox/ox, ox, deox, anox (efterdenitrifikation). Det kommer fortsatt vara en aktivslamprocess. Ingen bio-P kommer finnas varför befintlig anaerob zon får funktionen av anoxisk zon. Befintlig bio-P recirkulation används inte i framtiden.

Vid ombyggnation av linje 01-06 införs en ny deoxzon på 1600 m³ i sista oxzonen genom att en ny mellanvägg anläggs. De fyra befintliga deoxzonerna nyttjas som efterdenitrifikation. Denna lösning innebär att inga mellanväggar i linje 01-06 behöver flyttas. Omrörare installeras i den nya deoxvolymen och befintliga luftardysor tas bort i den zonen. Nitratpumparna flyttas till den nya deoxzonen. Släppunkten för nitratreturen flyttas och anläggs i den befintliga inlopps-zonen.

Returslammet släpps i inloppskanalen. Befintlig kapacitet på pumpar för nitratretur och returslampumpning bedöms tillräckliga även i framtiden på grund av att inkommande flöde kommer att minska till respektive linje jämfört med idag och att kapaciteten hos systemen för nitratretur och slamrecirkulation inte uppges ha varit begränsande för dagens drift.

Dimensioneringen baseras på att metanol doseras till efterdenitrifikationen (EDN). Det ska dock installeras utrustning för att kunna dosera extern kolkälla till både FDN och EDN. Både metanol och etanol ska kunna doseras (men inte samtidigt till en zon).

Ingen efterox installeras eftersom det utgås ifrån att rest metanol från efterdenitrifikationen kommer oxideras i sandfiltren.

Fällningen sker precis som idag genom simultanfällning med dosering av järnsulfat till samlingsledningen för returslam. Polymer ska kunna installeras för att förbättra eftersedimenteringens kapacitet. Optimal punkt för dosering av polymer får provas ut genom labbförsök men man kan också förbereda en doserpunkt till efterdenitrifikationen (troligen lämplig avseende uppehållstid) och till slutet av den luftade zonen (troligen lämplig avseende turbulens vid inblandning).

I tabell 20 anges designparametrar för aktivt slam.

Tabell 20. Designparametrar aktivt slam 2040, N-0 (Bilaga 1 beslutslogg).

Parameter	Enhet	Värde
Temperatur	°C	10
Erforderlig aerob slamålder @ 15 °C	dygn	4,9
MLTSS	kg/m ³	2,50
VSS/TSS	%	66
Denitrifikationshastighet _{FDN} (avlopp) @ 15 °C	g NO ₃ -N/kg VSS, h	1,8
Denitrifikationshastighet _{EDN} (metanol) @ 15 °C	g NO ₃ -N/kg VSS, h	3,5
Kolkälleförbrukning _{FDN} (avlopp)	g BOD ₇ /g NO ₃ -N _{red}	4
Kolkälleförbrukning _{EDN} (metanol)	g COD/g NO ₃ -N _{red}	4
Recirkulation _{intern} , Q _{IR}	-	1,5 x Q _{medel} ¹
Returslamflöde, Q _{RS}	-	1,25 Q _{max} ²
Syrehalt	mg/l	Se tabell 34
Djup eftersedimentering	m	5,0
Ytbelastning, vid Q _{max} (exkl. RS)	m/h	0,86 ¹
Slamytbelastning, vid Q _{max} (exkl. RS)	kg TSS/m ² , h	2,1 ¹
Slamvolymindex, SVI	ml/g	250

¹Inte en förutsättning utan ett val/resultat i samband med dimensionering. Högre kapacitet än så ska vara installerad.

²Från Principförslaget.

Biologi Linje 07 – 11

Aktivslamprocessen i linje 07-11 kommer att byggas om till MBBR inför 2040, vilket innebär stora ombyggnader i bassänger med nya avskiljande silväggar mellan de olika zonerna.

Den nya processen kommer att bestå av anoxzon för fördenitrifikation, BODox, två nitrifikationszoner, deox, efterdenitrifikation och efterox. Nitratrecirkulation sker till fördenitrifikationen från deoxzonen. Det finns inte längre behov av returslampumpning. Samtliga zoner i den nya processen innehåller bärare som bibehåller en biofilm i vilket den biologiska kvävereduktionen samt reduktion av organiskt material sker.

Kolkälledosering i form av etanol eller metanol ska kunna ske både till för- och efterdenitrifikationen. Dosering till efterdenitrifikationen kommer att ske kontinuerligt och dosering till fördenitrifikationen sker vid behov.

En flockningskammare installeras efter MBBR-processen i eftersedimenteringen där fällningskemikalie doseras kontinuerligt medan polymer doseras vid behov.

En förutsättning för denna utredning har varit att behålla läget av befintliga mellanväggar i linje 07-11 för att kunna nyttja dessa/minska åtgärderna i befintliga bassänger. Den processlösning som har tagits fram för linje 07-11 baseras på zoner vars mellanväggars läge sammanfaller med befintliga mellanväggar. Dessutom tillkommer en ny mellanvägg för att få önskat antal zoner.

Designparametrarna visas i tabell 21 och bygger på fördenitrifikation utan tillsatts av kolkälla och efterdenitrifikation med tillsatts av etanol. Dimensionering har gjorts för fallet N-1, dvs med 4 av 5 linjer biobassäng i drift. I normalfallet drivs anläggningen troligen med alla 5 linjer i drift och det finns möjlighet att nyttja metanol istället för etanol.

Möjlig flexibilitet i linje 07-11

Den första anoxzonen är stor. Förslagsvis utformas den som två zoner. Ur ett processkapacitetsperspektiv kan det vara en fördel att utforma dessa två zoner i serie. Man skulle då vid behov, tex nedstängning av linjer för underhåll, kunna dosera extern kolkälla till den andra zonen för att öka kapaciteten.

Förslag på processreduktions avseende extern kolkälla

Nedan redovisas förslag på kravställning gällande processreduktions för extern kolkälla:

- Mottagning och lagring ska kunna ske av två olika sorters extern kolkälla till denitrifikationen. Det ska kunna lagras två olika kolkällor samtidigt. Det planeras för metanol och etanol.
- Dosering av extern kolkälla i form av etanol eller metanol ska kunna ske både till för- och efterdenitrifikationen

- Det anläggs 3 tankar för extern kolkälla. Därmed kan lagring ske av både metanol och etanol samtidigt som underhåll sker på en tank.
- Det installeras två dagtankar för extern kolkälla i berget med varsin matarledning från lagringstankarna ovan jord. Därmed kan man dosera metanol (bäst drifekonomi) och etanol samtidigt till olika linjer, vilket dock inte är tänkt i normalfallet (etanol har högst kapacitet och kortast mikrobiell adaptationstid vid behov av snabb förändring, tex om man snabbt behöver öka kapaciteten i fördenitrifikationen vid underhåll/haveri så är responsen snabbare med etanol än metanol).

Designparametrar redovisas i tabell 21 och tabell 22. Tabell 22 redovisas för N-1.

Tabell 21. Designparametrar MBBR 2040 (Bilaga 1 Beslutslogg).

Parameter	Enhet	Värde
Temperatur	° C	10
BOD ₅ -oxidationshastighet @10 °C	g BOD ₅ /m ² , d	5,0
Nitrifikationshastighet NIT1 @10 °C	g NH ₄ -N/m ² , d	0,69
Nitrifikationshastighet NIT2 @10 °C	g NH ₄ -N/m ² , d	0,56
Denitrifikationshastighet FDN (avlopp) @10 °C	g NO ₃ -N/m ² , d	0,42
Denitrifikationshastighet EDN (etanol) @10 °C	g NO ₃ -N/m ² , d	1,5
Kolkälleförbrukning FDN (avlopp)	g BOD ₅ /g NO ₃ -N _{red}	3,4
Kolkälleförbrukning EDN (etanol)	g COD/g NO ₃ -N _{red}	4
Recirkulation _{intern} , Q _{IR}	-	1,6 x Q _{medel}
Syrehalt	mg/l	Se tabell 34

Tabell 22. Designparametrar bärare MBBR 2040, N-1

Parameter	FDN 1	BOD-ox	NIT1	NIT2	Deox	EDN	Efterox
Fyllnadsgrad [%]	45	35	50	50	50	45	40
Specifik area [m ² /m ³]	650	500 ¹	800	800	800	800	500

¹Alternativt 800 m²/m³ med minst 22 % fyllnadsgrad.

4.4.2. Eftersedimentering år 2040

Eftersedimentering Linje 01-06

Eftersedimenteringens kapacitet i linje 01-06 är något för låg för att ta emot 20 % av flödet (vid dimensionerande MLSS, SVI och temperatur) vid maxflödessituationer. Detta åtgärdas genom att då dosera polymer. Vid medelflöde behöver inte polymer doseras. Med nyttjande av polymer bedöms linje 01-06 ha kapacitet tillräcklig för att behandla 20 % av maxflödet till biostegen.

