



Rapport

Diarienummer

Projektnummer

Utvärdering av utbyggnadsalternativ ver. 2

Käppalaverket 3.0

Ver. 1 och 2 Cajsa Ståhlberg, CajsaS Sverige AB
Ver. 1 Katarina Starberg, Kats Stockholm AB

2024-07-05



Sammanfattning

År 2019 erhöll Käppalaförbundet ett nytt verksamhetstillstånd för att behandla avloppsvatten från 900 000 pe. Det nya tillståndet innefattar väsentligt skärpta utsläppskrav vilket innebär att Käppalaverkets kapacitet för rening av kväve behöver utökas. Kväve har tidigare renats i 11 biolinjer genom aktivslamprocess. För klara de nya kraven när de träder i kraft pågår för närvarande en större ombyggnad av biolinje 7 och 8 med byte av processlösning till MBBR, vilken medför ökad reningskapacitet i befintliga volymer. Det beräknas vara klart och nå full kapacitet under början av 2028, då kan de skarpare reningskraven uppfyllas med prognosticerad belastning.

Utöver MBBR-tekniken finns det andra möjligheter för långsiktig kapacitetsutbyggnad upp till 900 000 pe. Processutredningar pågår med syfte att utreda vilka åtgärder i befintliga aktivslamlinjer och kompletterande processteg som är möjliga att genomföra på Käppalaverket för att öka kapaciteten och klara de nya utsläppskraven i takt med att befolkningen ökar. Målet är att hitta en optimal utbyggnadsplan som medför att reningskraven klaras på ett kostnadseffektivt och säkert sätt men som också väger in driftaspekter och möjlighet till vidare utveckling av anläggningen.

Denna rapport baseras på genomförda processutredningar och syftar till att presentera och utvärdera olika utbyggnadsalternativ samt klargöra vilka vägval som finns och när i tiden beslut behöver fattas. Utbyggnadsalternativen har utvärderats utifrån processtekniska, ekonomiska och övriga aspekter.

Utvärderingen visar att det, genom att vidta åtgärder i befintliga aktivslamlinjer samt anlägga kompletterande processteg, inte är nödvändigt att bygga om linje 10 och 11 till MBBR före år 2050. Sannolikt behöver inte heller linje 9 byggas om till MBBR men det bör verifieras genom en mer ingående utredning av hur en ombyggnation av aktivslamprocessen ska utformas för maximerad kapacitet samt säkerställa kapacitetsökningen.

Resultatet från denna utredning visar att det är fördelaktigt att skjuta stora dyra åtgärder framåt i tiden. Ekonomiskt för att stora investeringar kan tas senare men också för att det ger möjlighet att, innan beslut behöver fattas, utvärdera resultatet från de stora ombyggnationer som genomförts. En årskostnadsjämförelse visar att det är väsentligt dyrare med fler MBBR-linjer än att optimera befintlig process och bygga kompletterande processteg. Utöver betydligt större investering är MBBR-processen mer energi- och kemikaliekrävande. Vid inbördes jämförelse mellan utbyggnadsalternativen utan MBBR-process visar utvärderingen att det är av mycket liten ekonomisk betydelse i vilken ordning dessa åtgärder vidtas.

Utifrån de studerade utbyggnadsalternativen lyfter utredningen fram de vägval som Käppalaförbundet står inför och när i tiden beslut behöver fattas. För att de initiala åtgärderna ska kunna startas upp i tid behöver det första vägvalet göras vid årsskiftet 2024/25. Genom att då besluta om att, till att börja med, vidta relativt enkla åtgärder i befintliga aktivslamlinjer kan beslut avseende processval för linje 9 skjutas fram till årsskiftet 2028/29. Det ger tid för att utvärdera driften av linje 7 och 8 efter att de är ombyggda till MBBR samt utreda vilken ombyggnation av aktivslamprocessen i linje 9-11 som krävs för att maximera kväverensningskapaciteten.

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1. Bakgrund	1
1.2. Syfte	2
1.3. Projektorganisation	2
2. Omfattning och genomförande	3
2.1. Studerade utbyggnadsalternativ	3
2.2. Genomförande, arbetsgång och underlag	3
2.2.1. Processutredning	3
2.2.2. Redundans och bestämning av anläggningens nivå	4
2.3. Övergripande förutsättningar och avgränsningar	5
2.4. Underlag	6
3. Beskrivning av studerade utbyggnadsalternativ	6
3.1. Utbyggnadsalternativ 0 – Endast MBBR med rejektvattenrening	7
3.2. Utbyggnadsalternativ 1 – lätt optimering av AS + linje 9 MBBR med rejektvattenrening	8
3.3. Utbyggnadsalternativ 2 – maximal optimering av AS utan RVR	9
3.4. Utbyggnadsalternativ 3A –optimering av AS med rejektvattenrening	10
3.5. Utbyggnadsalternativ 3B – optimering AS med bra resultat med rejektvattenrening	11
4. Ekonomi	12
4.1. Investeringar per åtgärd	12
4.2. Kostnader per alternativ	13
4.3. Ekonomisk modell	14
5. Miljöpåverkande parametrar	18
5.1. Energiförbrukning	18
5.2. Metanolförbrukning	19
5.3. Klimatpåverkan	19
6. Faktorer som påverkar vägval	23
6.1. Grundläggande påverkansfaktorer	23
6.1.1. Process	23
6.1.2. Ekonomi	23
6.2. Riskanalys av alternativen	24
6.3. Övriga aspekter	25

6.3.1. Nya krav	25
6.3.2. Tillstånd.....	26
6.3.3. Genomförande	26
6.3.4. Drift och styrning	27
6.3.5. Miljö- och hållbarhet.....	27
6.3.6. Befolkningsprognos	27
7. Kompletterande utbyggnadsalternativ	28
8. Sammanställning enskilda utbyggnadsalternativ	31
9. Vägvalsanalys	34
9.1. Tidpunkter och frågeställningar för vägval	34
9.1.1. Vägval 1 årsskifte 2024/25 - MBBR och RVR eller lätta åtgärder AS?....	36
9.1.2. Vägval 2 årsskifte 2026/27 – ska rejektvattenrening byggas?	37
9.1.3. Vägval 3 årsskiftet 2028/29 – Ska linje 9 byggas om med MBBR eller för optimerad aktivslamprocess?	39
9.2. Osäkerheter i vägvalsanalysen.....	41
10. Sammantagna slutsatser	42
11. Figurer i större format	44

Bilagor

Bilaga 1: PM Utbyggnadsalternativ ver. 2

Bilaga 2: Redundans ver. 1

Bilaga 3: Ekonomisk analys ver. 2

Bilaga 4: Klimatpåverkan för olika utbyggnadsalternativ

1. Inledning

1.1. Bakgrund

Käppalaförbundet planerar och genomför för närvarande en större om- och tillbyggnad av Käppalaverket för att möta såväl kommande befolkningsökning som skärpta utsläppskrav.

I dagsläget är Käppalaverket dimensionerat för 700 000 pe. Befolkningsökningen bedöms medföra att anslutningen till Käppalaverket år 2050 kommer att öka till omkring 900 000 pe. Käppalaförbundet erhöll år 2019 ett nytt verksamhetstillstånd enligt miljöbalken som medger behandling av avloppsvatten från 900 000 pe. Tillståndet innebär dock även väsentligt skärpta utsläppskrav från och med år 2026, som inte kommer att kunna tillgodoses med befintlig aktivslamprocess. Verket behöver därmed anpassas för att kunna hantera förändringarna. I juni 2024 erhöll Käppalaförbundet en tillfällig villkorsändring som innebär att de nya skärpta tillståndskraven förskjuts till juli 2028.

Utbyggnaden drivs sedan 2021 inom programmet Käppalaverket 3.0 som har planeringshorisont 2040 och utblick mot år 2050. Programmet omfattar ett flertal projekt varav det största och mest kritiska, Käppala 900k (K900k), i huvudsak innebär ombyggnad av flera av de befintliga aktivslamlinjerna för att ställa om dem till en MBBR-process. I dagsläget befinner sig projektet i ett detaljprojekteringsskede och omfattar i en första etapp ombyggnation av biosteget i linjerna 7 och 8 till MBBR. Denna etapp ska vara färdigställd och driftsatt till år 2028.

Utformningen av den nya processlösningen utgör resultatet av ett omfattande utredningsarbete som genomförts vid Käppalaverket i över 10 års tid, som förberedelse inför kommande omställning. I samband med att förstudien för K900k slutfördes sammanfattades de tidigare studierna i en PM, *Käppala 900 k förstudie – Sammanfattning av processutredningar och principförslag*, 2020-09-24, som även utgjorde underlag för beslut i projektets styrgrupp avseende genomförandet av systemhandling (gatepassage). PM:en konstaterade att de mest väsentliga frågeställningarna hanterats i studierna, att föreslagen processlösning var genomförbar samt att ett genomförbart förslag till teknisk lösning för att successivt bygga ut anläggningen hade tagits fram.

PM:en noterade även att det fanns behov av kompletterande utredningar, specifikt för att klarlägga redundansbehovet men även för att säkerställa möjligheterna till framtida utveckling av Käppalaverket ur ett bredare perspektiv. Det togs därför beslut i styrgruppen att låta genomföra en utredning av mer strategisk karaktär och ett upplägg arbetades fram.

Under hösten 2022 genomfördes ett arbete med att klarlägga olika utbyggnadsalternativ samt erforderlig utbyggnadstakt vilket resulterade i version 1 av denna rapport *Utvärdering utbyggnadsalternativ Käppalaverket 3.0 2023-01-13*. Där identifierades tidpunkter för vägval och redogjordes för de påverkansfaktorer och aspekter som fortsättningsvis behöver

beaktas vid de olika vägvalen. Dessutom identifierades ett behov av utredning av vilken potential aktiv slamlinjerna 1-6 har, fördjupad utredning av rejektivattenrening samt att se över förutsättningarna för de bassänger som byggs om till MBBR-processen.

Under 2023 genomförde Sweco en utredning kring rejektivattenrening och fördjupad processtudie för linjerna 1-6 samt att nya dimensionerande förutsättningar för ombyggnationen till MBBR-processen togs fram när ombyggnationen av linje 7 var i gång. Dessutom gjorde medlemskommunerna och Käppala en revidering av befolkningsprognosen vilket ledde till en lägre prognos än tidigare. Detta sammantaget initierade ett behov av översyn av utvärderingen av utbyggnadsalternativen.

1.2. Syfte

Utredningens övergripande syfte är att utifrån de nya förutsättningarna revidera den tidigare utredningen. Det tidigare syftet kvarstår, vilket var att belysa och jämföra olika utbyggnadsalternativ vid Käppalaverket utifrån den valda processlösningen. Specifikt ska utredningen klargöra när i tiden olika åtgärder i utbyggnadsplanen behöver införas för att klara utsläppskraven. Jämförelsen avser de åtgärder som planeras att genomföras efter 2028 när ombyggnation av linje 7 och 8 är avslutad. Utredningen ska vid jämförelsen ta hänsyn till förväntade framtida behov av reningssteg vid anläggningen samt belysa andra faktorer och omständigheter som kan komma att påverka utbyggnaden.

Utredningen utgör underlag för val och utformning av Käppalaförbundets utbyggnadsstrategi. Studien ska ses som en grund som kan kompletteras, utvecklas och justeras efter hand. Denna gång uppdateras utredningen efter nya förutsättningar för processberäkningar och uppdaterad befolkningsprognos. Ett annat tillfälle för behov av uppdatering kan vara efter den första utbyggnadsetappen färdigställts och erfarenheter från den nya processlösningen för linje 7 och 8 inhämtats samt då utredning av den potentiella kapaciteten med aktivslamprocess i linje 9-11 genomförts.

1.3. Projektorganisation

Arbetet med utbyggnadsstrategin har letts av Olle Lindeberg, programchef Käppalaverket 3.0 och i ver. 1 med stöd av Katarina Starberg (externt beställarstöd) som bistått utrednings- och analysarbetet samt författat huvuddelen av ver. 1 av denna rapport. Ver. 2 har reviderats av Cajsa Ståhlberg.

Utredningsarbetet har genomförts av en konsultorganisation bestående av:

Cajsa Ståhlberg, CajsaS AB har ansvarat för att driva och samordna utredningsarbetet och har även genomfört de ekonomiska beräkningarna samt den slutliga analysen.

Jonas Bengtsson, Carl Dahlberg och Sofia Andersson, Sweco har genomfört samtliga underliggande processutredningar i samråd med Jonas Grundestam, Käppalaförbundet och projektgruppen, samt svarat för att sammanställa redundans-PM och bilaga PM Process.

2. Omfattning och genomförande

2.1. Studerade utbyggnadsalternativ

I dagsläget har ombyggnation av linje 7 och 8 till MBBR-process påbörjats. De utbyggnadsalternativ som studerats här avser tiden efter linje 8 är ombyggd och har som utgångspunkt att den pågående ombyggnationerna fullföljs till färdigställande av linje 8.

Flertalet alternativ har studerats processmässigt och fem av dessa har valts ut för ekonomisk analys. De beskrivs närmare i kapitel 4 och i Bilaga 3 och sammanfattas nedan i Tabell 1.

Tabell 1. Studerade utbyggnadsalternativ. RVR-Rejektvattenrening, AS- Aktiv slam

Grundalternativ	
0 – endast MBBR med RVR	<ul style="list-style-type: none"> • ombyggnad av linje 7-11 till MBBR • RVR
1 – lätta åtgärder AS med RVR	<ul style="list-style-type: none"> • ombyggnad av linje 7-9 till MBBR • optimering av linje 2-11 • RVR
2 – maximal optimering AS utan RVR	<ul style="list-style-type: none"> • ombyggnad av linje 7-8 till MBBR • optimering och ombyggnation av AS linje 2-11
3A – optimering AS med RVR	<ul style="list-style-type: none"> • ombyggnad av linje 7-8 till MBBR • optimering av linje 2-11 • ombyggnation av AS linje 2-9 • RVR
3B – optimering AS med bra resultat med RVR	<ul style="list-style-type: none"> • ombyggnad av linje 7-8 till MBBR • optimering av linje 2-11 • ombyggnation av AS linje 9- 10 med <i>antaget mycket bra resultat</i> • RVR

2.2. Genomförande, arbetsgång och underlag

Arbetet med framtagande av första versionen av denna utredning genomfördes under 2021–2022 och förankrades löpande brett inom Käppalaförbundet via redovisningar och workshops med enhetschefer och andra nyckelpersoner. Det var ett uttalat syfte att väga olika perspektiv inom organisationen och att uppnå samsyn kring de underlag som ska ligga till grund för utbyggnadsstrategin. Revideringen av utredningen har gjorts under våren 2024.

Inom ramarna för denna strategiutredning genomfördes inledningsvis två större studier, en processutredning samt en studie kring redundans. Processutredningen har till denna version reviderats utifrån de nya förutsättningarna. Båda ligger till grund för den fortsatta bedömningen av utbyggnadsalternativen och beskrivs kort nedan.

2.2.1. Processutredning

I arbetet med att klarlägga olika tänkbara utbyggnadsalternativ är processberäkningarna grundläggande. Vid inledningen av version 1 av denna utredning genomfördes en processutredning av Sweco i nära samråd med Käppalaförbundet i en arbetsgrupp. En mängd

processberäkningar genomfördes med utgångspunkt i de tidigare processutredningarna för K900k-projektet och justerades och kompletterades på olika sätt.

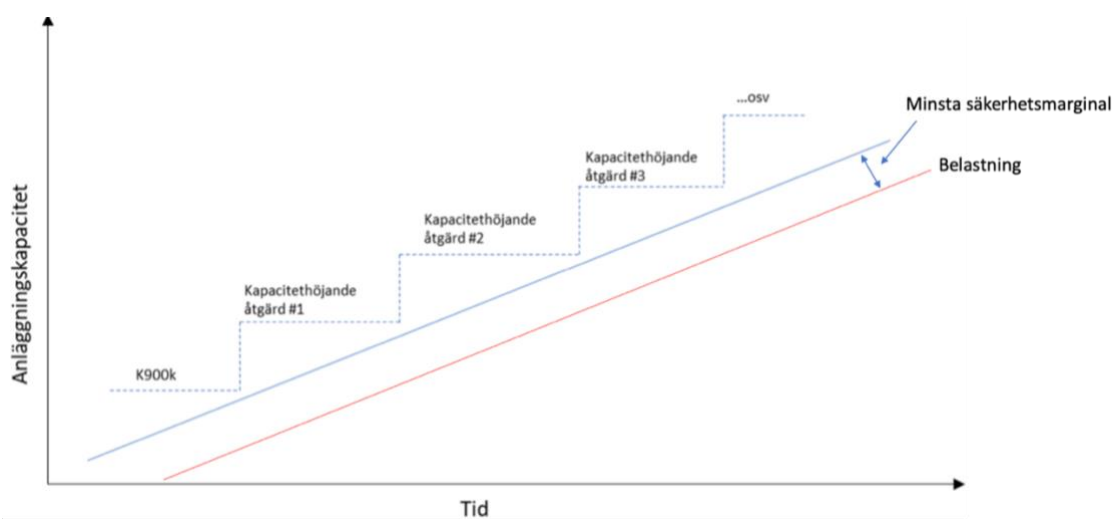
Efter det har förutsättningar förändrats, befolkningsprognosen har minskat samt att under detaljprojektering av MBBR i linje 7 och 8 gjordes vissa förändringar i utformningen som påverkat kapaciteten i linjerna. Utöver det har linje 1-6 byggts om med nya zoner för efterdenitrifikation och tidigare processberäkningar har kalibrerats med data från 2023. Utifrån detta har den tidigare processutredningen reviderats och utifrån resultatet bedömdes och definierades tänkbara kombinationer av processlösningar samt hur de olika stegen skulle behöva utformas och införas över tid för att kunna uppfylla kraven. Dessa kombinationer utgör de utbyggnadsalternativ som är grunden för denna utredning. Resultatet redovisas i *Bilaga 1 (PM Utbyggnadsalternativ ver.2)*.

Utöver utbyggnad av kvävereringskapacitet planeras ett stort antal andra projekt på verket. De projekt som planeras är både rena reinvesteringar för att trygga driften i befintlig anläggning och kapacitetshöjande åtgärder på andra system.

2.2.2. Redundans och bestämning av anläggningens nivå

För att avgöra utbyggnadstakten, dvs när olika åtgärder behöver införas i tiden, behöver mätning av erforderlig kapacitet ske gentemot produktionsmålet. Produktionsmålet ska ge en marginal mot de tillståndsgivna utsläppskraven för att klara olika störningar i processen. Produktionsmål har under utredningsarbetets gång gemensamt definierats som den nivå som ska ge marginal för att klara normala variationer, planerade underhållsåtgärder och normala interna störningar. Produktionsmålen inrymmer inte extremväder och andra extrema händelser.

Marginalen ska vara tillräckligt stor för att driftorganisationen ska kunna klara målsättningen på ett rimligt sätt, men inte så överdrivet stor att en onödig överkapacitet skapas och kostnadsdrivande investeringar därmed tas alltför tidigt. Principen illustreras i Figur 1.



Figur 1. Principiell utbyggnadstrappa för att stegvis möta den ökade belastningen. Säkerhetsmarginalen motsvaras av produktionsmålen.

För att bestämma den optimala utbyggnadstakten är det alltså väsentligt att klargöra vilken marginal som faktiskt krävs och, i förlängningen, vilken redundans som anläggningen skall ha för att medge denna marginal. Det kräver i sin tur att man klarlägger vilka situationer som behöver klaras av.

Under den ursprungliga utredningens gång hölls flertalet arbetsmöten och workshops med Käppalaförbundets organisation (ledning, drift, process, underhåll, miljö och ekonomi) i olika konstellationer för diskussion och samsyn kring den marginal som anläggningen behöver.

I ett första steg definierades produktionsmålet som den nivå som ska klaras för normal drift samt normalt underhåll och ”vanliga” driftstörningar. Därefter genomfördes ett gemensamt arbete inklusive en workshop för att identifiera vilka driftsituationer som behöver klaras, hur ofta dessa inträffar samt under hur lång tid. Processberäkningar genomfördes för att kontrollberäkna och bedöma påverkan på reningsresultatet. Utifrån resultatet genomfördes en andra workshop där nivån för produktionsmålet slutligen bestämdes.

Resultatet sammanfattas i *Bilaga 2 – Redundans*.

I denna revidering av rapporten har ingen ny redundansstudie genomförts utan samma marginal och tillika produktionsmål som tidigare gäller fortfarande.

2.3. Övergripande förutsättningar och avgränsningar

Det pågående huvudprojektet K900k inom utbyggnadsprogrammet ligger till grund för utbyggnadsstrategin. Projektet innefattar sammanfattningsvis ombyggnation av aktivslamprocessen i linje 7-11 till MBBR-process, men där ombyggnationen av linje 9-11 är under utvärdering.

Det nya verksamhetstillståndet för Käppalaverket (juni 2019) ligger till grund för såväl den pågående utbyggnaden som denna strategiutredning.

För den ursprungliga utredning användes samma befolkningsprognos som för K900k. Uppgifter hämtades från rapport Dimensionerande förutsättningar Käppalaverket K900k, rev C 2020-09-30, där det har förutsatts en årlig belastningsökning av 2 % fram till 2033 därefter 1,5 % fram till 2050, vilket är i linje med den regionala utvecklingsplanen RUFSS 2018.

För denna revidering av utredningen har en ny befolkningsprognos använts. Uppgifterna är hämtade från rapport Belastningsprognos 2024-2050 2024-01-04 med bilaga Excel Bilaga 1 rev D. Befolkningsprognosen är framtagen av Sweco och utgår från uppdaterad RUFSS (2022) Denna ger en betydligt lägre befolkningsökning på ca 0,8% till skillnad från tidigare ca 2%. Belastningsprognosen är framtagen av Käppala baserad på befolkningsprognosen. Den förändrade belastningsprognosen påverkar inte de dimensionerande förutsättningarna för K900k men däremot ger det nya förutsättningar för när i tiden kapaciteten behöver utökas.

Utbyggnadsstrategin (liksom projekt K900k) baseras endast på den biologiska reningen. Konsekvenserna för övriga anläggningsdelar har endast bedömts mycket översiktligt. Denna utredning förutsätter att flödet till de olika biologiska linjerna kan styras så att varje linjes fulla kapacitet kan nyttjas. I realiteten har dock anläggningen begränsningar gällande styrning av flödet till biolinjerna och detta behöver utredas vidare.

2.4. Underlag

Utredningen har baserats på följande underlag.

Tabell 2. Underlag för utvärdering av utbyggnadsalternativen ver. 1

Dimensionerande förutsättningar Käppalaverket K900k, rev C 2020-09-30
Käppala 900 k – Sammanfattning av processutredningar och principförslag, KATS, 2020-09-24
PM Processberäkningar för utbyggnadsstrategi, Sweco 2022-06-08
PM Utbyggnadsalternativ, Sweco 2022-11-04
PM Nya processteg, Sweco 2022-11-26
PM Redundans, Sweco, 2022-11-04
PM Nya processteg/-åtgärder Käppala reningsverk, Sweco 2022-11-26
Förstudie rejektivattenrening, Ramboll, 2021-06-23
Dispositionsplan Käppala 2022-06-08
Avtal mellan Lidingö stad och Käppalaförbundet, 1958-04-18
Protokoll från workshops:
- Analys av variationer händelser och störningar 2022-02-14
- Utbyggnadsalternativ 2022-09-06
- Nivå på anläggningen 2022-10-12
Protokoll från MBBR riskanalys 2020-09-07

Tabell 3. Tillkommande underlag för utvärdering av utbyggnadsalternativen ver. 2

Belastningsprognos Rev D 2024-2050 2024-01-04
Förstudie rejektivattenrening Käppala, Sweco 2024-01-31
PM Utbyggnadsalternativ ver.2 Sweco 2024-07-05
PM Slutlig processberäkning MBBR, Sweco 2024-03-20
Optimering linje 1-6, Sweco 2024-04-29

3. Beskrivning av studerade utbyggnadsalternativ

De studerade utbyggnadsalternativen beskrivs kortfattat nedan tillsammans med illustrationer som visar hur de uppfyller produktionsmålen. Detaljerade beskrivningar samt processantaganden återfinns i *Bilaga 1* och *3*.

Flera alternativ har studerats. Det första alternativet var enbart ombyggnation till fler MBBR-linjer i löpande takt. Ett sådant alternativ klarar dock inte reningskapaciteten under

åren 2035-2038 då linje 11 behöver vara ur drift för ombyggnation. Detta alternativ har därför inte studerats vidare. I stället har som grundalternativ (alternativ 0) valts att komplettera enbart MBBR-utbyggnad med byggnation av rejektvattenrening.

I övriga alternativ kombineras olika grad av optimerings- och ombyggnationsåtgärder av befintliga aktivslamlinjer samt byggnation av separat rejektvattenrening för att ha möjlighet att senarelägga ombyggnationen till fler MBBR-linjer eller helt undvika det.

En förstudie kring införandet av separat rejektvattenrening genomfördes av Sweco under 2023. *Förstudie rejektvattenrening 2024-01-31*. Den baseras på införande av ANITA MOX™ eller likvärdig anammoxprocess för rening av rejektvatten från rötslammet i befintlig försedimenteringsbassäng, FS01. Det är en etablerad teknik med kända effekter som kommer ge minskad kvävebelastning till biostegen.

För samtliga utbyggnadsalternativ antas linje 1 tas ur drift 2035 för att ge plats åt läkemedelsrening.

I kapacitetsgraferna i detta kapitel visar den gråsvarta linjen inkommande kvävebelastning till Käppalaverket enligt Käppalas prognos Rev. D och varje färg i staplarna visar respektive process sammantagna beräknade kapacitet att rena del av inkommande mängd kväve ner till 5 mg/l ut. I de fall staplarna är högre än den gråsvarta linjen har reningsprocessen överkapacitet. Den röda linjen visar om rejektvattenrening är i drift (1) eller inte (0). I bilaga 1 – PM Utbyggnadsalternativ förklaras kapacitetsgraferna mer ingående.

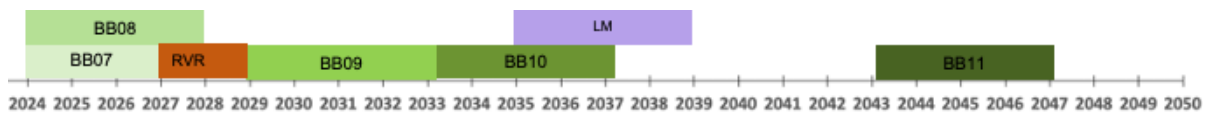
I juni 2024 erhöll Käppalaförbundet en tillfällig villkorsändring som innebär att de nya skärpta tillståndskraven förskjuts till juli 2028, det är dock inte implementerat i graferna i denna rapport men medför att marginalen i reningskapacitet bli bättre fram till 2028 än visat.

Reningsbehovet i diagrammen utgår från produktionsmålen som i sin tur baseras på tillståndsgivna värden, dessa omfattar både haltkrav och mängdkrav. Endast krav för kväve har beaktats då dessa utgör den begränsande faktorn i biosteget. Under hela tidsperioden fram till 2050 är det haltkravet på kväve som kommer vara det begränsande.

Kvävereningskapacitet i diagrammen nedan redovisas som maximal reningskapacitet med optimal fyllnadsgrad av bärare.

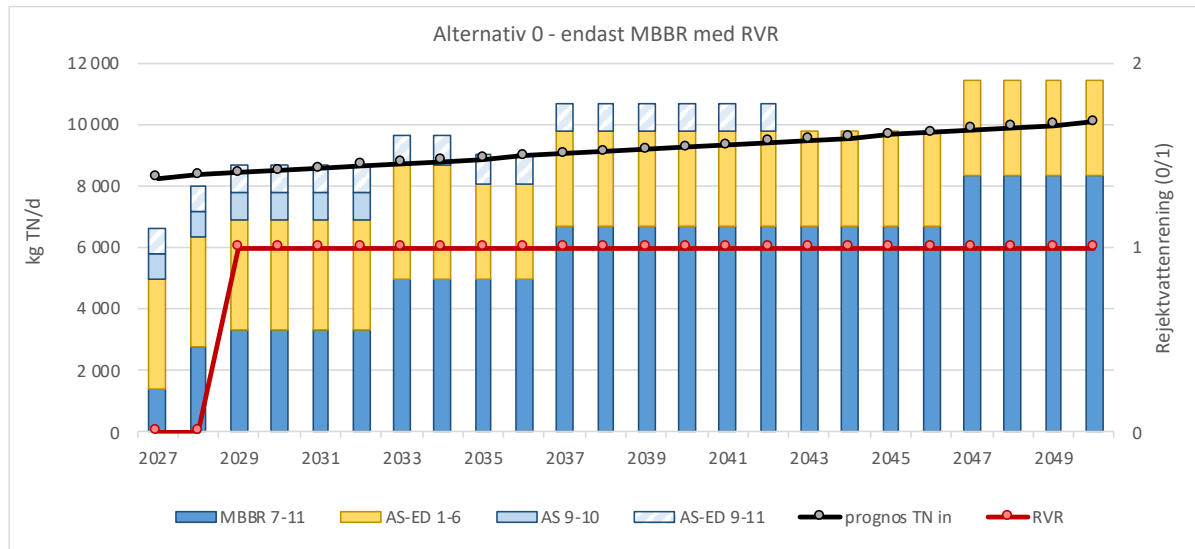
3.1. Utbyggnadsalternativ 0 – Endast MBBR med rejektvattenrening

Alternativ 0 innebär att den fortsatta utbyggnaden efter 2026 består i att rejektvattenrening byggs direkt efter att linje 7 tagits i drift (2027) och står färdig 2029. Linje 9 byggs om direkt därpå och står färdig 2033. Därefter byggs linje 10 om direkt, färdig 2037. Linje 11 behöver då byggas om och stå färdig 2047. Se tidslinje i Figur 2 nedan.



Figur 2 Tidslinje för utbyggnadsalternativ 0 – endast MBBR med RVR Gröna rutor MBBR-ombyggnad, orange rejektivattenrening samt lila läkemedelsrening.

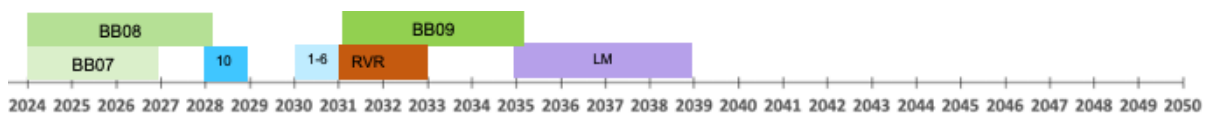
I Figur 3 nedan visas beräknad kapacitet utifrån utbyggnad enligt alternativ 0.



Figur 3. Kväverenskapskapacitet och reningsbehov för att uppnå produktionsmål för utbyggnadsalternativ 0 - endast MBBR med RVR.

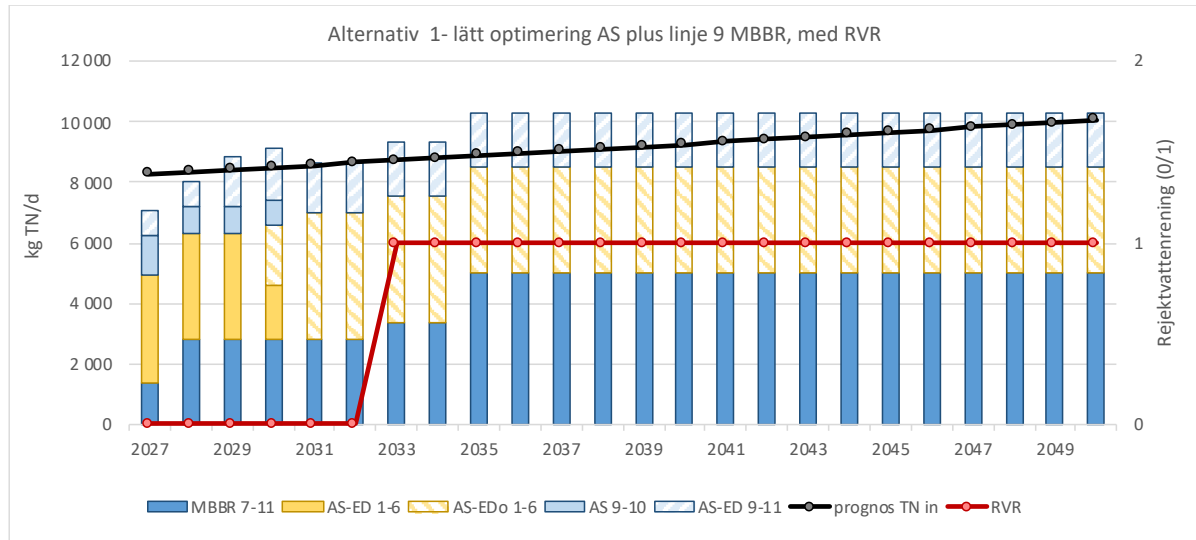
3.2. Utbyggnadsalternativ 1 – lätt optimering av AS + linje 9 MBBR med rejektivattenrening

I utbyggnadsalternativ 1 görs bara de enkla optimeringarna av aktivslamprocesserna, efterdenitrifikation i linje 10 samt förbättrad styrning av linje 1-6. Linje 9 förses inte med efterdenitrifikation eftersom den kommer tas ur drift för att byggas om till MBBR 2031. Därefter byggs rejektivattenrening 2031-2032. Dessa åtgärder räcker dock inte för reningsbehovet efter 2035 och linje 9 behöver därför byggas om till MBBR under åren 2031-2034.



Figur 4 Tidslinje för utbyggnadsalternativ 1 – lätt optimering AS + linje 9 MBBR med RVR Gröna rutor MBBR-ombyggnad, orange rejektivattenrening, lila läkemedelsrening, blå lätta åtgärder aktivslamlinjer.

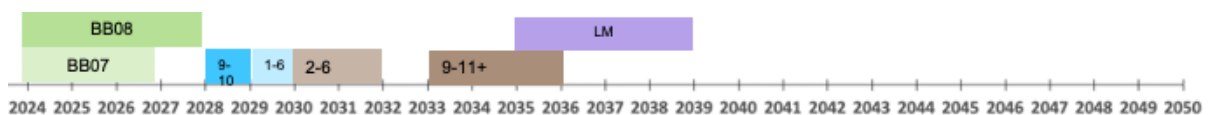
Utbyggd beräknad kapacitet från åtgärderna visas i Figur 5 nedan.



Figur 5. Kväverenskapskapitet och reningsbehov för att uppnå produktionsmål för utbyggnadsalternativ 1 – lätt optimering av AS med RVR.

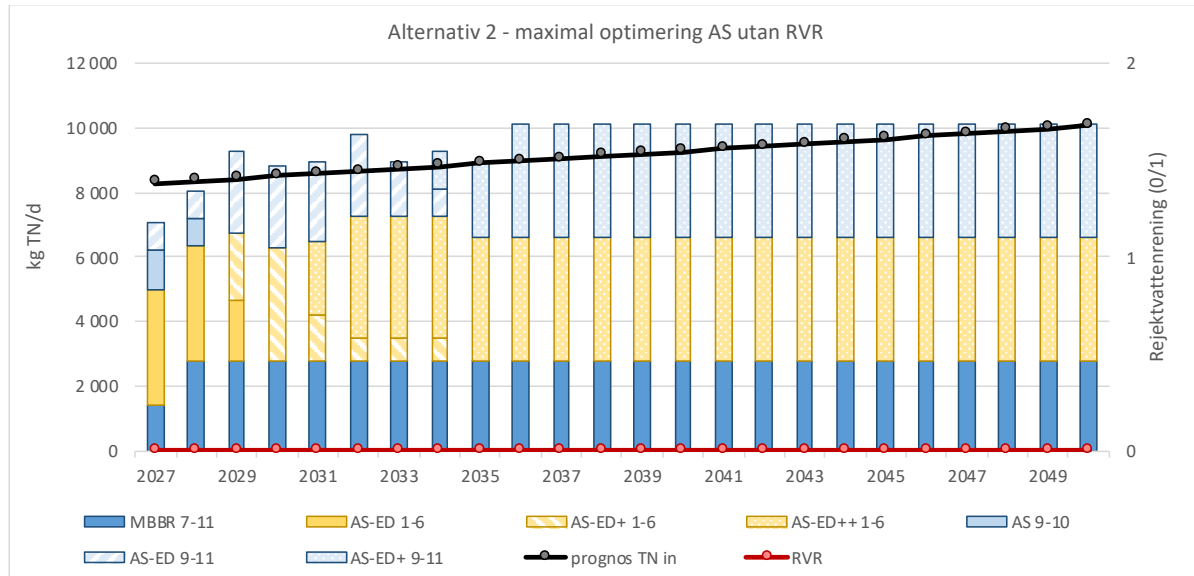
3.3. Utbyggnadsalternativ 2 – maximal optimering av AS utan RVR

I detta alternativ optimeras befintliga aktivslamlinjer maximalt. Då behöver inte rejektivattenrening byggas, se Figur 7. Optimeringen sker i två steg för respektive del av verket, först byggs linje 9 och 10 om med efterdenitrifikation på samma sätt som tidigare gjorts för linje 11 (lätta åtgärder 9-10). Därefter förbättras styrningen av linje 1-6 genom programmeringsåtgärder (lätta åtgärder 1-6). När detta är klart görs en större ombyggnation med zonindelning av först linje 2-6 (ombyggnation 2-6, ej 1 eftersom den ska tas ur drift för läkemedelsrening) och därefter linje 9-11 (ombyggnation 9-11).



Figur 6 Tidslinje för utbyggnadsalternativ 2 – maximal optimering av AS utan RVR. Gröna rutor MBBR-ombyggnad, lila läkemedelsrening, blå lätt åtgärder aktivslamlinjer samt bruna ombyggnation aktivslamlinjer.

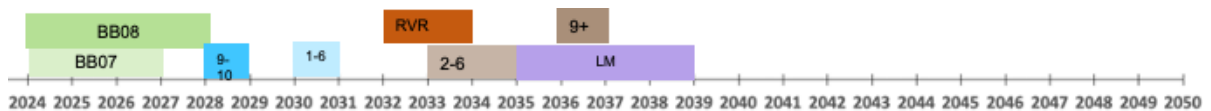
Utbyggd beräknad kapacitet från åtgärderna visas i Figur 7 nedan.



Figur 7 Kvävereringskapacitet och reningsbehov för att uppnå produktionsmål för utbyggnadsalternativ 2- maximal optimering AS utan RVR.

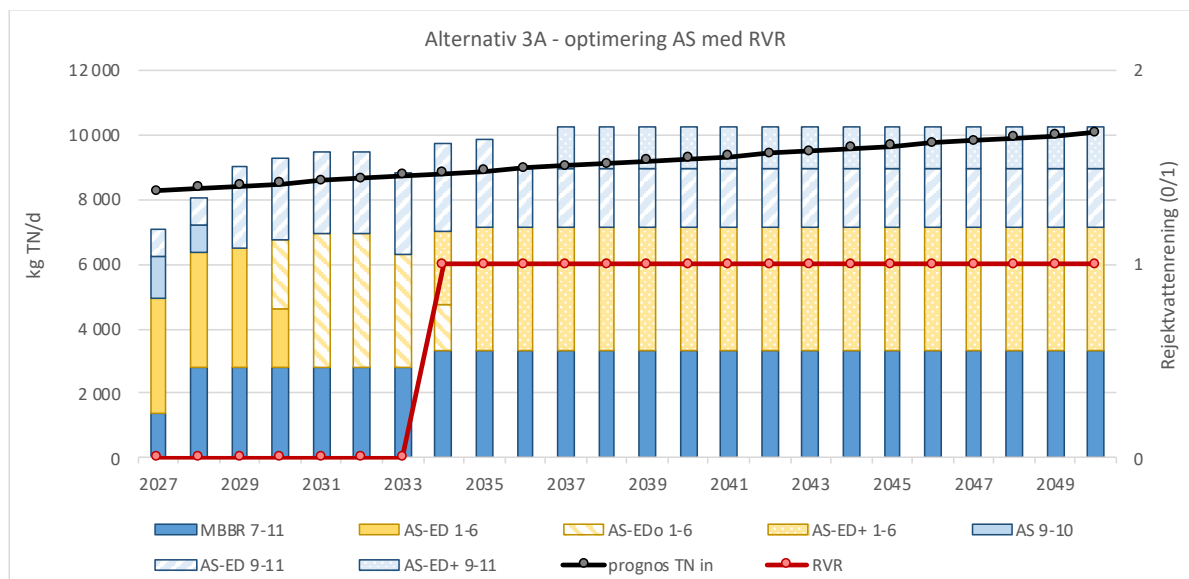
3.4. Utbyggnadsalternativ 3A –optimering av AS med rejektivattenrening

I utbyggnadsalternativ 3A optimeras aktivslamprocesserna på samma sätt som i alternativ 1 men med skillnaden att rejektivattenrening byggs 2032-2033. Det medför att åtgärderna i aktivslambassängerna kan dras ut mer över tiden och ombyggnation av linje 10-11 behöver inte ske för att klara behovet av kvävereringskapacitet till 2050.