Idag drivs respektive linje i linje 01-06 helt separat. För att få bättre flexibilitet och för att kunna nyttja BB01 till biosteg även då ES01 byggs om för att installera skivfilter krävs åtgärder. Våra förslag till åtgärder redovisas nedan:

- Tvärkanal byggs mellan BB01-06 och ES 01-06.
- Hydraulisk kapacitet bör vara 36 % av $Q_{\max \text{ in}}$, dvs $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0,36 \times 5 = 1,8$), + Q_{\max} , returslam.
- Respektive linje ska kunna drivas isolerad, dvs stängd mot linjerna på ömse sidor.
- Tvärkanalen ska också kunna öppnas (=ej isolerade linjer) så att det blir ett gemensamt en-slamsystem för alla linjer.
- Kanalens hydrauliska kapacitet dimensioneras för att 1 st BB eller 1 st ES ska kunna tas ur drift med $Q_{\max \text{ linje 01-06}} = 1,8 \text{ m}^3/\text{s} + Q_{\max, \text{ returslam}}$.
- Kanalens hydrauliska kapacitet dimensioneras för att 1 st BB och 1 st ES ska kunna tas ur drift med $Q_{\max \text{ linje 01-06}} = 1,8 \text{ m}^3/\text{s} + Q_{\max, \text{ returslam}}$.

Ytbelastningen på eftersedimenteringen är godtagbar för Q_{dim} utan polymerdosering även om en eftersedimenteringslinje behöver tas ur drift, N-1 (tabell 23). Vid Q_{\max} och N-1 skulle situationen kunna vara utmanande även med polymerdosering med förhöjd susphalt ut som resultat. Utan tester går det inte att veta hur stor skillnad i separationskapacitet som polymerdosering medför. Kan man planera underhållet till sommarhalvåret bedömer vi att det är genomförbart.

Eftersedimentering Linje 07-11

Norsk Vann rekommenderar att ytbelastningen för sedimentering (>3,0 meters djup) efter MBBR vid Q_{dim} och Q_{\max} är 1,3 respektive 2,0 m/h med föregående fällning/flockning.

I linje 07-11 uppfylls de ställda kraven på eftersedimenteringarna för Q_{dim} men inte för Q_{\max} och åtgärder måste vidtas för att hantera dessa flöden. I tabell 23 presenteras anläggningsdata för eftersedimenteringen.

Tabell 23. Anläggningsdata eftersedimentering.

Parameter	Enhet	Eftersedimentering	
		01-06	07-11
Andel av flöde	%	20	80
Q_{dim}	m^3/h	1 733	6 930
Q_{\max}	m^3/s	0,5	1,93
	m^3/h	3 600	14 400
Antal bassänger, N	m^3/s	1	4
	st	5	5
Area total	m^2	4 200	6 900
Ytbelastning Q_{dim} (N)	m/h	0,41	1,0
Ytbelastning Q_{\max} (N)	m/h	0,86	2,1
Ytbelastning Q_{dim} (N-1)	m/h	0,51	1,3
Ytbelastning Q_{\max} (N-1)	m/h	1,1	2,6

Kapaciteten på 1,3 m/h i linje 07-11 är precis tillräcklig vid Q_{dim} om en eftersedimentering behöver tas ur drift, N-1. Vid Q_{max} överskrids rekommenderad ytbelastning både vid full drift (N) och om en sedimentering behöver tas ur drift (N-1) och kapaciteten är därför inte tillräcklig.

Separationskapaciteten behöver förstärkas vid Q_{maxbio} för linje 07-11. Detta kan göras på följande sätt:

- Fördela över mera flöde till linje 01-06
- Bygg om eftersedimentering till lamellsedimentering
- Bygg om eftersedimentering till flotation
- Dosera polymer till eftersedimenteringen

Det första alternativet är möjligt men kräver ombyggnad av flera linjer av 01-06 till MBBR (eller annan teknik än konventionell aktivt slam). Det inkluderar alltså inte bara separationskapacitet utan även reaktionskapacitet (bioreaktor).

De två följande alternativen ovan innebär installation av ny utrustning i eftersedimenteringarna. Det kommer ge tillräcklig kapacitet vid Q_{max} när en sedimentering behöver tas ur drift, N-1.

Polymer innebär mindre installationer och ingen förändring i befintliga bassänger. Effekten vid dosering av polymer behöver dock prövas i labb eller pilotskala i fortsatta utredningar för att säkerställa effekten. Dessa tester utgör en utmaning eftersom MBBR-processen och därmed rätt sorts vatten ännu inte finns på plats.

Flockning Linje 01-06

Ingen flockning kommer finnas. Kemisk fällning sker som simultanfällning.

Möjlighet ska finnas att dosera polymer till biobassängen. Lämplig doserpunkt är efterdenitrifikationen eller slutet av den luftade zonen.

Flockning Linje 07-11

I linje 07 - 11 installeras flockningskammare i vardera av de befintliga eftersedimenteringbassängerna enligt tabell 24. Flockningen sker i fyra nya flockningskammare i serie ovan slamfickan i eftersedimenteringen med inblandning av kemikalier precis innan kanalen in i eftersedimenteringen. Här sker dosering av järnklorid (alternativt polyaluminiumklorid) kontinuerligt och dosering av polymer vid behov. Dimensioneringsriktlinjer enligt Norsk Vann rekommenderar att uppehållstiden i flockningen är minst 15 minuter vid Q_{dim} . Detta uppnås med marginal även vid fallet N-1.

Tabell 24. Anläggningsdata flockning.

Parameter	Enhet	Eftersedimentering	
		01-06	07-11
Andel av flöde	%	20	80
Antal linjer, N	st	0	5
Antal kammare/linje	st		4
Volym _{total}	m ³ /linje	-	750
Uppehållstid Q _{dim} (N)	min	-	32
Uppehållstid Q _{max} (N)	min	-	16
Uppehållstid Q _{dim} (N-1)	min	-	26
Uppehållstid Q _{max} (N-1)	min	-	13

4.5. Biologiskt reningssteg 2050

I detta avsnitt presenteras utformning och processparametrar för lösningen i drift mellan 2040 och 2050. Volymerna för biobassängerna presenteras i tabell 25. Vid ombyggnation av linje 01 - 06 kommer 3 biobassänger byggas om till MBBR. Dimensionering har gjorts för fallet N-0, dvs med alla 3 linjer biobassäng i drift.

Vid ombyggnation av linje 07 - 11 kommer 5 biobassänger byggas om till MBBR. Dimensionering har gjorts för fallet N-1, dvs med 4 av 5 linjer biobassäng i drift.

Tabell 25. Volymer för MBBR linje 01-06 samt för MBBR linje 07-11.

Process	Linje 01-06	Linje 01-06	Linje 07-11	Linje 07-11
	m ³ tot för 3 linjer	m ³ /linje	m ³ tot för 4 linjer	m ³ /linje
FDN	6 700	2 233	28 600	7 150
BODox	2 000	667	8 700	2 175
NIT1	7 000	2 333	17 300	4 325
NIT2	1 500	500	5 200	1 300
Deox	1 500	500	3300	825
EDN	4 630	1 543	8 300	2 075
Efterox	0	0	2 900	725
Totalt, bioreaktor	23 330	7 777	74 300	18 575

4.5.1. Biobassänger år 2050

Biologi Linje 01 - 06

Vid ombyggnation av linje 01 - 06 kommer 3 biobassänger byggas om till MBBR och en efterföljande flockning. De övriga biobassängerna behöver inte tas i anspråk. De 3 MBBR följda av tre linjer flockning fördelar ut sitt vatten via ovan beskrivna fördelningskanal till 5 av 6 eftersedimenteringar i linje 01-06. Den sista eftersedimenteringen är redan från start, inför år 2040, reserverad för att inrymma filter.

Biosteget i linje 01-06 kommer ha en kapacitet motsvarande 25 % av inkommande belastning, dvs mera än de 20 % som krävs; linje 07-11 har en kapacitet motsvarande 80 % av inkommande belastning.

Den nya processen kommer att bestå av anoxzon för fördenitrifikation, BODox, två nitrifikationszoner, deox och efterdenitrifikation. Ingen efterox installeras eftersom det utgås ifrån att restmetanol från efterdenitrifikationen kommer oxideras i sandfiltren. Om man efter 2040 skulle vilja ha efteroxidation är det naturligtvis möjligt att inrymma även denna processfunktion eftersom biosteget har högre reaktionskapacitet än erforderliga 20 %.

Nitrat recirkuleras till fördenitrifikationen från deoxzonen. Returslampumpning upphör. Samtliga zoner i den nya processen innehåller bärare som bibehåller en biofilm i vilket den biologiska kvävereduktionen samt reduktion av organiskt material sker.