Figur 8 Tidslinje för utbyggnadsalternativ 3A –optimering av AS med RVR. Gröna rutor MBBR-ombyggnad, lila läkemedelsrening, orange rvr, blå lätta åtgärder aktivslamlinjer samt bruna ombyggnation aktivslamlinjer.

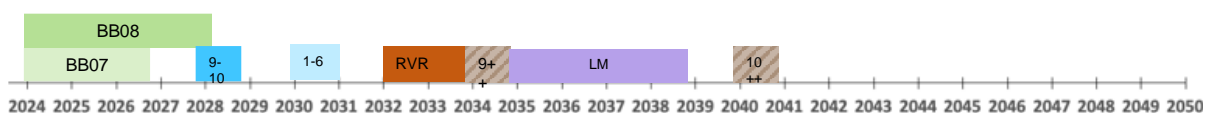
I Figur 9 nedan visas beräknad kapacitet efter utbyggnad av åtgärderna i alternativ 3A.



Figur 9. Kväverenskapskapacitet och reningsbehov för att uppnå produktionsmål för utbyggnadsalternativ 3A – optimering av AS med RVR.

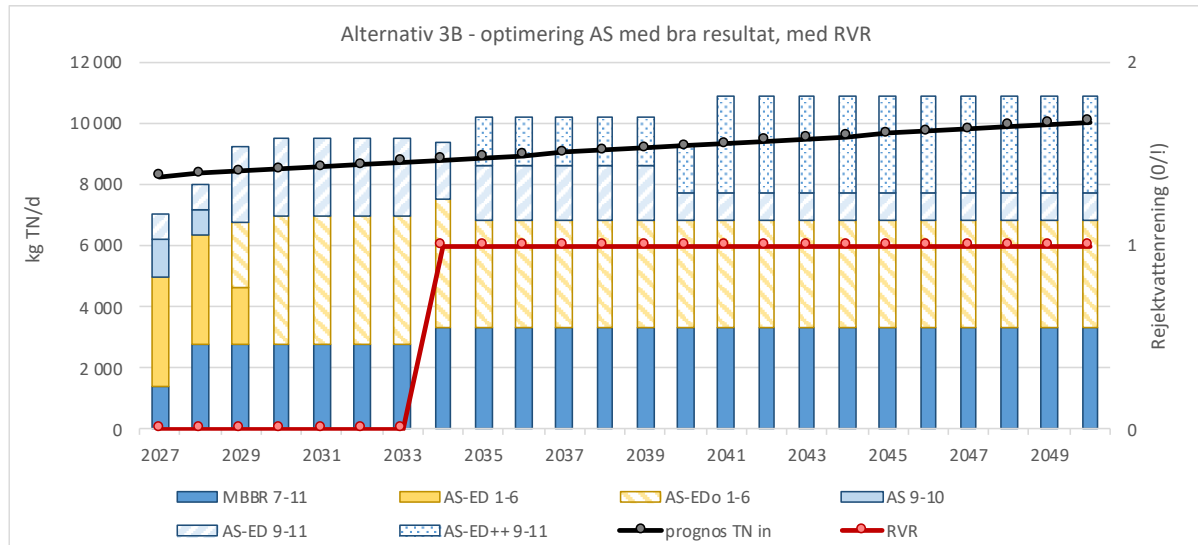
3.5. Utbyggnadsalternativ 3B – optimering AS med bra resultat med rejektvattenrening

Detta alternativ är en variant på 3A där processen i linje 9-10 antas ge ett ännu bättre resultat efter ombyggnation vilket medför att linje 2-6 och linje 11 inte behöver byggas om för att klara kapaciteten till 2050. Precis som i 3A görs de lätta optimeringsåtgärderna först i linje 9-10 med ombyggnad till efterdenitrifikation och därefter programmering av linje 1-6. 2032-2033 byggs rejektvattenrening och sedan direkt byggs linje 9 om med utökad zonindelning. 2040 byggs sedan linje 10 om på samma sätt.



Figur 10 Tidslinje för utbyggnadsalternativ 3B –optimering av AS med bra resultat med RVR. Gröna rutor MBBR-ombyggnad, lila läkemedelsrening, orange rvr, blå lätta åtgärder aktivslamlinjer samt bruna ombyggnation aktivslamlinjer.

I Figur 11 visas den beräknade utbyggda kapaciteten för alternativ 3B.



Figur 11. Kvävereningsskapacitet och reningsbehov för att uppnå produktionsmål för utbyggnadsalternativ 3B – optimering av AS med bra resultat med RVR.

4. Ekonomi

Detta kapitel innefattar en övergripande ekonomisk analys av åtgärderna och de sammansatta utbyggnadsalternativen.

4.1. Investeringar per åtgärd

I tabellen nedan presenteras antagna investeringar per åtgärd samt beräknad årlig kapitalkostnad i form av ränta 2,5 % samt avskrivningar. Kapitalkostnaden är beräknad för varje avskrivningstid med Excels-formel *betala* som beräknar jämna räntebetalningar plus avskrivning för ett lån som återbetalas med lika stora belopp varje år, vilket ger en uppfattning om genomsnittliga kapitalkostnader. Tabellen redovisar även den ökade kvävereningsskapaciteten som respektive åtgärd bedömts medföra. Detta görs med och utan rejektivattenrening eftersom den antas ge olika effekt för olika processer. För närmare beskrivning se bilaga 1. Utifrån kapitalkostnad samt ökad kväverening har nyckeltal för respektive åtgärd beräknats som investeringskostnad per kg ökad kvävereningsskapacitet.

Tabell 4 Antagna investeringar, årlig kapitalkostnad och kvävereduktion per åtgärd. Siffrorna avser samtliga angivna linjer för respektive åtgärd.

	Antagen investering (mkr)	Årlig kapital-kostnad: ränta 2,5% + avskrivning (tkr per år)	Ökad kväverenningskapacitet från åtgärden utan RVR (ton/år)	Ytterligare ökad kväverenningskapacitet från åtgärden i och med RVR (ton/år)	Totalt ökad kväverenningskapacitet från åtgärden inkl RVR (ton/år)	Kapital-kostnad per kg TN ökad utan RVR (kr/kg TN)	Kapital-kostnad för RVR per ytterligare ökad kväverenningskapacitet per år i och med RVR (kr/kg TN)	Kapital-kostnad per kg TN total ökad (kr/kg TN)
Ombyggnad MBBR linje 7-8	2 800	165 620	401	203	604	413	40	288
Ombyggnad MBBR linje 7-9	4 100	242 515	601	304	906	403	26	277
Ombyggnad MBBR linje 7-11	6 750	399 263	1 002	507	1 509	398	16	270
Uppgradering 9-10 med ED	40	2 403	57*	210	267	42	38	39
Ombyggnation linje 9-11	300	16 789	380	87	466	44	93	53
Ombyggnation linje 9-11++ med bra resultat	300	16 789	680	134	814	25	60	31
Optimering bättre styrning 2-6	11	805	146	0	146	6		61
Ombyggnation 2-6	72	4 326	110	0	110	40		113
Rejektvattenrening	130	8 066						

*Åtgärden ger inte förbättrad kapacitet för total mängd kväve men kan rena ner till lägre koncentrationer. Ökad reduktion är bedömd utifrån vad övriga linjer annars räknats med behöver kompensera för.

Ur tabellen kan utläsas att kapitalkostnaden som ombyggnation till MBBR-process genererar är ca 400 kr per kg TN som åtgärden ökar kväverenningskapaciteten med. Detta kan då jämföras med kostnaden för ombyggnation av linje 9-11 som kostar ca 25-44 kr/kg TN, optimering av linje 2-6 ca 6 kr/kg TN samt ombyggnation av linje 2-6 ca 40 kr/kg TN.

Införs rejektivattenrening och den enda ombyggnationen som görs är MBBR linje 7-9 kostar rejektivattenreningen ca 26 kr/kg TN, byggs sedan även linje 10 och 11 om till MBBR blir kostnaden för RVR endast ca 16 kr/kg TN. Är den enda ombyggnationen som görs istället linje 9-11 kostar rejektivattenreningen ca 60-90 kr/kg TN.

Slås kapitalkostnaderna för RVR och MBBR ihop blir kostnaden istället ca 270-290 kr/kg TN att jämföras med kostnaden för RVR plus endast ombyggnation linje 9-11 som blir ca 30-50 kr/kg TN.

4.2. Kostnader per alternativ

För att på samma sätt som ovan jämföra nyckeltal, men här per alternativ, har investeringar, kapitalkostnader och kostnad för metanol och el (förbrukning år 2050) samt ökad kvävereduktion räknats ihop för respektive utbyggnadsalternativ. Detta redovisas i Tabell 5 nedan.

Tabell 5 Investering, beräknad kapitalkostnad, metanol- och elkostnad samt ökad kvävereduktion per alternativ, 2024-års prisnivå

	Antagen investering (mkr)	Årlig kapital-kostnad: ränta 2,5% + avskrivning (tkr per år)	Kostnad metanol och el för drift 2024-års priser (tkr/år)	Ökad kväverenningskapacitet i alt utan RVR (ton/år)	ökad kväverenningskapacitet från RVR i alt. (ton/år)	Ökad kväverenningskapacitet från alla åtg i alt. (ton/år)
0 - endast MBBR med RVR	6 895	408 169	33 537	1 002	507	1 509
1 - lätta åtgärder AS plus linje 9 MBBR med RVR	4 371	258 904	28 680	747	356	1 103
2 - maximal optimering+ ombyggnad AS utan RVR	3 223	189 943	28 564	1 036	0	1 036
3A - optimering + ombyggnad AS med RVR	3 213	190 175	25 974	783	283	1 066
3B - optimering + ombyggnad AS med bra resultat med RVR	3 211	189 767	25 632	1 000	318	1 318

I Tabell 6 nedan redovisas nyckeltal per alternativ.

Tabell 6 Beräknade nyckeltal per alternativ

	Kapitalkostnad per kg TN total ökad kväverenningskapacitet (kr/kg TN)	Driftskostnader (el och metanol) per kg TN ökad kväverenningskapacitet (kr/kg TN)	Årskostnad (kapital+metanol+el) per kg TN total ökad kväverenningskapacitet från alla åtg i alt. (kr/kg TN)	RVR:s kapitalkostnad per ökad kväverenningskapacitet från RVR (kr/kg TN)
0 - endast MBBR med RVR	270	22	293	16
1 - lätta åtgärder AS plus linje 9 MBBR med RVR	235	26	261	23
2 - maximal optimering+ ombyggnad AS utan RVR	183	28	211	0
3A - optimering + ombyggnad AS med RVR	178	24	203	29
3B - optimering + ombyggnad AS med bra resultat med RVR	144	19	163	25

Kapitalkostnaderna (ränta och avskrivning) i alternativ 0 är ca 270 kr per kg ökad kväverenningskapacitet som alternativet ger upphov till. Alternativ 1 har kapitalkostnad på 235 kr per kg ökad kväverenningskapacitet. Alternativ 2, 183 kr/kg TN och 3A motsvarande 178 kr per kg TN. Billigast är alternativ 3B, med ca 144 per kg TN.

För att få med de driftskostnader som är alternativskiljande har el- och metanolkostnad beräknats och delats med den ökade kväverenningskapaciteten som åtgärderna i respektive alternativ ger upphov till. Där kan utläsas att alternativ 2 som inte har rejektivattenrening är dyrast med 28 kr/kg/TN och alternativ 3B, 19 kr/kg TN.

Sista kolumnen redovisar kapitalkostnaderna för rejektivattenreningen per ökad kväverenningskapacitet. Där kan utläsas att införande av rejektivattenrening är mest kostnadseffektivt när många linjer byggs om till MBBR.

4.3. Ekonomisk modell

En ekonomisk modell har upprättats för jämförelse av årskostnader för de olika utbyggnadsalternativen. Modellen inkluderar investeringar och relevanta driftkostnader enligt följande.

Huvudsakliga investeringar:

- Investeringar för nya och ombyggda delar
 - MBBR, ca 1,3 miljarder kr
 - RVR, ca 130 miljoner kr
 - Lätta åtgärder AS
 - Programmering linje 1-6, ca 11 miljoner kronor totalt
 - Efterdenitrifikation linje 9-11, ca 20 miljoner kr per linje
 - Ombyggnation AS, zonindelning linje 2-6, ca 72 miljoner kr totalt
 - Ombyggnad AZ, zonindelning linje 9-11, ca 100 mkr per linje
 - Läkemedelsrening i linje 1, ca 500 miljoner kr
- Renovering av linje 9-11 i de fall där ombyggnation MBBR senareläggs
 - 15 mkr om linjen byggs om mellan 2040-2050
 - 30 mkr om linjen inte byggs om innan 2050
- Återinvesteringar efter avskrivningstidens slut

Driftskostnader:

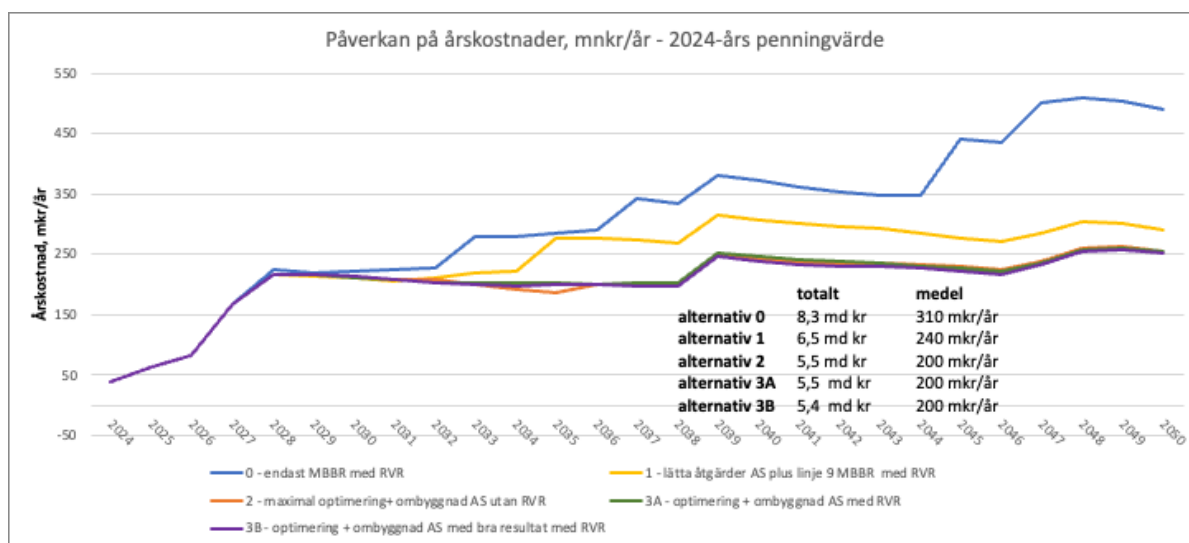
- Underhåll linje 9-11
 - 5 mkr/år/linje om linjen varit i drift mer än 10 år
 - Ombyggd linje 500 tkr första året ökande med 500 tkr/år upp till 10 år
- Energiförbrukning för luftning i biolinjerna och rejektvattenreningen
 - Elpris 1,50 kr/kWh
- Kolkälla i form av metanol
 - 6 500 kr/m³
- Drift av läkemedelsrening 32 mkr/år

Räntan är ansatt till 2,5 %. Alla kostnader räknas upp med antagen inflation på 2 % för att beräkna varje års reella kostnader. För att sedan kunna jämföra skillnaderna mellan alternativen över tid, trots att pengarnas värde minskar med åren genom inflationen, har årskostnaderna sedan räknats om till 2024-års penningvärde genom att dividera den uppräknade årskostnaden med den för varje år ackumulerade inflationen sedan 2024. Det ger en uppfattning om alternativens ekonomiska skillnader utifrån dagens värde på pengarna.

För att få en övergripande jämförelse mellan alternativen presenteras här resultat i form av årskostnader för respektive alternativ. I Figur 12 visas samtliga alternativs påverkan på årskostnaden i 2024-års penningvärde. Årskostnaderna innefattar ränta, avskrivning, underhåll, drift av RVR, el samt metanol för beskrivna åtgärder. Noteras bör att detta inte är samtliga av Käppalaförbundets årskostnader utan endast den påverkan investeringar och alternativskiljande driftskostnader har på de totala årskostnaderna.

Den ekonomiska analysen redovisas i sin helhet i *Bilaga 3*.

Samtliga figurer presenteras i större format i kapitel 9.



Figur 12. Påverkan på årskostnad, mkr i 2024-års penningvärde

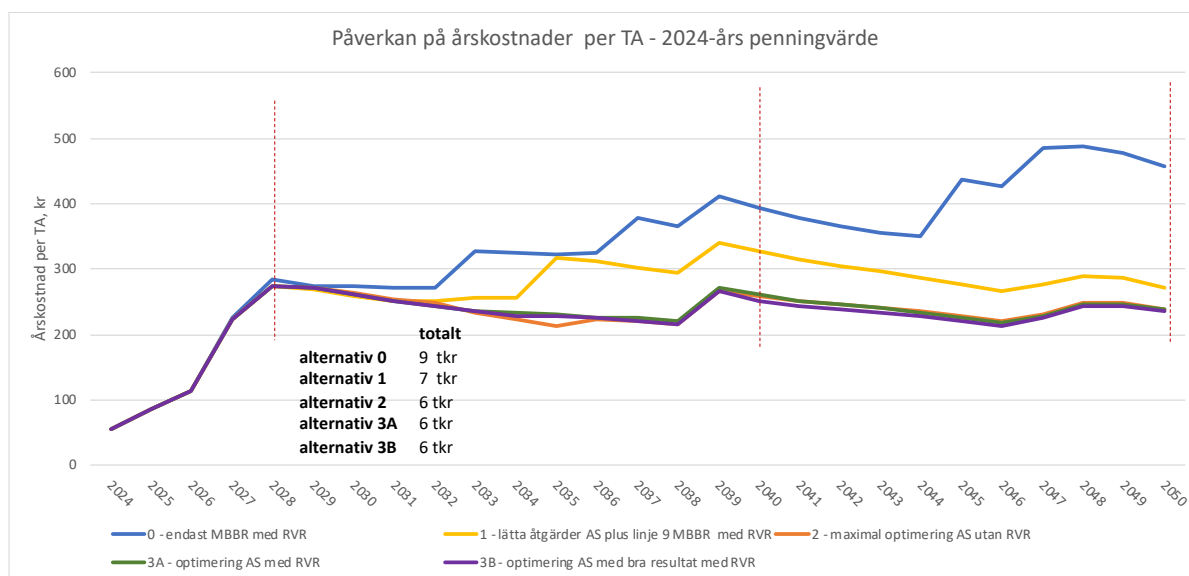
Alternativ 0 där samtliga av linjerna 7-11 byggs om till MBBR samt att rejektivattenrening byggs får en total årskostnad med 2024-års penningvärde för hela perioden på drygt 8 miljarder kronor vilket motsvarar i genomsnitt 310 miljoner kronor per år.

Alternativ 1 där endast linje 7-9 byggs om till MBBR samt rejektivattenrening får istället en total årskostnad på ca 6,5 miljarder kronor över hela perioden, i genomsnitt 240 miljoner kr per år.

Figur 12 visar vidare att alternativ 2, 3A och 3B där ingen mer MBBR-linje behöver byggas om utöver linje 7 och 8 genererar likvärdiga årskostnader över hela perioden motsvarande ca 5,4-5,5 miljarder kronor, 200 miljoner kronor per år i genomsnitt.

Det är alltså tydligt att ombyggnationen till MBBR-linjer är av avgörande ekonomisk faktor där ombyggnad av linje 9-11 kostar igenomsnitt 110 mkr per år mer än i alternativen där de inte byggs om till MBBR. För att få en uppfattning om det är en betydande skillnad är det relevant att få ett begrepp om hur mycket pengar det är för den enskilda invånaren.

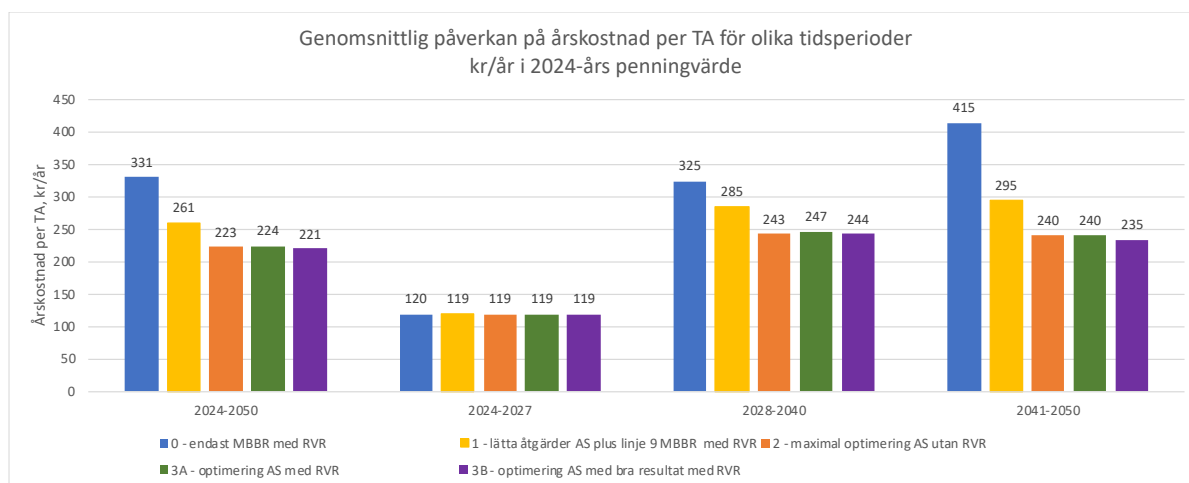
Käppalaförbundet har utöver vanliga hushåll även anslutning av industrier som är med och delar på kostnaderna på samma sätt som hushållen. För att fördela kostnaderna rättvis har Käppalaförbundet tagit fram begreppet total anslutning, TA, där industriernas belastning räknats om till personekvivalenter och slagits ihop med antal anslutna personer. Prognosen visar att TA kommer öka från ca 714 tusen till drygt en miljon från 2024 till 2050. I Figur 13 nedan visas årskostnaderna per TA i 2024-års penningvärde. Detta ger en indikation om hur stor taxepåverkan kostnaderna från respektive alternativ kommer att få och framför allt hur stor skillnaden mellan alternativen är.



Figur 13 Påverkan på årskostnad per TA i 2024-års penningvärde.

Den totala påverkan på årskostnaden för hela perioden varierar från 6 till 9 tusen kronor per TA. Alternativ 0 kostar alltså totalt ca 3 tusen kronor mer per TA än alternativ 2, 3A och 3B samt ca 2 tusen kronor mer per TA än alternativ 1.

Kostnadsskillnaderna skiljer sig dock i olika tidsperioder och i Figur 14 nedan visas genomsnittliga årskostnader per TA för några olika perioder.



Figur 14 Genomsnittlig påverkan på årskostnad per TA för olika tidsperioder, kr/år i 2024-års penningvärde

Över hela perioden 2024 till 2050 kostar alternativ 0 i genomsnitt ca 330 kr per TA och år. Alternativ 1 motsvarande 260 kr och alternativ 2, 3A och 3B ca 220 kr/år och TA. Det innebär att alternativ 0 med ombyggnation till fem MBBR-linjer kostar varje person i genomsnitt ca 110 kr mer per år än alternativ 2, 3A och 3B där det i stället satsas på att optimera befintliga aktivslamprocesser.

Fram till och med 2027 är dock alla alternativen i stort sett lika med en genomsnittlig kostnad på ca 120 kr per TA och år. Trettonårsperioden därefter, fram till 2040 (2028 – 2040) kostar i genomsnitt ca 325 kr/TA och år för alternativ 0 och ca 40 kr/TA och år

mindre för alternativ 1 och 80 kr/TA och år mindre för alternativ 2, 3A och 3B. Den senare delen av den studerade tidsperioden, 10 år, från 2041 till 2050 kostar i genomsnitt 415 kr/TA och år för alternativ 0 och 120 kr/TA och år mindre för alternativ 1 samt 175-180 kr/TA och år mindre för alternativ 2, 3A och 3B.

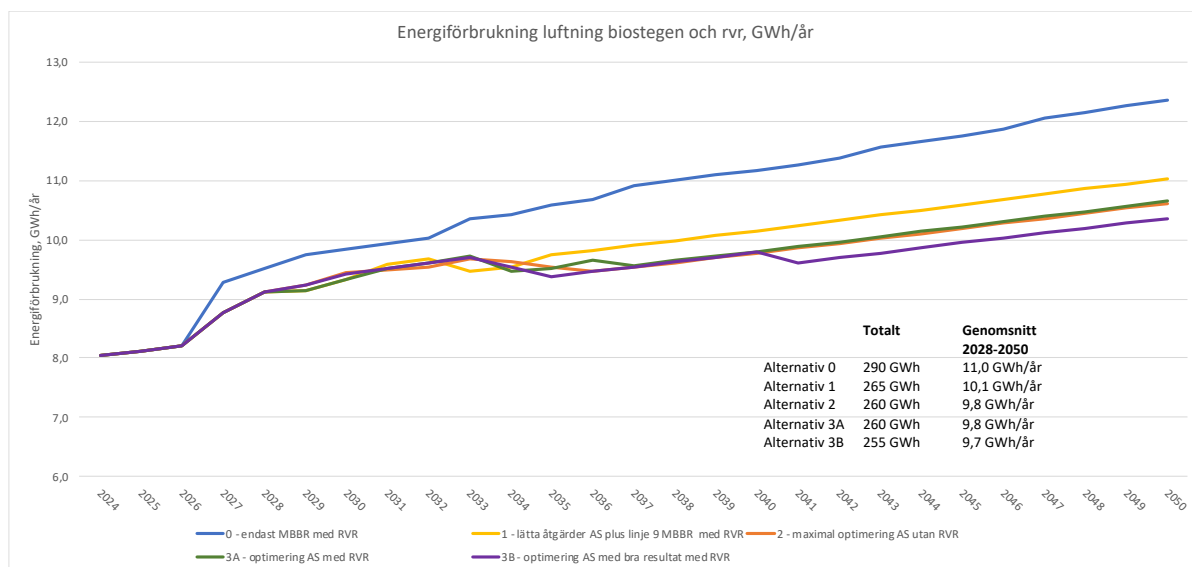
Den ekonomiska analysen visar alltså att de stora investeringarna för ombyggnad till MBBR genererar stora ekonomiska skillnader för Käppalaförbundet på i genomsnitt runt 110 mkr/år vilket för den enskilda medborgaren rör sig om runt 100 kr/TA och år.

5. Miljöpåverkande parametrar

Utöver ekonomi skiljer sig alternativen under hela tidsperioden i energi- och metanolförbrukning. Detta har också beräknats och redovisas i detta kapitel. En annan faktor som skiljer alternativen åt är klimatpåverkan i form av koldioxidavtryck från material i ombyggnationer. En övergripande bedömning har gjorts för att uppskatta detta.

5.1. Energiförbrukning

I Figur 15 nedan visas beräknad energiförbrukning för luftning i biostegen samt rejektvattenreningen.

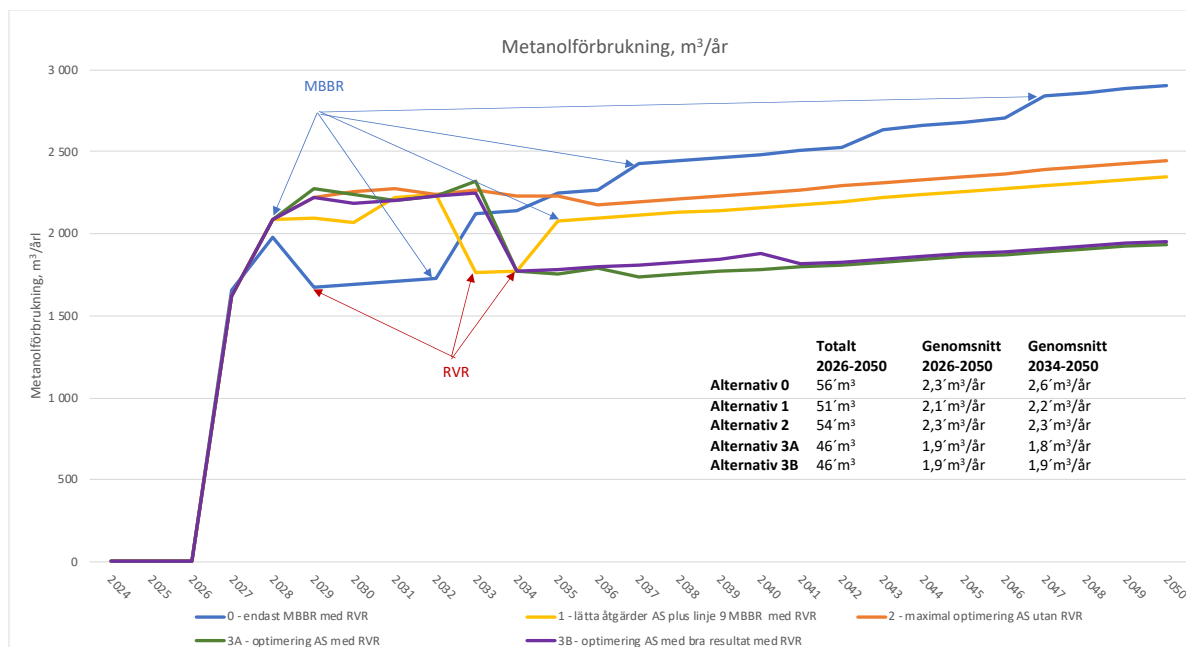


Figur 15 Beräknad energiförbrukning för luftning av biostegen och rvr för de olika alternativen, GWh/år

Figuren visar att MBBR-processen är betydligt mer energikrävande än aktivslamprocessen. Alternativ 0 med fem MBBR-linjer behöver i genomsnitt över perioden 2028-2050 ungefär 1,2 – 1,3 GWh per år mer än alternativ 2, 3A och 3B som bara har två MBBR-linjer. Vidare kan utläsas att skillnaden mellan rejektvattenrening och maximal optimering av aktivslamprocesserna är försumbar avseende energiförbrukning.

5.2. Metanolförbrukning

Genom att införa MBBR-processer och efterdenitrifikation i aktivslamprocesserna behöver metanol tillsättas processen. Ungefärlig förbrukning har beräknats för respektive alternativ och visas i Figur 16 nedan.



Figur 16 Metanolförbrukning för MBBR och aktiv slam med efterdenitrifikation, m³/år

MBBR-processen kräver mer metanol än aktivslam med efterdenitrifikation, vilket figuren visar. I genomsnitt över hela perioden rör det sig om ca 400 m³ mer per år för alternativ 0 med fem MBBR-linjer än för alternativ 3A och 3B med endast två MBBR-linjer.

Figuren visar också att rektvattenreningen har stor påverkan på metanolförbrukningen. Sett över hela perioden behöver alternativet med maximal optimering av AS men utan rektvattenrening (alternativ 2) ungefär 400 m³ mer metanol per år än alternativen med optimering av AS men med rektvattenrening (alternativ 3A och 3B). Tittar man på bara perioden efter rektvattenreningen är i drift, 2035-2050 så rör det sig istället om ca 500 m³ per år i genomsnitt. Med dagens metanolpris motsvarar det ca 2,5 miljoner kr per år.

5.3. Klimatpåverkan

För bedömning av klimatpåverkan av ombyggnader av biolinjer, uttryckt som koldioxidekvivalenter, har en materialsammanställning gjorts för ombyggnation av en linje i BB07-11 till MBBR respektive förbättrad aktivslam, en linje i BB01-06 till förbättrad aktivslam samt FS01 till rektvattenrening. De material som sammanställts är stål, betong och plast (HDPE). Den specifika koldioxidbelastningen för dessa material är ansatta till:

- Rostfritt stål 6,5 kg CO₂/kg
- Betong 0,85 kg CO₂/kg
- Plast (HDPE): 2,1 kg CO₂/kg

En mer detaljerad beskrivning av metoden och omfattningen återfinns i Bilaga 4. Det bör noteras att bedömningen är översiktlig och underlaget för framtagande av materialåtgång är mycket varierande för de olika linjetyperna. Resultatet bör behandlas därefter.

Den översiktliga materialåtgången och den schablonmässiga klimatpåverkan från de respektive linjetyperna återfinns i

Tabell 7 och Tabell 8. Resultaten visar att ombyggnation av en linje till MBBR ger mer än 10 gånger högre klimatavtryck uttryckt som koldioxidekvivalenter än ombyggnation av en linje i BB09-BB11 till mer effektiva aktivslamlinjer eller byggnation av en rejektvattenrening i FS01 och nästan 100 gånger högre klimatavtryck än ombyggnation av en aktivslamlinje i BB01-06.

Tabell 7. Materialåtgång vid ut- eller ombyggnation av en linje (investeringskostnad)

Material		MBBR	BB01-BB06	BB09-BB11	Rejektvatten
Stål	kg	487 000	5 000	-	14 000
Betong	kg	1 121 000	36 000	475 000	110 000
Plast (HDPE)	kg	844 000	-	-	98 000
Makadam	kg	-	-	-	150 000

Bilaga 4 redovisar vilka poster som har inkluderats i varje materialsummering.

Tabell 8. Klimatpåverkan vid ut- eller ombyggnation av en linje (investeringskostnad)

Material		MBBR	BB01-BB06	BB09-BB11	Rejektvatten
Stål	kg CO ₂	3 169 000	34 000	-	94 000
Betong	kg CO ₂	953 000	31 000	404 000	93 000
Plast (HDPE)	kg CO ₂	1 772 000	-	-	205 000
Makadam	kg CO ₂	-	-	-	Uppgift saknas
<i>Totalt</i>	<i>kg CO₂</i>	<i>5 894 000</i>	<i>65 000</i>	<i>404 000</i>	<i>392 000</i>

På liknande sätt har en översiktlig bedömning av klimatpåverkan från driften av olika linjetyper tagits fram. I värderingen har endast metanol- och elförbrukning för luftning av biologin och rejektvattenreningen inkluderats. Bedömningen ska ses som grov och översiktlig och bygger på maximalt belastade linjer. De specifika koldioxidbelastningarna som används i beräkningarna baseras på schablonsiffror som är hämtade ur Klimatberäkningsverktyg för VA-anläggningar - Användarmanual (Svenskt Vatten, sep 2022):

- Fossil metanol 2052 kg CO₂/ton MeOH, varav 70 kg CO₂/ton utgör transport (antagen sträcka Hamburg-Stockholm).
- El residualmix 372 kg CO₂/MWh (stämmer överens med Käppalas elmix 2023)

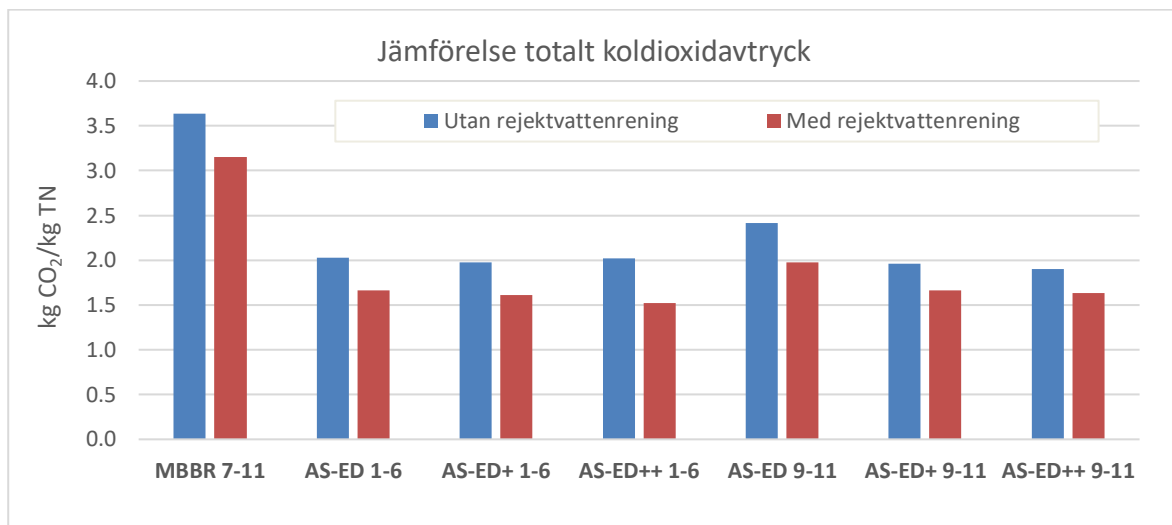
Resultaten har normaliserats mot kvävereningkapaciteten i vardera linje uttryckt som inkommande kväve per dygn för att möjliggöra en jämförelse.

En sammanställning av den faktiska förbrukningen i färdigutbyggd anläggning år 2050 redovisas även. Då är inte alla linjer fullbelastade i samtliga utbyggnadsalternativ och belastningen förutsätts vara proportionellt fördelad mot den maximala kapaciteten per linje mellan de linjer som är i drift.

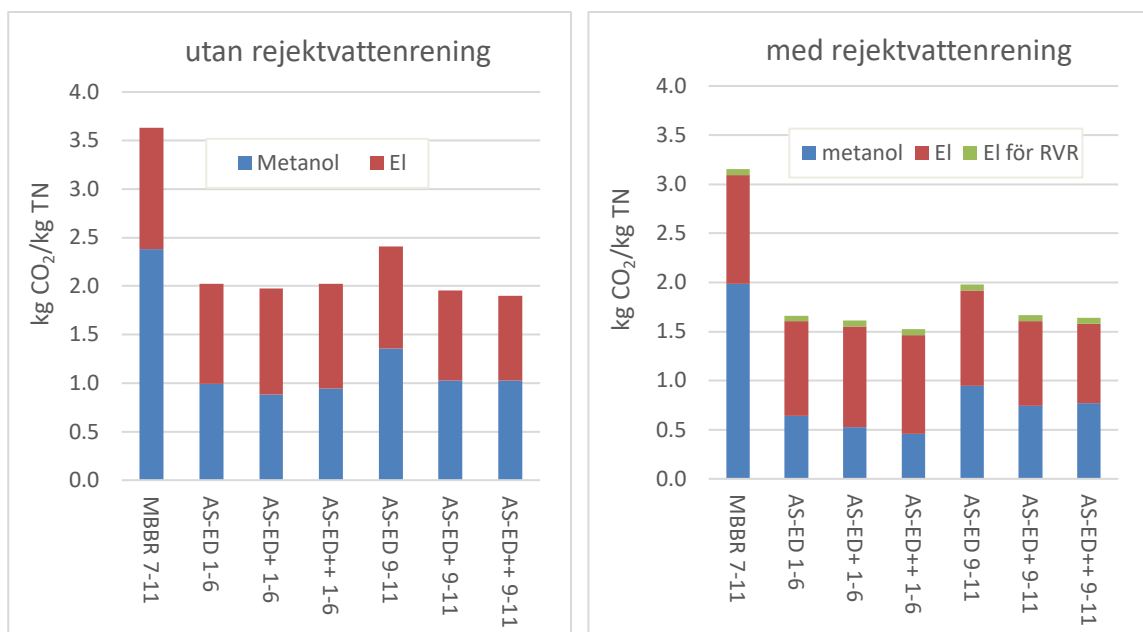
I Bilaga 4 beskrivs metoden och underlaget som använts i mer detalj.