Kolkälledosering i form av etanol eller metanol ska kunna ske både till för- och efterdenitrifikationen. Dosering till efterdenitrifikationen kommer att ske kontinuerligt och dosering till fördenitrifikationen sker om behov skulle uppstå.

I linje 01-06 finns ingen vinst med att eftersträva att utnyttja befintliga väggar, snarare tvärtom. Vi utgår ifrån att alla erforderliga mellanväggar görs nya med undantag för att de två sista av dagens 4 deoxzoner nyttjas som flockningskammare.

Till flockningskammaren doseras fällningskemikalie. Polymer bedöms inte behövas men eftersom polymerutrustning installeras för tiden fram till år 2040 med aktivt slam så bör det vara möjligt att även i framtiden dosera polymer om behov skulle uppstå.

I tabell 26 och tabell 27 anges designparametrar för MBBR. De bygger på fördenitrifikation utan tillsatts av kolkälla och efterdenitrifikation med tillsatts av metanol. Dimensionering har gjorts för fallet N-0, dvs med 3 av 3 linjer biobassäng i drift.

Tabell 26. Designparametrar MBBR 2050, N-0 (Bilaga 1 beslutslogg).

Parameter	Enhet	Värde
Temperatur	° C	10
BOD ₅ -oxidationshastighet @ 10 °C	g BOD ₅ /m ² , d	5,0
Nitrifikationshastighet NIT1 @ 10 °C	g NH ₄ -N/m ² , d	0,67
Nitrifikationshastighet NIT2 @ 10 °C	g NH ₄ -N/m ² , d	0,45
Denitrifikationshastighet FDN (avlopp) @ 10 °C	g NO ₃ -N/m ² , d	0,42
Denitrifikationshastighet EDN (metanol) @ 10 °C	g NO ₃ -N/m ² , d	0,75
Kolkäleförbrukning FDN (avlopp)	g BOD ₅ /g NO ₃ -N _{red}	3,4
Kolkäleförbrukning EDN (metanol)	g COD/g NO ₃ -N _{red}	4
Recirkulation intern, Q _{IR}	-	1,0 x Qmedel
Syrehalt	mg/l	Se tabell 34

Tabell 27. Designparametrar bärare MBBR 2050, N-0.

Parameter	FDN 1	BOD-ox	NIT1	NIT2	Deox	EDN	Efterox
Fyllnadsgrad [%]	50	37	50	35	20	45	40
Specifik area [m ² /m ³]	650	800	800	800	800	800	500

Biologi Linje 7 - 11

Inga förändringar sker i linje 07-11 mellan år 2040 och 2050 avseende biobassängerna. Om inte den ovan rekommenderade utredningen om separationskapacitet/-metod i linje 07-11 kommer fram till något annat så kommer flockning och eftersedimentering också vara oförändrade jämfört med lösningen fram till år 2040.

Belastningen är högre 2050 än 2040 varför syrehalten höjs för att öka nitrifikationskapaciteten. Byte av efterdenitrifikationens kolkälla till etanol sker för att öka denitrifikationskapaciteten. Detta fall baseras på att fördenitrifikationshastigheten är högre än ursprungligt beslutat (enligt beslutslogg) och använt i linje 07-11 för år 2040, N-1 (0,42 g N/m², d). Denna hastighet kan uppfyllas via ett av två utfall. Endera är hastigheten med avloppsvatten som kolkälla högre än antaget eller så behöver kompletterande dos av extern kolkälla (metanol/etanol) tillsättas. Vi har inte gjort någon dosberäkning vid fallet med extern kolkälla.

De processtekniska designparametrarna för fallet N-1 visas i tabell 28 och bygger på fördenitrifikation utan tillsatts av kolkälla och efterdenitrifikation med dosering av etanol.

Processparametrar för MBBR-processen redovisas i tabell 28 och tabell 29.

Tabell 28. Designparametrar MBBR 2050, N-1 (Bilaga 1 Beslutslogg).

Parameter	Enhet	Värde
Temperatur	° C	10
BOD ₅ hastighet	g BOD ₅ /m ² , d	5,0
Nitrifikationshastighet NIT1	g NH ₄ -N/m ² , d	0,82
Nitrifikationshastighet NIT2	g NH ₄ -N/m ² , d	0,56
Denitrifikationshastighet FDN (avlopp)	g NO ₃ -N/m ² , d	0,50
Denitrifikationshastighet EDN (etanol)	g NO ₃ -N/m ² , d	1,5
Kolkäleförbrukning FDN (avlopp)	g BOD ₅ /g NO ₃ -N _{red}	3,4
Kolkäleförbrukning EDN (etanol)	g COD/g NO ₃ -N _{red}	4
Recirkulation intern, Q _{IR}	-	1,6 x Q _{medel}
Syrehalt	mg/l	Se tabell 34

Tabell 29. Designparametrar bärare MBBR 2050, N-1.

Parameter	FDN 1	BOD-ox	NIT1	NIT2	Deox	EDN	Efterox
Fyllnadsgrad [%]	43	39	50	50	30	45	40
Specifik area [m ² /m ³]	650	500 ¹	800	800	800	800	500

¹Alternativt 800 m²/m³ med minst 25 % fyllnadsgrad.

4.5.2. Eftersedimentering år 2050

Eftersedimentering Linje 01-06

Separationskapaciteten är hög, vilket framgår i tabell 30. Den reaktionskapacitet som de 3 biobassängerna har (25 % av inkommande belastning) motsvaras mer än väl av eftersedimenteringen i linje 01-06, vilken har kapacitet för mera än 25 % av flödet till reningsverket även vid fallet N-1.

Eftersedimentering Linje 07-11

Om inte den ovan rekommenderade utredningen om separationskapacitet/-metod i linje 07-11 kommer fram till något annat så kommer flockning och eftersedimentering vara oförändrade jämfört med lösningen för perioden fram till år 2040.

Q_{dim} är större år 2050 än 2040 men Q_{max} förväntas vara oförändrat. Därför är slutsatser och rekommendationer identiska de som beskrivits under år 2040.

I tabell 30 presenteras anläggnings data för eftersedimenteringen.

Tabell 30. Anläggningsdata eftersedimentering. För linje 1-6 avses 5 linjer då en linje reserveras för skivfilter.

Parameter	Enhet	Eftersedimentering	
		01-06	07-11
Andel av flöde	%	20	80
Q_{dim}	m^3/h	1 943	7 773
	m^3/s	0,54	2,16
Q_{max}	m^3/h	3 600	14 400
	m^3/s	1	4
Antal bassänger, N	st	5	5
Area total	m^2	4 210	6 920
Ytbelastning Q_{dim} (N)	m/h	0,46	1,1
Ytbelastning Q_{max} (N)	m/h	0,86	2,1
Ytbelastning Q_{dim} (N-1)	m/h	0,58	1,4
Ytbelastning Q_{max} (N-1)	m/h	1,1	2,6

Flockning Linje 01-06

De två sista av dagens 4 deoxzoner nyttjas som flockningskammare i 3 biobassänger.

Flockning Linje 07-11

I linje 07 - 11 finns flockningskammare i vardera av de befintliga eftersedimenteringbassängerna. Ingen förändring jämfört med lösningen som har tagits fram för år 2040.

I tabell 31 redovisas volym och uppehållstid för flockningen.

Tabell 31. Anläggningsdata flockning.

Parameter	Enhet	Eftersedimentering	Eftersedimentering
		01-06	07-11
Andel av flöde	%	20	80
Antal linjer, N	st	3	5
Antal kammare/linje	st	2	4
Volym _{total}	m ³ /linje	323	750
Upphållstid Q _{dim} (N)	min	30	29
Upphållstid Q _{max} (N)	min	16	16
Upphållstid Q _{dim} (N-1)	min	20	23
Upphållstid Q _{max} (N-1)	min	11	13

4.6. Slutfiltrering med fällning 2050

Befintlig efterpolering består av fällning med järnsulfat på 30 sandfilter som i nuvarande situation tar emot vatten från aktivslamprocessen. För att utvärdera vilka utgående halter av totalfosfor som kan uppnås från sandfiltren i befintlig processutformning genomfördes försök på Käppalas pilotlinje, vilka bekräftade att med en ökad dosering av järnsulfat kan utgående halt av totalfosfor om 0,15 mg Tot-P/l uppnås.

Potentialen att nå framtida kravnivåer för totalfosfor redan med dagens anläggning genom att sänka börvärdet för kemikaliedoseringen i fullskala är under utredning på Käppala. Dessutom kommer en möjlig övergång från dosering av järnsulfat innan sandfiltren till att dosera järnklorid utredas under kommande studier.