Resultaten presenteras i Figur 17 och Figur 18 samt Tabell 9. Klimatavtrycket är högst per kg kväve i MBBR-linjerna, vilket framför allt beror på den höga metanolförbrukningen (Figur 18). I övrigt skiljer det sig inte så mycket åt mellan de olika linjetyperna. Generellt sett ger införandet av rejektivattenrening ett lägre klimatavtryck från samtliga linjetyper. Eftersom elförbrukningen för rejektivattenreningen slås ut på de olika linjerna blir bidraget per linje litet i relation till övrig elförbrukning.

Genom att byta elavtal till grön el kan klimatavtrycket från el minskas från 372 kg CO₂/MWh till 7–67 kg CO₂/MWh. På samma sätt kan byte från fossil metanol till en biobaserad kolkälla minska klimatavtrycket från 2052 kg CO₂/ton till 613 kg CO₂/ton (biobaserad etanol) eller nära noll för en internt producerad kolkälla (till exempel fermentering av slam).



Figur 17. Koldioxidavtryck från drift (el och metanol) av en fullbelastad linje.



Figur 18. Koldioxidavtryck från drift (el och metanol) av en fullbelastad linje utan rejektvattenrening (vänster) och med rejektvattenrening (höger).

I Tabell 9 redovisas den sammanlagda el- och metanolförbrukning år 2050 för de studerade utbyggnadsalternativen (förutom de kompletterande alternativen som blir snarlika alternativ 1 respektive 3A år 2050) och det klimatavtryck i form av koldioxidekvivalenter som det resulterar i. Ur tabellen framgår att Nollalternativet med utbyggnad av MBBR-linjer ger högst klimatpåverkan från drift följt av alternativ 1 (där en tredje MBBR-linje byggs) och 2 (där ingen rejektvattenrening byggs). Alternativ 3A och B får ett lite lägre klimatavtryck, ungefär 26% lägre än Nollalternativet.

Tabell 9. Koldioxidavtryck från drift år 2050 (metanol och el) för de olika utbyggnadsalternativen

Parameter	Enhet	Alt. 0 - endast MBBR & RVR	Alt. 1 – lätta åtgärder & RVR + MBBR	Alt. 2 – optimering AS utan RVR	Alt. 3A - optimering AS & RVR	Alt. 3B – opt. AS & RVR, bra resultat
Elförbrukning	GWh/år	12,37	11,07	10,64	10,68	10,38
CO ₂ -ekv. från el	ton CO ₂ /år	4 602	4 118	3 958	3 973	3 861
Metanolförbrukning	m ³ /år	2 903	2 347	2 451	1 940	1 963
CO ₂ -ekv. från metanol	ton CO ₂ /år	7 540	6 096	6 366	5 039	5 099
CO₂-ekv. total	ton CO₂/år	12 142	10 214	10 324	9 012	8 960

Slutsatsen från denna översiktliga bedömning är att klimatavtrycket för att bygga och drifva en MBBR-linje är betydligt större än för övriga linjetyper, både totalt sett och om det normaliseras mot kvävereringskapaciteten i en linje.

6. Faktorer som påverkar vägval

Generellt finns det en rad faktorer som kan påverka valet av utbyggnadsstrategi, alltifrån sakförhållanden till yttre omständigheter och organisationens egna värderingar. För att fastställa den slutliga strategin behöver dessa beaktas och vägas samman. Nedan redovisas och diskuteras de påverkansfaktorer som bedöms vara relevanta i arbetet med att fastställa den slutliga utbyggnadsstrategin för Käppalaverket fram till 2050. Det redogörs även för hur respektive faktor har beaktats inom ramarna för denna utredning.

6.1. Grundläggande påverkansfaktorer

De grundläggande faktorerna avgör huvudsakligen tidpunkten för införandet av olika åtgärder. I det här sammanhanget utgörs de av processaspekter och ekonomi, som har behandlats i ovanstående kapitel.

6.1.1. Process

Processaspekten är naturligtvis en grundläggande faktor i utbyggnadsstrategin och fastlägger tidpunkten då en viss åtgärd behöver genomföras utifrån reningskraven tillsammans med den förväntade belastningen. Processutredningen har här beaktats genom att man sållat fram de processlösningar som – med utgångspunkt i den pågående utbyggnaden – bedöms kunna uppfylla produktionsmålens villkor inom de nödvändiga tidsramarna.

Processutredningen konstaterar vidare att det kan vara fördelaktigt att biosteget utformas med flera olika reningsprocesser och att detta karakteriserar moderna avloppsreningsverk i syfte att öka flexibiliteten och erhålla fler optimeringsmöjligheter. För- och nackdelar med antalet processlösningar samt även komplexiteten i enskilda processlösningar bör beaktas i den fortsatta diskussionen.

6.1.2. Ekonomi

Även ekonomi utgör en grundläggande faktor för vägval. Utgångspunkten för denna studie har varit att åtgärder ska införas successivt och vid rätt tidpunkt, dvs den tidpunkt då de är nödvändiga. Tillräcklig marginal i kväverenkinskapacitet ska finnas så att verksamhetens krav klaras på ett rimligt sätt, men utan att skapa onödig (och kostsam) överkapacitet. Kostnadsanalysen som genomförts här har därför klarlagt konsekvenserna av olika vägval, specifikt de ekonomiska konsekvenserna av att kunna skjuta på olika åtgärder till rätt tidpunkt.

Den ekonomiska analysen kan även användas till att klarlägga hur Käppalaförbundets lånevolym påverkas. I bilaga 3 redovisas lånevolymerna som investeringarna från respektive alternativ ger upphov till men en sådan analys behöver göras utifrån en helhetsbild av det totala investeringsbehovet för förbundet.

Den ekonomiska analysen är behäftad med osäkerheter i kostnadsbedömningen av de olika alternativen. Det som får störst inverkan på ekonomiska skillnader mellan alternativen är

ombyggnation till MBBR. Det beror på att investeringen för MBBR-linjerna är så mycket större än övriga investeringar vilket medför att osäkerheterna inte får någon avgörande påverkan på slutsatserna när det gäller jämförelse av olika vägval.

6.2. Riskanalys av alternativen

Den 8 maj 2024 hölls en workshop med deltagare från Käppala. Syftet var att lyfta fram olika riskaspekter för de studerade alternativen samt analysera de vägval som behöver göras. Nedan följer en kort sammanfattning av de viktigaste punkterna som framkommit under utredningen och workshopen.

Ombyggnad MBBR Risken att MBBR-linjerna inte uppnår beräknad kapacitet har bedömts som låg, det finns också en chans att resultaten kommer att bli bättre än beräknat. Att kunna skjuta eventuell ombyggnad av linje 9 framåt i tiden bedöms som mycket gynnsamt för att då kunna dra lärdom och erfarenheter av den ombyggda linje 7. Riskerna att ombyggnationen drar ut på tiden samt att det blir dyrare än estimerat bedöms som mellanstora. Konsekvenserna av en sämre kapacitet eller att ombyggnationen drar ut på tiden är relativt stora i alternativ 0 där det inte finns några marginaler i tidplanen för att klara kapaciteten.

Linje 9-11 Uppgradering med efterdenitrifikation av linje 9-10 bedöms som en relativt säker åtgärd eftersom samma förändring redan har gjorts av linje 11 år 2018. Dock råder viss osäkerhet kring linjernas kapacitet idag, möjligt att de går bättre än rening ner till de antagna 10 mg/l. En i dag i realiteten ursprunglig bättre rening än antaget i beräkningarna förändrar dock inte den beräknade kväverenkinskapaciteten från åtgärderna men förbättringen som beräknats åstadkommas av åtgärder i linjerna blir lägre än beräknat. Åtgärden ombyggnation av linje 9-10 är dock ännu ej utredd för Käppala utan resultat, byggtid och investering endast antaget utifrån erfarenheter från andra avloppsreningsverk. Kapaciteten efter ombyggnad är dock antagen med restriktiva mått så risken att den blir lägre har bedömts som låg, däremot behöver åtgärder, byggtid och investeringar utredas vidare.

Linje 1-6 Riskerna för optimering av linje 1-6 har bedömts som mellan till höga. Detta för att frågeställningar kring returslamledningen och effekten av höga slamhalter ej är utredda i nuläget. Dock blir konsekvenserna av längre genomförandetid och dyrare investering små eftersom linjerna kan vara i drift under omprogrammering samt att investeringarna bedömts som relativt låga. Det som behöver utredas är returslamsystemets kapacitet och eventuellt behov av åtgärder för optimerad drift. Ombyggnation av linje 2-6 har bedömts innebära mellanstora risker men även här med små konsekvenser eftersom varje linjes kapacitet är liten relativt övriga linjer.

För att kunna nyttja full kapacitet i både linje 1-6 samt 9-11 efter vidtagna åtgärder behöver inflödet av försedimenterat vatten till linjerna kunna styras. Detta behöver utredas vidare innan vägval kan göras.

Rejektvattenrening Att byggnationen av rejektivattenrening drar ut på tiden innebär små konsekvenser i alla alternativ utom 0 där marginalen i tidplanen för att klara kapaciteten är mycket liten. Den antagna investeringen för rejektivattenreningen innefattar ett relativt stort påslag på Swecos kalkyl och risken för att det blir dyrare bör därför vara låg. Den största risken med rejektivattenreningen är att effekten på reningskapaciteten i MBBR-linjer har överskattats eftersom reaktionshastigheterna i MBBR-processen är relaterade till koncentrationsgradienten av kväve i vattnet, vilken sjunker när rejektivattenreningen sänker belastningen på linjerna och därför är effekten svårestimerad. I övrigt är en nackdel med införande av rejektivattenrening att det innebär ytterligare en process på verket som behöver underhållas och driftas.

Övriga risker som lyftes under workshopen var att det är små marginaler i tidplanerna. I realiteten önskas tidigareläggande av åtgärderna för att ge större utrymme för förseningar och lägre kapacitet än beräknat. Detta är möjligt i alla alternativ utom alternativ 0 som inte innehåller någon tid mellan åtgärderna.

Workshopens deltagare önskade därför att kompletterande alternativ med större marginaler tas fram där de "lätta" åtgärderna i aktivslamlinjerna görs så snart som möjligt och direkt därefter byggs rejektivattenrening. Alternativen ska också lägga in att läkemedelsreningen byggs mellan åren 2030-2032 för att ha marginal för ett tidigare krav, se stycke 6.3.1 nedan. Detta alternativ redovisas i kapitel 7.

6.3. Övriga aspekter

Utöver process och ekonomi finns en rad faktorer som behöver inkluderas inför kommande vägval.

6.3.1. Nya krav

Behöver man inom ramarna för utbyggnadsstrategin förbereda eller reservera utrymme för nya kommande reningssteg (som då inte kan nyttjas för utbyggnadens primära mål)?

Utredningen har bedömt att läkemedelsrening är det enda nya kravet som kan förutses i dagsläget. Det är väl känt sedan tidigare och ingår i det nya avloppsdirektivet. Krav på att verka för läkemedelsrening är även inkluderat i Käppalaförbundets nya verksamhetstillstånd. Inom utredningen har detta beaktats genom att samtliga processlösningar har förutsatt att linje 1 tas ur drift år 2035 för att påbörja byggnation av läkemedelsrening, i drift 2039, samt att en uppskattad investering för denna är inkluderad i den ekonomiska analysen.

Det är vid tillfället för denna rapport inte klarlagt när i tiden Käppala kommer att få krav på införande av läkemedelsrening. I avloppsdirektivet står att 20 % av varje lands avloppsreningsverk större än 150 000 pe kommer att få krav på att det ska vara infört redan 2033, 60 % år 2039 och resterande år 2045. Det finns ca 15 st avloppsreningsverk större än 150 000 pe i Sverige vilket medför att 3 st kommer att få krav redan 2033. Hur detta urval ska göras är ännu inte klarlagt. Några verk ligger långt fram i sin planering och kan troligt vara klara till 2033 men Käppalaförbundet har inskrivet i verksamhetstillståndet att de ska

verka för läkemedelsrening så risken finns att det kan medföra att Käppala blir ett av de tre utvalda verken, vilket bör tas med i beaktande i utbyggnadsplanen och utvecklingen följas framöver.

6.3.2. Tillstånd

Det nu gällande verksamhetstillståndet vann laga kraft 2019-06-25 och har en maximal igångsättningstid om 10 år. Förlängning upp till 10 år är möjligt med giltiga skäl efter ansökan till tillsynsmyndigheten.

Eftersom samtliga utbyggnadsalternativ innebär att genomförandetiden förlängs bortom denna tidsrymd (alltså bortom 2029) behöver en löpande dialog hållas med tillsynsmyndigheten för godkännande. Senare ombyggnationer kan behöva hanteras som ändringsanmälningar.

6.3.3. Genomförande

Åtgärderna i studerade alternativ är mer eller mindre omfattande men tar naturligtvis resurser i anspråk och kan även innebära risker. Man behöver i första hand säkerställa att reningsresultatet inte äventyras genom de avstängningar under ombyggnation som behöver göras.

Det kan även vara pressande för såväl drift- som genomförandeorganisationen att genomföra många projekt parallellt. I det fall man exempelvis väljer att inte förbättra befintliga aktivslambassänger, finns nödvändiga resurser för att genomföra bygge av rejektivattenrening samtidigt som ombyggnation av Linje 8 och 9 pågår? Klarar organisationen av att hantera parallella projekt i denna omfattning? Riskerar nuvarande utsläppskrav att överskridas under ombyggnationen?

Vidare har VA-branschen generellt resursunderskott vad gäller externa aktörer såsom projektledare, konsulter och entreprenörer. Såväl intern som extern kompetensförsörjning behöver beaktas.

Ytterligare en aspekt att beakta gällande genomförandet är riskerna med att stoppa och starta pågående entreprenadarbeten. Enligt Käppalaförbundets gällande samverkansavtal med byggentreprenör för MBBR-linjerna ligger linje 9 och 10 i en separat huvuddel med linje 11 som option. Innan huvuddelen beställs ska omfattningen av arbetena fastställas i en så kallad fas 1. Käppalaförbundet kan ensidigt avgöra om huvuddelen ska beställas. Det finns ingen specificerad avropstid, men beslut om avrop bedöms krävas ca 2 år i förväg. När entreprenörer har etablerats på plats är ett avbrytande följt av senare återetablering såväl opraktiskt som förenat med ökade kostnader. Den ekonomiska analysen har i denna studie tagit hänsyn till sådana ökade kostnader. Att "pausa" och senarelägga optioner kan dock även medföra att entreprenörens planering försvåras och att arbetena inte kan genomföras i enlighet med önskad tidplan och/eller med önskad personal. I värsta fall kan förnyad upphandling behöva ske.

6.3.4. Drift och styrning

Många olika processer i anläggningen innebär högre komplexitet och mer avancerad styrning. Vidare kan det även behövas fler underhållsrutiner och större mängd reservdelar av olika slag. I valet av strategi framåt behöver man beakta vilka konsekvenser det här får för drift- och underhållsorganisationen och om dessa utgör någon risk. Blir komplexiteten så hög så att det blir svårt för driftpersonal att förstå hur anläggningen fungerar eller riskerar det skapas osäkerhet kring vilka åtgärder som ska sättas in vid störningar? Vilka krav ställs på personalen och hur påverkas arbetsmiljön? Var går gränsen för antal processer, reningssteg och delströmmar ”att hålla reda på” i den dagliga driften av anläggningen?

De processmässiga fördelarna med flera parallella processer behöver vägas mot ovanstående aspekter i de fortsatta diskussionerna.

6.3.5. Miljö- och hållbarhet

Det huvudsakliga skälet att MBBR-teknik valdes för den pågående utbyggnaden var att det nya verksamhetstillståndet i praktiken inte möjliggjorde för någon annan process. Det var den enda processlösning som bedömdes kunna införas inom den stipulerade tidsperioden för att klara de nya kraven. MBBR fanns inte med i de processlösningar som Käppalaverket hade valt ut i de tidigare utredningarna, bland annat på grund av den relativt höga kemikalie- och elförbrukningen.

Generellt finns ofta en motsättning mellan tillgång på utrymme och energiförbrukning. Ett mindre utrymme medför kortare uppehållstider som måste kompenseras med en mer tekniskt komplex och maskintung process – och därigenom ofta en mer energikrävande lösning, ibland med högre kemikalieförbrukning. Stort utrymme kan medge mer energisnåla lösningar. (Därmed inte sagt att man i alla lägen vill välja en mer utrymmeskrävande process eller att lösningarna kan jämföras rakt av enbart utifrån utrymmesaspekter. Det finns givetvis även andra hänseenden som måste beaktas). Ur miljö- och hållbarhetssynpunkt är det dock intressant att studera möjligheterna att införa energisnåla lösningar på olika sätt, inklusive att öka befintliga volymer.

I det fall en strategi väljs som innebär att man på sikt har möjlighet att överväga andra processlösningar än MBBR är det angeläget att väga in miljö- och hållbarhetsaspekterna i framtida val, inte minst mot bakgrund av ett allt större fokus på att minimera klimatpåverkan.

Käppalaverket saknar i dagsläget en miljö- och hållbarhetspolicy och/eller -strategi som tydligt anger riktlinjer för process- och teknikutvärderingar men arbetet med att ta fram en sådan planeras ske under 2024. Klimatanpassning bör förslagsvis vara en del av arbetet.

6.3.6. Befolkningsprognos

Den förväntade befolkningsökningen ligger till grund för bedömningen av framtida kapacitetsbehov och utbyggnadstakten. Förändringar i prognosen kan få stor påverkan på utbyggnaden, främst med avseende på tidpunkten för olika åtgärder. En lägre prognos kan

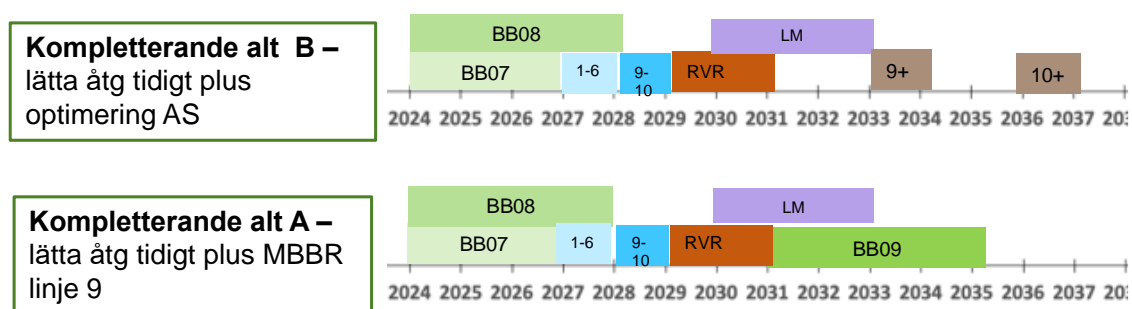
skapa marginal för att hinna genomföra olika åtgärder men även öppna för alternativ som tidigare valts bort på grund av tidsbegränsningar.

I denna uppdaterade version av utredningen har en ny befolkningsprognos använts som är betydligt lägre än den som låg till grund för version 1, 0,8 % ökning istället för tidigare 1,5-2 %. Det ger ett betydande utslag i kapacitetsberäkningarna och vid vilka tidpunkter utbyggnad behöver ske.

När det kommer revidering av befolkningsprognosen bör känslighetsanalyser göras för att bedöma konsekvenserna för utbyggnadsplanen.

7. Kompletterande utbyggnadsalternativ

Under workshopen 2024-05-08 framkom önskemål på kompletterande utbyggnadsalternativ med större marginaler än de ovan studerade alternativen som hade som utgångspunkt att åtgärder ska vidtas så sent som möjligt men att anläggningen ändå ska klara kapaciteten hela tiden. Det huvudsakliga syftet med de kompletterande alternativen är att visa på hur långt fram i tiden det går att skjuta beslut kring linje 9 genom att först vidta de lätta åtgärderna i aktivslamlinjerna och sedan direkt bygga rejektivattenrening. I och med osäkerheterna kring när i tiden Käppala kommer få krav på läkemedelsrening förutsätts i detta alternativ att läkemedelsreningskrav börjar gälla 2033 och att byggtiden är 3 år istället för som tidigare ansatt 4 år, för att säkerställa att kapacitet finns om kravet skulle komma tidigt. I figuren nedan visas två varianter av kompletterande alternativ, båda med lätta åtgärder och rejektivattenrening direkt efter att linje 7 är ombyggd. I kompletterande alternativ A byggs linje 9 om till MBBR vilket då behöver påbörjas direkt efter rejektivattenreningen är färdigställd och i kompletterande alternativ B byggs linje 9 och 10 om till en aktivslamprocess med fler zoner och ökade recirkulationsflöden.

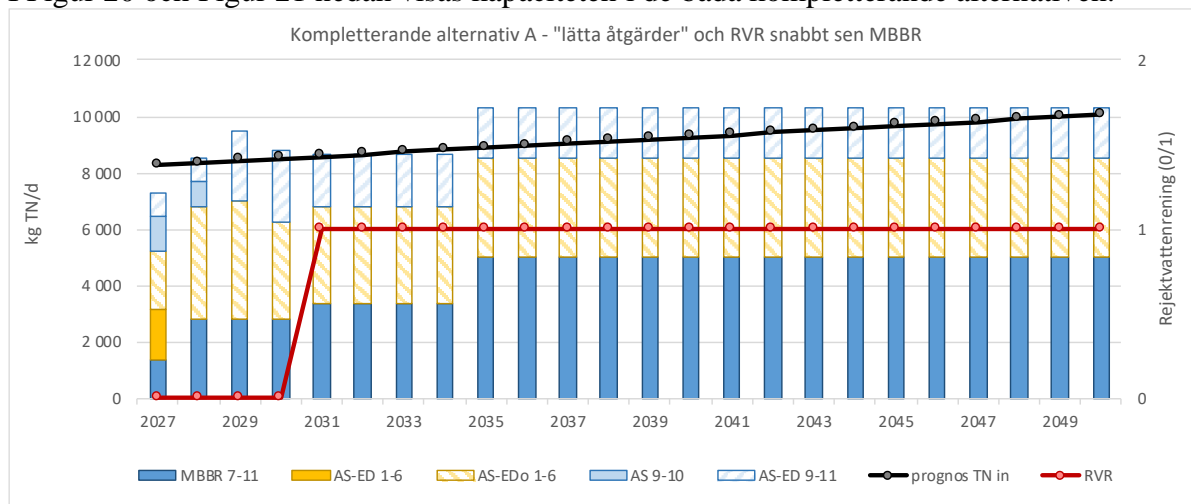


Figur 19 Tillkommande alternativ med lätta åtgärder först och sedan RVR därefter följt av MBBR linje 9 respektive ombyggnation linje 9 och 10

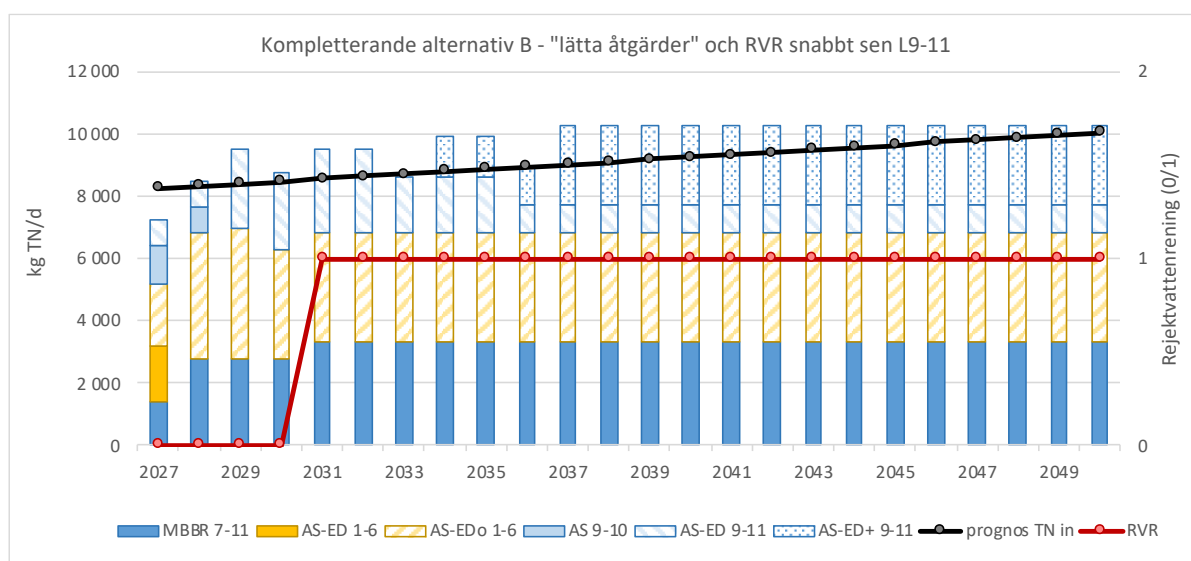
I figuren kan utläsas att genom att vidta de lätta åtgärderna i aktivslamlinjerna följt av rejektivattenrening kan beslut om linje 9 skjutas fram till årsskiftet 2029/30 (förutsatt att beslut behöver fattas två år innan byggstart). Om läkemedelsrening inte behöver vara i drift förrän 2039 kan beslutet skjutas ytterligare ett år framåt i tiden. Samma sak gäller om Linje 1–6 byggs om för ökad kapacitet i ett tidigt skede.

Andra faktorer som kan skjuta beslutet framåt (eller bakåt) i tiden är utvärderingen av den faktiska kapaciteten i Linje 7 med MBBR och Linje 11 med efterdenitrifikation, som kommer hinna utvärderas innan vägvalet. Om kapaciteten i MBBR-linjerna är 7,5% högre än vad som ansatts i denna utredning kan beslutet skjutas 1 år framåt i tiden och om kapaciteten är 10% högre kan beslutet skjutas 2 år framåt i tiden. På samma sätt är det inte orimligt att aktivslamlinjerna 9–11, efter ombyggnation för att erhålla efterdenitrifikation, presterar bättre än vad som ansatts här. Linje 11, som redan är ombyggd, hinner utvärderas med högre belastning under flera år innan vägvalet behöver göras. För att kunna skjuta beslutet 1 respektive 2 år framåt i tiden måste linjerna uppnå 11% respektive 18% högre kapacitet än vad som ansatts i denna utredning.

I Figur 20 och Figur 21 nedan visas kapaciteten i de båda kompletterande alternativen.



Figur 20 Kapacitet i kompletterande alternativ A – lätta åtgärder och RVR snabbt och sen MBBR

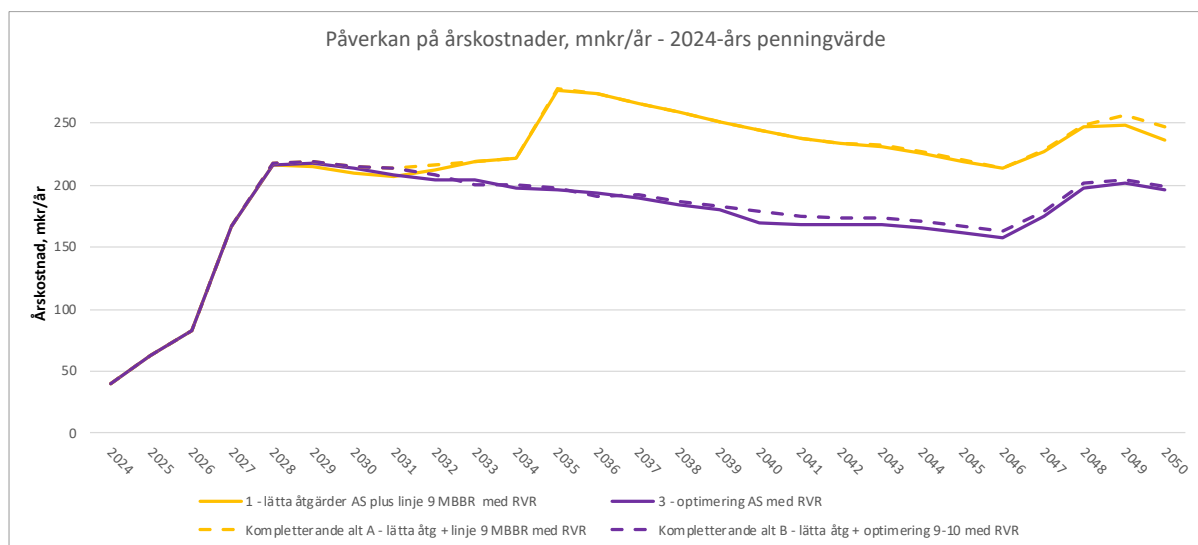


Figur 21 Kapacitet i kompletterande alternativ B – lätta åtgärder och RVR snabbt sen ombyggnad av 9-10

Det kompletterande alternativet A är investeringsmässigt mycket likt alternativ 1, enda skillnaden är att i alternativ 1 byggs aldrig linje 9 om med efterdenitrifikation men det görs i kompletterande alternativ A, en investering som är uppskattad till 20 mkr. Kompletterande alternativ B är investeringsmässigt precis lika som alternativ 3B men med skillnaden att de mer konservativa antagandena för ökad kvävereringskapacitet efter genomförda åtgärder har använts för ombyggnation av linje 9 och 10 i kompletterande alternativ B medan det bättre resultatet har använts i alternativ 3B. Detta medför att åtgärderna kan senareläggas i alternativ 3B jämfört med kompletterande alternativ B.

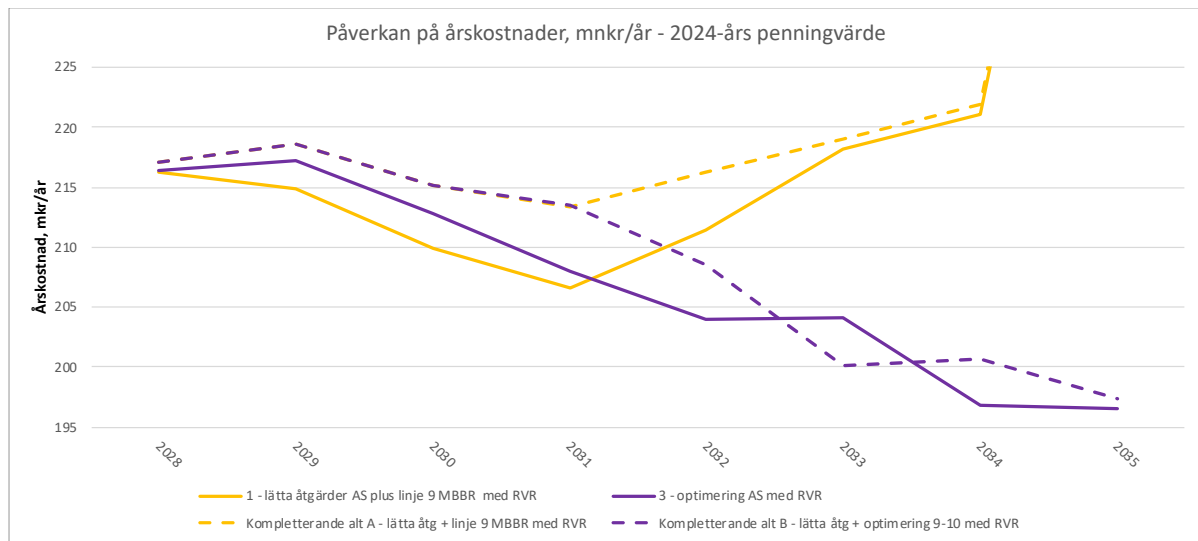
En annan skillnad är att läkemedelsreningen ligger tidigare i de kompletterande alternativen jämfört med de ursprungliga. För att få en uppfattning om de ekonomiska skillnaderna i att tidigarelägga lätta åtgärder i aktivslamlinjerna har de kompletterande alternativen jämförts med alternativ 1 och 3B men utan investering och drift av läkemedelsrening eftersom tidpunkten då läkemedelsreningen behöver byggas inte är ett val som ingår i utbyggnadsplanen då Käppala inte styr över när kravet kommer.

Figur 22 nedan visar årskostnaderna för alternativ 1 och 3B samt kompletterande alternativ A samt kompletterande alternativ B i 2024-års penningvärde utan läkemedelsrening.



Figur 22 Årskostnader utan läkemedelsrening för alternativ 1, 3B och kompletterande alternativ A och B, i 2024-års penningvärde

Som figuren ovan visar skiljer sig årskostnaderna i alternativ 1 och kompletterande alternativ A mycket lite åt, lika så i alternativ 3B och kompletterande alternativ B. Fördyringen som blir genom att lägga lätta åtgärder samt rejektvattenreningen lite tidigare i kompletterande alternativen syns främst mellan åren 2028 och 2034. I Figur 23 nedan visas en zoomad bild av den perioden.



Figur 23 Årskostnader utan läkemedelsrening för alternativ 1, 3B och kompletterande alternativ A och B, i 2024-års penningvärde under åren 2028-2035

Kompletterande alternativ A är i 2024-års penningvärde totalt 23 mkr dyrare än alternativ 1, i genomsnitt 4 mkr per år under perioden 2028-2034.

Jämförs alternativ 3B med kompletterande alternativ B under perioden 2028-2032 är kompletterande alternativ B 15 mkr dyrare, i genomsnitt ca 3 mkr per år.

Jämförs istället alternativ 1 med kompletterande alternativ B mellan 2028-2031 är kompletterande alternativ B totalt 17 mkr dyrare, i genomsnitt 4 mkr per år. Därefter blir kompletterande alternativ B betydligt billigare än alternativ 1 eftersom linje 9 inte byggs om till MBBR.

8. Sammanställning enskilda utbyggnadsalternativ

Baserat på underlagsrapporter och jämförande analys av de studerade alternativen kan följande konstateras.

- **Alternativ 0 – endast MBBR med RVR**, innebär att samtliga linjer 9-11 behöver byggas om till MBBR under tidsperioden samt att rejektvattenrening behöver byggas relativt omgående. Detta medför stora investeringar under hela perioden samt pågående byggen nästan kontinuerligt till 2039 och sedan uppstart av byggen igen 2043. Rejektvattenreningen behöver dessutom byggas direkt efter linje 7 och samtidigt som linje 8 byggs om vilket innebär utmaningar. De stora grundinvesteringarna summerar till 7,4 mdkr och genererar höga lånevolymer (uppräknade prisnivåer), ca 4,7 mdkr år 2036. Alternativet har relativt övriga alternativ hög förbrukning av både energi och metanol. Vid krav på

läkemedelsrening redan år 2033 har alternativ 0 ingen marginal och flexibilitet att klara det kravet.

Årskostnaden i 2024-års penningvärde:	drygt 8,3 mdkr för 2024-2050 310 mkr per år i genomsnitt
Energiförbrukning:	290 GWh för 2024-2050 11,0 GWh/år i genomsnitt
Metanolförbrukning:	56 tm ³ för 2024-2050 2,3 m ³ /år i genomsnitt

- **Alternativ 1 – lätta åtgärder AS med RVR**, innebär att de enklaste kapacitetshöjande åtgärderna genomförs för linje 1-6 samt 10. Linje 9 behöver byggas om till MBBR 2031-2035 och rejektvattenrening behöver byggas under samma period vilket innebär samma utmaningar som i alternativ 0. Linje 10 och 11 behöver däremot inte byggas om till MBBR före 2050. Grundinvesteringarna för detta alternativ är 4,9 mdkr det vill säga 2,5 mdkr lägre än för alternativ 0 och lånevolymer är uppe i 3,5 mdkr år 2034. Årskostnaden i 2024-års penningvärde är i genomsnitt ca 240 mkr per år, dvs det sänker årskostnaden med ca 70 mkr per år jämfört med alternativ 0. Alternativ 1 har något lägre energi- och metanolförbrukning än alternativ 0.

Årskostnaden i 2024-års penningvärde:	ca 6,5 mdkr för 2024-2050 240 mkr per år i genomsnitt
Energiförbrukning:	265 GWh för 2024-2050 10,1 GWh/år i genomsnitt
Metanolförbrukning:	51 000 m ³ för 2024-2050 2,1 m ³ /år i genomsnitt

- **Alternativ 2 – maximal optimering AS utan RVR**, innebär att samtliga linjer 1-11 optimeras och byggs om för att få ut så mycket som möjligt av aktivslamprocessen. Då behöver inga fler linjer byggas om till MBBR och rejektvattenrening behöver heller inte byggas. Grundinvesteringen uppgår till 3,7 mdkr och lånevolymer är som mest 2,7 mdkr år 2028 men sjunker sedan ner till dryga 2 mdkr. Årskostnaden i 2024-års penningvärde är i genomsnitt ca 200 mkr per år. Det sänker alltså årskostnaden med i genomsnitt ca 110 mkr om året jämfört med alternativ 0. Detta alternativ har betydligt lägre energiförbrukning än alternativ 0 och lite lägre metanolförbrukning än alternativ 0, däremot högre metanolförbrukning än alternativ 1.

Årskostnaden i 2024-års penningvärde:	ca 5,5 mdkr för 2024-2050 200 mkr per år i genomsnitt
Energiförbrukning:	260 GWh för 2024-2050 9,8 GWh/år i genomsnitt
Metanolförbrukning:	54 000 m ³ för 2024-2050

2,3 m³/år i genomsnitt

- **Alternativ 3A och 3B – optimering AS med RVR.** Dessa två alternativ bygger på samma beslut, att optimera och bygga om AS men även bygga rejektivattenrening. Det innebär att de lätta optimeringsåtgärderna görs i 1-6 och 9-10 men eftersom rejektivattenrening byggs behöver inte alla aktivslamlinjerna byggas om för att klara kapaciteten. Hur många och vilka som ska byggas om beror på hur bra kapacitet som erhålls efter ombyggnation och i 3A har ett lägre resultat antagits vilket medför att linje 2-6 och 9 behöver byggas om. Antas istället ett bättre resultat efter ombyggnad av linje 9-10 behöver endast linje 9 och 10 byggas om. Ekonomiskt är alternativen likvärdiga alternativ 2. Samma storleksordning på grundinvesteringar, ca 3,7 mdkr, och att dessa tas lite olika i tid gör ingen betydande skillnad på årskostnaderna. Alternativ 3A och 3B sänker årskostnaden med i genomsnitt ca 110 mkr om året jämfört med alternativ 0. Utöver lägre kostnader har alternativen betydligt lägre energiförbrukning än alternativ 0 och betydligt lägre metanolförbrukning än samtliga övriga alternativ.

Årskostnaden i 2024-års penningvärde:	ca 5,5 mdkr för 2024-2050 200 mkr per år i genomsnitt
Energiförbrukning:	255-260 GWh för 2024-2050 9,7-9,8 GWh/år i genomsnitt
Metanolförbrukning:	46 000 m ³ för 2024-2050 1,9 m ³ /år i genomsnitt

- **Kompletterande alternativ A – lätta åtgärder tidigt plus MBBR med RVR**
Detta alternativ tillkom under utredningen och liknar alternativ 1 med skillnad att de lätta åtgärderna och rejektivattenrening genomförs så tidigt som möjligt för att skapa mer marginal för ombyggnationen. Dessutom byggs läkemedelsrening redan år 2030 i stället för 2035. Därefter byggs linje 9 om till MBBR precis som i alternativ 1.

Årskostnaden i 2024-års penningvärde:	ca 6,8 mdkr för 2024-2050 250 mkr per år i genomsnitt
Energiförbrukning:	265 GWh för 2024-2050 10,1 GWh/år i genomsnitt
Metanolförbrukning:	51 000 m ³ för 2024-2050 2,1 m ³ /år i genomsnitt

- **Kompletterande alternativ B – lätta åtgärder tidigt plus optimering AS med RVR**

Detta alternativ tillkom också under utredningen och liknar alternativ 3B med skillnaden att de lätta åtgärderna och rejektivattenrening byggs så snart som möjligt samt att läkemedelsrening byggs år 2030.