I framtida anläggning kommer processen före slutfiltreringen att ändras till en MBBR-process följt av fällning/flockning och separationssteg innan vattnet leds till efterpolering med fällning och filtrering. Det är inte helt enkelt att bedöma hur sammansättningen på vattnet från biosedimenteringen förändras vid övergång från aktivt slam till MBBR. Det finns inte mycket relevant referensdata avseende sammansättningen. Eftersom detta har stor påverkan på filterdimensioneringen behöver detta prioriteras i samband med de pilotförsök med MBBR som planeras. Vid framtida situation kommer by-pass från försedimenteringen till filtren upphöra. Det innebär att maxflödet till efterpoleringen ska vara 5 m³/s. Utsikterna att nå låga fosforvärden även i framtiden bedöms som goda.

Vid vår studie av en högflödessituation december 2019 drogs följande slutsatser kring filterkapaciteten: Sandfiltren har historiskt klarat en flödesbild som innehåller flödestoppar upp till ca 6 m³/s (momentanvärde) och timmedelvärde upp till 4-4,5 m³/s utan att koncentrationen av suspenderade ämnen i utgående vatten förhöjts. Sandfiltren har dock svårt att hantera 5 m³/s under sommaren och under vintertid vid kallare vatten så uppstår kapacitetsproblem redan vid 4 m³/s.

I framtiden kommer varaktigheten för höga flöden till efterpoleringen att vara längre än i nuvarande situation, vilket skapar ytterligare utmaning för filterdriften.

Därav har det bedömts att efterpoleringen behöver kompletteras med skivfilter med en kapacitet om $2 \text{ m}^3/\text{s}$. Skivfiltren körs parallellt med befintliga sandfilter. Strategin för flödesfördelning mellan sandfilter och skivfilter är ett arbete som återstår att fastställa. Eftersom sandfiltren ger bra resultat skulle man kunna tänka sig att fokusera driften av skivfilter för att hantera högre flöden samt för att utnyttjas vid underhåll av de befintliga sandfiltren. För att undvika eventuella problem med igensättning av filterduk behöver man dock motionsköra skivfiltren. Därför bedömer vi det rimligt att fördela flödet proportionellt mot installerad maxkapacitet, dvs ca $1/3$ av flödet till skivfilter. Hur den slutliga fördelningen av flöde mellan skivfilter och sandfilter kommer ske vet man ändå inte förrän efter driftsättning och intrimning.

Vi utgår ifrån att anläggningen för skivfilter i sin helhet kommer att bestå av flockningskammare, doseringsutrustning för både polymer och fällningskemikalie samt skivfilter. Fällningskemikalie kan vara aluminium- eller järnbaserad, enligt uppgift från skivfilterleverantörer är aluminiumbaserad fällningskemikalie att föredra.

Preliminärt bedöms tillgänglig yta och volym i eftersedimentering 01 vara tillräcklig för att inrymma eftersökt skivfilterkapacitet ($2 \text{ m}^3/\text{s}$). Arbetet med utvärdering av sandfilter respektive skivfilter är pågående varför någon dimensionering inte redovisas i denna rapport. Dimensionering och slutrapportering av filterutvärdering redovisas separat.

Som en del av projektet ingår att dimensionera systemen med försörjning av olika kemikalier. För att kunna planera detta och få en helhetsbild av kemikaliedoseringen har vi trots att filterutredningen inte är färdigställd bedömt kemikaliebehovet för sandfilter respektive skivfilter. Detta baseras på historiska resultat från sandfilterdrift efter aktivt slam vid Käppala samt för skivfilter baserat främst på uppgifter från leverantörer.

4.7. Högflödesrening

Käppala har en befintlig högflödesrening i drift av typen ballastförstärkt sedimentering efter fällning och flockning med en total kapacitet på 3 m³/s. Utgångsläget för denna rapport är att allt vatten upp till 5 m³/s passerar den ordinarie processen men allt överskjutande flöde leds direkt från galler till högflödesreningen. Reningsresultaten från högflödesreningen presenteras i tabell 32 där antagna värden har använts i processberäkning. Funktionstestresultatet avser uppmätt resultat i Actiflo och designvärdena är de krav som ställts på leverantören av anläggningen.

Tabell 32. Dimensionerande flöde och reduktion över högflödesrening. Antagna värden har använts i processberäkning. Funktionstestresultatet avser uppmätt resultat i Actiflo. Designvärdena är de krav som ställts på leverantören av anläggningen.

Parameter	Enhet	Designvärde	Antagna	Funktionstest
Q _{max}	m ³ /h		10 800	
	m ³ /s		3	
BOD ₇	%	>50	50	55-84
Kväve	%		15	11-35
Fosfor	%	<0,2*	90	82-95
TSS	%		>50	
PO ₄ -P	%		-	98
TOC	%		-	57-75

*enhet mg/l

4.8. Rejektvattenrening 2050

En rejecktwaterrening kommer att byggas ovan mark för att minska internbelastningen av kväve. Förutsättningarna för rejecktwaterreningen är att den har en reduktion på 70 % för Tot-N och 80 % för NH₄-N. Den kommer att bestå av 4 linjer och dimensioneringen baseras på att alla linjer är i drift. Dimensionering sker för år 2050. Ingen dimensionering eller etappvis utbyggnad för år 2040 kommer ske. En separat utredning pågår för att ta fram möjliga lösningar. Detta kommer att rapporteras separat.

5. Känslighetsanalys processdimensionering 2050

Beslutad processdimensionering för år 2050 avseende MBBR för linje 01-06 och linje 07-11, där linje 01-06 dimensioneras för 25 % och linje 07-11 dimensioneras för 80 % av den totala belastningen till reningsverket ligger till grund för känslighetsanalysen.

Förutsättningarna för känslighetsanalysen är att den utförs enbart för linje 07-11 och för år 2050 där vid samtliga fall har utgått ifrån att 80 % av reningsverkets belastning leds till linje 07-11. Känslighetsanalysen genomfördes för kväveavskiljning i huvudströmmen och inkluderade påverkan av rejektets returbelastning men påverkan på BOD-avskiljning, fosforavskiljning eller filtersteget inkluderas inte. Samtliga luftflöden har beräknats vid 18 °C vattentemperatur.

Arbetsgången för känslighetsanalysen innefattade val av troliga scenarion som definierades och beslutades. Därefter genomfördes flera beräkningar för respektive testscenario där möjliga åtgärder kontrollerades. Slutligen gjordes en utvärdering om produktionsmålen för respektive testscenario uppnåddes med lämpliga åtgärder. I följande stycken redovisas beskrivning av valda testscenarion, möjliga åtgärder, resultat från beräkningar av respektive testscenario samt en sammanfattning och diskussion kring känslighetsanalysen. Slutligen gjordes en slutsats om dimensioneringen skulle behöva revideras efter genomförd känslighetsanalys. Se även bilaga 7.

5.1. Beskrivning av testscenarion

Nedan redovisas ett antal definierade och beslutade scenarion. Dessa har fått beteckningarna KA12, KA14, KA04 och KA33. För varje scenario har flera beräkningar genomförts, med i sin tur olika val av förutsättningar (exempelvis FDN hastighet 0,5 g N/m², d istället för beslutat värde enligt beslutsloggen som är 0,42 g N/m², d) och olika kombinationer av möjliga åtgärder. Detta för att utvärdera olika åtgärders påverkan och lämplighet samt möjlighet att klara produktionsmålen.

Medelbelastning, minskad temperatur och N-1 (KA12)

I scenariot genomfördes beräkningarna med medelbelastning (BOD₇ 63 817 kg/d och Tot-N 11 694 kg/d), temperaturen sänktes till 8 °C och fyra linjer av fem (N-1) antogs vara i drift.

Ökad belastning 85-percentilen, minskad temperatur och N-1 (KA14)

I scenariot användes 85e percentilens belastning, som innebär 16 % högre belastning jämfört med medelbelastningen för samtliga föroreningsparametrar. För inkommande avloppsbelastning år 2050 innebär det BOD₇ 74 028 kg/d och 13 565 Tot-N kg/d. I detta scenario sänktes dessutom temperaturen till 8 °C och fyra linjer av fem (N-1) antogs vara i drift.

Ökad belastning 85-percentilen och N-1 (KA04)

I scenariot användes 85e percentilens belastning, fyra linjer av fem (N-1) antogs vara i drift vid temperaturen 10 °C.

Ökad belastning 85-percentilen och påverkan av rejektets returbelastning (KA33)

I scenariot genomfördes beräkningar med ökad belastning utifrån 85-percentilen och att 25 % av rejektet bypassades rejektvattenreningen till huvudströmmen (en linje i rejektvattenbehandlingen är ur drift). Innebörden av att 25 % av rejektet bypassas rejektvattenreningen är att returbelastningen (i form av Tot-N) på huvudströmmen från rejektet blir ca 82 % högre jämfört med returbelastningen från rejektvattenbehandlingen till huvudströmmen vid medelbelastning när allt flöde går igenom rejektvattenreningen. Fem linjer (N-0) antogs vara i drift vid temperaturen 10 °C.

5.2. Möjliga åtgärder

Nedan beskrivs möjliga åtgärder och dess effekt. Åtgärderna har angivits ett nummer som används för att enkelt kunna sammanfatta vilka åtgärder som har använts i respektive scenario och sammanställs i tabell 31.

Etanol till efterdenitrifikation (1)

För att erhålla en hög denitrifikationshastighet doseras extern kolkälla till efterdenitrifikationen. Metanol eller etanol kan användas, men vid användande av etanol kan denitrifikationshastigheten antas vara dubbelt så hög som för metanol.

Förhöjd syrehalt i reaktor (2)

Förhöjd syrehalt innebär ökat kapacitet i nitrifikationen. Förhöjd syrehalt medför däremot ökat luftbehov som bör tas i beaktande. Detta är en lämplig åtgärd som svarar snabbt på tillfälligt ökat kapacitetsbehov.

Fyllnadsgrad (3)

Kapaciteten kan ökas genom att höja fyllnadsgraden av bärare i bassängerna upp till maximal tillåten fyllnadsgrad. Överskridande av rekommenderad fyllnadsgrad i respektive processteg kan orsaka ansamling av bärare vid utgångssil och nedsatt hydraulisk kapacitet och därför är denna åtgärd enbart möjlig upp till en viss gräns. Åtgärden är lämplig vid långvarigt ökat kapacitetsbehov.

Byte av bärare (4)

Kapaciteten i processen kan ökas genom att byta bärare till bärare med större effektiv yta. För samtliga fall i känslighetsanalysen har bärare med den effektiva ytan $800 \text{ m}^2/\text{m}^3$ använts i nitrifikationen och efterdenitrifikationen, men i fördenitrifikationen (FDN) har bärare med effektiva ytan $650 \text{ m}^2/\text{m}^3$ använts och i BOD-zonen har bärare med effektiva ytan $500 \text{ m}^2/\text{m}^3$ alternativt $800 \text{ m}^2/\text{m}^3$ använts. Därför är det i första hand bärarbyte i FDN och BOD-ox zonen som är en rimlig åtgärd med detta verktyg. Bärare med effektiv yta $> 800 \text{ m}^2/\text{m}^3$ har ej utvärderats i känslighetsanalysen men finns eventuellt som ett alternativ för samtliga MBBR-zoner.

Stöddosering till fördenitrifikationen (5)

För att höja reaktionshastigheten i fördenitrifikationen (FDN) kan extern kolkälla i form av exempelvis metanol doseras till fördenitrifikationszonen. En adekvat dosering av metanol

möjliggör en högre FDN-hastighet utan att riskera negativ påverkan på nitrifikationsprocessen.

Större nitrifikationszon (6)

En större nitrifikationszon möjliggör att vid ökat kapacitetsbehov kan nitrifikationen drifas vid lägre syrehalter alternativt lägre fyllnadsgrad.

Större efterdenitrifikationszon (7)

En större efterdenitrifikationszon ger ökad kapacitet eftersom större mängd bärare med aktiv biofilmsyta får plats i reaktorn.

5.3. Resultat från känslighetsanalys

Medelbelastning, minskad temperatur och N-1 (KA12)

Känslighetsanalys av detta scenario visar att produktionsmålen kan uppfyllas. För att uppnå produktionsmålen krävs det att etanol doseras till efterdenitrifikationen i kombination med antingen förhöjning av syrehalten i den första nitrifikationszonen till 8 mg/l eller ökad fyllnadsgrad i nitrifikationen (nitrifikationszon 1 och 2) till 55 % (vid syrehalt 6,9 mg/l).

I beräkningarna har FDN-hastigheten 0,5 g/m², d använts istället för beslutad 0,42 g/m², d vilket skulle kunna inträffa genom att hastigheten med avloppsvatten som kolkälla blir högre än vad som har antagits eller genom att införa stöddosering med metanol till fördenitrifikationszonen.

Vid kortvarigt behov av denna kapacitet kan justering av syrehalten vara en mer rimlig åtgärd snarare än att justera bärarmängden trots att den medför ett ökat luftbehov (maxtimme, 109 000 Nm³/h). Vid ett kvarstående behov under längre tid skulle justering av fyllnadsgraden upp till 55 % kunna vara en mer lämplig åtgärd. Det bör dock nämnas att 55 % fyllnadsgrad överskrider maxfyllnadsgrad enligt beslutsloggen, men enligt uppgift från leverantörer överskrider det ej max fyllnadsgrad. Vilka eventuella randvillkor som gäller för höga fyllnadsgrader just vid de geometrier som gäller här bör kontrolleras.

Ökad belastning 85-percentilen, minskad temperatur och N-1 (KA14)

Känslighetsanalys av detta scenario visar att produktionsmålen inte kan uppnås med rimliga åtgärder. För att möta den ökade belastningen vid en lägre temperatur av avloppsvattnet och uppnå produktionsmålen krävs det en kombination av många åtgärder.

Som i föregående scenario har FDN-hastigheten 0,5 g/m², d använts istället för beslutad 0,42 g/m², d vilket kan inträffa genom att hastigheten med avloppsvatten som kolkälla är högre än vad som har antagits eller genom att införa stöddosering med metanol till fördenitrifikationszonen.

För att hålla nere BOD-halterna till den första nitrifikationszonen behövs bärarna i BOD-ox zonen bytas till 800 m²/m³. Dessutom krävs en höjning av fyllnadsgraden i både nitrifikationszon 1 och 2 till 55 % samt förhöjning av syrehalten till 8,8 mg/l i nitrifikationszon 1, vilket medför ett stort luftbehov (147 000 Nm³/h maxtimme). Detta luftbehov bedöms orimligt stort avseende utmaningar med installation och driftkostnad.

Syrehalten och därmed luftbehovet kan minskas genom ytterligare höjning av fyllnadsgraden till 60 %, men det medför en stor risk för ansamling framför silar och medföljande risk för nedsatt hydraulisk kapacitet. Detta hänger ihop med bassänggeometrin. Om man överväger detta alternativ behöver fördjupad utredning genomföras.

Kvarstående realistisk åtgärd som krävs för att åstadkomma produktionsmålen vid rimliga syrehalter och fyllnadsgrader under förutsättningarna i denna känslighetsanalys är att öka storlek på nitrifikationszon 1 på bekostnad av fördenitrifikationens storlek. Eftersom förutsättningarna har varit att inte flytta befintliga mellanväggar uppnås därmed inte produktionsmålet med rimliga åtgärder.

Ökad belastning 85-percentilen och N-1 (KA04)

Känslighetsanalys av detta scenario visar att produktionsmålen kan uppfyllas vid rimliga åtgärder. För att uppnå produktionsmålen (även här beräknad med FDN-hastigheten 0,5 g/m²,d) krävs det att etanol doseras till efterdenitrifikationen i kombination med antingen förhöjning av syrehalten i den första nitrifikationszonen till 8,3 mg/l vid 50 % fyllnadsgrad eller ökad fyllnadsgrad i nitrifikationen (nitrifikationszon 1 och 2) till 55 % vid förhöjning av syrehalten till 7,2 mg/l. Ökning av syrehalten till 8,3 mg/l medför luftbehovet 123 000 Nm³/h (maxtimme), som är 22 % högre jämfört med luftbehovet som krävs för att höja syrehalten till 7,2 mg/l.

Ökad belastning 85-percentilen och påverkan av rejektets returbelastning (KA33)

Känslighetsanalys av detta scenario visar att produktionsmålen kan uppfyllas och flera möjliga åtgärder finns att tillgå. Framför allt är dosering av etanol till efterdenitrifikationen i kombination med lätt förhöjd syrehalt (6,2 mg/l) i första nitrifikationsbassängen den åtgärd som har störst påverkan. Detta medför ett luftbehov om 94 000 Nm³/h (maxtimme). Även drift med syrehalten 5,5 mg/l vid förhöjning av fyllnadsgraden till 55 % är en möjlig åtgärd.

5.4. Sammanfattning

Resultat känslighetsanalys processdimensionering 2050

Sammanfattande resultat från känslighetsanalyser av redovisade scenarier för processdimensionering 2050 är att åtgärder som behövs för att klara produktionsmålen generellt är dosering av etanol som kolkälla i efterdenitrifikationen samt förhöjning av syrehalten i den första nitrifikationszonen. Högre fyllnadsgrad kan även användas i kombination med lätt förhöjning av syrehalten för att sänka luftförbrukningen. Sammanställning av möjliga åtgärder för varje scenario redovisas i tabell 33.

Tabell 33. Möjliga scenarier och dess åtgärd.

Parameter	Åtgärd
Scenario 1 – medelbelastning, minskad temperatur och N-1	1+2 alternativt 1+2+3
Scenario 2 – 85e percentilen, minskad temperatur och N-1	Kan ej åtgärdas med rimliga åtgärder.
Scenario 3 – 85e percentilen och N-1	1+2 alternativt 1+2+3
Scenario 4 – 85e percentilen och påverkan av rejekt	1+2 alternativt 1+2+3

Diskussion/rekommendation

Efter genomförd och presenterad känslighetsanalys togs beslutet att processdimensioneringen fortfarande är giltig och att inte revidera densamma.