Årskostnaden i 2024-års penningvärde:	ca 5,8 mdkr för 2024-2050 240 mkr per år i genomsnitt
---------------------------------------	--

Energiförbrukning:	258 GWh för 2024-2050 9,8 GWh/år i genomsnitt
Metanolförbrukning:	45 000 m ³ för 2024-2050 1,9 m ³ /år i genomsnitt

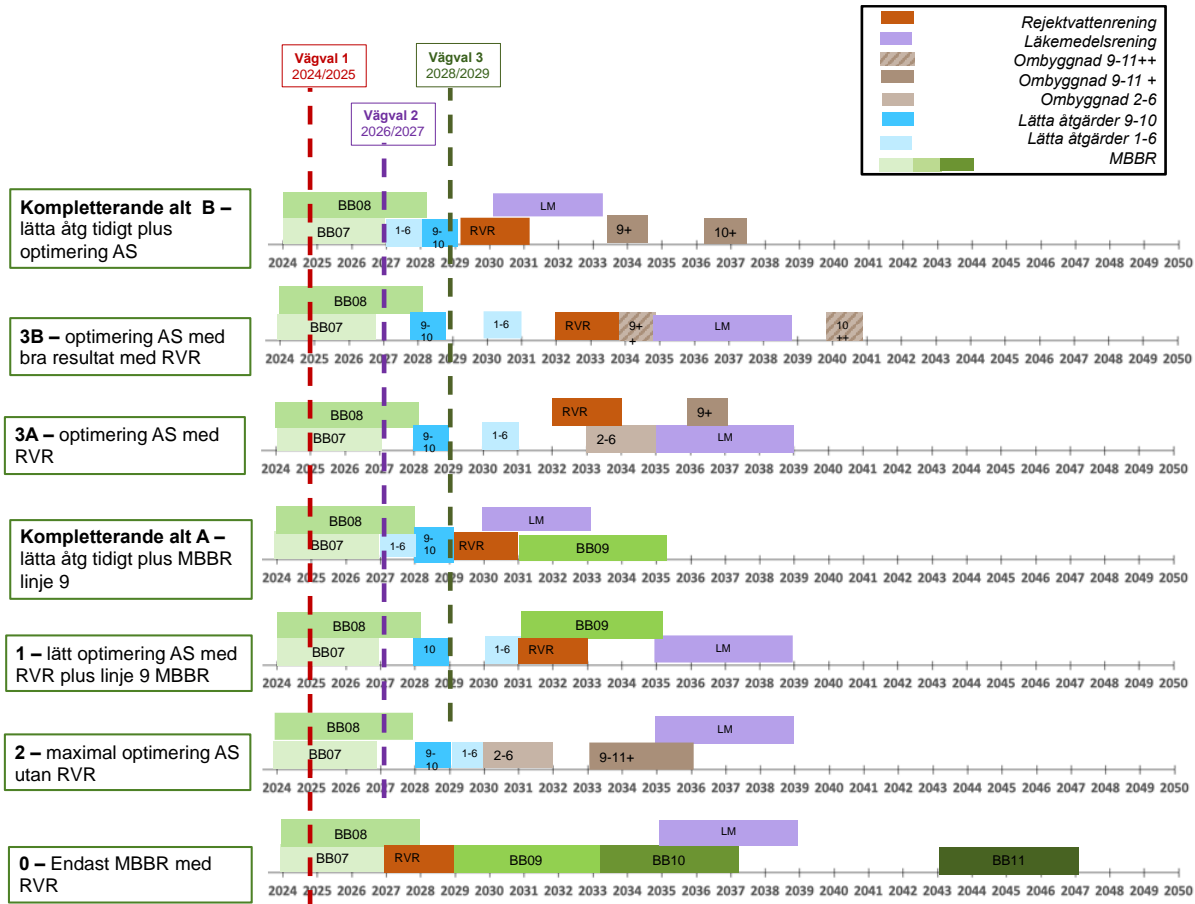
9. Vägvalsanalys

För att åskådliggöra de olika vägval som behöver göras och kunna överblicka vilka konsekvenser de får har tidslinje och vägval illustrerats för respektive utbyggnadsalternativ.

I detta kapitel anges tidpunkterna för vägvalsbeslut tillsammans med de frågeställningar som behöver beslutas och några av de övriga faktorer som påverkar valen och som behöver klarställas (se även kapitel 6.3 för mer utförlig beskrivning av påverkansfaktorerna). I figuren nedan visas översiktligt de vägval som behöver göras och till vilka alternativ de leder.

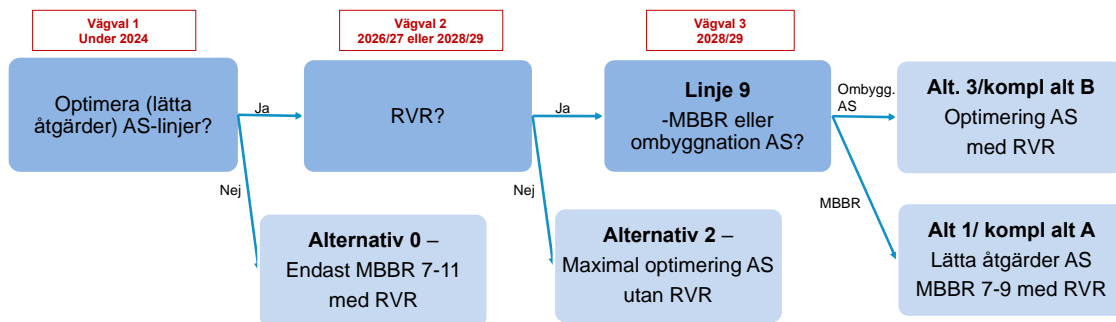
9.1. Tidpunkter och frågeställningar för vägval

Nedan illustreras en tidslinje för när utbyggnad av olika delar är tänkta att ske i respektive utbyggnadsalternativ.



Figur 24 Tidslinje för byggnationer i de olika studerade alternativen

Utifrån tidslinjen har olika tidpunkter då vägval behöver göras identifierats. För stora åtgärder såsom ombyggnation till MBBR-process samt bygge av rejektivattenrening har ansatts att beslut behöver fattas senast 2 år innan byggstart och för mindre åtgärder har 1 år antagits räcka. I Figur 25 nedan illustreras vägvalen med frågeställningar och de utbyggnadsalternativ olika val leder till.



Figur 25. Vägvalsträd för alternativen.

9.1.1. Vägval 1 årsskifte 2024/25 - MBBR och RVR eller lätta åtgärder AS?

Alternativ 0 eller övriga alternativ

Tidslinjen visar att de första momenten, förutom ombyggnation av linje 7 och 8 som sker i alla alternativ, är bygge av rejektvattenrening i alternativ 0 år 2027 och lätta åtgärder i 1-6 i de kompletterande alternativen år 2027. I övriga alternativ är första åtgärden först år 2028. För att bygge av RVR ska vara möjligt att påbörja 2027 behöver beslut fattas senast två år före byggstart, dvs årsskiftet **2024/25 – vägval 1** då behöver beslut fattas om alternativ 0 ska väljas eller något av övriga alternativ.

Beslut vägval 1

Beslut måste fattas senast årsskiftet 2024/2025.

- Ska rejektvattenrening byggas direkt efter linje 7 år 2026 och därefter MBBR i linje 9 år 2029? (alternativ 0) eller
- Ska de lätta åtgärderna i aktivslam införas?
 - När ska de i så fall införas?

Frågeställningar vägval 1

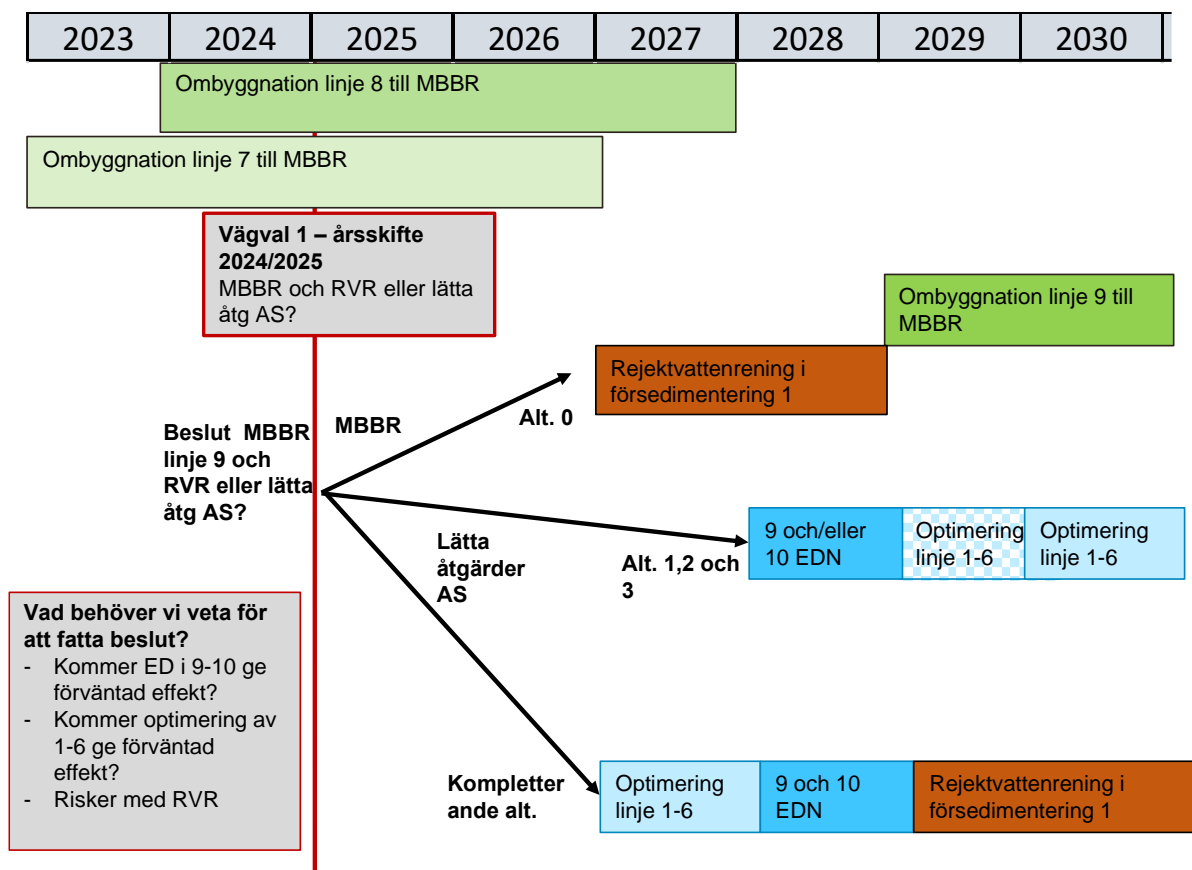
Påverkansfaktorer

- Finns det resurser för genomförande av rejektvattenrening under samma period som linje 8 byggs om till MBBR?
- Hur verifieras förväntat resultat för optimering av AS?
- Dialog mellan process och drift avseende strategi kring antalet olika processer vid anläggningen, deras komplexitet och konsekvenser för styrning och underhåll.
- Tillgång till entreprenör för ombyggnationer?

Underlag som behövs för beslut:

- Utredda effekterna av åtgärder för optimering samt utreda behov av åtgärder för returslamsystemet.

Vägval 1 illustreras i Figur 26 nedan.



Figur 26. Välgval 1, vid årsskiftet 2024/2025

Om välgval görs att inte optimera aktivslam utan fortsatt bygga om linje 9–11 till MBBR behöver fler val inte göras avseende detta utifrån de i denna utredning studerade alternativen. Rejektivattenreningen behöver då börja byggas 2027 och därefter linje 9 till MBBR år 2029. Möjligheten finns dock kvar att senare ändra spår och göra annat val innan linje 10 ska byggas.

Väljs i stället i välgval 1 att optimera aktiv slam följer fler välgval längre fram och under 2026 behöver det då fattas beslut om de låtta åtgärderna ska påbörjas redan 2027 (kompletterande alternativ) eller om man avvaktar ett år och åtgärder påbörjas först 2028 (alternativ 1, 2 och 3) men då med mindre marginal i kvävereningen .

9.1.2. Välgval 2 årsskifte 2026/27 – ska rejektivattenrening byggas?

Alternativ 2 eller alternativ 1/3/ kompletterande alt

Nästa välgval blir att besluta om rejektivattenrening ska byggas och i så fall om det ska byggas direkt år 2029 (kompletterande alternativ) eller senare (alternativ 1 och 3) alternativt om samtliga linjer 1-6 och 9-11 ska byggas om i stället för att bygga RVR (alternativ 2). Detta behöver göras senast vid årsskiftet **2026/27-välgval 2** om de kompletterande alternativen ska vara möjliga att hinna genomföra. Annars kan beslutet skjutas på till 2028/29. Om valet blir att inte bygga rejektivattenrening väljs alternativ 2 och samtliga aktivslamlinjer kommer att behöva byggas om. Väljs detta finns dock möjlighet att fram till år 2029 ändra sig och ändå bygga RVR och då följa alternativ 1 eller 3 men med mindre marginaler än vad som ges med de kompletterande alternativen. Väljs alternativ 2 kan

Rejektvattenrening ändå byggas senare i och med att byggnationen görs i annan del av verket och inte påverkar kväverenskapskapaciteten men ingår då inte i de studerade alternativen.

Beslutas i vägval 2 att rejektivattenrening ska byggas behöver tidpunkt för rejektivattenreningen beslutas. I kompletterande alternativ byggs rejektivattenrening år 2029 och i alternativ 1 och 3 år 2031-32. Detta kan vara avhängt när i tiden Käppalaförbundet kommer att krav på läkemedelsrening.

Beslut vägval 2

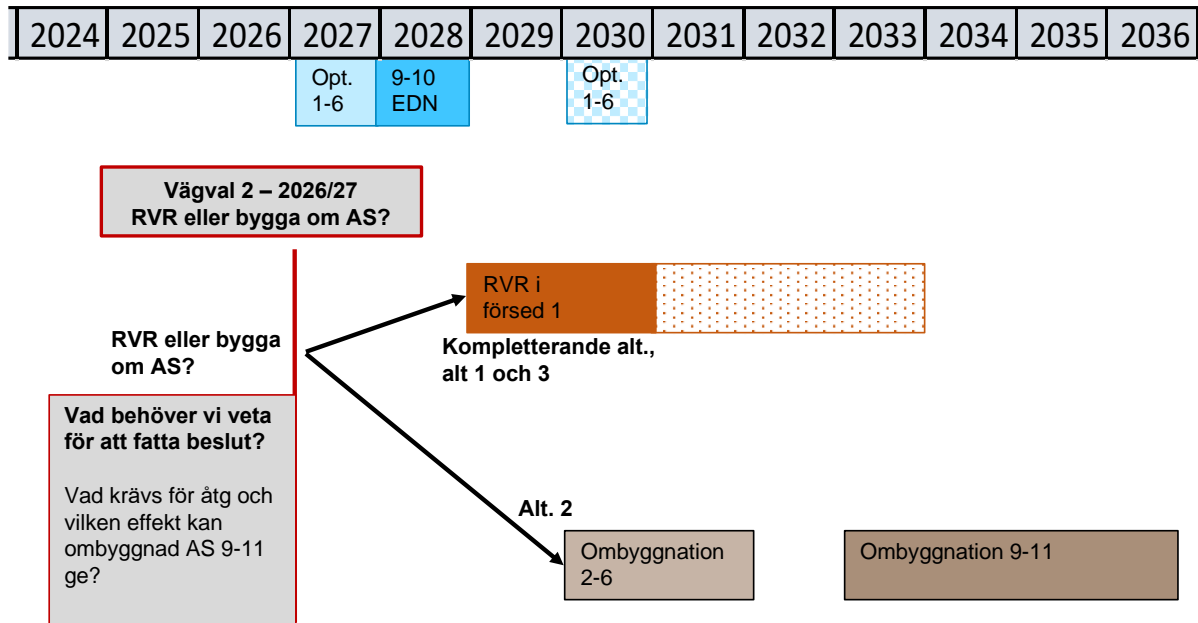
Beslut behöver fattas runt årsskiftet 2026/2027 alternativt senare beroende på hur mycket marginal som önskas och när krav på läkemedelsrening införs.

- Ska rejektivattenrening byggas eller ska samtliga aktivslamlinjer 2-6 och 9-11 byggas om för maximal optimering av aktiv slam?
 - När ska i så fall rejektivattenrening byggas?

Frågeställningar Vägval 2

- Hur stor kapacitetsökning kan de olika åtgärderna förväntas ge? Hur verifieras detta? Vad kan göras om förväntad kapacitetsökning ej uppnås efter vidtagen åtgärd?
- Fortsatt dialog mellan process och drift avseende strategi kring styrning av olika processer vid verket och deras komplexitet.
- Formulera en miljö- och hållbarhetsstrategi/policy som kan guida framtida vägval. Genomför hållbarhetsanalyser för de olika alternativen.
- Se över befolkningsprognos och gör känslighetsanalyser löpande för att uppdatera tider.

Figur 27 nedan visar vägval om beslut i vägval 1 är att optimering av aktivslamprocesserna ska göras.



Figur 27. Vägval 2 vid årsskifte 2026/2027

Om beslut att bygga RVR fattas kan beslutet om vad som ska göras med linje 9 skjutas på till årsskiftet **2028/29 – vägval 3**.

9.1.3. Vägval 3 årsskiftet 2028/29 – Ska linje 9 byggas om med MBBR eller för optimerad aktivslamprocess?

Alternativ 1/kompletterande alt A eller alternativ 3/kompletterande alt B

Vid denna tidpunkt kommer linje 7 ha varit i drift i två år och utredning kring ombyggnation av linje 9-11 kan ha genomförts. Det innebär att ett bättre underlag finns för att besluta om linje 9 ska byggas om till MBBR eller om aktivslamlinje 9 och/eller 10 ska byggas om med fler zoner. Det sistnämnda innebär i stort sett att alternativ 3A/B genomförs men att de första åtgärderna tidigarelags.

Om lätta åtgärder i 1-6 och 9-11 görs och rejektivattenrening beslutats att byggas kan vägvalet för linje 9 skjutas upp till senast 2028/29.

Beslut Vägval 3

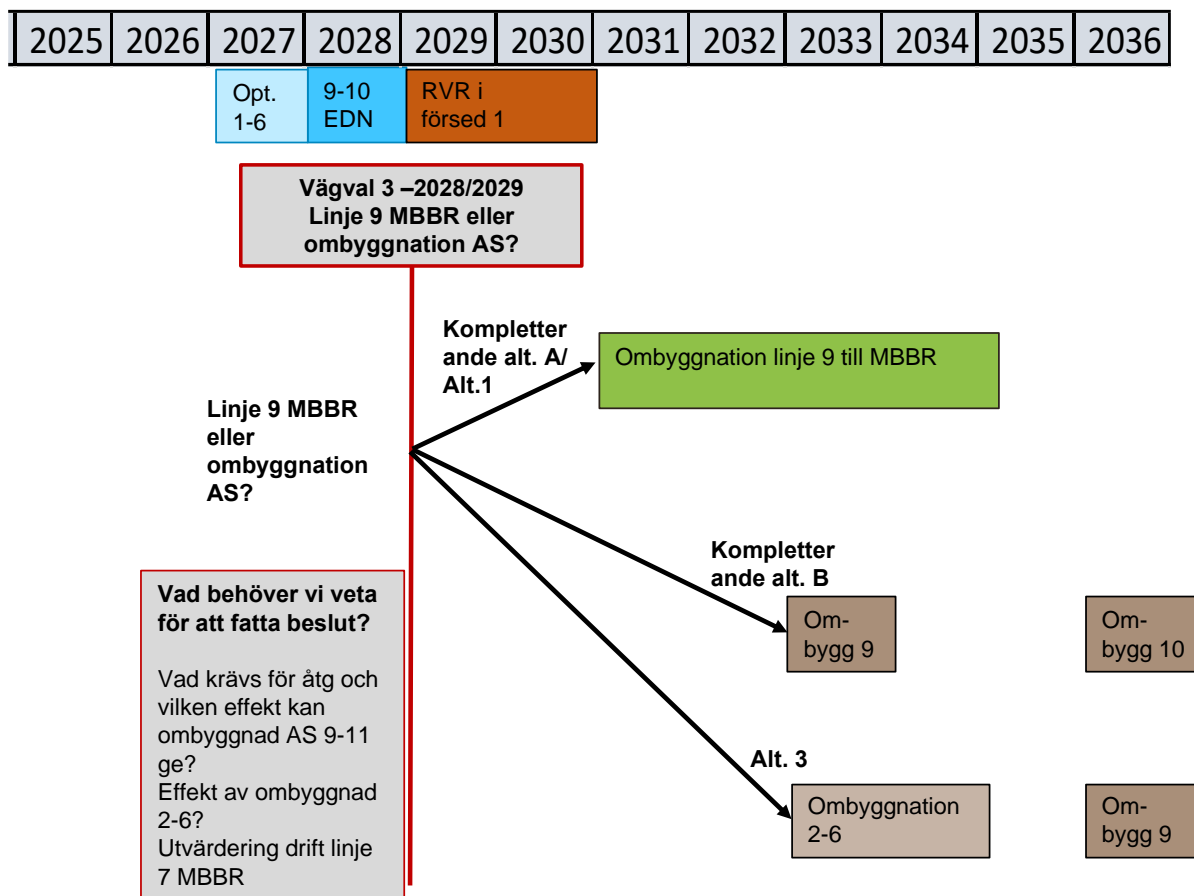
Beslut behöver fattas runt årsskiftet 2028/2029

- Ska linje 9 byggas om till MBBR-process eller ska ombyggnation för bättre kapacitet av aktivslamprocessen göras i några av linje 2-6 och/eller 9-11?

Frågeställningar Vägval 3

- Utvärdering av faktisk kväverenkinskapacitet i linje 7 med MBBR.
- Hur stor kapacitetsökning kan ombyggnationen av aktivslamlinjerna 9-11 förväntas ge? Hur verifieras detta? Vad kan göras om förväntad kapacitetsökning ej uppnås efter vidtagen åtgärd?
- Fortsatt dialog mellan process och drift avseende strategi kring styrning av olika processer vid verket och deras komplexitet.
- Formulera en miljö- och hållbarhetsstrategi/policy som kan guida framtida vägval. Genomför hållbarhetsanalyser för de olika alternativen.
- Se över befolkningsprognos och gör känslighetsanalyser löpande för att uppdatera tider.

Figur 28 nedan visar vägval 3 om beslut i vägval 2 är att rejektivattenrening ska byggas.



Figur 28. Vägval 3 vid årsskifte 2028/2029

Om vägval görs att bygga om linje 9 till MBBR behöver detta arbete påbörjas 2031. Väljs i stället att bygga om befintliga aktivslamprocesser kan byggstart skjutas fram till år 2033. Valet behöver då göras om linje 2-6 samt en av 9-11 ska byggas om eller om samtliga linjer 9-11 ska byggas om men inte linje 2-6.

9.2. Osäkerheter i vägvalsanalysen

Vägvalsanalysen grundar sig på bedömningar av olika slag och är behäftad med osäkerheter. Osäkerheterna påverkar framför allt de specifika tidpunkterna i vägvalsträden och utgörs av:

- *Processberäkningar.* Det saknas idag driftdata från referensanläggningar för den tänkta utformningen av MBBR-processen. Det innebär att kapaciteten linjerna kommer att ge när de är i drift är osäker vilket påverkar tidpunkten för när respektive linje behöver byggas om eller annan åtgärd vidtas. Hur en ombyggnation av aktivslamlinjerna 9-11 skulle utformas för att ge bättre kapacitet har bara studerats översiktligt och beräkningarna av kapacitetsökningarna är därför okända. En djupgående processtudie för linje 9-11 behöver göras för att bättre säkerställa vad en processoptimering kan ge samt vilka byggåtgärder som krävs.
- *Befolkningsprognos.* Prognosen ligger till grund för belastningsökningen, vilket påverkar tidpunkterna för åtgärder.
- *Produktionsmål och utsläppskrav.* Erforderlig marginal för att klara utsläppskraven har uppskattats, bedömningen påverkar tidpunkten för åtgärder. Utsläppskravet har ansatts till 6,0 mg/l kväve och produktionsmålet, som är målvärde för processberäkningarna, är ansatt till 5 mg/l. I tillståndet anges 6 mg/l kväve vilket i praktiken innebär att utsläppsvärden under 6,5 mg/l kan godtas såvida mängdkravet inte överskrids.

De två sista punkterna är inte alternativskiljande, osäkerheterna påverkar de absoluta tidpunkterna för åtgärder men inte inbördes förhållanden mellan alternativen.

Jämförelsen av olika utbyggnadsalternativ påverkas i större eller mindre utsträckning av osäkerheter i processberäkningarna, framför allt de antaganden som görs avseende effekten på reningsresultatet. Detta påverkar i sin tur tidpunkten för olika åtgärder (och även ekonomin, se stycke 6.1.2) och därmed potentiellt slutsatserna i denna utredning.

10. Sammantagna slutsatser

Nedan sammanfattas slutsatser utifrån de studerade utbyggnadsalternativen:

- Den första perioden är kritisk oavsett val av alternativ, med små marginaler till kapacitetsbehovet och omfattande pågående entreprenadarbeten (linje 7 och 8). Kan åtgärder påbörjas redan 2027 när linje 7 står färdig ger det bättre marginaler.
- Det kan vara utmanande att genomföra byggnation av rejektivattenrening parallellt med den pågående ombyggnationen av linje 8, vilket är nödvändigt i alternativ 0, i och med att det blir två relativt stora byggprojekt som pågår samtidigt i verket.
- Linje 9 - 11 behöver inte byggas om till MBBR före 2050 om åtgärder för att optimera aktivslamprocesserna faller väl ut.
- Ekonomiskt finns stor vinning i att inte bygga om fler linjer än linje 7-8 till MBBR. Vilka aktivslamlinjer som sen optimeras eller byggs om eller om rejektivattenrening byggs för att klara kväverenkinskapaciteten har mycket liten betydelse ekonomiskt.
- Det finns stora fördelar att först genomföra de lätta åtgärderna i aktivslamprocesserna. Framför allt möjliggör det värdefull erfarenhetsåterföring från drift av den ombyggda linje 7 innan beslut behöver fattas om linje 9 ska byggas om till MBBR eller om aktivslamlinjerna ska byggas om för bättre kapacitet.
- Att bygga rejektivattenrening ger ett lägre behov av metanol.
- Att införa rejektivattenrening innebär en ytterligare process i verket vilket kräver mer resurser av driften.
- Att maximalt optimera aktivslamprocesserna (alternativ 2) ger fördelen att rejektivattenrening finns kvar som möjlighet att bygga senare om mer kväverenkinskapacitet behövs utan att någon linje behöver tas ur drift.
- Att istället bygga rejektivattenrening efter de lätta åtgärderna i linje 1-6 och linje 9-10 (alternativ 3A och 3B samt tilläggsalternativen) ger fördelen att alla linjer inte behöver byggas om och att marginal för utökad kväverenkinskapacitet finns för att senare kunna bygga om resterande linjer.
- Att, som i de kompletterande alternativen, välja att genomföra lätta åtgärder samt rejektivattenrening direkt efter att linje 7 är ombyggd innebär att beslut om vad som ska göras med linje 9 kan skjutas på till 2028/29 och 2 års värdefull erfarenhet från drift av linje 7 erhållas innan beslut.

Denna utredning utgör inte ett komplett underlag för beslut. Utredningen har identifierat tänkbara utbyggnadsmöjligheter samt belyst konsekvenser av olika vägval i syfte att skapa

en grundläggande och gemensam lägesbild för framtida utbyggnad. Vid val av utbyggnadsstrategi behöver ett stort antal faktorer beaktas. Dessa har beskrivits i denna utredning och behöver tas i beaktande inför vägvalsbeslut.

Ovanstående slutsatser och illustrationer är avsedda att fungera som underlag för fördjupad diskussion och bred förankring i Käppalaförbundet i det fortsatta arbetet med att formulera utbyggnadsstrategin. I det sammanhanget kan man naturligtvis komplettera med fler utbyggnadsalternativ utifrån de som studerats här genom att till exempel ändra ordningen på olika åtgärder.

11. Figurer i större format

Tabell 4 Antagna investeringar, årlig kapitalkostnad och kvävereduktion per åtgärd

	Antagen investering (mkr)	Årlig kapital-kostnad: ränta 2,5% + avskrivning (tkr per år)	Ökad kväverenningskapacitet från åtg utan RVR (ton/år)	Ytterligare ökad kväverenningskapacitet från åtgärden i och med RVR (ton/år)	Totalt ökad kväverenningskapacitet från åtgärden inkl RVR (ton/år)	Kapital-kostnad per kg TN ökad kväverenningskapacitet utan RVR (kr/kg TN)	Kapital-kostnad för RVR per ytterligare ökad kväverenningskapacitet per år i och med RVR (kr/kg TN)	Kapital-kostnad per kg TN total ökad kväverenningskapacitet inkl RVR (kr/kg TN)
Ombyggnad MBBR linje 7-8	2 800	165 620	401	203	604	413	40	288
Ombyggnad MBBR linje 7-9	4 100	242 515	601	304	906	403	26	277
Ombyggnad MBBR linje 7-11	6 750	399 263	1 002	507	1 509	398	16	270
Uppgradering 9-10 med ED	40	2 403	57*	210	267	42	38	39
Ombyggnation linje 9-11	300	16 789	380	87	466	44	93	53
Ombyggnation linje 9-11++ med bra resultat	300	16 789	680	134	814	25	60	31
Optimering bättre styrning 2-6	11	805	146	0	146	6		61
Ombyggnation 2-6	72	4 326	110	0	110	40		113
Rejektvattenrening	130	8 066						

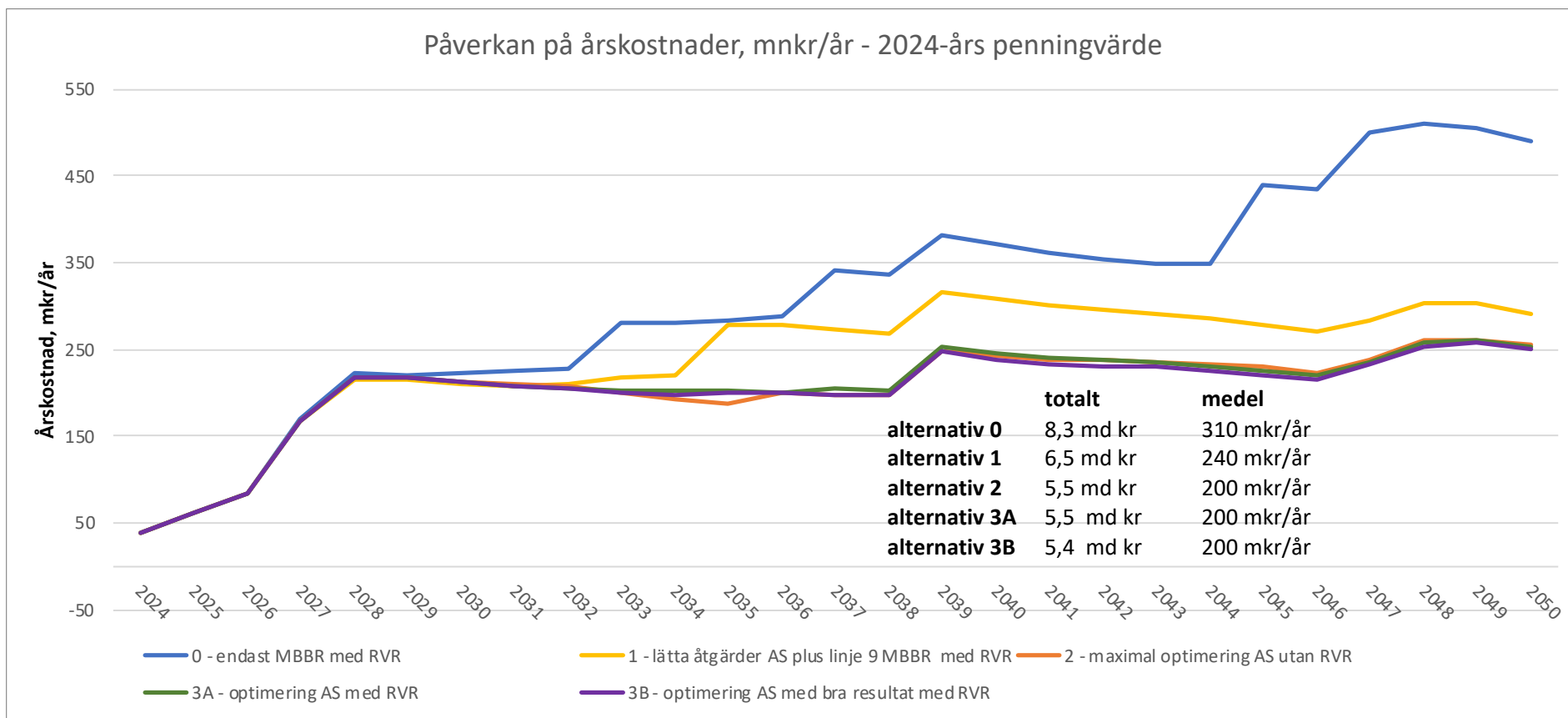
*Åtgärden ger inte förbättrad kapacitet för total mängd kväve men kan rena ner till lägre koncentrationer. Ökad reduktion är bedömd utifrån vad övriga linjer annars räknats med behöver kompensera för.

Tabell 5 Investering, beräknad kapitalkostnad, metanol- och elkostnad samt ökad kvävereduktion per alternativ, 2024-års prislivå

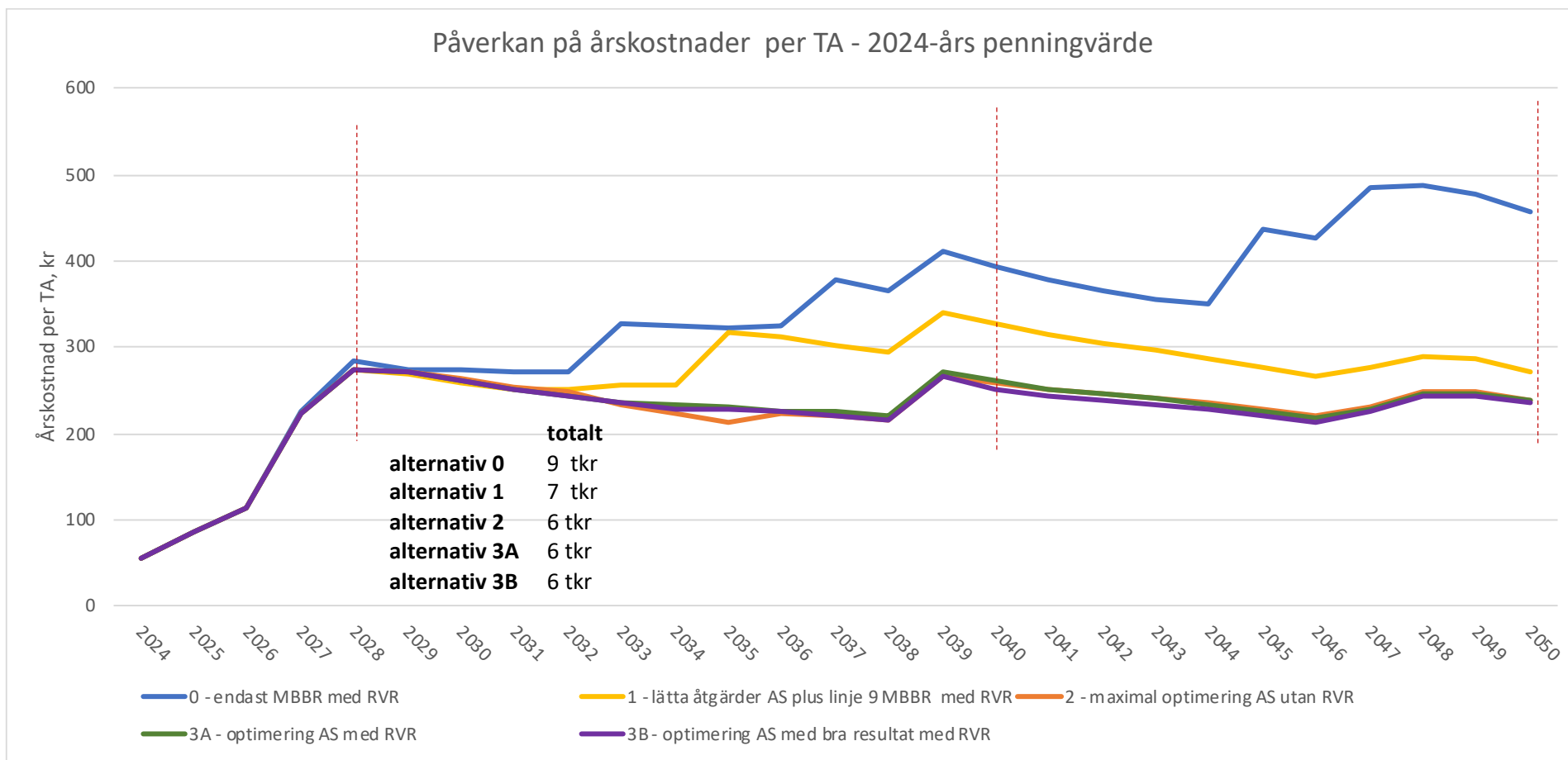
	Antagen investering (mkr)	Årlig kapitalkostnad: ränta 2,5% + avskrivning (tkr per år)	Kostnad metanol och el för drift 2050 med 2024-års priser (tkr/år)	Ökad kväverenningskapacitet i alt utan RVR (ton/år)	ökad kväverenningskapacitet från RVR i alt. (ton/år)	Ökad kväverenningskapacitet från alla åtg i alt. (ton/år)
0 - endast MBBR med RVR	6 895	408 169	33 537	1 002	507	1 509
1 - lätta åtgärder AS plus linje 9 MBBR med RVR	4 371	258 904	28 680	747	356	1 103
2 - maximal optimering+ ombyggnad AS utan RVR	3 223	189 943	28 564	1 036	0	1 036
3A - optimering + ombyggnad AS med RVR	3 213	190 175	25 974	783	283	1 066
3B - optimering + ombyggnad AS med bra resultat med RVR	3 211	189 767	25 632	1 000	318	1 318