Förutsättningarna för de utvalda scenarierna är rimliga. Temperaturdata är förhoppningsvis av bra kvalitet varför lägre temperatur än vald dimensionerande temperatur 10°C då inte förväntas uppträda annat än kortvarigt. Däremot är det svårare att träffa rätt i prognosen för framtida belastning/anslutningstakt. Scenarierna som avser en 16 % högre kvävebelastning (KA04 och KA33) är därför båda högst relevanta. Att åtgärder kan vidtas som uppfyller produktionsmålen vid dessa fall är därför både en styrka och en trygghet inför framtiden.

Vid ett fall behöver (KA12) bärare bytas till $800\text{ m}^2/\text{m}^3$. Att BODox zonen oxiderar BOD är essentiellt för att efterföljande nitrifikation ska fungera. Vi rekommenderar därför att $800\text{ m}^2/\text{m}^3$ bärare nyttjas i BODox zonen, vilket är en förändring jämfört med tidigare beräkningar baserade på $500\text{ m}^2/\text{m}^3$. Därmed kan fyllnadsgraden minska i motsvarande grad. Om man i framtiden skulle behöva så kan man öka fyllnadsgraden. En ytterligare fördel är att det då blir samma sorts bärare som i nitrifikationszonerna.

För att öka nitrifikationskapaciteten utöver processdimensioneringsfallet kan man enligt känslighetsanalysen öka syrehalt och fyllnadsgrad eller enbart öka syrehalten. Vi rekommenderar åtgärden ökad syrehalt på grund av att åtgärden, dels är snabbare, dels inte innebär några ökade risker för hydrauliska problem. Nackdelen är att man måste investera redan från början för att kunna nyttja denna åtgärd som extra verktyg i framtiden.

Luftbehovet har vid processdimensionering beräknats till ca $69\,000\text{ Nm}^3/\text{h}$ vid maxtimmen för linje 07-11 år 2050, N-1. Baserat på resultaten av känslighetsanalysen är rekommendationen att luftarkapacitet installeras motsvarande maxtimbehovet vid känslighetsanalysfall KA04, dvs ca $125\,000\text{ Nm}^3/\text{h}$ för linje 07-11 år 2050, N-1.

6. Luftbehov

När det gäller luftarsystemet och de stora mängderna luft som kommer krävas för den framtida processen kommer år 2050 används som dimensionerande år för att säkerställa att tillräcklig kapacitet finns för samtliga utbyggnadsetapper till 2050. Luftbehovet har en betydande påverkan på både ventilations- och kraftbehovet samt dimensioneringen av luftarsystemet i processen. De processtekniska designparametrarna presenteras i tabell 34.

Tabell 34. Designparametrar för dimensionering av luftbehov.

Parameter	Enhet	Aktivt slam	MBBR,	MBBR,	MBBR,
		2040	2040	2050	2050
		L01-06	L07-11	L01-06	L07-11
Vattentemperatur	⁰ C	18	18	18	18
α , alphavärde	-	0,5	0,8	0,8	0,8
β , betavärde	-	0,95	0,95	0,95	0,95
<u>Syrehalt,</u> <u>Aktivt slam:</u>					
AS	mg/l	2,2	-	-	-
<u>Syrehalt,</u> <u>MBBR:</u>					
BODox	mg/l	-	3,0	3,0	3,0
Nitr 1	mg/l	-	5,2	5,0	6,5
Nitr 2	mg/l	-	4,0	4,0	4,0
Nitr 3/Deox	mg/l	-	2,0	2,0	2,0
Efterox	mg/l	-	3,0	3,0	3,0

Syrehalten och nedan redovisade luftbehov vid maxtimmen baseras på att enbart 4 av 5 bioreaktorer i linje 07-11 är i drift (N-1) och att alla bioreaktorer i linje 01-06 är i drift (N-0).

Variationen i luftbehov baseras på statistik över luftbehov vid Käppalaverket. Därur har bestämts som förutsättning för framtida luftbehov att maxbehovet är 50 % högre än årsmedelbehovet samt att minbehovet är 50 % lägre än medelbehovet. Med maxbehov och minbehov avses luftbehovet vid maxtimmen respektive mintimmen under ett år.

Nedan redovisas framtida luftbehov som maxbehov enligt ovanstående definition. För val av blåsmaskinkapacitet behöver man också ta hänsyn till önskad redundans. Denna anläggningstekniska aspekt har vi inte tagit hänsyn till här eftersom man då behöver inkludera avvägningar kring olika alternativ kring totalt installerade blåsmaskiner och tillgänglig yta för respektive fall. Det har legat utanför omfattningen för denna fördjupade processutredning.

Den zon som benämns Nitr 3/Deox är i normalfallet inte luftad. Luftningsutrustning ska dock installeras från start för att vid behov kunna lufta. Luftbehovet vid denna eventuella luftning redovisas i nedanstående tabeller.

De luftbehov som presenteras baseras på processdimensioneringen vilket betyder att de luftbehov som beräknats under känslighetsanalysen, om än större, inte redovisas här.

6.1. År 2040

I tabell 35 redovisas luftbehov för linjerna i aktivt slam (linje 01-06) för år 2040. Max luftbehov baseras på maxtimmen under ett år.

Tabell 35. Luftbehov för linje 01-06 år 2040.

Nm ³ /h	Linje 01-06 (6 AS)	Linje 01-06 (6 AS)
SOTE, g O ₂ /Nm ³ , h	16	16
Total	Totalt luftflöde 23 100	Luftflöde per linje 3 850

I tabell 36 redovisas max luftbehov för 4 MBBR år 2040. Max luftbehov baseras på maxtimmen under ett år.

Tabell 36. Luftbehov för linje 07-11 år 2040.

Nm ³ /h	Linje 07-11 (4 MBBR)	Linje 07-11 (4 MBBR)
SOTE, g O ₂ /Nm ³ , h	12	12
Zon	Totalt luftflöde	Luftflöde per linje
BOD ox	5 300	1 330
Nitrifikation 1	36 400	9 100
Nitrifikation 2	6 300	1 580
Nitr 3/Deox	2 000	5 00
Efterox	3 000	750
Total	53 000	13 260

6.2. År 2050

I tabell 37 redovisas max luftbehov för MBBR år 2050. Detta används för val av blåsmaskinkapacitet, bottenluftarsystem, behov av kraftmatning och behov av ventilation. Max luftbehov baseras på maxtimmen under ett år.

Tabell 37. Luftbehov för MBBR år 2050.

Nm ³ /h	L01-06 (3 st) + L07-11 (4 st)	Linje 01-06 (3 MMBR)	Linje 01-06 (3 MMBR)	Linje 07-11 (4 MBBR)
Andel av ink. bel, %	100 (20+80)	25	20	80
SOTE, g O ₂ /Nm ³ , h	12	12	12	12
Zon	Totalt luftflöde	Luftflöde per linje	Luftflöde per linje	Luftflöde per linje
BOD ox	9 720	1 760	1 400	1 380
Nitrifikation 1	73 920	9 000	7 200	13 080
Nitrifikation 2	8 280	800	640	1 590
Nitr 3/Deox	1 810	230	190	310
Efterox	3 950	270	210	830
Total	97 680	12 060	9 640	17 190

7. Kemikalieförbrukning

Dosering av järnklorid ska kunna ske i förluftningen innan försedimentering, vilket ger förfällning. Vid normal drift bedöms detta inte behövas. Behov skulle kunna uppstå vid uppstart av biosteget eller då yttre störningar som medför hämning föreligger. Att installera denna funktion från start medger också en möjlighet till optimering även under ordinarie drift.

I aktivslamprocessen (linje 01-06, tom år 2040) ska simultanfällning med dosering av järnsulfat (Fe^{2+}) ske till biosteget precis som idag. Polymerdosering till eftersedimenteringen skall installeras men bedöms inte behövas kontinuerligt. Behov av polymerdosering bedöms behövas vid maxflöde.

I MBBR-processen i linje 07-11 doseras järnklorid och polymer i fyra nya flockningskammare i serie ovan slamfickorna i eftersedimenteringen. Polymerdosering till eftersedimenteringen skall installeras men bedöms inte behövas kontinuerligt. Behov bedöms behövas vid maxflöde.

I MBBR-processen i linje 01-06 (år 2041 till år 2050) doseras järnklorid till flockningskammare före eftersedimenteringen. Polymerdosering till eftersedimenteringen skall vara möjligt men bedöms inte behövas.

Dosering av järnsulfat (Fe^{2+}) ska även fortsättningsvis ske innan sandfiltren som ett slutligt poleringssteg för att fälla fosfat så att de ställda produktionsmålen uppnås.

Vid installation av skivfilter behövs både fällningskemikalie och polymer doseras kontinuerligt. Leverantörer av skivfilter förordar polyaluminiumklorid, förkortat PACI, som fällningskemikalie

I tabell 38 och tabell 39 presenteras valda kemikalier och doseringspunkter för år 2040 respektive år 2050.

Tabell 38. Dospunkter kemikalier för 2040.

Parameter	Linje 01 – 06 (AS)	Linje 07 – 11 (MBBR)
Förfällning (endast vid behov)	Järnklorid	Järnklorid
Simultanfällning	Järnsulfat	-
Eftersedimentering	Vid behov polymer	Järnklorid och vid behov polymer
Sandfilter	Järnsulfat	Järnsulfat
Skivfilter	Aluminium och polymer	Aluminium och polymer

Tabell 39. Dospunkter kemikalier för 2050.

Parameter	Linje 01 – 06 (MBBR)	Linje 07 – 11 (MBBR)
Förfällning (endast i reserv)	Järnklorid	Järnklorid
Simultanfällning	-	-
Eftersedimentering	Järnklorid och vid behov polymer	Järnklorid och vid behov polymer
Sandfilter	Järnsulfat	Järnsulfat
Skivfilter	Aluminium och polymer	Aluminium och polymer

I tabell 40 presenteras de processtekniska designparametrarna som ligger till grund för dimensioneringen av kemikaliebehovet.

Tabell 40. Processtekniska designparametrar.

Parameter	Enhet	Värde
FeCl ₃ förfällning	g Fe/m ³	¹ 13,0
FeSO ₄ simultanfällning	g Fe/m ³	² 17,0
FeCl ₃ eftersedimentering MBBR	g Fe/m ³	³ 17,0
Polymereftersedimentering	g/m ³	⁴ 1,5
FeSO ₄ slutpolering sandfilter	g Fe/m ³	⁵ 4,3
PACl slutpolering skivfilter	g Al/m ³	⁶ 2,1
Polymer _{skivfilter}	g/m ³	⁷ 1,0
Kolkälla _{metanol/etanol}	g COD/g NO ₃ -N _{red}	⁸ 4,0

¹Baserad på försök på Käppala där en dos om 12,7 g/m³ användes för att uppnå 60% BOD reduktion över sandfiltret, 13 g/m³ används i beräkningar.

²Historik simultanfällning linje 07-11. 17 g/m³ som högsta årsmedeldos 2016-2020 valdes som dimensionerande årsmedeldos.

³Valdes till samma som vid simultanfällning, enligt Svenskt Vatten fordras 10 – 20 g/m³ vid efterfällning med trevärt järn.

⁴Driftdata från andra anläggningar visar medeldos om 1-1,5 g/m³. 1,5 g/m³ valdes som dimensionerande årsmedeldos här.

⁵Historiska data från fällningsförsök på FH30 gav 4,3 g Fe²⁺/m³ för att nå från 0,62 till 0,12 mg PO₄-P/l, motsvarande 4,6 mol metall/mol PO₄-P_{red}.

⁶Enligt leverantörer av skivfilter är polyaluminiumklorid, PACl, att föredra framför järnklorid vid fällning på skivfilter. Av leverantör rekommenderad dos är 1-3 g Al/m³. Vi antar samma specifika moldos som fällningsförsöken med Fe²⁺, dvs 4,6 mol/mol, vilket leder till 2,1 g Al/m³.

⁷Enligt leverantörer av skivfilter är erforderlig polymerdos 0,5-0,7 g/m³. Vi väljer 1,0 g/m³.

⁸Specifik dos enligt erfarenhet. Observera att man vid dimensionering av doserutrustning bör utgå från högre specifik dos, dels pga att något högre förbrukning skulle kunna förekomma, dels pga högre specifikt behov då man behöver dosera hårdare för att nå lägre. Detta arbete behöver därför fördjupas för att gå från medeldosen till dimensionerande dos för lagring, eventuell beredning och dosering men det gäller å andra sidan generellt för alla kemikaliedoser.

I tabell 41 presenteras koncentration, densitet och löslighet på framtida kemikalier.

Tabell 41. Koncentration och densitet på fällningskemikalie samt löslighet för järnsulfat.

Parameter	Enhet	¹ PACl	² FeCl ₃	³ FeSO ₄
Metallinnehåll	%-vikt	9,3	13,8	17,8
Densitet	ton/m ³	1,39	1,42	1,89
Löslighet ⁴	kg produkt/m ³ vatten	-	-	400

¹Polyaluminiumklorid²Järnklorid³Järnsulfat⁴Löslighet i vatten vid 10 °C

I tabell 42 och tabell 43 redovisas kemikaliebehovet för Käppala år 2040 respektive 2050. Förbrukningen baseras på att enbart 4 bioreaktorer i linje 07-11 är i drift (N-1) men att 5 eftersedimenteringar är i drift (N-0).

Tabell 42 Förbrukning av kemikalier för fällning och flockning (årsmedel), exklusive höglödesrening för år 2040.

Parameter	Enhet	2040		
		Linje 1-6	Linje 7-11	Totalt
Järnklorid _{förfällning} ¹	m ³ /d	-	-	-
Järnsulfat _{simultanfällning AS} ²	m ³ /d	9	-	9
Järnklorid _{efterfällning MBBR}	m ³ /d	-	13	13
Järnsulfat _{slutpolering sandfilter} ²	m ³ /d	1,5	6,1	7,6
PACl _{slutpolering skivfilter}	m ³ /d	0,2	0,8	1,0
Polymer _{eftersed} ³	kg/d	57	227	284
Polymer _{skivfilter} ⁴	kg/d	62	62	125
Kolkälla _{metanol}	m ³ /d	1,5	0	1,5
Kolkälla _{etanol}	m ³ /d	0	6,9	6,9

¹Förfällning förväntas inte behövas i normalfallet men möjlighet för dosering av järnklorid ska installeras. Med antagen järnkloriddos på 13 g Fe/m³, skulle detta innebära en total förbrukning på 12,3 m³/d.

²Förbrukning baserad på metallinnehåll och löslighet enligt tabell 40.

³Polymerdoering förväntas inte behövas kontinuerligt utan bara vid maxflöden. Angiven kemikalieförbrukning baseras på dimensionerande dos x Q_{medel}, vilket alltså inte är vad vi förväntar oss som årsmedelförbrukning.

⁴Förbrukning baseras på dos enligt tabell 40 och att flödesfördelning är 33% till skivfilter och 67 % till sandfilter.

Tabell 43. Förbrukning av kemikalier för fällning och flockning (årsmedel), exklusive högflödesrening för år 2050.

Parameter	Enhet	2050		
		Linje 1-6	Linje 7-11	Totalt
Järnklorid _{förfällning} ¹	m ³ /d	-	-	-
Järnsulfat _{simultanfällning AS}	m ³ /d	-	-	-
Järnklorid _{efterfällning MBBR}	m ³ /d	3,7	15	18,7
Järnsulfat _{slutpolering sandfilter} ²	m ³ /d	1,7	6,9	8,6
PACl _{slutpolering skivfilter}	m ³ /d	0,2	0,9	1,1
Polymer _{eftersed} ³	kg/d	64	254	318
Polymer _{skrivfilter}	kg/d	70	70	140
Kolkälla _{metanol}	m ³ /d	3,4	0	3,4
Kolkälla _{etanol}	m ³ /d	0	7,5	7,5

¹Förfällning förväntas inte behövas i normalfallet men möjlighet för dosering av järnklorid ska installeras. Med antagen järnkloriddos på 13 g Fe/m³, skulle detta innebära en total förbrukning på 14,1 m³/d.

²Förbrukning baserad på metallinnehåll och löslighet enligt tabell 40.

³Polymerdoering förväntas inte behövas kontinuerligt utan bara vid maxflöden. Angiven kemikalieförbrukning baseras på dimensionerande dos x Q_{medel}, vilket alltså inte är vad vi förväntar oss som årsmedelförbrukning.

I tabell 44 redovisas data för de externa kolkällor som kommer kunna användas.

Tabell 44. Data extern kolkälla.

	Metanol	Etanol
COD-innehåll (g COD/g ämne)	1,5	2,1
Densitet (kg/m ³)	795	795

8. Slamproduktion

I tabell 45 och tabell 46 redovisas bedömda slammängder för år 2040 respektive 2050. Fördelningen av flödet är 20 % till linje 01–06 och 80 % till linje 07–11. I mängden primärslam ingår inte kemslam från spolavloppsvatten. Överskottsslamproduktionen omfattar avloppsvatten, extern kolkälla och kemslam från kemdos mellan MBBR och eftersedimentering respektive från simultanfällning i aktivt slam. Slutligen redovisas produktionen av slam från fällning och filtrering, vars slamflöde baseras på pumpning till slambehandlingen från försedimenteringen, vilket förklarar att TS-halten har valts samma som ”äkta” primärslam.

Tabell 45 Total slamproduktion år 2040.