Tabell 6 Beräknade nyckeltal per alternativ

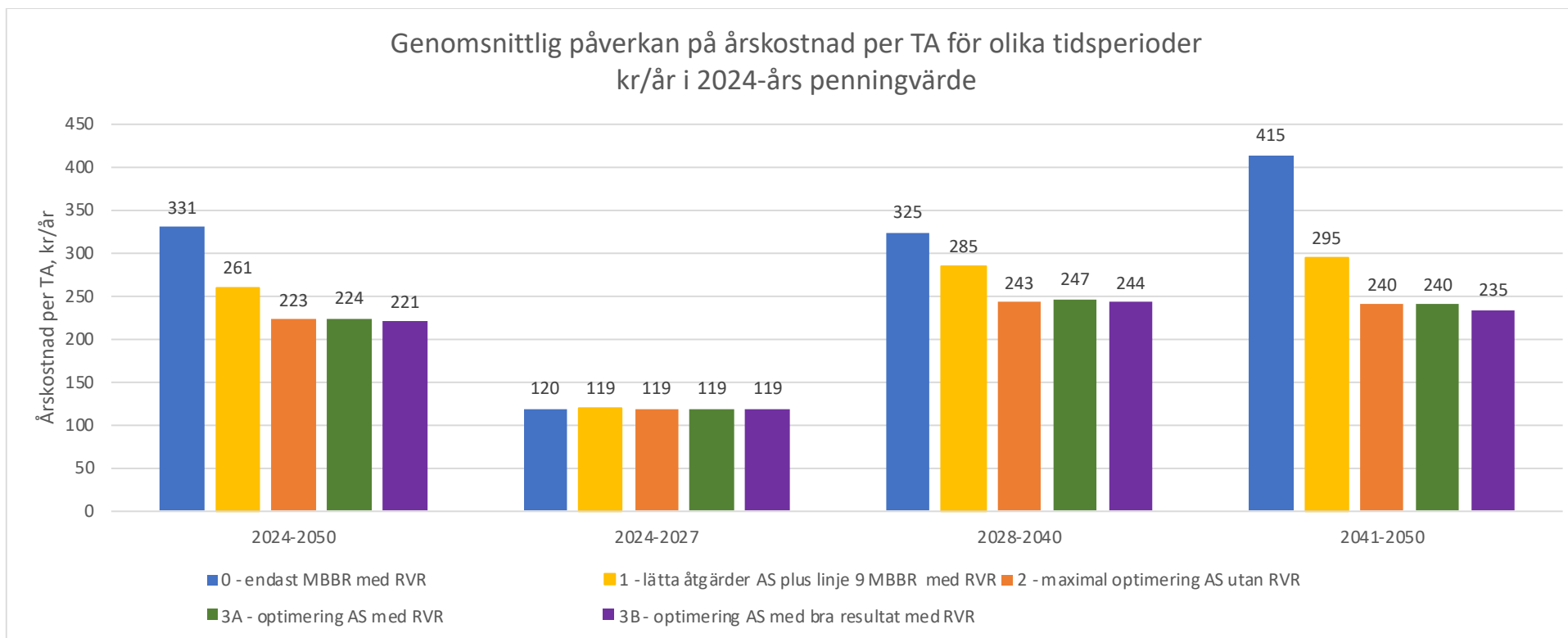
	Kapitalkostnad per kg TN total ökad kvävereningsskapacit et (kr/kg TN)	Driftskostnader (el och metanol) per kg TN ökad kvävereningsskapacit et (kr/kg TN)	Årskostnad (kapital+metanol+el) per kg TN total ökad kvävereningsskapacit et från alla åtg i alt. (kr/kg TN)	RVR:s kapitalkostnad per ökad kvävereningsskapacit et från RVR (kr/kg TN)
0 - endast MBBR med RVR	270	22	293	16
1 - lätta åtgärder AS plus linje 9 MBBR med RVR	235	26	261	23
2 - maximal optimering+ ombyggnad AS utan RVR	183	28	211	0
3A - optimering + ombyggnad AS med RVR	178	24	203	29
3B - optimering + ombyggnad AS med bra resultat med RVR	144	19	163	25



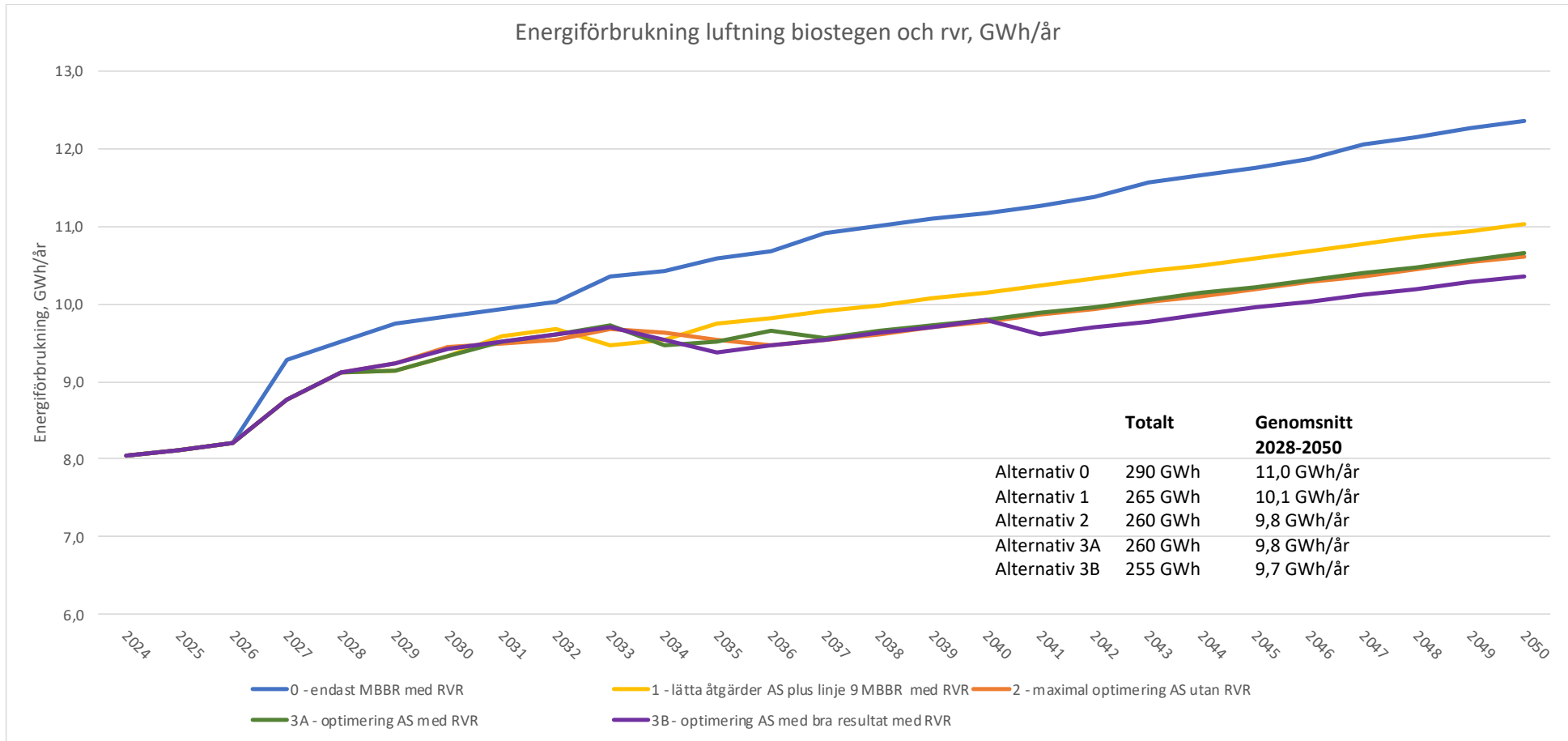
Figur 12. Påverkan på årskostnad, mkr i 2024-års penningvärde



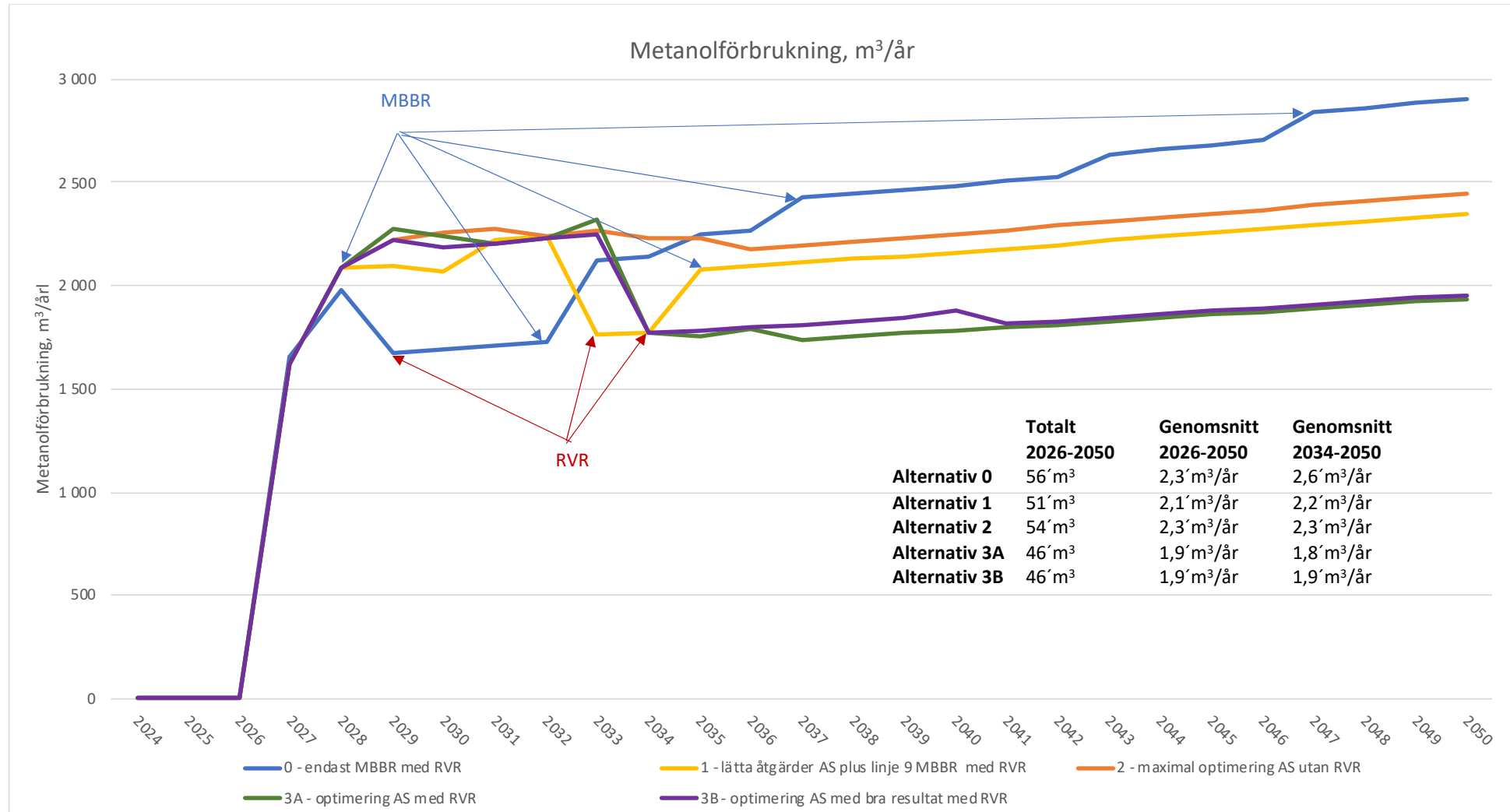
Figur 13 Påverkan på årskostnad per TA i 2024-års penningvärde.



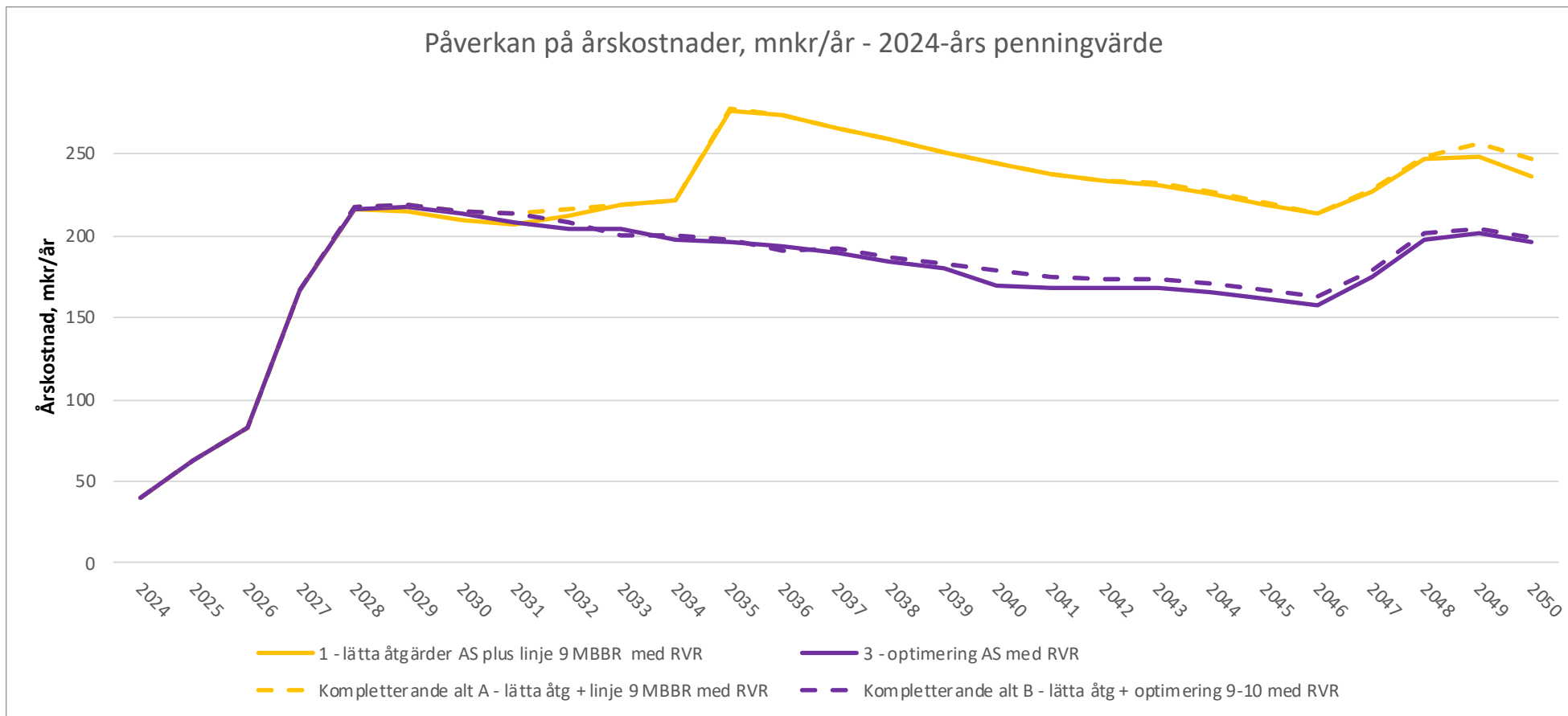
Figur 14 Genomsnittlig påverkan på årskostnad per TA för olika tidsperioder, kr/år i 2024-års penningvärde



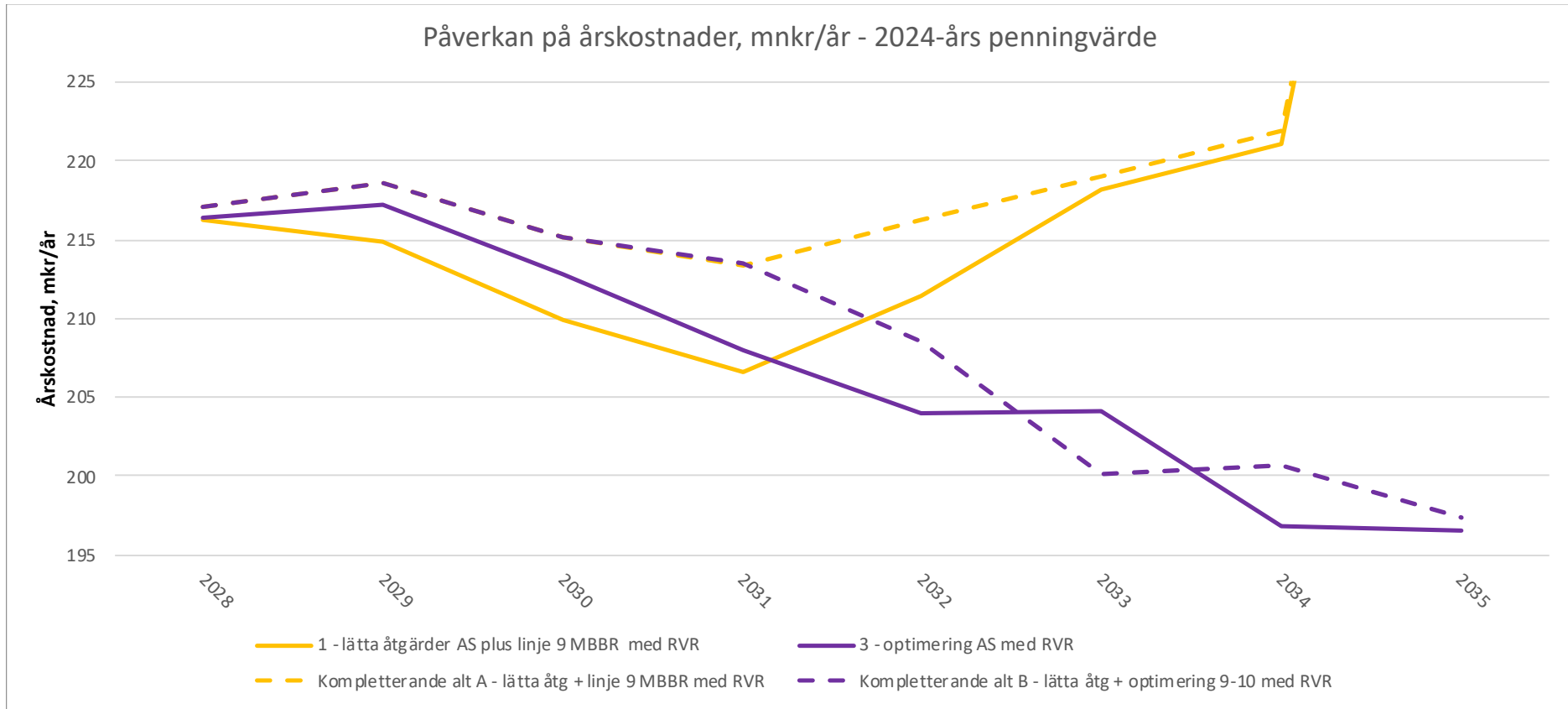
Figur 15 Beräknad energiförbrukning för luftning av biostegen och rvr för de olika alternativen, GWh/år



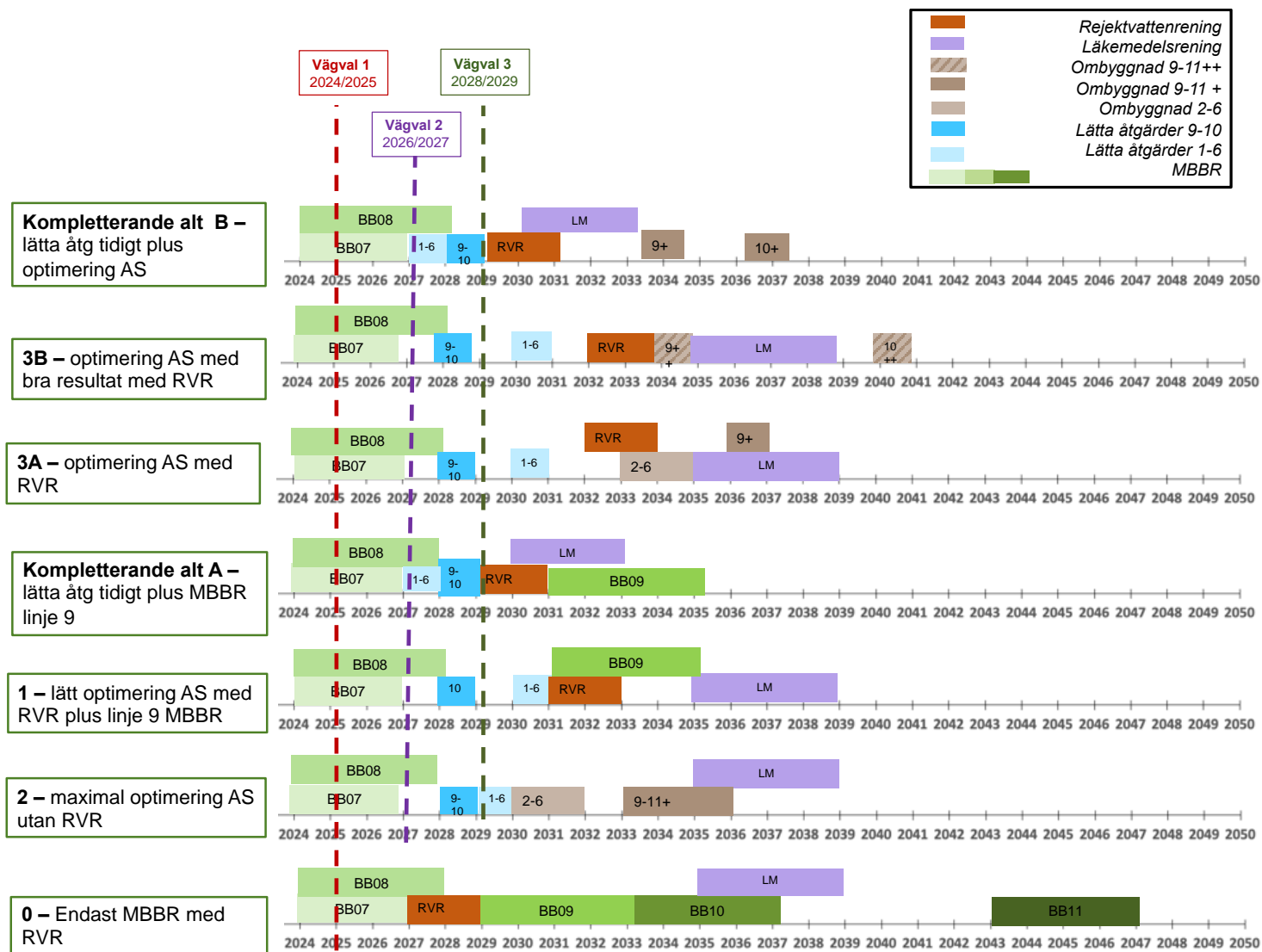
Figur 16 Metanolförbrukning för MBBR och aktiv slam med efterdenitrifikation, m³/år



Figur 22 Årskostnader **utan läkemedelsrening** för alternativ 1, 3B och kompletterande alternativ A och B, i 2024-års penningvärde



Figur 23 Årskostnader utan läkemedelsrening för alternativ 1, 3B och kompletterande alternativ A och B, i 2024-års penningvärde under åren 2028-2035



Figur 24 Tidslinje för byggnationer i de olika studerade alternativen

Utbyggnadsalternativ version 2

Sofia Andersson, Sweco Environment

Revisionshistorik

Rev.	Datum	Kommentar	Reviderad av
1.0	2024-05-22	Kompletterande alternativ tillagt. Justeringar efter interngranskning	Sofia Andersson
2.0	2024-07-05	Korrigerat efter Käppalas granskning	Sofia Andersson

Innehåll

Innehåll	2
1 Bakgrund	3
2 Förutsättningar	4
2.1 Utsläppskrav och produktionsmål	4
2.2 Flöde och belastning	4
2.3 Hydraulisk kapacitet	4
2.4 Redundans	5
2.5 Tillkommande reningssteg	5
3 Processlösningar	6
4 Metod och indata	6
4.1 Maximal kapacitet per processlösning	6
4.2 Tider för genomföranden	12
4.3 Känslighetsanalys	12
4.4 Visualisering av resultat	14
5 Resultat	15
5.1 Nollalternativ – endast MBBR och RVR	16
5.2 Utbyggnadsalternativ 1	19
5.3 Utbyggnadsalternativ 2	21
5.4 Utbyggnadsalternativ 3	23
5.5 Kompletterande utbyggnadsalternativ	28
6 Diskussion	30

1 Bakgrund

Käppalaverket bygger ut för att klara en kontinuerligt ökande belastning samt för att kunna nå de nya utsläppskraven i enlighet med det nya miljötillståndet. Linje 7 och 8 byggs för närvarande om till MBBR och det fanns tidigare planer på att även bygga om en eller flera av Linje 9–11, som idag är aktivslamprocesser, till MBBR för att klara framtida belastning och krav.

Under 2022 genomfördes en utredning som tittade på olika utbyggnadsalternativ för Käppala reningsverk med fokus på att klarlägga olika utbyggnadsalternativ, erforderlig utbyggnadstakt och tidpunkter för vägval (Utvärdering av utbyggnadsalternativ, Nex, KATZ, Sweco 2023-01-13). I utredningen framkom att det är möjligt att skjuta på utbyggnaden av en tredje MBBR-linje genom att optimera och/eller bygga om aktivslamlinje 1–6 samt bygga en rejektvattenrening i en försedimenteringsbassäng. I efterföljande WS som genomfördes i januari 2023 lyftes även behovet av att närmare utreda förutsättningar för en rejektvattenreningsanläggning samt utreda vilken potential som optimering och ombyggnad av BB01-BB06 har. Sedan första versionen av utredningen om utbyggnadsalternativ genomfördes har en del förutsättningar förändrats och därför genomförs här en uppdatering av utredningen.

En av de viktigaste förändringarna är den reviderade prognosen över antalet anslutna över tid som skrivits ner sedan förra utredningen (Belastningsprognos 2024–2050 Rev. D, Käppalaförbundet 2024-01-04).

Under detaljprojekteringen av Linje 7 och 8 gjordes även vissa förändringar i utformningen som påverkat kapaciteten i linjerna. Därför har nya processberäkningar för MBBR-linjerna genomförts som gett nya värden på linjernas maximala kapacitet (PM Kapacitet MBBR-linjer med slutlig utformning, Sweco 2024-03-20).

Aktivslamlinje 1–6 i gamla delen av verket, som byggdes om med nya zoner för efterdenitrifikation och dosering av extern kolkälla, har varit i drift i sin nya utformning sedan slutet av 2022. Från november 2023 till dags datum, april 2024, har belastningen på linjerna dessutom ökat till följd av att både Linje 7 och 8 tagits ur drift. I uppdraget Optimering Linje 1–6, som är en del av Käppala 3.0, har processberäkningar för Linje 1–6 kalibrerats med data från år 2023 och utifrån dessa har sedan nya värden för maximal kapacitet i linjerna beräknats (Optimering Linje 1–6, Sweco 2024-04-30).

En förstudie som utrett implementering av rejektvattenrening i FS01 har genomförts och visat att detta är en möjlig väg att gå (Förstudie Rejektvattenrening Käppala, Sweco 2024-01-31).

Aktivslamlinje 11 i nya verket är sedan tidigare en försökslinje med möjlighet till efterdenitrifikation med extern kolkälla. Linje 9–10 är i sin nuvarande utformning med aktivt slam inte anpassade för att klara låga utgående kvävehalter. Dessa linjer bedöms ha en hög potential för ökad kapacitet men ingen utredning om hur linjerna skulle kunna optimeras eller byggas om har ännu genomförts.

I detta PM utreds olika utbyggnadsalternativ för Käppalaverkets biologiska rening baserat på resultatet från ovan nämnda utredningar. Alternativen är begränsade till befintliga och ombyggda biologiska processer i Linje 1–11 samt införandet av rejektivattenrening.

2 Förutsättningar

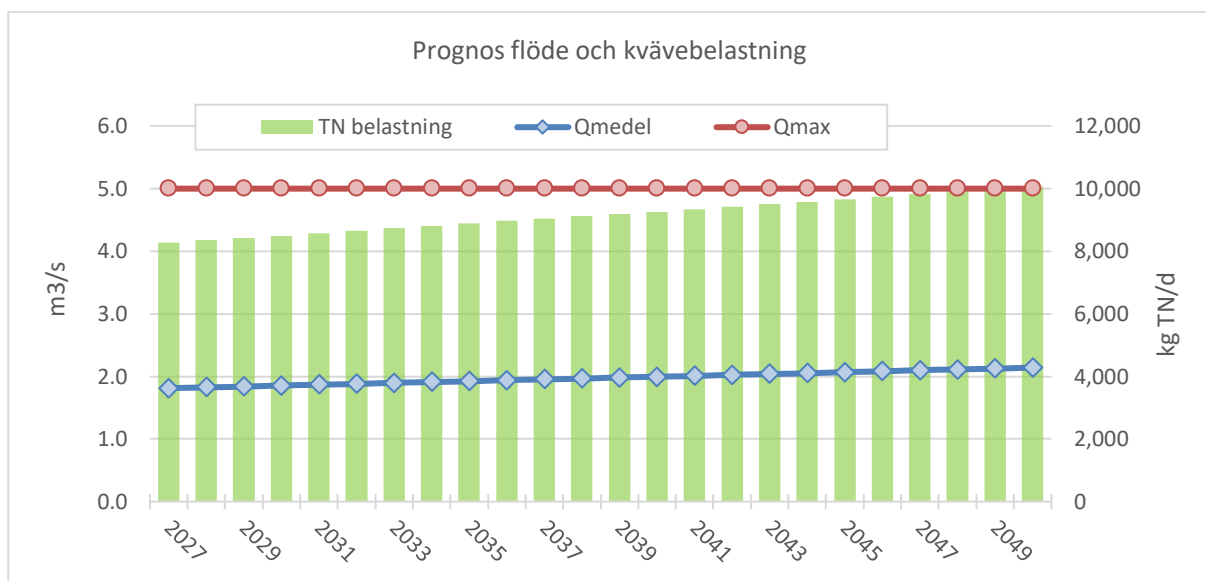
Detta arbete utgår från den uppdaterade belastningsprognos som Käppala tog fram i början av 2024 (Belastningsprognos 2024–2050, Rev. D, 2024-01-04).

2.1 Utsläppskrav och produktionsmål

Käppalaverkets miljötillstånd gör gällande att utsläppskravet för kväve är 6 mg/l eller 400 ton/år från mitten av 2026 (här har år 2027 antagits vara det första året med nya utsläppskrav). Med prognosticerade flöden (Rev. D, 2024) så innebär det att utsläppshalten inte behöver understiga 6 mg TN/l fram till år 2050 och att mängdkravet inte överskrids vid denna koncentration. Produktionsmål för kväve är ansatt till 5,0 mg/l.

2.2 Flöde och belastning

Prognosen (Rev. D, 2024) för flöde och inkommande kvävebelastning redovisas i Figur 1, där det framgår att kvävebelastningen ökar snabbare än det dimensionerande flödet. Därmed har kvävebelastningsprognosen för Käppalaverket använts för att utvärdera kapaciteten vid olika utbyggnadsalternativ. BOD- och fosforeringen har inte utvärderats i detta PM.



Figur 1. Prognos för medelflöde (Q_{medel}), maxflöde till biologin (Q_{maxbio}) samt kvävebelastning på biologin (TN belastning).

2.3 Hydraulisk kapacitet

Begränsningarna av hydraulisk kapacitet i försedimenteringen och efterföljande kanaler är i nuläget $4 \text{ m}^3/\text{s}$ i det nya blocket (varje försedimenteringsbassäng klarar maximalt $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$) och $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$ i det gamla blocket. Samlingskanaler för försedimenterat avloppsvatten i nya och gamla blocket är idag inte kommunicerande men det finns en lucka som skulle kunna ställas i öppet läge vilket skulle ge förutsättning för visst flödesutbyte av de hydrauliska förutsättningarna, dock utan aktiv styrning av fördelningen.

De nya MBBR-linjerna byggs för en maximal hydraulisk kapacitet på 1 m³/s per linje. Aktivslamlinjerna i det nya verket har tidigare tagit emot upp till 0,6 m³/s per linje och är dimensionerade för 0,64 m³/s. Aktivslamlinjerna i den gamla anläggningsdelen har en hydraulisk kapacitet på 0,3 m³/s per linje men den biologiska kapaciteten är lägre, omkring 0,25 m³/s per linje (baserat på data från december 2023, då flödet till gamla verket ökade efter nedstängning av Linje 8 i tillägg till Linje 7 som var ur drift sen tidigare).

Det förutsätts här att alla biolinjer kan nyttjas maximalt utifrån ett hydrauliskt perspektiv, dvs att fördelning och aktiv/dynamisk styrning av flöden mellan olika linjetyper är möjlig. Idag finns stora begränsningar i styrning av flöde in till biologin. Käppala kommer starta upp en utredning om detta under 2024/2025.

2.4 Redundans

I de utbyggnadsalternativ som presenteras har systemredundans som innebär att en linje av varje processtyp ska kunna ställa av (s.k. n-1 redundans) inte tagits med i beräkningarna utan den redundans som erhålls i marginalen mellan produktionsmål och utsläppskrav har bedömts vara tillräcklig, se Bilaga 2. Notera dock att i de flesta fall finns en överkapacitet något/några år efter att en linje uppgraderats vilket i praktiken innebär att systemet är mer robust under perioden. Vid val av tidpunkt för utbyggnad har dock inget krav på överkapacitet vägts in.

2.5 Tillkommande reningssteg

I denna utredning har det i samtliga utbyggnadsalternativ antagits att en anläggning för läkemedelsrening byggs i Linje 1 (gamla verket). I det nya EU direktivet för avloppsrening anges att samtliga reningsverk större än 150 000 pe ska ha infört läkemedelsrening senast år 2045 men med intermediära mål år 2033 och 2039. De intermediära målen anger att 20% av alla reningsverk större än 150 000 pe i Sverige (totalt ca 15 st) ska ha infört läkemedelsrening år 2033 och 60% år 2039. I denna utredning ansätts att läkemedelsrening på Käppala ska vara i drift 2039 och att byggtiden för detta är 4 år vilket innebär att aktivslamlinje 1 tas ur drift år 2035. Efter den riskworkshop som genomfördes den 8 maj beslutades dock att ta med ett nytt kompletterande alternativ där läkemedelsreningen ska vara i drift 2033 och har en byggtid på 3 år, detta beskrivs i kapitel 5.

Andra processteg som skulle kunna bli aktuella, så som utbyggnad av filtersteg, produktion av intern kolkälla etc. har inte beaktats.

Rejektvattenrening, i de fall där det föreslås, antas byggas i FS01 och det renade rejektivattnet antas belasta Linje 1–6 (enligt Förstudie rejektivattenrening Käppala, 2024-01-31). Andra alternativ som att leda tillbaks det renade rejektivattnet till inloppet är också möjliga men har inte behandlats i denna utredning.

Ytterligare förbättring av kvävereningen skulle vid behov kunna åstadkommas genom säsongsvis efterdenitrifikation i sandfilter med dosering av extern kolkälla uppströms filtren. Detta har testats i fullskala på Bromma reningsverk under flera år med goda resultat. Denna åtgärd är inte en förutsättning i något av alternativen men kan nyttjas vid behov.

3 Processlösningar

För gamla delen av verket, linje 1–6, har följande processlösningar utretts:

- Aktivslam med efterdenitrifikation (**AS-ED**) enligt nuvarande utförande.
- Aktivslam med efterdenitrifikation och utökad kväverenkinskapacitet genom optimering (**AS-EDo**). Den utökade kapaciteten erhålls genom omprogrammering av styrsystemet för att möjliggöra dynamisk styrning av flexzonen med ammoniumåterkoppling, optimerad drift av nitratrecirkulation och returslam (kan kräva ombyggnad av returslamssystemet) samt ökad slamhalt i linjen.
- Aktivslam med efterdenitrifikation och förbättrad zonindelning, dvs ombyggnation (**AS-ED+**) för ytterligare ökning av kapaciteten. FDN2 och NIT1 delas av i två zoner vardera som byggs om till flexzoner. Kapaciteten på nitratrecirkulationen och eventuellt även returslamssystemet ökas.

Alternativet med S::select® som fanns med i den första versionen av utredningen av Utbyggnadsalternativ finns inte med här då ingen ytterligare information om dess effekt och implementering på Käppala inhämtats. Käppalaförbundet fortsätter dock att utreda denna teknik, samt andra kapacitetsökande tekniker, men utanför scopet av den här utredningen.

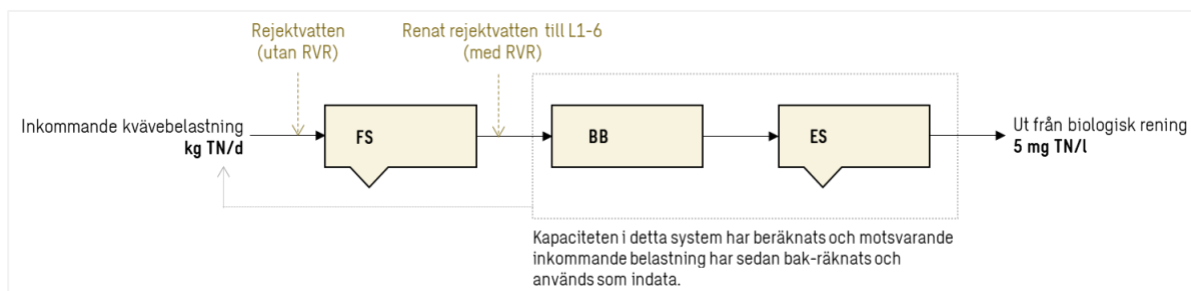
För nya delen av verket, linje 7–11, har följande alternativ utretts:

- Moving bed biofilm reactor (**MBBR**) enligt den design som tagits fram i detaljprojekteringen och som nu byggs i Linje 7–8.
- Aktivslam (**AS**) utan efterdenitrifikationsmöjlighet enligt nuvarande utformning och kapacitet i Linje 9–10.
- Aktivslam med efterdenitrifikation (**AS-ED**) enligt utformning och kapacitet i Linje 11 under försöksperioden 2017–2020.
- Aktivslam med efterdenitrifikation och ny zonindelning, ny styrning och ökade recirkulationskapaciteter (dvs ombyggnationer) med ett bra resultat (**AS-ED+**) samt med ett mycket bra resultat (**AS-ED++**).

4 Metod och indata

4.1 Maximal kapacitet per processlösning

För bedömning av anläggningens totala kapacitet i olika faser av utbyggnad har den maximala årsmedelbelastningen för varje processlösning beräknats eller uppskattats i enheten kg inkommande totalkväve per dygn (se Figur 2) för att sedan kunna jämföras med prognosen för inkommande kvävebelastning. I samtliga fall har beräkningarna utgått från att den biologiska reningen ska klara produktionsmålet på 5 mg TN/l och sammansättningen på inkommande avloppsvatten har ansatts till prognosen för år 2040 (avloppsvattnet bedöms bli mer koncentrerat över tid). En rejektvattenrening har bedömt kunna avskilja 80% av kvävet i rejektvattnet.

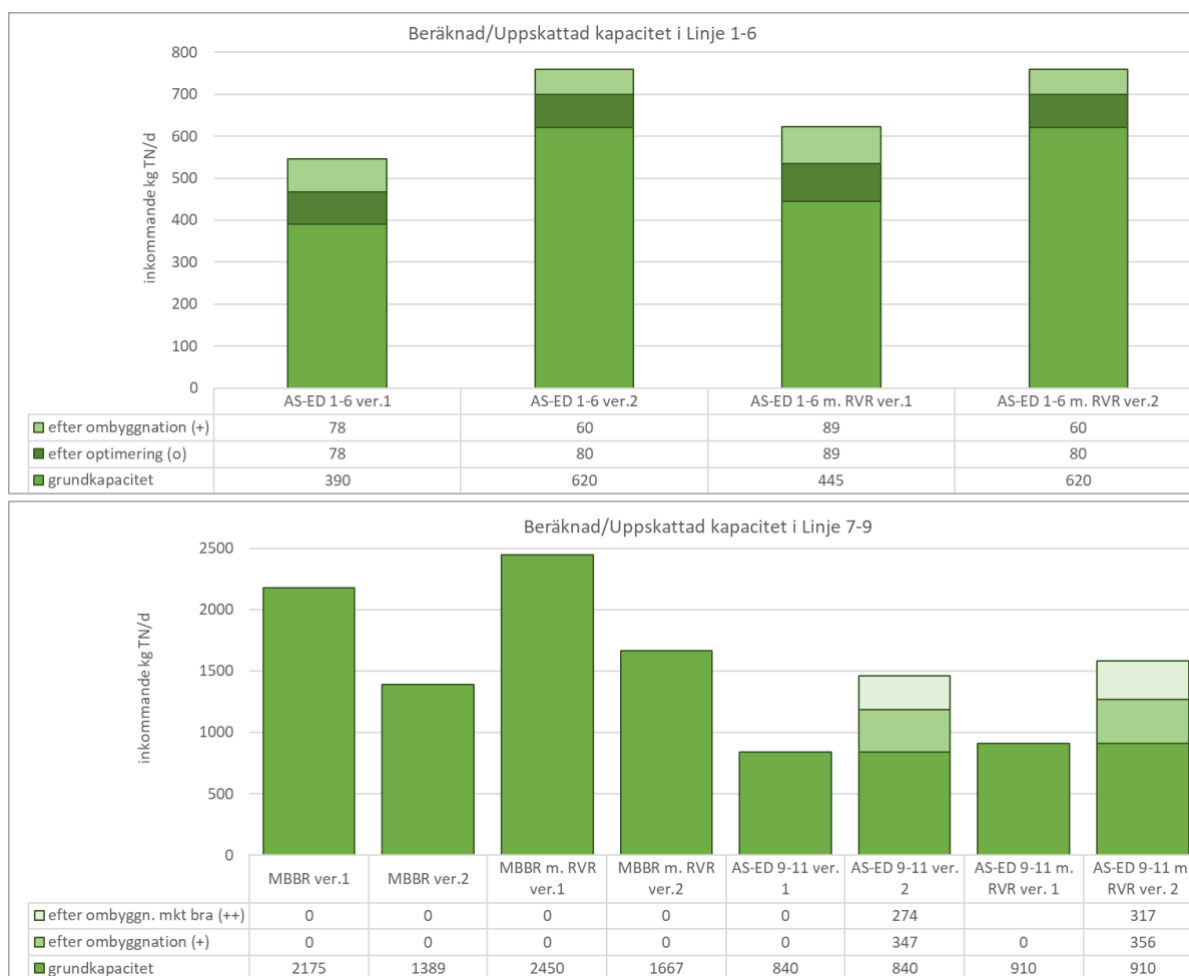


Figur 2. Förklaring av de indata som används för att ta fram utbyggnadsalternativen. RVR = rejektvattenrening.

Aktivslamlinjer i gamla verket:

För aktivslamlinjerna i Linje 1–6 har de kapaciteter som togs fram i utredningen Optimering Linje 1–6 (Sweco, 2024-04-30) använts som underlag. Som framgår av Figur 3 är den nya framräknade maxkapaciteten, version 2, betydligt högre än vad som bedömdes vara rimligt i den tidigare utredningen om utbyggnadsalternativ, version 1 (Nex, KATZ, Sweco 2023). Detta beror på att processberäkningarna som låg till grund för bedömningen utgick från konservativa värden för dimensioneringsparametrar (reaktionshastigheter och VS-halt), erhållna från Käppala, samt att linjerna tidigare varit väldigt lågbelastade. Men efter nedstängning av Linje 7–8 har linjerna varit tvungna att ta emot en betydligt högre belastning och ändå visat sig klara av att leverera låga utgående kvävehalter.

För Linje 1–6 har införandet av rejektvattenrening inte bedömts ge någon tydlig ökning i kapacitet sett till inkommande kvävebelastning. Detta beror på att linjerna, enligt beräkningar, inte klarar av en högre inkommande belastning av organiskt material (BOD) och partiklar (SS) eftersom det ger en högre slamproduktion och därmed en lägre slamålder. I beräkningarna är slamåldern begränsande för hur stor belastning som kan tas emot vilket gör att inkommande flöde (och indirekt belastning av BOD och SS) inte kan ökas ytterligare. Möjligheten att införa förstärkt förfällning permanent eller under vintertid (på samma sätt som på Bromma reningsverk) för att minska halterna av SS och BOD i inflödet till biologin skulle kunna resultera i högre luftad slamålder och en ökning av kapaciteten i linjerna vid införande av rejektvattenrening. Utredning av detta ingick dock inte i uppdraget. Hur de nya kapaciteterna räknats fram beskrivs i rapporten Optimering Linje 1–6 (Sweco, 2024-04-30).



Figur 3. Maximal kvävereningskapacitet per linje med eller utan optimering (o)/ombyggnad (+/++) och rejektivattenrening (RVR). Version 1 (ver. 1) är de kapaciteter som användes i första versionen av Utredning utbyggnadsalternativ (Nex, KATZ, Sweco 2023). Version 2 (ver. 2) refererar till de kapaciteter som används i denna rapport.

MBBR-linjerna:

För MBBR-linjerna har de siffror som rapporteras i PM Kapacitet MBBR-linjer med slutlig utformning (Sweco, 2024-03-20) använts. Dessa värden är betydligt lägre, 36%, än de värden som räknades fram i föregående version av utbyggnadsalternativen (version 1), vilket framgår ur Figur 3. Anledningen till detta är dels att reaktorvolymerna (mindre pga att silväggarna tar större plats än tidigare ansatt) och fyllnadsgraden av bärrmaterial (-27% i FDN) minskat efter detaljprojekteringen, dels att lägre reaktionshastigheter ansatts, se Tabell 1. Detta beskrivs i mer detalj och motiveras i PM Kapacitet MBBR-linjer med slutlig utformning (Sweco, 2024-03-20). MBBR-linjerna har kapacitet att rena en viss mängd kväve så om rejektivattenrening (RVR) införs och internbelastningen av kväve minskar med 15–20% kommer en motsvarande högre inkommande belastning kunna behandlas. Införande av rejektivattenrening får därmed stor inverkan på kapaciteten i MBBR-linjerna sett till hur mycket inkommande kväve som kan renas (19% ökning).

Tabell 1. Sammanställning av de förändringar som gjorts mellan processberäkning version 1¹ (Utvärdering av utbyggnadsalternativ, Nex, KATZ, Sweco 2023-01-13) och version 2 (PM Kapacitet MBBR-linjer med slutlig utformning, Sweco 2024-03-20)..

Zoner	Tidigare beräkning (ver. 1)	Ny beräkning (ver. 2)	Skillnad	Zoner	Tidigare beräkning (ver. 1)		Ny beräkning (ver. 2)		Skillnad (%)	
	g/m ² , d (vid 10°C)	g/m ² , d (vid 10°C)			%	Bärrarvolym (m ³)	Kapacitet (kg/d)	Bärrarvolym (m ³)	Kapacitet (kg/d)	Bärrarvolym (m ³)
FDN1	0,65	0,5	-23%	BOD-ox	855	3 146	846	3 382	-1%	+7%
FDN2	0,35	0,25	-29%	NIT	3 254	1 753	3 136	1 344	-4%	-23%
BODox	4,6	5	9%	FDN	2 431	1 077	1 738	532	-29%	-51%
NIT1	0,63	0,65	3%	EDN	819	629	787	688	-4%	9%
NIT2	0,62	0,33	-47%	DN-tot	3 251	1 706	2 525	1 221	-22%	-28%
Deox	0,31	0,24	-23%							
EDN1	1,2	1,5	25%							
EDN2	0,55	0,51	-7%							

Aktivslamlinjer i nya verket

För aktivslam med efterdenitrifikation i nya verket (AS-ED) har inga processberäkningar utförts utan samma siffror som användes i version 1 av utredningen om utbyggnadsalternativ (2023) har använts, se Figur 3. Där stod Linje 11 modell i det utförande som den hade under pilotförsöken 2017–2020, dvs en aktivslamprocess med för- och efterdenitrifikation och möjlighet att dosera extern kolkälla. Uppskattningen av kapacitet gjordes baserat på data från 2020 som visar att Linje 11 kunde rena kväve ner till 5,0 mg TN/l vid ett medelflöde på 0,2 m³/s och ett maxflöde på upp till 0,6 m³/s (vilket omräknats till kvävebelastning utifrån 2020-års data). Införandet av rejektvattenrening, och den minskning av internbelastning av kväve som det medför, har bedömts ge utrymme för att ta in en större mängd inkommande kväve. Dock har effekten inte bedömts vara lika stor som för MBBR-linjen (8% ökning) eftersom en ökad inkommande belastning av kväve även för med sig ökad belastning av organiskt kol (BOD) och partiklar (SS) vilket ger en ökad slamproduktion och därmed en minskad slamålder vilket är negativt för nitrifikationen. Även här skulle en förstärkt förfällning kunna leda till minskad slamproduktion och ökad slamålder vilket öppnar för att rejektvattenreningen ger en högre kapacitetsökning i linjerna.

För aktivslamlinjer 9–10 utan efterdenitrifikation (AS L9-10) antas samma mängd kväve kunna renas som i alternativet AS-ED ovan men utgående kvävehalt bedöms då vara 10 mg/l i stället för 5 mg/l. Detta medför att övriga linjer måste kompensera för den högre halten genom att rena till en utgående halt som är lägre än 5 mg/l. Därmed har det antagits i beräkningarna att kapaciteten på Linje 1–6 minskar med totalt sett 156 kg TN/d² under perioden då Linje 9–10 är i drift utan att ha byggts om med efterdenitrifikation.

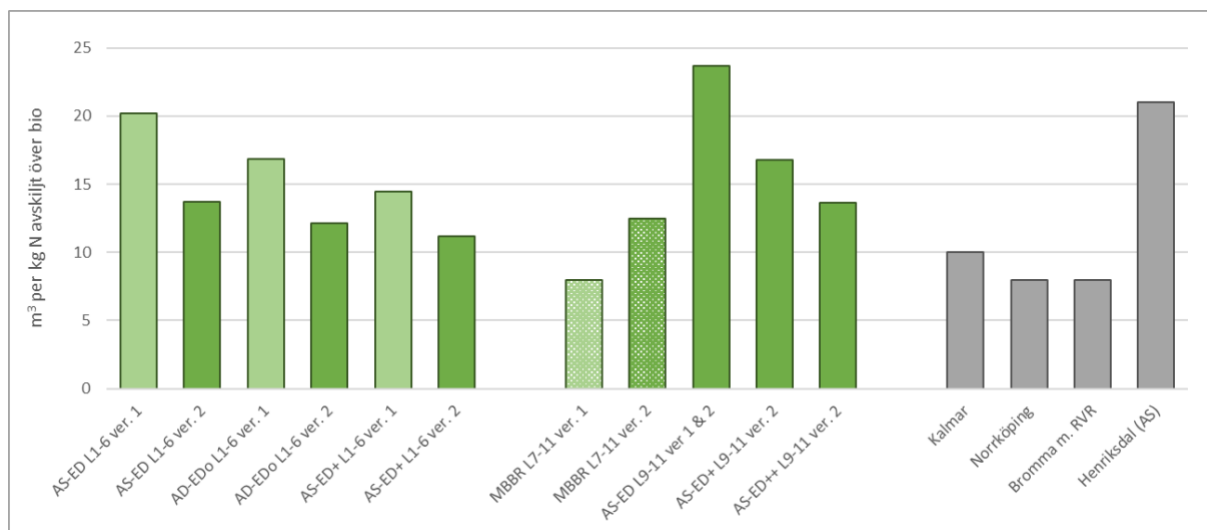
Maxbelastningen på aktivslamlinje 9–11 med efterdenitrifikation (AS-ED) är väldigt låg i jämförelse med vad Linje 1–6 har visat sig kunna hantera och även i jämförelse med andra kväverenningsverk (Kalmar, Norrköping och Bromma är exempel på platseffektiva

¹ Beräkning av maxkapaciteten som genomfördes i version 1 av denna rapport baserades på Swecos beräkningar som togs fram till rapporten Strategisk Utbyggnadsplan – Etapp 1 processberäkningar (2022-06-08), vilka i sin tur baserats på de hastigheter och nyckeltal som Embreco använde i sin beräkning.

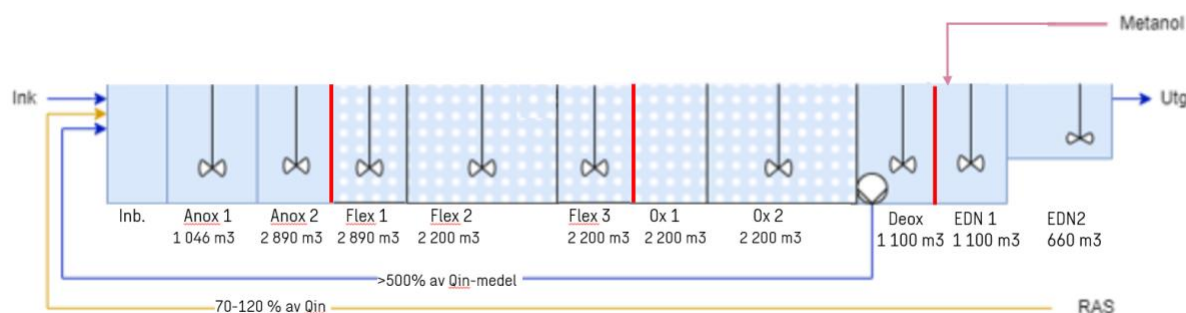
² Beräkning av kväve som måste avskiljas i annan linje i fallet utan rejektvattenrening: Utsläppshalt minus börvärde = 5 mg TN/l, medelflöde till L9-10 = 0,18 m³/s per linje, avskiljning av N över försedimenteringen motsvarar ungefär tillskottet av N från rejektvatten => 156 kg TN/d).

anläggningar med flexzoner medan Henriksdals aktivslamlinjer är exempel på en volymkrävande process utan flexzoner), se Figur 4. Antalet kubikmeter reaktorvolym per kg avskiljd kväve är ett nyckeltal som kan användas för att övergripande jämföra olika anläggningars effektivitet att rena bort kväve. En jämförelse rakt av är inte lämplig då halten inkommande och utgående kväve samt slamhalten i biologin skiljer sig åt mellan reningsverk, men nyckeltalen kan visa på var optimeringar bör vara möjliga. Det framgår att volymen i Linje 9–11 är väldigt stor i förhållande till mängden kväve som renas bort (24 m³/kg TN avskiljt) medan Linje 1–6 redan i dag ligger på ett förhållandevis lågt nyckeltal (14 m³/kg TN avskiljt). Detta pekar på att en optimering/ombyggnation av aktivslamprocessen i Linje 9–11 bör kunna resultera i en markant ökning av kapaciteten.

Åtgärder (Figur 5) så som bättre fördelning av zonvolym (nya mellanväggar, nya luftare/omrörare), ökade/optimerade recirkulationsflöden, höjning av slamhalten och införande av dynamisk styrning av processen skulle troligtvis kunna ge stora effekter men exakt hur stora är svårt att säga utan att saken utretts. För ombyggda aktivslamlinjer i nya verket har två nivåer av kapacitetsökning därför antagits, AS-ED+ där vi antar att ombyggnationen ger en god effekt i linje med referenser från andra medelbelastade välfungerande reningsverk (m³/kg TN avskilt någonstans mellan Henriksdal och Bromma), och AS-ED++ där vi antar att ombyggnationen ger en mycket god effekt, i linje med Linje 1-6 men inte lika stor som i de bäst fungerande referensanläggningarna (Figur 4).



Figur 4. Biologisk reaktorvolym delat på avskiljd mängd kväve för de olika linjetyperna på Käppala. De ljusgröna staplarna visar nyckeltalen från den föregående utredningen, version 1 (Nex, KATZ, Sweco, 2023) och de mörkgröna staplarna är värden som används i denna rapport, version 2. Prickiga staplar är MBBR och övriga är AS. Grå staplar visar motsvarande nyckeltal från referensanläggningar.



Figur 5. Exempel på hur aktivslamprocessen i Linje 9–11 skulle kunna optimeras (observera att inga processberäkningar eller fördjupningar i utformningen gjorts).

Flöden

I Tabell 2 redovisas flödet in till en linje uppdelat på linjetyp. Den procentandel av totala kvävebelastningen som en linje kan rena har räknats om till motsvarande andel av flödet utifrån prognosen (Rev. D, 2024) och den koncentration som avloppsvattnet förväntas ha år 2040. Syftet är att använda flödet för att se över fördelningen mellan det gamla och nya verket, se att linjerna inte överbelastas hydrauliskt och att maxflödet till den biologiska reningen kan hanteras. I samtliga fall är det flöde som redovisas i tabellen nedan densamma eller lägre än den rent hydrauliska kapaciteten i varje linje.

I de utbyggnadsalternativ som har lägst hydraulisk maxkapacitet byggs endast två MBBR-linjer och övriga linjer kvarstår som aktivslamlinjer, utom Linje 1 som tas ur drift för att byggas om till läkemedelsrening. I detta scenario är anläggningens maxflöde genom bio:

- 2 x MBBR = 2 x 1 m³/s = 2 m³/s
- 3 x AS-linje 9-11 = 3 x 0,6 m³/s = 1,8 m³/s
- 5 x AS-linje 1-6 = 5 x 0,25 m³/s = 1,25 m³/s

Totalt ger det ett maxflöde genom linjerna på 5,05 m³/s vilket uppfyller dimensionerande maxflöde till biologin som är 5 m³/s.

Tabell 2. Hydraulisk kapacitet per linje bestämd utifrån maximal kväverenskapskapacitet.

Linjetyp	Utan RVR		Med RVR		Maxflöde	
	Q _{medel} (m ³ /s)	Q _{medel} (% av Q ₂₀₄₀)	Q _{medel} (m ³ /s)	Q _{medel} (% av Q ₂₀₄₀)	Q _{max} (m ³ /s)	Q _{max} (% av Q _{maxbio})
AS-ED L1-6	0,13	6,7%	0,13	6,7%	0,25	5%
AS-EDo L1-6	0,15	7,6%	0,15	7,6%	0,25	5%
AS-ED+ L1-6	0,16	8,2%	0,16	8,2%	0,25	5%
MBBR	0,30	15%	0,36	18%	1,00	20%
AS L9-10	0,18	9,1%	0,20	9,8%	0,6	12%
AS-ED L9-11	0,18	9,1%	0,20	9,8%	0,6	12%
AS-ED+ L9-11	0,26	12,8%	0,27	13,7%	0,6	12%
AS-ED++ L9-11	0,31	15,8%	0,34	17,1%	0,6	12%

4.2 Tider för genomföranden

Den maximala kvävebelastningen som varje linje kan klara har sedan använts för att jämföra olika utbyggnadsalternativ. De tider som linjer är ur drift för ombyggnation har antagits vara:

- **Fyra år** per linje för ombyggnad till MBBR
- **Sex månader** per linje för ombyggnad av AS till AS-ED i nya verket (Linje 9–10)
- **Ett år** per linje för ombyggnad av AS-ED i nya verket (Linje 9–11) till AS-ED+ eller AS-ED++
- **Fyra månader** per linje för att bygga om AS-EDo till AS-ED+ i gamla verket (Linje 2–6)
- **Ingen tid** ur drift för att optimera Linje 1–6 från AS-ED till AS-EDo

Vid ombyggnation av gamla verket med ny zonindelning antas att Linje 1 inte byggs om eftersom den antas tas ur drift år 2035 för att byggas om till läkemedelsrening.

4.3 Känslighetsanalys

De utbyggnadsalternativ som presenteras i kapitel 5 visar när olika åtgärder måste genomföras för att reningsverket vid varje tidpunkt ska ha en reningskapacitet som matchar behovet, dvs inkommande belastning. Om den kapacitet som förutsätts finnas i de olika processlösningarna som presenteras i avsnitt 4.1 inte uppnås, eller om ombyggnationer tar längre tid än planerat finns en risk att reningsverkets kapacitet inte når upp till behovet vilket innebär att kvävekravet riskerar att överskridas. Nedan diskuteras de tydligaste risker som framträder för varje processlösning. Övergripande risker som risken att anslutningen ökar snabbare än prognosticerat eller att läkemedelsrening måste införas tidigare än vad som förutsatts tas inte upp i detta PM.

AS-ED L1-6:

- Grundkapaciteten på 620 kg TN/d har uppnåtts i december 2023. Risken att denna kapacitet inte kan upprätthållas som årsmedelvärde i framtiden bedöms vara mycket liten.
- För alternativen AS-EDo och AS-ED+ krävs vissa processförändringar som ännu inte testats i linjerna och det är därmed inte helt säkert att de uppnår den antagna belastningen.
- För AS-ED+ krävs byggåtgärder. Liknande åtgärder har tidigare genomförts i linjerna och risken att ombyggnationen tar längre tid bedöms vara liten. Om byggtiden mot förmodan skulle öka från 4 till exempelvis 6 månader per linje är den totala effekten av detta relativt liten då en linje i taget byggs om och förlusten av kapacitet därmed blir relativt liten. Det finns även en möjlighet att bygga om de två sista linjerna samtidigt för att spara tid vid behov.
- Det finns ingen risk att rejektivattenreningens effekt på Linje 1–6 överskattas då kapaciteten att rena inkommande kväve i Linje 1-6 bedömts vara densamma med eller utan rejektivattenrening.

MBBR:

- I denna version av utbyggnadsplanen har kapaciteten per linje minskats signifikant, dels på grund av minskade volymer och fyllnadsgrad, dels till följd av att reaktionshastigheterna sänkt i de nya beräkningarna. De mer försiktiga reaktionshastigheterna gör att risken för en överskattning av kapaciteten minskat sen förra versionen av utredningen (version 1). Sweco bedömer att det finns en risk, som dock är liten, att MBBR-linjerna inte uppnår ansatt kapacitet. Det finns även en liten chans att kapaciteten i linjerna är större än den antagna.
- När det gäller byggtiden som är satt till 4 år finns en klar risk att det tar längre tid än så vilket motiveras av att Linje 7 dragit över tidplanen samt att det alltid är en stor risk för förlängd byggtid i större byggprojekt.
- Det finns en risk att rejektivattenreningens effekt på MBBR-linjernas kapacitet att rena inkommande kväve i Linje 1–6 överskattats något. Eftersom reaktionerna i en biofilmsprocess är avhängiga koncentrationsgradienten medför en högre koncentration av kväve i linjerna att reaktionshastigheterna drivs upp vilket inte beaktats här. Detta skulle eventuellt kunna göra att skillnaden i kapacitet i verkligheten blir lite lägre än vad som ansatts.

AS-ED L7-11:

- Grundkapaciteten i linjerna efter ombyggnation med efterdenitrifikation, 840 kg TN/d, motsvarar en väldigt låg kvävebelastning per reaktorvolym samtidigt som det är en belastning som är testad i pilotlinje 11 över tid. Risken att den inte ska uppnås bedöms vara mycket liten. Chansen att en betydligt högre belastning än så kan hanteras utan att linjen byggs om är däremot stor.
- Vid en ombyggnation av linjen som möjliggör en optimal drift och ett bra utnyttjande av reaktorvolymen bedöms det som troligt att den uppskattade belastningen som anges för AS-ED+ (1182 kg TN/d) kan uppnås. Eftersom en ombyggnad av linjerna inte har utretts finns det en risk att någon parameter som inte är uppenbar vid en första anblick gör att kapaciteten inte kan ökas så mycket som uppskattats utan hamnar någonstans mellan AS-ED och AS-ED+. Samma risker finns givetvis för AS-ED++ där en ännu högre kapacitet förväntas uppnås, vilket gör att konsekvensen om risken faller ut blir större.
- Risken att byggtiden för att uppgradera en AS-linje till en AS-ED linje tar längre tid än de 6 månader som ansatts bedöms vara relativt liten då antagandet bygger på åtgärder som redan genomförts i Linje 11.
- Risken att byggtiden för att bygga om en linje med mellanväggar etc. drar ut på tiden bedöms vara hög då det är relativt stora arbeten som ska utföras på en förhållandevis kort tid, 1 år.
- Det finns en liten risk att rejektivattenreningens effekt på linjernas kapacitet att rena inkommande kväve överskattats men mer sannolikt är att den underskattats. Eftersom inga processberäkningar genomförts finns en risk att linjerna blir slamåldersbegränsade på samma sätt som för Linje 1–6 vilket i så fall minskar effekten av rejektivattenreningen. Men då ökningen i inkommande kapacitet ansatts till modesta 8%

jämfört med den avlastning av kväve på närmare 20% i nya verket (följden av en rejektvattenrening), bedöms risken att denna ökning uteblir som mycket liten.

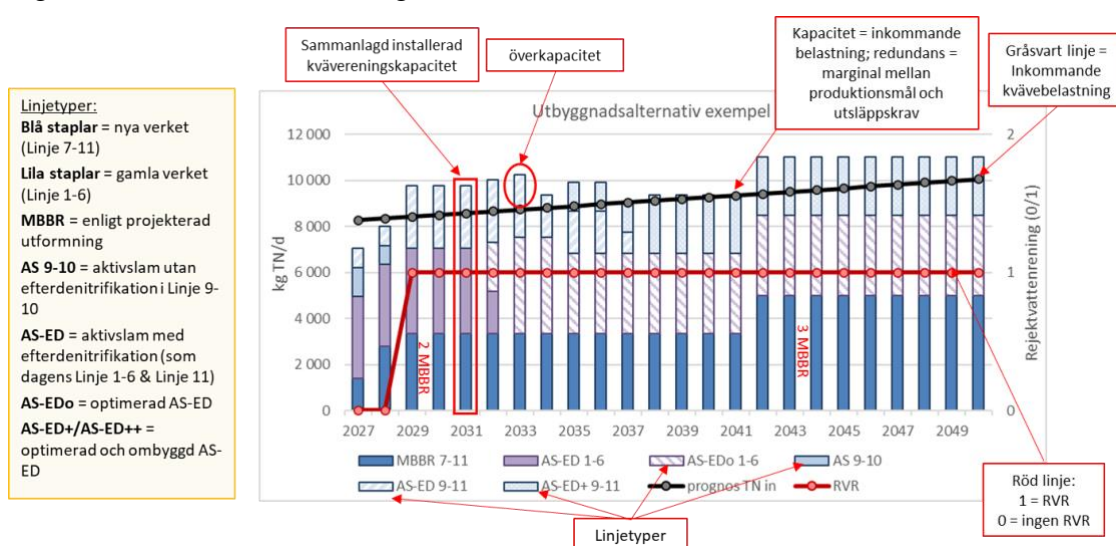
I Tabell 3 sammanfattas ovan nämnda risker. Endast de risker som bedömts vara medelhöga och höga (markerade med rött i tabellen) diskuteras i känslighetsanalysen i kapitel 5 för vardera utbyggnadsalternativ.

Tabell 3. Sammanställning av de risker som identifierats med avseende på kapacitet och byggtid.

Linjetyp	Risk för lägre kapacitet	Risk för längre byggtid	Risken att effekten av RVR blir lägre
AS-ED L1-6	mycket låg	ingen	ingen
AS-EDo L1-6	medel	ingen	ingen
AS-ED+ L1-6	medel	låg	ingen
MBBR	låg	hög	medel
AS L9-10	mycket låg	ingen	låg
AS-ED L9-11	mycket låg	låg	låg
AS-ED+ L9-11	låg	hög	låg
AS-ED++ L9-11	hög	hög	låg

4.4 Visualisering av resultat

Resultaten visualiseras i figurer där staplarnas höjd anger den totala kväveringskapaciteten i reningsverket, den gråsvarta linjen anger inkommande kvävebelastning till Käppalaverket enligt prognos (Belastningsprognos 2024–2050 Rev. D, Käppalaförbundet 2024-01-04) och den röda linjen visar om rejektvattenrening är i drift (1) eller inte (0). I de fall då staplarna är högre än den gråsvarta linjen har reningsprocessen överkapacitet. Generellt sett har utbyggnaden skjutits så långt fram i tiden som möjligt för att visualisera när en åtgärd senast behöver göras. I verkligheten skulle det kunna vara mer praktiskt att göra en åtgärd tidigare. Staplarna består av fält i olika färg/mönster där varje färg/mönster representerar en linjetyp. I Figur 6 förklaras hur resultatfigurerna ska tolkas.



Figur 6. Förklaring av resultatfigurer

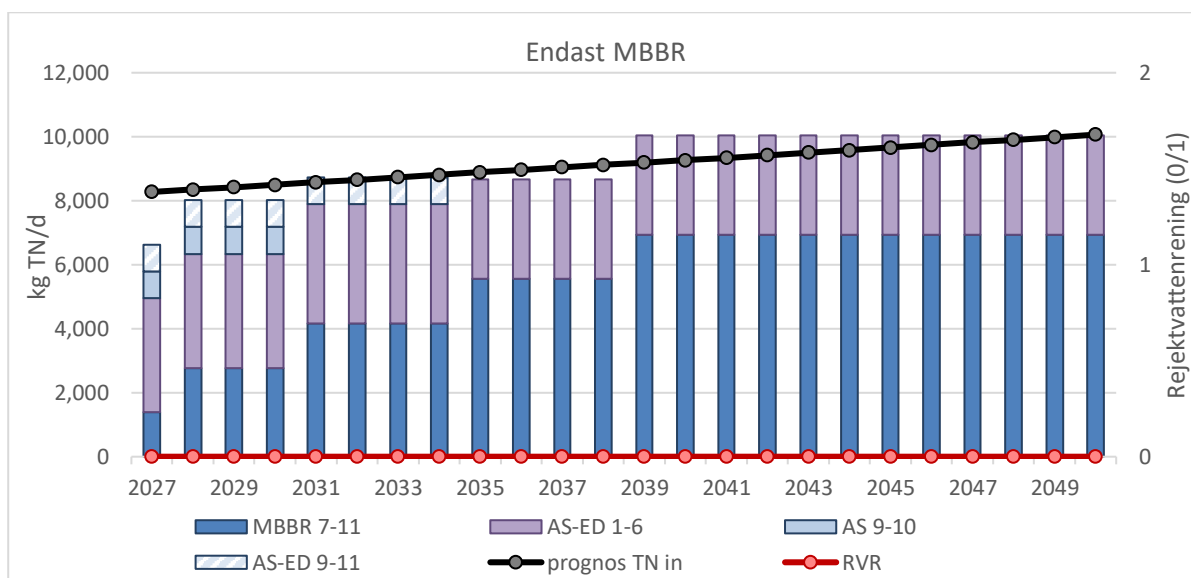
5 Resultat

I detta PM jämförs 5 olika utbyggnadsalternativ för den biologiska reningen på Käppalaverket. Efter den riskworkshop som genomfördes inom uppdraget den 8 maj har ytterligare ett kompletterande alternativ tagits fram och utvärderats, vilket redovisas sist i detta kapitel. Följande alternativ har jämförts:

- Alternativ 0 - Grundalternativet med enbart MBBR och RVR
- Alternativ 1 – Lätta åtgärder i AS (optimering av L1-6 och ED i L0-10) följt av RVR och MBBR. Åtgärder utförs först när de behövs.
- Alternativ 2 - Lätta åtgärder i AS följt av ombyggnation av AS (ingen RVR, ingen MBBR). Åtgärder utförs först när de behövs.
- Alternativ 3a - Lätta åtgärder i AS följt av RVR och ombyggnation av ASL1-6 samt L9-11. Åtgärder utförs först när de behövs.
- Alternativ 3b - Lätta åtgärder i AS följt av RVR och ombyggnation av L9-11 men med mycket gott resultat. Åtgärder utförs först när de behövs.
- Kompletterande alternativ - Lätta åtgärder i AS följt av RVR så fort som möjligt och därefter MBBR (a) eller ombyggd AS i L9-11 (b) så långt fram som möjligt.

Samtliga alternativ visar på problem att klara de nya utsläppskraven under år 2027–2028.

Som nollalternativ har en utbyggnad som i huvudsak baseras på MBBR valts då detta var den tidigare huvudlinjen för utbyggnad. Eftersom MBBR som enda åtgärd inte ger kapacitet nog att behandla den inkommande kvävemängden vid flera tillfällen fram till 2050, se Figur 7, så ingår även rejektivattenrening i nollalternativet för att göra det till ett realistiskt alternativ.



Figur 7. Utbyggnadsalternativ med enbart MBBR i Linje 9–11.

Alternativ 1 liknar nollalternativet men här utförs lätta åtgärder i aktivslamlinjerna, dvs optimering i linje 1–6 och efterdenitrifikation i Linje 10, innan rejektvattenrening införs och fler MBBR-linjer byggs.

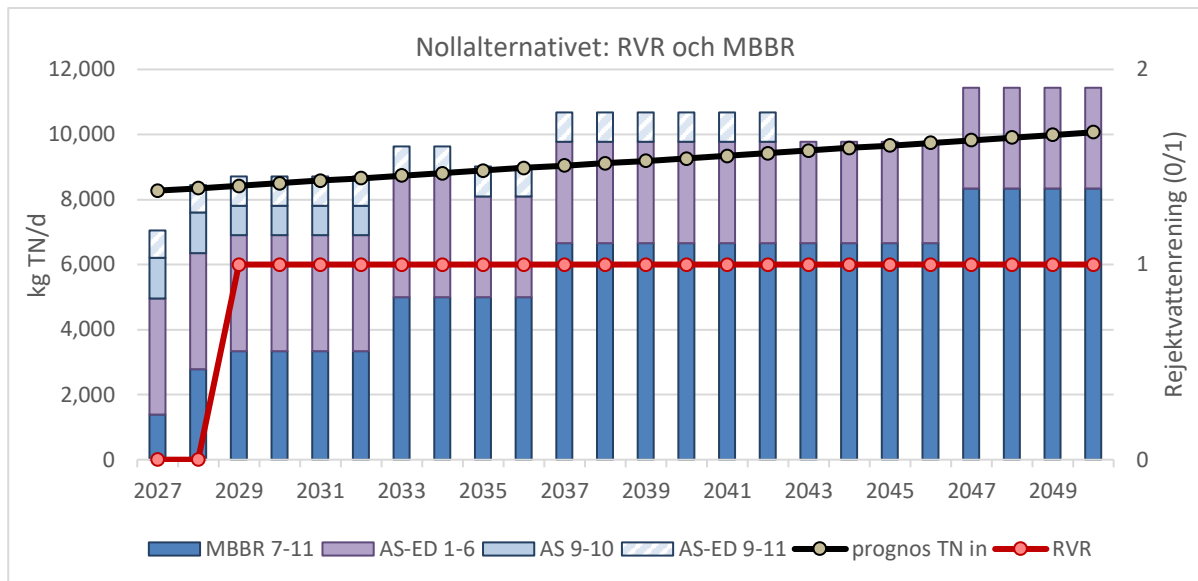
I alternativ 2 byggs inga fler linjer om till MBBR utöver Linje 7–8 och i stället görs åtgärder i flera steg i aktivslamlinjerna i både gamla och nya verket.

I alternativ 3a och b byggs inte heller fler MBBR-linjer utan fokus ligger även här på att förbättra aktivslamlinjerna, men till skillnad från alternativ 2 byggs det i dessa alternativ rejektvattenrening. Skillnaden mellan a och b är att i det förstnämnda byggs Linje 1–6 om och därefter byggs linje 9–11 om medan i det sistnämnda byggs enbart Linje 9–11 om men med ett mycket bra resultat. Samtliga utbyggnadsalternativ beskrivs i mer detalj i efterföljande kapitel.

Det kompletterande alternativet, som tillkom efter riskworkshopen, innebär att de lätta åtgärderna i AS-linjerna genomförs parallellt med färdigställande och driftsättning av MBBR-linje 8 och att rejektvattenreningen börjar byggas direkt efter de lätta åtgärderna. Läkemedelsreningen ska vara i drift år 2033 och har en byggtid på 3 år vilket innebär att Linje 1 tas ur drift 2030. Syftet med detta alternativ är att se när ett beslut om utbyggnad av Linje 9 senast måste fattas. Därför har det alternativ som har längst byggtid, MBBR, ansatts som nästföljande åtgärd för att öka kapaciteten (tillkommande alternativ a). För att se när beslut måste fattas om att bygga om en aktivslamlinje i nya verket har även detta utretts (kompletterande alternativ b).

5.1 Nollalternativ – endast MBBR och RVR

Detta utbyggnadsalternativ innebär att inga åtgärder görs i de gamla aktivslamlinjerna, Linje 1–6, och att fokus ligger på att bygga om linjer i nya verket, Linje 7–11, till MBBR. För att detta ska vara ett realistiskt alternativ behöver en rejektvattenrening byggas i ett tidigt skede. Införandet av en rejektvattenrening ger, som nämnts i kapitel 4.1 ovan, en stor effekt på hur mycket inkommande belastning som MBBR-linjerna kan rena och i detta alternativ blir det en nyckel till att inkommande belastningsökning ska kunna hanteras över tid.



Figur 8. Kväverenskapskapacitet i det biologiska reningssteget i nollalternativet.

I Figur 8 framgår när de olika åtgärderna genomförs i linjen vilket även förtydligas i Tabell 4. Rejektvattenreningen måste tas i drift redan 2029 vilket innebär att den måste börja byggas redan år 2027. År 2029 behöver även Linje 9 ställas av för att byggas om till MBBR. Samtidigt som Linje 9 tas i drift igen år 2033 ställs Linje 10 av för ombyggnad för att tas i drift igen år 2037. Däremellan, år 2035, tas Linje 1 ur drift för att byggas om till läkemedelsreningsanläggning (klar 2039). Den sista linjen i nya verket behöver inte börja byggas om förrän år 2043. År 2050 har reningsverket en relativt stor överkapacitet vilket gör att vidare utbyggnationer inte behöver göras direkt.

Då Linje 9–10 aldrig byggs om med efterdenitrifikation blir kapaciteten i de övriga linjerna något lägre (för att kompensera för det högre kväveutsläppet från dessa linjer) fram till år 2031 då Linje 10 tas ur drift.

I detta alternativ pågår något typ av ombyggnad i anläggningen hela tiden fram till dess att den fjärde MBBR-linjen tas i drift år 2037, då utbyggnaden pausar fram till år 2043. Erfarenheter från drift av Linje 7 (tas i drift 2027) kan eventuellt fångas upp till ombyggnationen av Linje 9 som påbörjas 2029 och definitivt till Linje 10 som börjar byggas om år 2033. Initialt finns 5 olika processtyper för biologisk rening i vattenlinjen (AS-ED L1-6, AS L9, AS-ED L11, MBBR L7-8 och RVR) och när utbyggnaden är klar finns det enbart 3 olika typer kvar (AS-ED L1-6, MBBR och RVR). De icke-biologiska reningsstegen förbehandling, filtrering, läkemedelsrening, högflödesrening samt biologisk behandling i slamlinjen finns med i alla alternativen och räknas därför inte in här.

Om kapaciteten i MBBR-linjerna visar sig vara högre än vad som förutsatts i denna utredning vid utvärdering av drift i Linje 7 finns möjligheten att skjuta bygget av Linje 10–11 längre fram i tiden. Det är sannolikt att informationen kommer komma för sent för att hinna skjuta på Linje 9.

Tabell 4. Specifikation av byggåtgärder i nollalternativet. RVR = rejektvattenrening

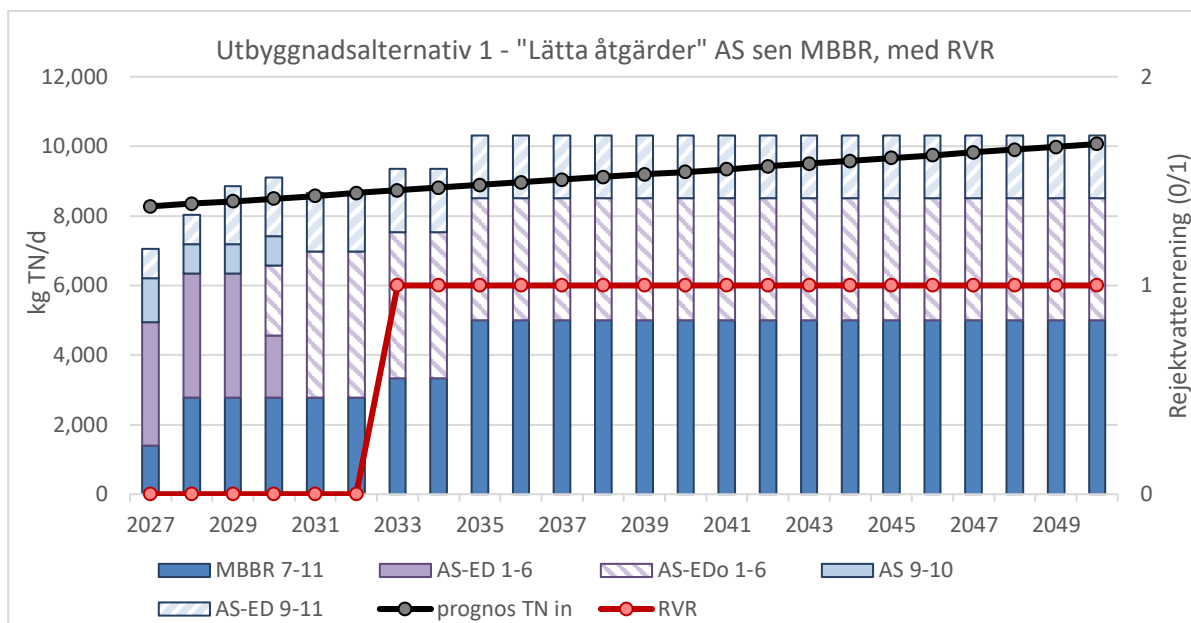
År	Gamla blocket	Nya blocket	RVR
2027	6 AS-ED linjer i drift	1 MBBR-linje i drift en linje byggs om till MBBR AS-linje 10 i drift, utan ED AS-ED i linje 11 i drift	Nej
2028	6 AS-ED linjer i drift	2 MBBR-linjer i drift AS-linje 9–10 i drift, utan ED AS-ED i linje 11 i drift	Nej
2029	6 AS-ED linjer i drift	2 MBBR-linjer i drift en linje byggs om till MBBR AS-linje 10 i drift, utan ED AS-ED i linje 11 i drift	Ja
2033	6 AS-ED linjer i drift	3 MBBR-linjer i drift en linje byggs om till MBBR AS-ED i linje 11 i drift	Ja
2035	5 AS-ED linjer i drift 1 linje ur drift för läkemedelsrening	3 MBBR-linjer i drift en linje byggs om till MBBR AS-ED i linje 11 i drift	Ja
2037	5 AS-ED linjer i drift 1 linje ur drift för läkemedelsrening	4 MBBR-linjer i drift AS-ED i linje 11 i drift	Ja
2039	5 AS-ED linjer i drift 1 linje i drift <u>med</u> läkemedelsrening	4 MBBR-linjer i drift AS-ED i linje 11 i drift	Ja
2043	5 AS-ED linjer i drift 1 linje i drift med läkemedelsrening	4 MBBR-linjer i drift en linje byggs om till MBBR	Ja
2047	5 AS-ED linjer i drift 1 linje i drift med läkemedelsrening	5 MBBR-linjer i drift	Ja

De två risker, utifrån de som identifierats i Tabell 3, som berör detta utbyggnadsalternativ är risken för att ombyggnationen till MBBR tar längre tid än de 4 år per linje som förutsatts och att effekten av rejektvattenreningen inte blir så stor som ansatts. Om Linje 9–11 tar 5 år att bygga per linje i stället för fyra kommer linje 9 tas i drift ett år senare än planerat och Linje 10 två år senare (den totala kapaciteten blir för låg om Linje 10 tas ur drift innan Linje 9 är i drift). Därmed blir det problem med kapaciteten både år 2033 och 2037–2038. Om effekten av rejektvattenrening blir 25% mindre än ansatt i nya verkets linjer måste ombyggnationen av Linje 9 tidigareläggas två år och kapaciteten år 2050 kommer inte matcha inkommande belastning.