Parameter	Totalt hela verket				
	Medel [g TS/pe, d]	Max [g TS/pe, d]	Max [ton TS/d]	TS-halt [%]	Max flöde [m ³ /d]
Primärslam	56 ¹	169 ²	133	5,2 ³	2 574
Överskottsslam	42 ⁴	63 ⁵	49	0,5 ⁶	9 830
Kemslam från sand+skivfilter	2,4 ⁷	5,5 ⁸	4	5,2 ⁹	36

¹Baseras på historiska värden från Käppala för 2014-2017, där medelvärdet var 56 g TS/pe, d.

²Baserad på historiska värden från Käppala för 2014-2017 där maxbelastningen har analyserats veckovis och maxvärdet var 169 g TS/pe, d.

³Baseras på fördelningen 20% med TS-halt 3,8 % för linje 01-06 och 80 % med TS-halt 5,5 % för linje 07-11. TS-halt om 3,8 % baseras på historiska värden för linje 01-06 från Käppala för perioden 2008-2010 samt 2020. TS-halt om 5,5 % baseras på historiska värden för linje 07-11 för perioden 2008-2020. Viktad medelvärde ger TS-halten 5,2 %.

⁴Baseras på kvävedimensionering samt kemslamsproduktion från simultanfällning i aktivt slam respektive efterfällning efter MBBR, totalt 32 766 kg TS/d.

⁵Max bioslamproduktion = 1,5 x medel bioslamproduktion baserad på historiska data från Käppala vilket ger max bioslamproduktion 63 g TS/pe, d

⁶Historiskt har Käppala legat på ett medel kring 0,7. Vi har konservativt valt 0,5 för linje 01-06, samt linje 07-11 eftersom vi bedömer att TS-halten ej kommer att vara högre än i bioslam från aktivt slam.

⁷Baseras på att 67 % av flödet går via sandfilter och 33 % av flödet går via skivfilter med kemikalidoser beskrivna i tabell 40 vilket ger medel kemslamproduktion om 2,4 g TS/pe, d.

⁸Max slamproduktion från fällning på sandfilter och skivfilter = 2,3 x medel baserad på historiska data från Käppala (0,9/0,4), vilket ger max slamproduktion 5,5 g TS/pe, d.

⁹TS-halten har valts till samma som äkta primärslam eftersom slamflödet baseras på pumpning till slambehandlingen från försedimenteringen och satts till 5,2 %.

Tabell 46. Total slamproduktion år 2050.

Parameter	Totalt hela verket				
	Medel [g TS/pe, d]	Max [g TS/pe, d]	Max [ton TS/d]	TS-halt [%]	Max flöde [m ³ /d]
Primärslam	56 ¹	169 ²	152	5,2 ³	2 951
Överskottslam	41 ⁴	62 ⁵	56	0,5 ⁶	11 130
Kemslam från sand+skivfilter	2,4 ⁷	5,5 ⁸	5	5,2 ⁹	41

¹Baseras på historiska värden från Käppala för 2014-2017, där medelvärdet var 56 g TS/pe, d.

²Baserad på historiska värden från Käppala för 2014-2017 där maxbelastningen har analyserats veckovis och maxvärdet var 169 g TS/pe, d.

³Baseras på fördelningen 20 % med TS-halt 3,8 % för linje 01-06 och 80 % med TS-halt 5,5 % för linje 07-11. TS-halt om 3,8 % baseras på historiska värden för linje 01-06 från Käppala för perioden 2008-2010 samt 2020. TS-halt om 5,5 % baseras på historiska värden för linje 07-11 för perioden 2008-2020. Viktad medelvärde ger TS-halten 5,2 %.

⁴Baseras på kvävedimensionering samt kemslamproduktion från simultanfällning i aktivt slam respektive efterfällning efter MBBR, totalt 37 110 kg TS/d.

⁵Max bioslamproduktion = 1,5 x medel bioslamproduktion baserad på historiska data från Käppala vilket ger max bioslamproduktion 62 g TS/pe, d

⁶Historiskt har Käppala legat på ett medel kring 0,7 för aktivt slam. Vi bedömer att TS-halten ej kommer att vara högre än i bioslam från aktivt slam och har valt att sätta TS-halten till 0,5 %.

⁷Baseras på att 67% av flödet går via sandfilter och 33 % av flödet går via skivfilter med kemikalidoser beskrivna i tabell 40 vilket ger medel kemslamsproduktion om 2,4 g TS/pe, d.

⁸Max slamproduktion från fällning på sandfilter och skivfilter = 2,3 x medel baserad på historiska data från Käppala (0,9/0,4), vilket ger max slamproduktionen 5,5 g TS/pe, d.

⁹TS-halten har valts till samma som äkta primärslam eftersom slamflödet baseras på pumpning till slambehandlingen från försedimenteringen och satts till 5,2 %.

I tabell 47 redovisas bedömd årlig totalslamproduktion innan rötning (medel och max) för år 2040 och 2050.

Tabell 47. Årlig total slamproduktion för 2040 och 2050.

Parameter	2040	2050
Total slamproduktion, medel (ton TS/år)	28 770	32 650
Total slamproduktion, max (ton TS/år)	68 050	77 660

I tabell 48 och tabell 49 redovisas slamproduktionen uppdelad på linje 01-06 respektive linje 07-11 för 2040 samt 2050. Eftersom filterstegen inte följer denna indelning redovisas slam från filterstegen inte i tabellerna nedan.

Tabell 48 Slamproduktion uppdelat på olika linjer år 2040.

Parameter	Linje 01-06		Linje 07-11	
	TS-halt [%]	Max flöde [m ³ /d]	TS-halt [%]	Max flöde [m ³ /d]
Primärslam	3,8	508	5,5	1 164
Överskottslam	0,5	2 095	0,5	7 735

Tabell 49. Slamproduktion uppdelat på olika linjer år 2050.

Parameter	Linje 01-06		Linje 07-11	
	TS-halt [%]	Max flöde [m ³ /d]	TS-halt [%]	Max flöde [m ³ /d]
Primärslam	3,8	582	5,5	1 334
Överskottslam	0,5	2 225	0,5	8 908

9. Förslag på framtida utredningar/försök

I arbetet med den fördjupade processtudien har ett antal frågor och utredningspunkter identifierats som kräver ytterligare utredningar och försök för att få fram bra underlag.

Nedan listas de försök som rekommenderas utföras:

- Genomför pilotförsök med MBBR på Käppalaverket.
- Genomför pilotförsök med skivfilter efter MBBR-piloten.
- Försök för att bestämma dos av polymer till aktivslam
- Försök för att bestämma doserpunkt av polymer till aktivslam
- Tester med polymer efter MBBR borde genomföras på två sätt (båda sätten bör genomföras):
 - Käppalaverkets personal åker till MBBR-anläggning med liknande förutsättningar och genomför lab- eller pilottest med polymerdosering på dessa vatten. Det finns ingen anläggning i Sverige som kommer ha exakt samma utformning som framtida Käppalaverkets linje 07-11. Man åker då till någon Norsk MBBR-anläggning eller till Margretelund och Nyköping som är det närmaste man kommer i Sverige.
 - Försök med polymerdosering till eftersedimenteringen vid föreslagen MBBR-pilot på Käppalaverket.

Fram till 2040 bedöms möjligheten god att kunna driva verket med dosering av polymer till eftersedimenteringen vid högflödessituationer och ändå uppfylla villkoren. Detta behöver dock verifieras genom de två beskrivna försöken med MBBR och polymer.

Nedan listas de utredningar som rekommenderas i det framtida arbetet:

- Utred om man ska göra pilotförsök med skivfilter i större skala än som skulle vara aktuellt efter MBBR-piloten.
- Utvärdering av sandfilterkapacitet (är pågående).
- Utred hur linje 01-06 ska utformas för att få bästa funktion när detta byggs ut efter år 2040.
- Utred hydraulik mellan utlopp eftersedimentering och filter. Syftet är att bedöma hur stor del av flödet till skivfilter utgörs av vatten från linje 01-06 respektive 07-11 och motsvarande för sandfiltren. Detta är av betydelse om sammansättningen från eftersedimentering 01-06 respektive 07-11 skulle komma att skilja sig åt.

Utöver dessa punkter borde framtidens krav utredas vidare. Fram till år 2040 är kraven förvisso strikta men mellan 2040 och 2050 kommer de bli ännu mera utmanande. Därför har vi ytterligare rekommendationer i detta ämne:

- Påbörja redan nu en utredning om hur man skulle bygga om linje 07-11 för lameller eller flotation.
- Utred prestanda med avseende på nedbrytning av restmetanol i sandfilter. Förslagsvis påbörjas detta genom inhämtning av data från andra reningsverk som driver

processen så. Detta har koppling till om man bör ha efteroxidation eller inte som del av biosteget. Utred också konsekvensen för utgående BOD-halter av om ett delflöde inte passerar sandfilter (utan genom skivfilter).