Ett sätt att täcka upp för den saknade kapaciteten i detta fall skulle kunna vara att optimera och/eller bygga ut Linje 1–6. Teoretiskt skulle reningskapaciteten kunna ökas med ytterligare 700 kg TN/d genom dessa åtgärder vilket mer än väl kompenserar en längre byggtid. Det ger även möjlighet att relativt snabbt öka kapaciteten i reningsverket om belastningsprognosen förändras mot en snabbare ökning.

5.2 Utbyggnadsalternativ 1

Alternativ 1 liknar nollalternativet men här utförs lätta åtgärder i aktivslamlinjerna, dvs optimering i linje 1–6 och efterdenitrifikation i Linje 10, innan rejektivattenrening införs och fler MBBR-linjer byggs.



Figur 9. Kväverenskapskapacitet i det biologiska reningssteget i utbyggnadsalternativ 1.

Inga större byggåtgärder görs innan både Linje 7 och Linje 8 är tagna i drift eftersom det bedöms som troligt att Käppalas projektorganisation kommer vara fullt upptagna med MBBR-linjerna fram till driftsättning. År 2028, då driftsättning av Linje 8 sker byggs dock Linje 10 om med efterdenitrifikation (AS-ED). Linje 9 byggs inte om med ED då den kommer byggas om till MBBR inom en nära framtid och i den processen kommer hela linjens innanmäte rivas och byggas om.

År 2030 sker optimering av aktivslamlinje 1–6 (AS-EDo) vilket inte innebär någon nedstängning av linjerna. År 2031 tas Linje 9 ur drift för att byggas om till MBBR. Samma år påbörjas bygget av en rejektivattenrening som tas i drift 2033. År 2035 tas MBBR-processen i Linje 9 i drift. Därefter räcker den utbyggda kapaciteten fram till år 2050.

Då Linje 10 aldrig byggs om med efterdenitrifikation i aktivslamlinjen (AS-ED) blir kapaciteten i de övriga linjerna något lägre (för att kompensera för det högre kväveutsläppet från dessa linjer) fram till år 2031 då Linje 10 tas ur drift.

I detta alternativ pågår något typ av ombyggnad eller optimering i anläggningen hela tiden (utom en paus år 2029) fram till 2039. Erfarenheter från drift av Linje 7 (tas i drift 2027) kan fångas upp redan till ombyggnationen av Linje 9 som påbörjas 2031. Om kapaciteten i MBBR-linjerna visar sig vara högre än vad som förutsatts i denna utredning finns möjligheten att skjuta bygget av Linje 9 längre fram i tiden. För detta alternativ kommer det under kortare perioder finnas upp till 5 olika processlösningar i drift samtidigt på

reningsverket (AS-ED och AS-EDo i L1-6 samt AS, AS-ED och MBBR i L7-11). Från år 2034 och framåt kommer 4 olika processlösningar för biologisk rening av vatten vara i drift (AS-EDo i Linje 1-6, AS-ED och MBBR i L7-11 samt RVR).

Tabell 5. Specifikation av byggåtgärder i Utbyggnadsalternativ 1. RVR = Rejektivattenrening

År	Gamla blocket	Nya blocket	RVR
2027	6 AS-ED linjer i drift	1 MBBR-linje i drift en linje byggs om till MBBR AS-linje 9–10 i drift, utan ED AS-ED i linje 11 i drift	Nej
2028	6 AS-ED linjer i drift	2 MBBR-linjer i drift AS-linje 9 i drift, utan ED Linje 10 byggs om till AS-ED AS-ED i linje 11 i drift	Nej
2029	6 AS-ED linjer i drift	2 MBBR-linjer i drift AS-linje 9 i drift, utan ED 2 AS-ED i linje 10–11 i drift	Nej
2030	6 AS-ED linjer optimeras	2 MBBR-linjer i drift AS-linje 9 i drift, utan ED 2 AS-ED i linje 10–11 i drift	Nej
2031	6 AS-EDo linjer i drift	2 MBBR-linje i drift en linje byggs om till MBBR AS-ED i linje 10–11 i drift	Nej
2033	6 AS-EDo linjer i drift	2 MBBR-linje i drift en linje byggs om till MBBR AS-ED i linje 10–11 i drift	Ja
2035	5 AS-ED linjer i drift 1 linje ur drift för läkemedelsrening	3 MBBR-linjer i drift AS-ED i linje 11 i drift	Ja
2039	5 AS-ED linjer i drift 1 linje i drift med läkemedelsrening	3 MBBR-linjer i drift AS-ED i linje 11 i drift	Ja

De risker som identifierats som relevanta (Tabell 3) för detta utbyggnadsalternativ är risken för lägre kapacitet i Linje 1–6 efter optimering (AS-EDo), risken för längre byggtid för MBBR och risken att effekten av att införa en rejektivattenrening inte blir så stor som förväntat på MBBR-linjerna.

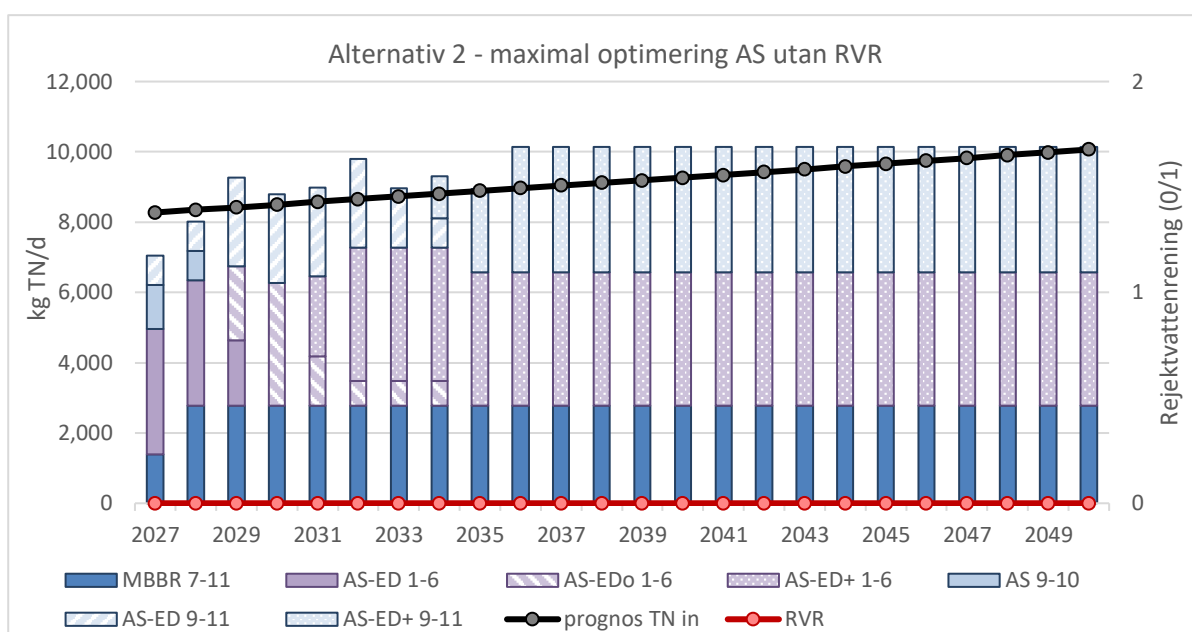
Om kapaciteten i Linje 1–6 ligger kvar på 620 kg TN/d efter optimering i stället för att öka till 700 kg TN/d kommer reningsverkets totala kapacitet inte räcka år 2031–2032 samt år 2049–2050. Eftersom uppgraderingen i detta fall antas genomföras år 2030 kommer inga andra kapacitetshöjande åtgärder hinna genomföras för att förhindra detta. I stället kan Käppala överväga att genomföra optimeringen av Linje 1–6 så tidigt som möjligt för att få tid att utvärdera och planera om utbyggnaden om önskat resultat inte uppnås. Om t.ex. optimeringen genomförs år 2027 och resultaten uteblir kan bygget av RVR tidigareläggas med två år eller så kan ombyggnation av Linje 2–6 genomföras.

Om byggtiden för MBBR drar över tiden med ett år kommer problem uppstå år 2035 vare sig optimeringen av Linje 1–6 fungerar eller inte. Om effekten av iförandet av en rejektvattenrening bara blir 75% så stor som ansatt kommer kapaciteten fortfarande vara tillräcklig hela tiden fram till år 2050.

Eftersom ingen ombyggnation görs i Linje 2–6 (Linje 1 = läkemedelsrening) och Linje 10–11 finns kvar som icke-optimerade aktivslamlinjer finns möjligheten att öka kapaciteten i reningsverket ytterligare genom att bygga om dessa linjer. Teoretiskt skulle reningskapaciteten kunna ökas med ytterligare 1000–1800 kg TN/d beroende på vilken typ av ombyggnation som görs i Linje 10–11.

5.3 Utbyggnadsalternativ 2

I alternativ 2 byggs inga fler linjer om till MBBR utöver Linje 7–8 och i stället görs åtgärder i flera steg i aktivslamlinjerna i både gamla och nya verket. Rejektvattenrening byggs inte.



Figur 10. Kväverningskapacitet i det biologiska reningssteget i utbyggnadsalternativ 2.

Inga större byggåtgärder görs innan både Linje 7 och Linje 8 är tagna i drift eftersom det bedöms som troligt att Käppalas projektorganisation kommer vara fullt upptagna med MBBR-linjerna fram till driftsättning. År 2028, då driftsättning av Linje 8 sker byggs dock Linje 9–10 om med efterdenitrifikation (AS-ED).

Året efter, 2029, sker optimering av aktivslamlinje 1–6 (AS-EDo) vilket inte innebär någon nedstängning av linjerna. Direkt efter optimeringen, år 2030–2031, görs en utbyggnad av Linje 2–6.

År 2033–2035 byggs Linje 9–11 om till mer effektiva aktivslamprocesser (AS-ED+), en linje i taget. Det är viktigt att alla tre linjer är ombyggda och i drift 2036 för att kapaciteten inte ska bli för låg vilket är fallet om en av linjerna tas ur drift längre fram.

År 2035 tas Linje 1 ur drift för ombyggnation till läkemedelsanläggning. Byggtiden bedöms pågå till 2039.

År 2027–2028 då Linje 9–10 är i drift utan efterdenitrifikation blir kapaciteten i de övriga linjerna något lägre (för att kompensera för det högre kväveutsläppet från dessa linjer) under denna period.

Tabell 6. Specifikation av byggåtgärder i Utbyggnadsalternativ 2. RVR = Rejektvattenrening

År	Gamla blocket	Nya blocket	RVR
2027	6 AS-ED linjer i drift	1 MBBR-linje i drift en linje byggs om till MBBR AS-linje 9–10 i drift, utan ED AS-ED i linje 11 i drift	Nej
2028	6 AS-ED linjer i drift	2 MBBR-linjer i drift Linje 9–10 byggs om till AS-ED AS-ED i linje 11 i drift	Nej
2029	6 AS-ED linjer optimeras	2 MBBR-linjer i drift 3 AS-ED i linje 10–11 i drift	Nej
2030	5 AS-EDo linjer i drift 1 linje byggs om till AS-ED+ (3/år)	2 MBBR-linjer i drift 3 AS-ED i linje 10–11 i drift	Nej
2031	2 AS-Edo i drift 3 AS-ED+ linjer i drift 1 linje byggs om till AS-ED+ (2/år)	2 MBBR-linjer i drift 3 AS-ED i linje 10–11 i drift	Nej
2032	1 AS-EDo linjer i drift 5 AS-ED+ linjer i drift	2 MBBR-linjer i drift 3 AS-ED i linje 10–11 i drift	Nej
2033	1 AS-EDo linjer i drift 5 AS-ED+ linjer i drift	2 MBBR-linjer i drift En linje byggs om till AS-ED+ 2 AS-ED i linje 10–11 i drift	Nej
2034	1 AS-EDo linjer i drift 5 AS-ED+ linjer i drift	2 MBBR-linjer i drift En linje byggs om till AS-ED+ 1 AS-ED i linje 11 i drift 1 AS-ED+ i linje 9 i drift	Nej
2035	5 AS-ED+ linjer i drift 1 linje ur drift för läkemedelsrening	2 MBBR-linjer i drift En linje byggs om till AS-ED+ 2 AS-ED+ i linje 9–10 i drift	Nej
2036	5 AS-ED+ linjer i drift 1 linje ur drift för läkemedelsrening	2 MBBR-linjer i drift 3 AS-ED+ i linje 9–10 i drift	Nej
2039	5 AS-ED linjer i drift 1 linje i drift med läkemedelsrening	2 MBBR-linjer i drift 3 AS-ED+ i linje 9–10 i drift	Nej

I detta alternativ pågår något typ av ombyggnad eller optimering i anläggningen hela tiden (utom en paus år 2032) fram till 2039. De större ombyggnationerna av aktivslamlinje 9–11 påbörjas år 2033 vilket ger Käppala relativt gott om tid att utreda vilka åtgärder som behöver göras och planera dessa väl. Om kapaciteten i AS-ED-linjerna i nya verket (antingen före eller efter ombyggnad) visar sig vara högre än vad som förutsatts i denna utredning finns möjligheten att skjuta bygget av en eller flera av Linje 9–11 längre fram i tiden. Mellan 2027

och 2050 kommer 3–5 olika processlösningar vara i drift samtidigt på reningsverket, där MBBR, AS-ED+ L1-6 och AS-ED+ L9-11 är de tre typer som är i drift från 2033 och framåt.

De största risker som identifierats med detta alternativ baserat på Tabell 3 är att kapaciteten efter ombyggnad av Linje 9–11 till AS-ED+ inte blir så hög som ansatts och att byggtiden för AS-ED+ blir längre än det år som bedömts vara rimligt. Det finns även en risk att optimering och utbyggnad av linje 1–6 inte ger förväntad effekt. Om alla dessa risker faller ut kommer små problem med kapaciteten synas redan år 2030–2031 (till följd av lägre kapacitet i Linje 1–6 än förväntat) för att övergå i stora problem med kapaciteten från år 2033 och framåt. Även om bara en av riskerna faller ut kommer problem uppstå oavsett vilken risk det är som faller ut. Genom att bygga en rejektvattenrening avhjälps en del av problemen men det är inte tillräckligt för att nå inkommande belastning år 2035–2038 samt år 2048–2050. Eftersom ombyggnad av Linje 9 till AS-ED+ ligger relativt långt fram i tiden kan en utredning göras vilket ger en bättre uppskattning av möjlig kapacitetsökning och ger möjlighet till att planera om.

Eftersom alla aktivslamlinjer optimeras och byggs om finns begränsad möjlighet att öka kapaciteten genom åtgärder i biolinjerna ytterligare längre fram i tiden. Däremot finns i detta alternativ möjligheten att bygga en rejektvattenrening för att öka kapaciteten i reningsverket om det skulle behövas. Möjligheter för ytterligare ökad kapacitet kan vara att bygga fler MBBR-linjer, särskilt om linjerna visar sig ha högre kapacitet än vad som förutsatts här, eller att bygga om några aktivslamlinjer till MBR eller med annan teknik.

5.4 Utbyggnadsalternativ 3

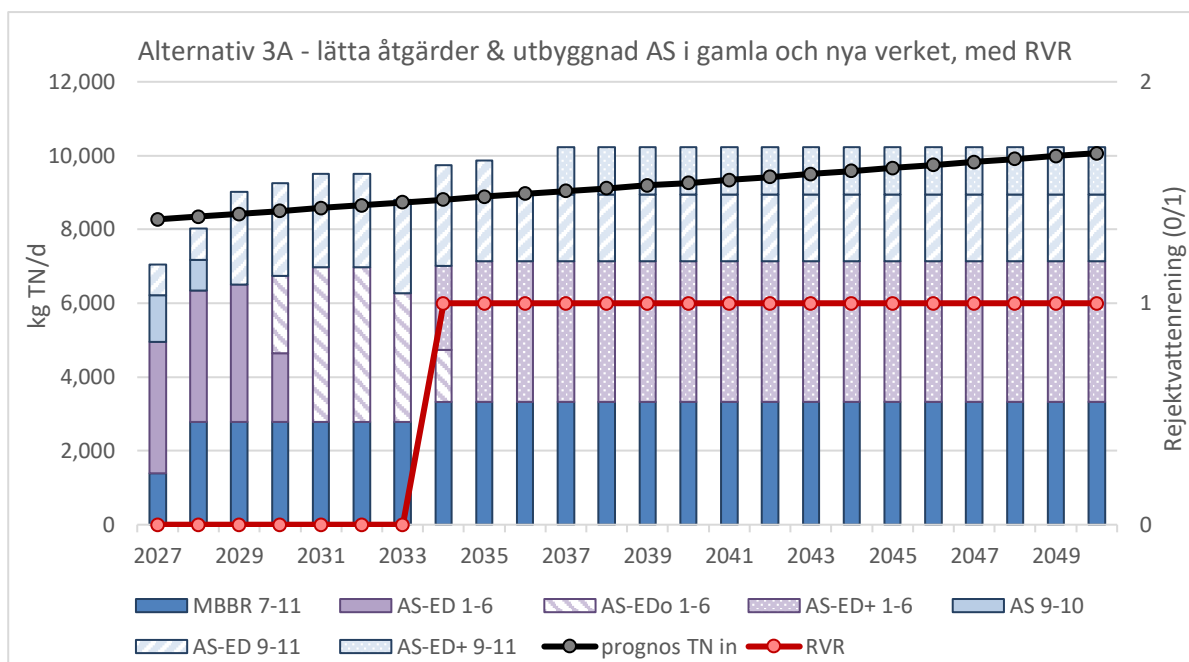
I alternativ 3a och b byggs inte heller fler MBBR-linjer utan fokus ligger även här på att förbättra aktivslamlinjerna, men till skillnad från alternativ 2 byggs det i dessa alternativ rejektvattenrening. Skillnaden mellan a och b är att i det förstnämnda byggs Linje 1–6 om och därefter byggs linje 9–11 om medan i det sistnämnda byggs enbart Linje 9–11 om men med ett mycket bra resultat. Samtliga utbyggnadsalternativ beskrivs i mer detalj i efterföljande kapitel.

Alternativ 3A – optimerad och ombyggd aktivslam med rejektvattenrening:

Liksom i alternativ 1 och 2 görs inga större byggåtgärder innan både Linje 7 och Linje 8 är tagna i drift eftersom det bedöms som troligt att Käppalas projektorganisation kommer vara fullt upptagna med MBBR-linjerna fram till driftsättning. År 2028, då driftsättning av Linje 8 sker byggs dock Linje 9–10 om med efterdenitrifikation (AS-ED). Därefter sker inga byggåtgärder i biolinjerna under fyra år tills det är dags att bygga om Linje 2–6 år 2033–2034.

Under 2030 sker dock optimering av aktivslamlinje 1–6 (AS-EDo) vilket inte innebär någon nedstängning av linjerna. Och år 2032 påbörjas bygget av rejektvattenreningen i en försedimenteringsbassäng för att vara redo att tas i drift år 2034.

År 2035 tas Linje 1 ur drift för ombyggnation till läkemedelsanläggning. Byggtiden bedöms pågå till 2039. År 2036 byggs Linje 9 om till en mer effektiv aktivslamprocess (AS-ED+) för att tas i drift året efter. Därefter behöver inte fler åtgärder göras för att kapaciteten ska vara tillräcklig fram till år 2050.



Figur 11. Kväverenskapskapacitet i det biologiska reningssteget i utbyggnadsalternativ 3A.

I detta alternativ pågår något typ av ombyggnad i anläggningen hela tiden (utom en paus år 2029–2032) fram till 2039. Den större ombyggnationen av aktivslamlinje 9 påbörjas år 2036 vilket ger Käppala gott om tid att utreda vilka åtgärder som behöver göras och planera dessa väl. Om kapaciteten i AS-ED-linjerna i nya verket före ombyggnad visar sig vara högre än vad som förutsatts i denna utredning finns möjligheten att skjuta bygget av Linje 9 längre fram i tiden. Fram till år 2050 kommer 3–5 olika processlösningar för biologisk rening av vatten vara i drift samtidigt. Från 2037 och framåt kommer 5 olika processlösningar behöva drifas (AS-ED+ i L2-6; MBBR, AS-ED och AS-ED+ i L7-11 samt RVR).

De risker som enligt Tabell 3 bör beaktas för detta utbyggnadsalternativ är, liksom i alternativ 2, att optimering och ombyggnad av Linje 1–6 (AS-EDo, AS-ED+) inte ger den kapacitetsökning som ansatts samt att kapaciteten i ombyggda aktivslamlinjer i nya verket (AS-ED+ L9-11) blir lägre än förväntat och/eller att byggtiden för att bygga om linjerna tar längre tid än det år som bedömts vara rimligt. Det finns även en risk att MBBR-linjerna inte kan ta emot så mycket mer inkommande belastning som ansatts när rejektivattenreningen byggs.

Tabell 7. Specifikation av byggåtgärder i Utbyggnadsalternativ 3A. RVR = Rejektivattenrening

År	Gamla blocket	Nya blocket	RVR
2027	6 AS-ED linjer i drift	1 MBBR-linje i drift en linje byggs om till MBBR AS-linje 9–10 i drift, utan ED AS-ED i linje 11 i drift	Nej
2028	6 AS-ED linjer i drift	2 MBBR-linjer i drift Linje 9–10 byggs om till AS-ED AS-ED i linje 11 i drift	Nej
2029	6 AS-ED linjer i drift	2 MBBR-linjer i drift 3 AS-ED i linje 10–11 i drift	Nej
2030	6 AS-ED linjer optimeras	2 MBBR-linjer i drift 3 AS-ED i linje 10–11 i drift	Nej
2031	6 AS-EDo linjer i drift	2 MBBR-linjer i drift 3 AS-ED i linje 10–11 i drift	Nej
2033	5 AS-EDo linjer i drift 1 linje byggs om till AS-ED+ (3/år)	2 MBBR-linjer i drift 3 AS-ED i linje 10–11 i drift	Nej
2034	2 AS-EDo i drift 3 AS-ED+ linjer i drift 1 linje byggs om till AS-ED+ (2/år)	2 MBBR-linjer i drift 3 AS-ED i linje 10–11 i drift	Ja
2035	5 AS-ED+ linjer i drift 1 linje ur drift för läkemedelsrening	2 MBBR-linjer i drift 3 AS-ED i linje 10–11 i drift	Ja
2036	5 AS-ED+ linjer i drift 1 linje ur drift för läkemedelsrening	2 MBBR-linjer i drift En linje byggs om till AS-ED+ 2 AS-ED i linje 10–11 i drift	Ja
2037	5 AS-ED+ linjer i drift 1 linje ur drift för läkemedelsrening	2 MBBR-linjer i drift 2 AS-ED i linje 10–11 i drift 1 linje i drift som AS-ED+	Ja
2039	5 AS-ED+ linjer i drift 1 linje i drift med läkemedelsrening	2 MBBR-linjer i drift 2 AS-ED i linje 10–11 i drift 1 linje i drift som AS-ED+	Ja

Eftersom bara en aktivslamlinje i nya verket behöver byggas om för att få effektivare AS i detta alternativ blir effekten av lägre kapacitet och längre byggtid för AS-ED+ i Linje 9 begränsad. En lägre kapacitet skulle dock göra att ytterligare en linje i nya verket behöver byggas om till AS-ED+ innan år 2050. Om i stället effekten av optimering och ombyggnad av Linje 1–6 uteblir så uppstår problem 2033 och 2036 och från år 2044 och framåt. Om effekten av rejektivattenreningen blir 25% lägre än förväntat kommer kapaciteten ändå vara tillräcklig för att behandla inkommande belastning utom år 2036 som kan bli problematiskt.

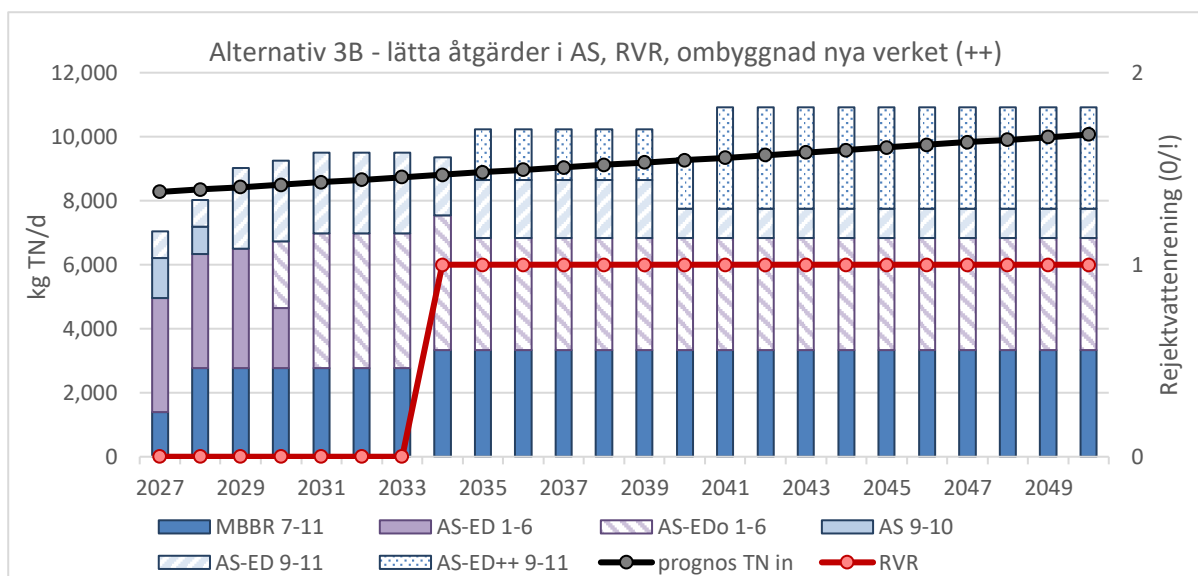
Riskerna kan minimeras genom att t.ex. tidigarelägga optimeringen av Linje 1–6 (AS-EDo) vilket ger tid att utvärdera processen och sätta in andra åtgärder om effekten uteblir; så som att tidigarelägga bygget av rejektivattenrening. Eftersom ombyggnad av Linje 9 till AS-ED+ ligger relativt långt fram i tiden hinner en utredning göras om ombyggnation av aktivslamlinjerna i nya verket vilket ger en bättre uppskattning av möjlig kapacitetsökning.

Möjligheten att öka kapaciteten ytterligare är god med tanke på att Linje 10–11 och Linje 1–6 inte byggts om. Teoretiskt skulle reningskapaciteten kunna ökas med ytterligare 1650 kg TN/d vid ombyggnad av samtliga aktivslamlinjer till mer effektiva AS-processlösningar. Dessa åtgärder innebär ytterligare 16% ökning av kväveringskapaciteten.

Alternativ 3B – optimerad och ombyggd aktivslam i nya verket med rejektvattenrening:

Liksom i alternativ 1 och 2 görs inga större byggåtgärder innan både Linje 7 och Linje 8 är tagna i drift eftersom det bedöms som troligt att Käppalas projektorganisation kommer vara fullt upptagna med MBBR-linjerna fram till driftsättning. År 2028, då driftsättning av Linje 8 sker byggs dock Linje 9–10 om med efterdenitrifikation (AS-ED). Året efter optimeras Linje 1–6.

Mellan år 2028 och 2034 görs inga ombyggnationer i biolinjerna men en rejektvattenrening byggs i en försedimenteringsbassäng under 2032–2033 för att vara redo att tas i drift år 2034. Samma år, 2034, tas Linje 9 ur drift för att under ett års tid byggas om till en mer effektiv kväveringsprocess, där resultatet av ombyggnationen blir mycket bra (AS-ED++). Året efter, 2035, tas Linje 1 permanent ur drift för att byggas om till läkemedelsrening (klar 2039). Ytterligare en linje i nya verket, Linje 10, byggs om för mer effektiv kvävering år 2040 och tas i drift år 2041. Därefter behöver inte fler åtgärder göras för att kapaciteten ska vara tillräcklig fram till år 2050.



Figur 12. Kväveringskapacitet i det biologiska reningssteget i utbyggnadsalternativ 3B.

I detta alternativ görs en paus i byggåtgärder i biolinjerna mellan 2028 och 2034 och mellan 2028 och 2032 byggs ingenting alls, även om optimering genomförs år 2029. Detta ger projektorganisationen ett andrum och en möjlighet att i lugn och ro förbereda kommande utbyggnadssteg. Mellan 2030 och 2033 kommer enbart 3 olika processlösningar för biologisk rening av vatten behöva drifas parallellt men från 2035 och framåt kommer det finnas 5 olika processlösningar på reningsverket (AS-ED+ i L1-6; MBBR, AS-ED och AS-ED+ i L7-11 samt RVR).

Tabell 8. Specifikation av byggåtgärder i utbyggnadsalternativ 3B. RVR = Rejektvattenrening

År	Gamla blocket	Nya blocket	RVR
2027	6 AS-ED linjer i drift	1 MBBR-linje i drift en linje byggs om till MBBR AS-linje 9–10 i drift, utan ED AS-ED i linje 11 i drift	Nej
2028	6 AS-ED linjer i drift	2 MBBR-linjer i drift Linje 9–10 byggs om till AS-ED AS-ED i linje 11 i drift	Nej
2030	6 AS-ED linjer optimeras	2 MBBR-linjer i drift 3 AS-ED i linje 10–11 i drift	Nej
2031	6 AS-EDo linjer i drift	2 MBBR-linjer i drift 3 AS-ED i linje 10–11 i drift	Nej
2034	6 AS-EDo linjer i drift	2 MBBR-linjer i drift 1 linje byggs om till AS-ED++ 2 AS-ED i linje 10–11 i drift	Ja
2035	5 AS-EDo linjer i drift 1 linje ur drift för läkemedelsrening	2 MBBR-linjer i drift 1 AS-ED++ i linje 9 i drift 2 AS-ED i linje 10–11 i drift	Ja
2039	5 AS-EDo linjer i drift 1 linje i drift med läkemedelsrening	2 MBBR-linjer i drift 1 AS-ED++ i linje 9 i drift 2 AS-ED i linje 10–11 i drift	Ja
2040	5 AS-EDo linjer i drift 1 linje i drift med läkemedelsrening	2 MBBR-linjer i drift 1 linje byggs om till AS-ED++ 1 AS-ED++ i linje 9 i drift 1 AS-ED i linje 10–11 i drift	Ja
2041	5 AS-EDo linjer i drift 1 linje i drift med läkemedelsrening	2 MBBR-linjer i drift 2 AS-ED++ i linje 9 i drift 1 AS-ED i linje 10–11 i drift	Ja

Risker som enligt Tabell 3 behöver beaktas för detta utbyggnadsalternativ är att förväntad kapacitet inte uppnås aktivslamlinjerna i gamla och nya verket efter optimering och ombyggnad (AS-EDo L1-6, AS-ED+ L9-11), att byggtiden för AS-ED+ i nya verket tar längre tid än vad som förutsatts i denna utredning samt att rejektvattenreningen inte ger den effekt som räknats fram i MBBR-linjerna.

Om kapaciteten i Linje 1–6 inte ökas efter optimering kommer problem uppstå först 2038. Om i stället kapaciteten i L9-11 inte ökas alls efter ombyggnad uppstår problem när den andra AS-ED linjen tas ur drift för ombyggnad till AS-ED+ år 2040 och från 2045 framåt kommer inte kapaciteten upp i det som krävs för att hantera inkommande belastning. Om kapaciteten inte ökar efter optimering/ombyggnad i aktivslamlinjerna i vare sig gamla eller nya verket uppnås inte önskad kapacitet från år 2040 framåt. Om ombyggnaden av aktivslam tar 2 år i stället för ett år kommer reningsverket få svårt att klara inkommande belastning under det andra byggåret. Om införandet av rejektvattenrening enbart ger 75% av den förväntade effekten kommer kapaciteten ändå räcka till fram till år 2050 med undantag för år

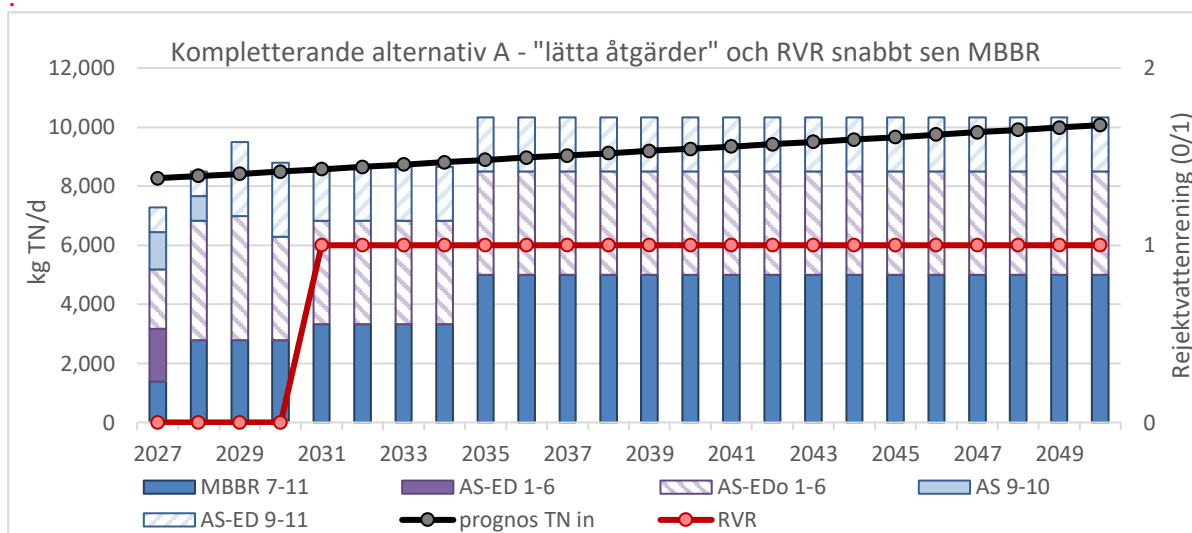
2040 då kapaciteten blir lite för låg. Om alla risker faller ut kommer kapaciteten vara otillräcklig från år 2037 och framåt.

Möjligheten att öka kapacitet ytterligare är god med tanke på att Linje 11 och Linje 1–6 inte byggts om. Teoretiskt skulle reningskapaciteten kunna ökas med ytterligare ca 1000 kg TN/d vid ombyggnad av samtliga aktivslamlinjer till mer effektiva AS-processlösningar. Dessa åtgärder innebär ytterligare 10% ökning av kväverenkinskapaciteten.

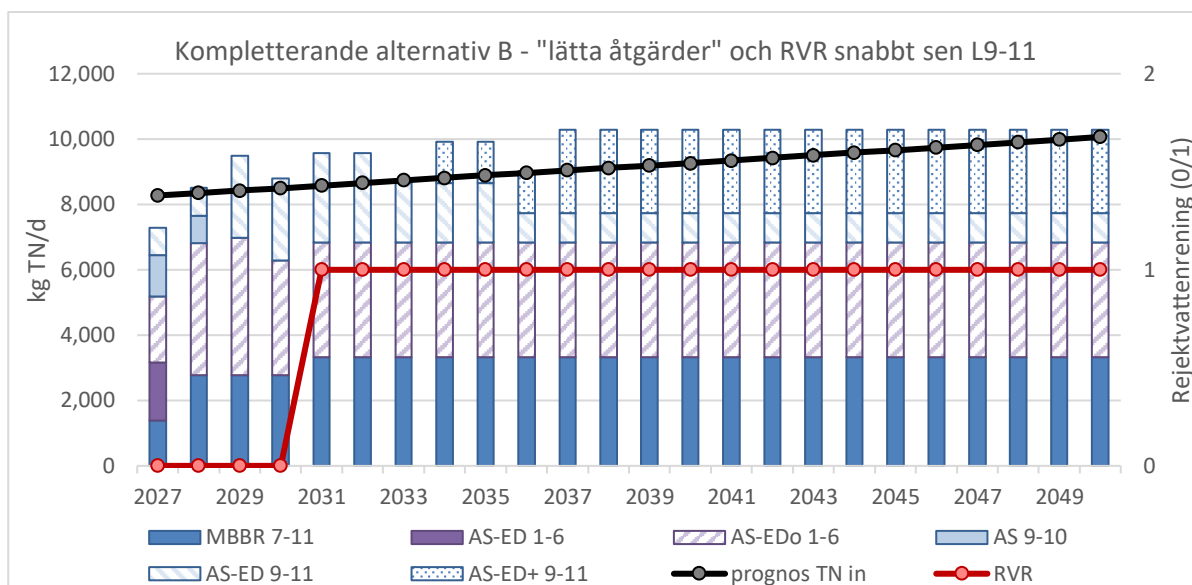
5.5 Kompletterande utbyggnadsalternativ

I det kompletterande alternativet förutsätts att de lätta åtgärderna kan genomföras parallellt med att MBBR-linjer byggs och driftsätts. Optimering av Linje 1–6 genomförs år 2027 och ombyggnation av Linje 9–10 med efterdenitrifikation genomförs år 2028. År 2029 påbörjar arbetet med rejektivattenreningen som därmed är i drift 2031. Linje 1 tas ur drift för att byggas om till läkemedelsreningsanläggning år 2030. Under dessa förutsättningar måste Linje 9 stängas ner för ombyggnation till MBBR år 2031, se Figur 13. Då räcker kapaciteten alla år utom 2034 (och 2027) då kväverenkinskapaciteten inte riktigt når inkommande belastning. En tidigare nedstängning av en linje är svårt eftersom rejektivattenreningen inte tas i drift förrän 2031 och kapaciteten år 2030 blir för låg om nedstängning sker tidigare. Detta kan lösas om rejektivattenreningen färdigställs ett år tidigare. Efter att Linje 9 tagits i drift med MBBR behövs ingen mer utbyggnad för att klara kapaciteten fram till år 2050.

Om Linje 9 i stället byggs om till en mer effektiv aktivslamanläggning (AS-ED+) så behöver linjen inte stängas ner förrän år 2033, se Figur 14. Den nödvändiga kväverenkinskapaciteten uppnås därmed samtliga år (utom 2027). År 2036 måste ytterligare en linje, Linje 10 eller 11, stängas ner för ombyggnad till mer effektiv aktivslamprocess för att kväverenkinskapaciteten ska vara tillräcklig fram till år 2050.



Figur 13. Kväverenkinskapacitet i det biologiska reningssteget i det kompletterande utbyggnadsalternativet med MBBR (a).



Figur 14. Kväverenskapskapacitet i det biologiska reningssteget i det kompletterande utbyggnadsalternativet med AS-ED+ i L9-11 (b).

Om Linje 1–6 byggs om för ökad kapacitet (AS-ED+) direkt efter att rejektivattenreningen är klar så kan bygget av en ny MBBR-linje (eller AS-linje i nya verket) skjutas ett år framåt i tiden.

Kapaciteten på aktivslamlinjerna i nya verket är ansatt till relativt låga värden (AS och AS-ED) och det är inte osannolikt att de har en lite högre kapacitet i verkligheten. För att utbyggnad av en tredje MBBR-linje, och därmed även beslut om utbyggnad, ska kunna skjutas ett respektive två år framåt i tiden behöver kapaciteten vara 13% respektive 18% högre än den antagna siffran på 910 kg/d (värde med rejektivattenrening).

På samma sätt finns en chans att MBBR-linjerna ger en lite högre kapacitet än vad som räknats fram. För att utbyggnad av en tredje MBBR-linje, och därmed även beslut om utbyggnad, ska kunna skjutas ett respektive två år framåt i tiden behöver kapaciteten vara 7,5% respektive 10% högre än den antagna siffran på 910 kg/d (värde med rejektivattenrening).

Om båda linjetyperna visar sig ha en lite högre kapacitet än vad som antagits i denna utredning innebär det att beslutet om vad som blir nästa utbyggnadssteg kan skjutas 1–2 år framåt i tiden. Då MBBR-processen i Linje 7 tas i drift 2027 och aktivslamlinjerna redan idag belastas hårdare än de gjort tidigare finns goda möjligheter att få svar på hur stor den faktiska kapaciteten är i linjetyperna innan beslut måste fattas.

I detta kompletterande alternativ har det förutsatts att Käppala ska vara ett av de 3 reningsverk som ska ha infört läkemedelsrening redan år 2033. Om kravet i stället kommer först år 2039 och byggtiden står fast vid 3 år så tas Linje 1 ur drift år 2036 istället för år 2030. Detta skulle medföra att bygget av MBBR-linjen kan skjutas ett år framåt i tiden samtidigt som kapaciteten skulle vara tillräcklig samtliga år, även år 2034 då kapacitetsbehovet inte kunde mötas i ursprungsversionen (kompletterande alternativ a).

6 Diskussion

Det finns goda möjligheter för Käppalaverket att klara den framtida kapaciteten utan att bygga fler MBBR-linjer. Potentialen hos de aktivslamlinjer som finns i reningsverket bedöms inte vara fullt utnyttjade och stora möjligheter till att öka kapaciteten genom ombyggnad och optimering finns.

Genomförandet av ”Lätta åtgärder” i aktivslamlinjerna så tidigt som möjligt ger lite andrum för projektorganisationen innan nästa större åtgärd behöver påbörjas. Med ”lätta åtgärder” avses här att bygga efterdenitrifikation i Linje 9–10 och att optimera driften i Linje 1–6:

- I de fall som Linje 9–10 inte ska byggas om till MBBR-linjer finns stora fördelar med att bygga om dessa linjer med efterdenitrifikation och dosering av extern kolkälla så fort som möjligt för att säkerställa att samtliga linjer har möjlighet att klara produktionsmålet för kväve.
- Även optimering av Linje 1–6, dvs processoptimering och uppdatering av processtyrningen, kan med fördel göras så snart som möjligt då detta inte innebär någon nedstängning av linjerna samtidigt som det finns potential att öka kapaciteten i linjerna något.

Anläggandet av en rejektvattenrening ökar också kapaciteten på reningsverket och det gör att de åtgärder i biolinjerna som kräver nedstängning av linjer och därmed en temporär minskning av kapaciteten kan skjutas framåt i tiden.

Det alternativ som bedöms ha högst potential bland de som presenterats ovan är alternativ 3. Genom att utföra de ”lätta åtgärderna” i aktivslamlinjerna och bygga en rejektvattenrening kan tillräcklig kapacitet uppnås för att ha gott om tid att utreda vilket nästa steg i utbyggnaden bör vara. En viktig punkt i detta arbete är att titta på hur linje 9–11 bäst byggs om och vilken kapacitetsökning det skulle kunna medföra. För att minimera risken att önskad kapacitet inte uppnås i reningsverket i varje tidpunkt bör optimering av Linje 1–6, en åtgärd som inte kräver någon direkt ombyggnation utföras så snart som möjligt. Ombyggnad Linje 9–11 för att erhålla efterdenitrifikation kan med fördel också genomföras så snart som möjligt.

Det bör även påpekas att en förutsättning för att kunna utnyttja den kapacitet som finns är att flödet till de olika biolinjerna (gamla respektive nya verket) kan styras aktivt vilket inte är möjligt med dagens utformning av anläggningen.

Det kompletterande alternativet, där läkemedelsrening förutsätts vara i drift år 2033, visar att om de lätta åtgärderna och rejektvattenrening byggs snabbt måste beslut om nästa kapacitetshöjande åtgärd beslutas innan 2031 då en linje behöver stängas ner för att byggas om till MBBR (MBBR blir begränsande för beslut eftersom det har långt byggtid).

Beslutet kan skjutas ett år om antingen Linje 1–6 byggs om till AS-ED+ eller läkemedelsreningen inte behöver vara i drift förrän 2039. Beslutet kan även skjutas 1–2 år framåt om MBBR-linjerna eller aktivslamlinjerna i nya verket (AS och/eller AS-ED) visar sig ha högre kapacitet än vad som antagits i denna utredning, något som inte bedöms vara helt orimligt.

Redundans

Revisionshistorik

Rev.	Datum	Kommentar	Reviderad av
0.1	2022-10-07	Uppdaterad efter Jonas B:s granskning + nytt scenario	Sofia
1.0	2022-11-04	Mindre korrigeringar efter interngranskning	Sofia

Bakgrund

För att klara olika drifhändelser så som maskinhaverier, strömavbrott, styrsystemfel, uteblivna kemleveranser eller processproblem, krävs att avloppsreningsanläggningar utformas med viss redundans. I utbyggnaden av Käppalaverket kommer mycket av den maskinella utrustningen installeras med redundans så maximal kapacitet kan upprätthållas även om t.ex. en pump eller en ventil går sönder. Utöver denna typ av maskinell redundans bör det även finnas redundans i själva reningsprocessen för att säkerställa att t.ex. en linje kan ställas av för planerat underhåll eller akuta åtgärder vid haveri.

För att säkerställa att processen uppfyller utsläppskraven brukar vanligtvis produktionsmål sättas upp. Produktionsmålen är lägre än utsläppshalterna för att skapa marginal som kan nyttjas om processen periodvis går sämre än förväntat. Biologiska processer med aktiv slam eller biofilm är generellt sett robusta och tillförlitliga men då de utgörs av en dynamisk levande kultur beter de sig inte alltid som förväntat och detta måste finnas höjd för i utformningen.

Omfattning

I detta PM utreds möjligheten att utnyttja marginalen mellan produktionsmål och utsläppskrav som processredundans för att säkerställa möjligheten till avställning av enstaka linjer för underhåll. Behovet av avställning av enstaka linjer utreds inte i detta PM men kommer lyftas på en workshop i oktober 2022.

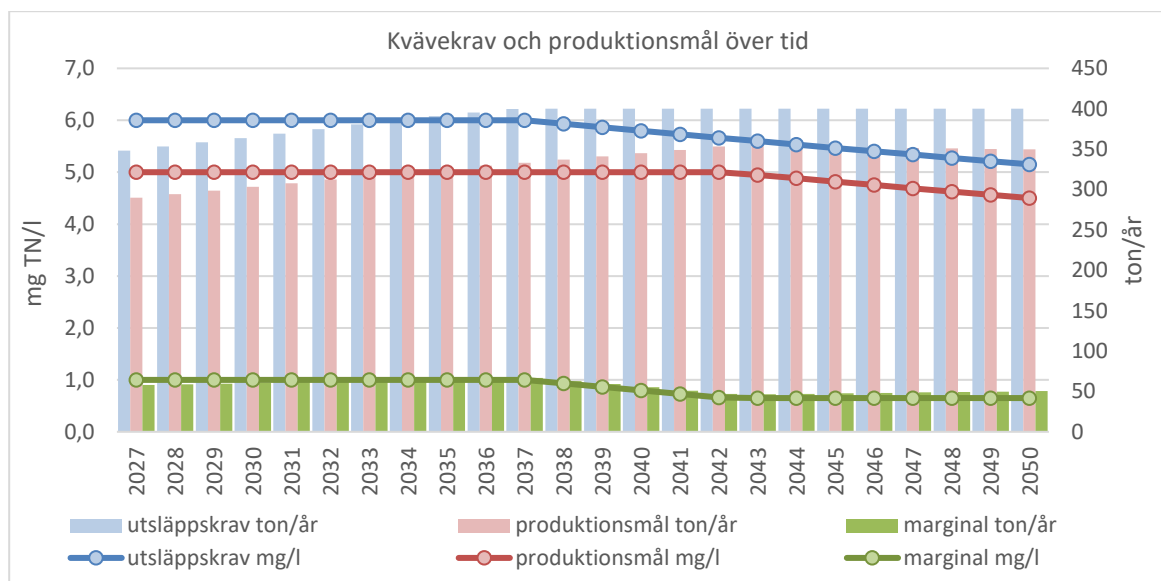
Förutsättningar

Käppalaverkets miljötilstånd gör gällande att utsläppskravet för kväve är 6 mg/l eller 400 ton/år från mitten av 2026. Med prognosticerade flöden så innebär det att utsläppshalten

måste var lägre är 6 mg TN/l redan år 2038, och så lågt som 5,15 mg TN/l år 2050. Produktionsmål för kväve år 2040 och 2050 är ansatta till 5,0 mg/l respektive 4,5 mg/l.

I Figur 1 nedan visas utsläppskrav och produktionsmål som koncentration och mängd från år 2017 till 2050. Även marginalen, dvs skillnaden mellan krav och mål redovisas.

Produktionsmål år 2040, 2045 och 2050 är angivna i dokumentet "Dimensionerande Förutsättningar" (2020-09-30) till 5,0 mg TN/l, 4,8 mg/l och 4,5 mg/l. Utifrån detta har produktionsmål för samtliga år mellan 2027 och 2050 ansatts (Figur 1). Ett produktionsmål under 4,5 mg TN/l bedöms vara mycket svårt att uppfylla då MBBR-processen troligtvis inte kommer kunna nå mycket lägre utgående halter 4,3–4,4 mg TN/l. Detta återstår dock att bekräfta när första MBBR-linjen är i drift.

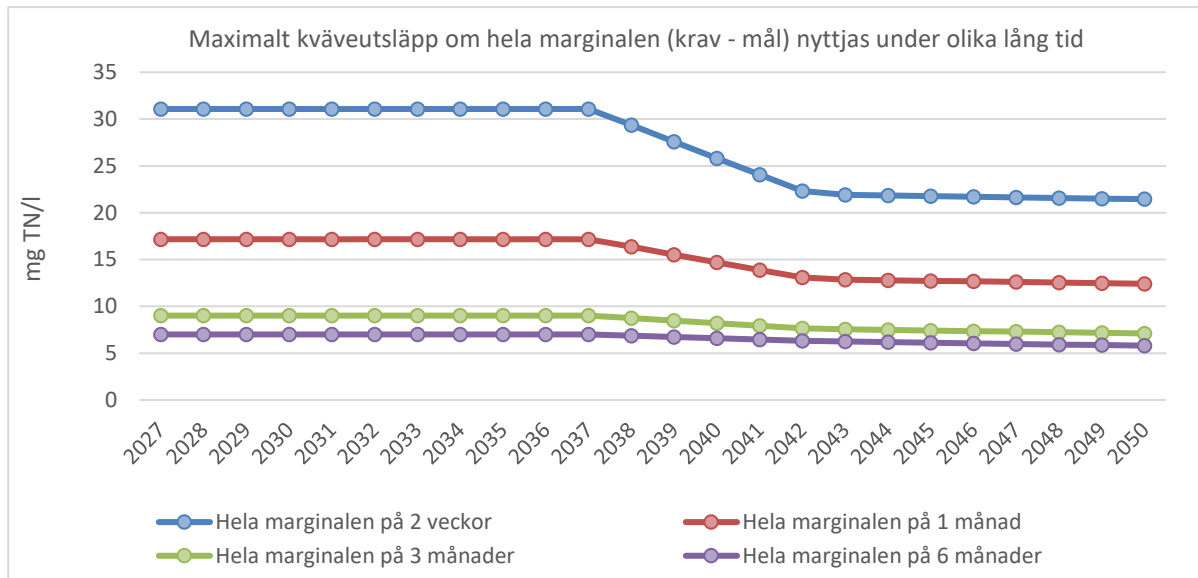


Figur 1. Utsläppskrav, produktionsmål och marginal mellan krav och mål uttryckt som koncentration och årmängd.

I Figur 2 redovisas hur mycket högre kvävekoncentration än produktionsmålet som kan tillåtas släppas ut om hela marginalen (skillnaden mellan utsläppskrav och produktionsmål) för ett år släpps ut under en tidsperiod på mellan 2 veckor och 6 månader.

Till exempel syns i Figur 1 att marginalen för år 2040 är 55 ton per år. Om dessa 55 ton släpps ut under en tvåveckorsperiod kan den utgående kvävehalten uppgå till 31 mg TN/l (produktionsmål 5 mg/l plus marginalen som i detta fall blir 26 mg/l). För samma exempel år 2050 är marginalen endast 50 ton och eftersom det prognosticerade flödet har ökat till år 2050 är den högsta tillåtna halten 21,5 mg TN/l (produktionsmål 4,5 mg/l plus marginalen som i detta fall blir 17 mg/l). Om hela årsmarginalen i stället slås ut på 3 månader kan en halt på 8,2 (5+3,2) mg TN/l släppas ut år 2040 medan siffran för 2050 inte är större än 5,8 (4,5 + 1,3) mg TN/l. Observera att detta förutsätter att all marginal nyttjas vid ett tillfälle, t.ex. en nedstängning av en linje, och att halten under resterande tid ligger på uppsatta produktionsmål. Detta innebär att t.ex. en oväntad kall vinter med ihållande högflöden som

gör att utgående halter ligger över produktionsmålet under några månader förbrukar en del av marginalen och siffrorna som redovisats ovan ser annorlunda ut.

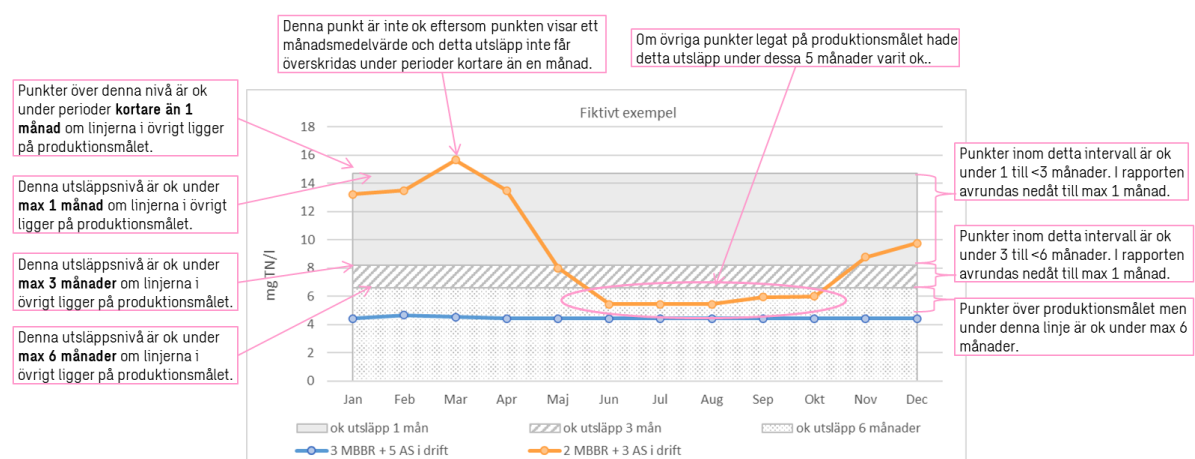


Figur 2. Maximal temporär utgående kvävehalt om hela årets marginal mellan utsläppskrav och produktionsmål slås ut på 2 veckor, 1 månad, 3 månader respektive 6 månader.

Redundansberäkningar

För att klargöra hur långa avställningar av biolinjer som är möjligt i framtiden har processberäkningar baserat på Etapp 1 utförts för vissa scenarier, som exempel på möjliga driftsituationer, där ökad belastning motsvarande en linje lagts på de övriga linjerna för att se hur mycket högre kväveutsläpp som erhålls. Detta har sedan jämförts med marginalen som redovisats ovan. Ett scenario från 2035 med 3 MBBR-linjer i drift finns även redovisat, detta fanns inte med i Etapp 1.

Resultaten för redundansberäkningarna redovisas i diagram. En förklaring till hur diagrammen ska tolkas redovisas i Figur 3 nedan.

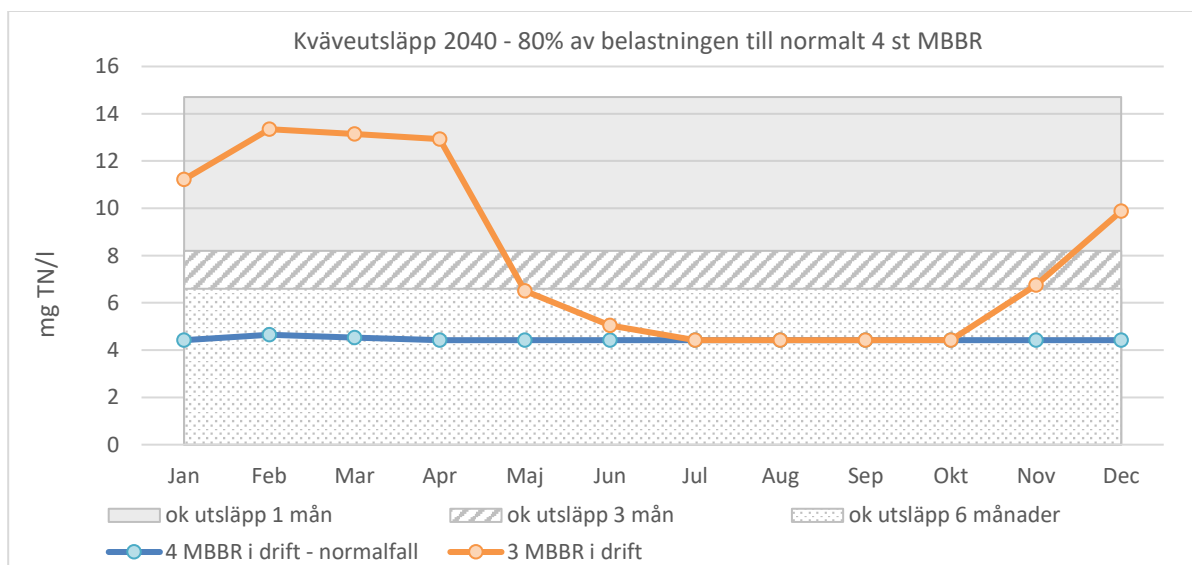


Figur 3. Förklaring till hur resultaten redovisas och tolkas.

Scenario 4: 2040 – 4 MBBR och 5 AS

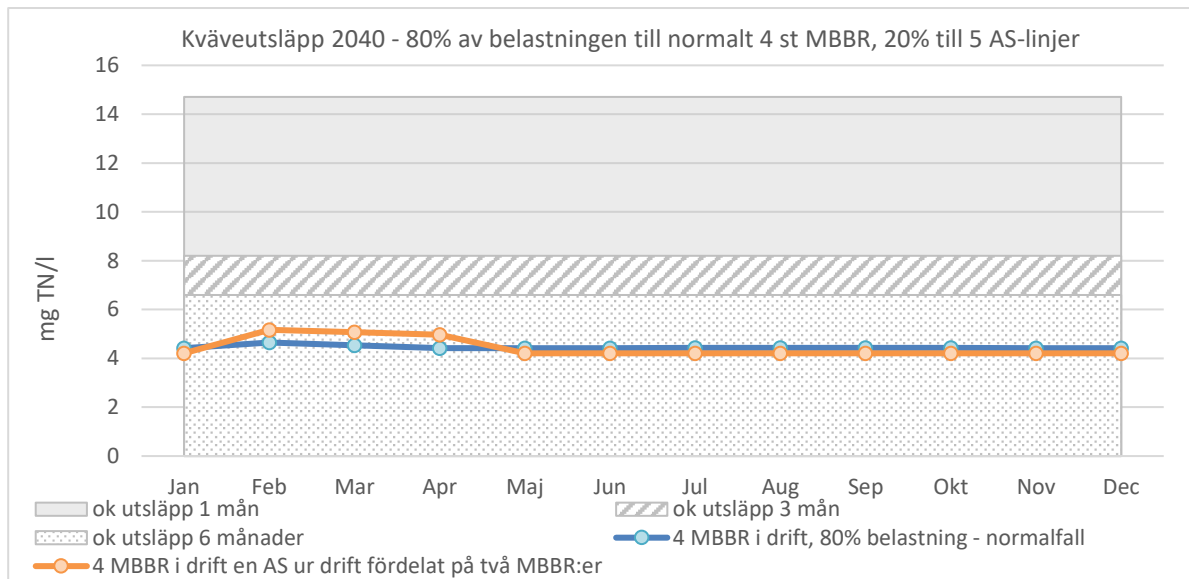
Första exemplet utgörs av Scenario 4 enligt Etapp 1 rapporten, dvs flöde och belastning enligt prognos för år 2040, 4 MBBR-linjer och 5 AS-linjer i gamla delen av verket i drift. Vardera MBBR-Linje tar 20% av inkommande belastning och AS-linjerna tar resterande 20% tillsammans. Utsläppskrav är 5,8 mg/l och produktionsmål är 5,0 mg/l. Maximal utsläppshalt, om hela marginalen som årsmängd släpps ut på en månad är 14,7 mg TN/l, på 3 månader 8,2 mg TN/l och på 6 månader 6,6 mg TN/l. I Figur 4 redovisas utgående kvävehalt från MBBR-linjerna som månadsmedelvärde, dels vid normalbelastning (dvs 20% av totalbelastningen per linje), dels i ett fall då en MBBR-linje stängts ner och flödet fördelats jämnt över de kvarvarande 3 MBBR-linjerna. I ett verkligt driftfall skulle troligtvis även de 5 AS-linjerna belastas hårdare vilket skulle ge något lägre belastning på MBBR-linjerna men för att förenkla beräkningar och redovisning har hela flödet från den avställda linjen antagits gå till övriga MBBR-linjer och enbart utgående halt från MBBR-linjerna redovisas eftersom AS-linjerna har samma belastning och därmed även utsläppsvärden som anges i rapporten för Etapp 1.

Ur Figur 4 framgår att marginalen mellan utsläppskrav och produktionsmål för totalkväve är tillräcklig för att stänga ned en av 4 MBBR-linjer i 6 månader om det sker mellan maj och oktober. En 3-månadersavställning är möjlig under maj till november och en avställning under en månad är möjlig när som helst under året.



Figur 4. Kväveutsläpp från 3–4 MBBR-linjer som belastas med 80% av inkommande belastning år 2040 samt maximal utsläppshalt (produktionsmål + marginal) under max 1 månad, 3 månader eller 6 månader av året.

En avställning av en AS-linje får en nästan obetydlig effekt på utgående kvävehalt och bedöms inte utgöra något problem för år 2040, se Figur 5 som visar effekten av att ställa av en av 5 AS-linjer och fördela belastningen på 4 av MBBR-linjerna. Detta innebär att en AS-linje skulle kunna vara avställd mer än 6 månader under vilken tid på året som helst.



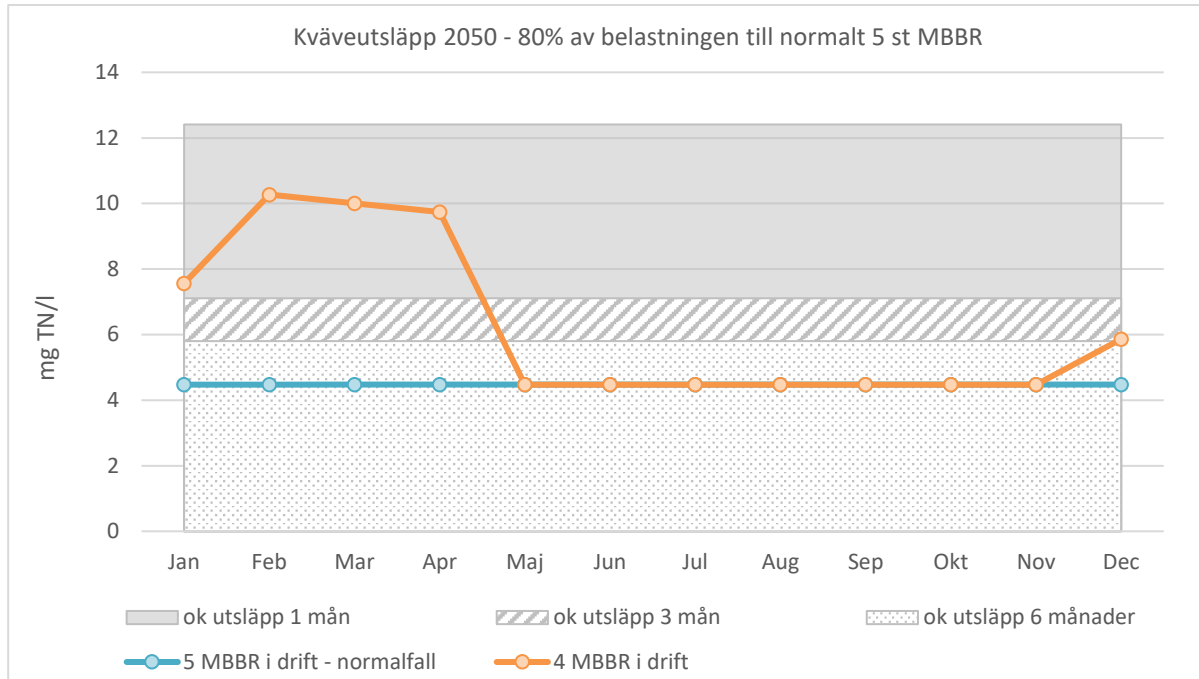
Figur 5. Kväveutsläpp från 4 MBBR-linjer som belastas med 80 – 84 % (20–21% per MBBR-linje) av inkommande belastning år 2040 samt maximal utsläppshalt (produktionsmål + marginal) under max 1 månad, 3 månader eller 6 månader av året.

Scenario 7: 2050 – 5 MBBR och 6 AS

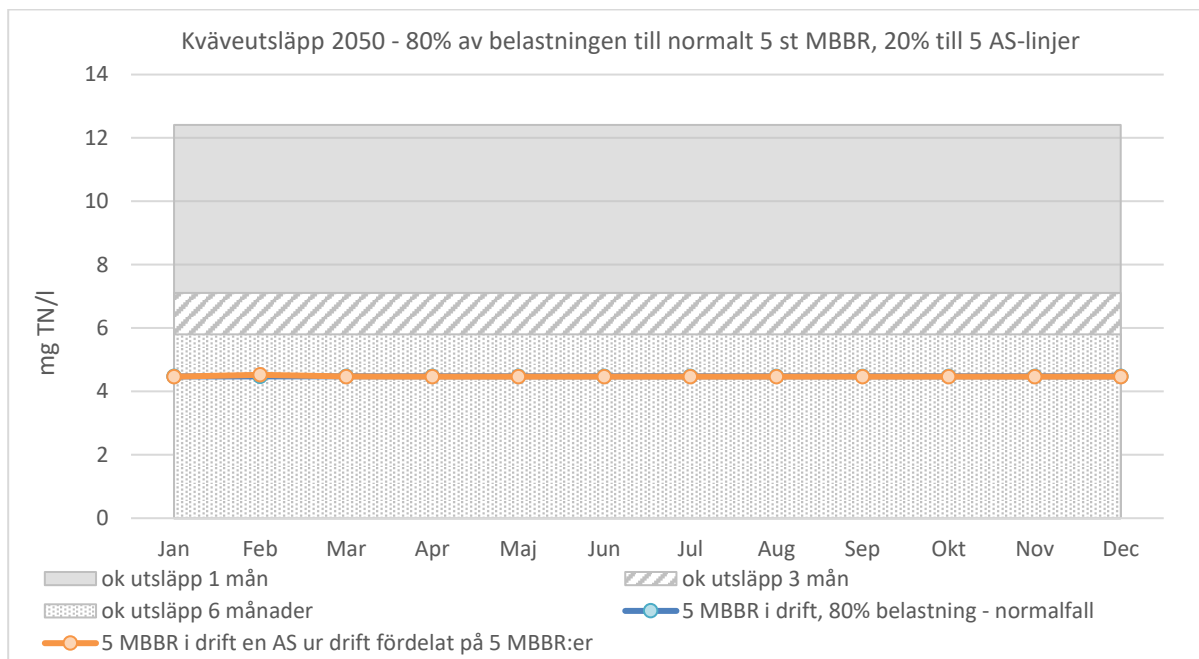
Andra exemplet utgörs av Scenario 7 enligt Etapp 1 rapporten, dvs flöde och belastning enligt prognos för år 2050, 5 MBBR-linjer och 6 AS-linjer i drift. MBBR-linjerna tar 80% av inkommande belastning, dvs 16% per MBBR-linje, och AS-linjerna tar resterande 20% tillsammans. Utsläppskrav är 5,15 mg/l och produktionsmål är 4,5 mg/l. Maximal utsläppshalt, om hela marginalen som årsmängd släpps ut på en månad är 12,4 mg TN/l, på 3 månader 7,1 mg TN/l och på 6 månader 5,8 mg TN/l, vilket endast är 1,3 mg/L högre än produktionsmålet. I Figur 6 redovisas utgående kvävehalt från MBBR-linjerna som månadsmedelvärde, dels vid normalbelastning (dvs 16% av totalbelastningen per linje), dels i ett fall då en MBBR-linje stängts ner och flödet fördelats jämnt över de kvarvarande 4 MBBR-linjerna vilket ger 20% av inkommande belastning per MBBR-linje.

Figur 6 visar att utsläppskraven för kväve kan klaras även om en MBBR linje är avställd i 6 månader så länge det sker mellan maj och november. Övriga månader bör en eventuell avställning inte göras under en längre tid än en månad.

Figur 6 visar hur en avstängning av en utav de fem AS-linjerna i gamla delen av verket påverkar utsläppshalten från MBBR-linjerna om AS-linjens belastning fördelas jämnt över de fem MBBR-linjerna, som då mottar 16,8% av belastningen i stället för 16,0%. Som framgår ur figuren märks en avställning av en AS-linje överhuvudtaget inte så länge 5 MBBR-linjer är i drift.



Figur 6. Kväveutsläpp från 4–5 MBBR-linjer som belastas med 80% av inkommande belastning år 2050 samt maximal utsläppshalt (produktionsmål + marginal) under max 1 månad, 3 månader eller 6 månader av året.

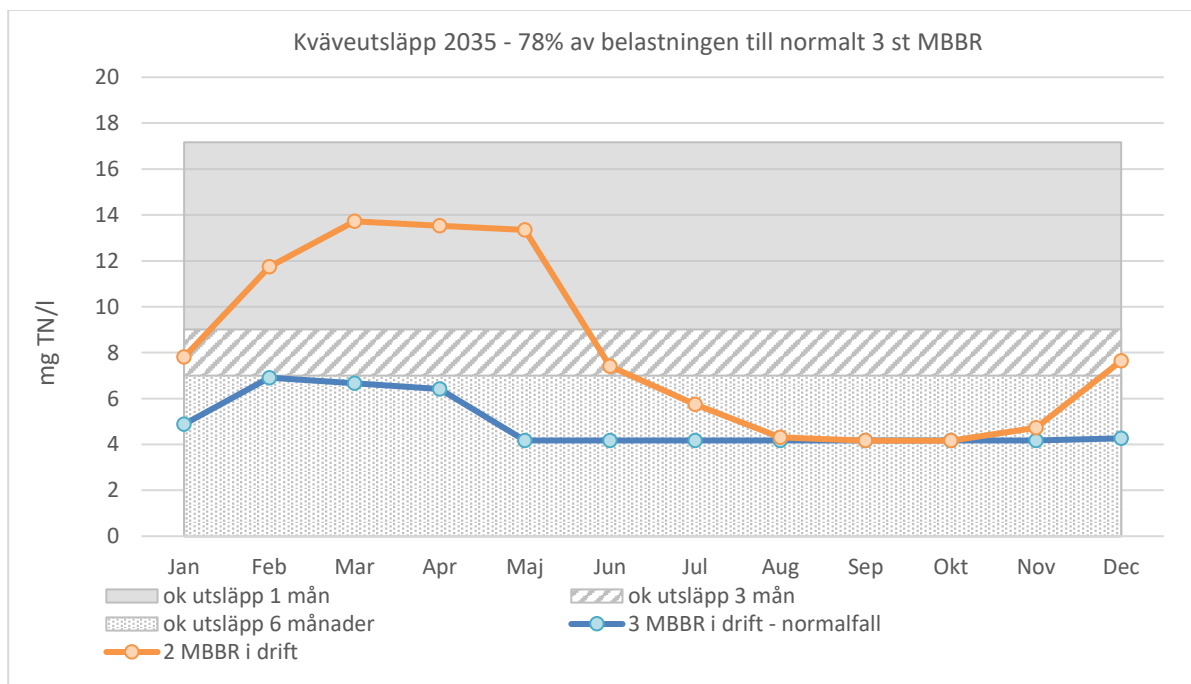


Figur 7. Kväveutsläpp från 5 MBBR-linjer som belastas med 80 – 84 % (16,0–16,8% per MBBR-linje) av inkommande belastning år 2050 samt maximal utsläppshalt (produktionsmål + marginal) under max 1 månad, 3 månader eller 6 månader av året.

Nytt scenario: 2035 – 3 MBBR, 2 AS med ED i nya verket och 5 AS med ED i gamla

Sista exemplet utgörs av ett scenario med flöde och belastning enligt prognos för år 2035, 3 MBBR-linjer och AS-linjer med efterdenitrifikation (ED) i nya verket och 5 AS-linjer i gamla verket i drift (en linje byggs om till läkemedelsrening). MBBR-linjerna tar 78% av inkommande belastning, dvs 26% per MBBR-linje, och AS-linjerna (gamla + nya) tar resterande 22% tillsammans. Utsläppskrav är 6 mg/l och produktionsmål är 5 mg/l. Maximal utsläppshalt, om hela marginalen som årsmängd släpps ut på en månad är 17,7 mg TN/l, på 3 månader 9,0 mg TN/l och på 6 månader 7,0 mg TN/l. I Figur 8 redovisas utgående kvävehalt från MBBR-linjerna som månadsmedelvärde, dels vid normalbelastning (dvs 26% av totalbelastningen per linje), dels i ett fall då en MBBR-linje stängts ner och flödet fördelats proportionerligt över de kvarvarande linjerna (MBBR + AS) vilket ger 33% av inkommande belastning per MBBR-linje.

Figur 8 visar att processen med nöd och näppe klarar en 6 månaders avställning mellan Juni och november. Tre månader (och troligtvis även fyra eller fem) är inga problem utom under februari till maj då avstängning inte bör göras längre än en månad.



Figur 8. Kväveutsläpp från 2-3 MBBR-linjer som belastas med 66-78% av inkommande kvävebelastning år 2035 samt maximal utsläppshalt (produktionsmål + marginal) under max 1 månad, 3 månader eller 6 månader av året.

Slutsatser:

1. Marginalen mellan utsläppskrav och produktionsmål minskar med tiden vilket leder till minskade möjligheter till avställning av linjer ju längre tiden går.
2. Under de kalla månaderna på året, december till april, leder en ökad belastning till ett ökat utsläpp vilket påverkar årsmedelutsläppet och åter upp marginalen. En avställning av en MBBR-linje är möjlig i ungefär en månad under denna tidsperiod, baserat på scenarierna som presenterats ovan.
3. Under de varma månaderna, maj till november, klarar reningsprocesserna en något högre belastning utan att utsläppshalten ökar vilket gör att marginalen inte förbrukas alls eller lika snabbt. En avställning av en MBBR-linje under dessa månader är möjlig i ungefär ett halvår, baserat på scenarierna som presenterats ovan.
4. En avställning av en AS-linje (gamla delen) har marginell effekt på utsläppshalten så länge tillräckligt många MBBR-linjer är i drift.
5. Ju färre MBBR-linjer som är i drift, desto känsligare blir reningsverket för en avställning av en MBBR-linje även under sommarmånaderna. Detta motiverar eventuellt att ytterligare systemreduktion planeras in i anläggningen, men inte nödvändigt så stor som n-1 över ett helt år. Även en mindre marginal så som avställning av en linje i 3 månader (n-0,25) eller liknande skulle kunna övervägas.
6. Samtliga resonemang ovan bygger på att produktionsmålet kan hållas resterande månader på året. Mindre störningar som pumpbyten eller blåsmaskinkrängel t.ex. som kan orsaka kortare driftstopp i MBBR-linjerna måste i dessa fall åtgärdas omedelbart så månadsmedelutsläppet inte överskrider produktionsmålet eftersom det inte finns marginaler att hämta hem ens en liten ökning i utsläppet (om marginalen används eller sparas till en eventuell avställning av en linje). Rimligheten i detta måste bedömas.
7. När den första MBBR-linjen är i drift bör linjen belastas hårt samtidigt som så låga kvävehalter som möjligt eftersträvas för att se vilken kapacitet som linjen faktiskt har och hur låga utgående kvävehalter som linjen kan ge.

Sofia Andersson, Sweco
Processutredare



Rapport

Diarienummer

Projektnummer

Ekonomisk modell och utbyggnadsalternativ ver. 2

Utbyggnadsalternativ Käppala 3.0

Cajsa Ståhlberg
CajsaS Sverige AB

2024-07-05

Innehållsförteckning

1. Bakgrund och syfte	4
2. Förutsättningar	4
3. Beskrivning av studerade utbyggnadsalternativ	5
3.1. Utgångsläge och förutsättningar utbyggnadsalternativ	6
3.2. Utbyggnadsalternativ 0 – Endast MBBR med rejektvattenrening	6
3.3. Utbyggnadsalternativ 1 – lätt optimering av AS plus linje 9 MBBR med rejektvattenrening	7
3.4. Utbyggnadsalternativ 2 – maximal optimering av AS utan RVR	8
3.5. Utbyggnadsalternativ 3A –optimering av AS med rejektvattenrening	9
3.6. Utbyggnadsalternativ 3B – optimering AS med bra resultat med rejektvattenrening 10	
3.7. Kompletterande alternativ	11
4. Ekonomi	13
4.1. Finansiella förutsättningar	13
4.2. Investeringar	13
4.2.1. Allmänna antaganden	14
4.2.2. Ombyggnation av linje 7-11 till MBBR	14
4.2.3. Optimering av linje 1-6	14
4.2.4. Optimering av linje 9 och 10 med efterdenitrifikation	15
4.2.5. Ombyggnation aktivslamprocess i linje 2-6	15
4.2.6. Ombyggnation linje 9-11	16
4.2.7. Renovering linje 9, 10 och 11	17
4.2.8. Rejektvattenrening	17
4.2.9. Läkemedelsrening	17
4.3. Sammanställning investeringar per alternativ	18
4.3.1. Alternativ 0 – endast MBBR och RVR	18
4.3.2. Alternativ 1 – lätta åtgärder AS plus linje 9 MBBR med RVR	19
4.3.3. Alternativ 2 – maximal optimering AS utan RVR	19
4.3.4. Alternativ 3A – optimering AS med RVR	20
4.3.5. Alternativ 3B – optimering AS med bra resultat	20
4.3.6. Kompletterande alternativ A – lätta åtgärder plus RVR snabbt sedan linje 9 MBBR	21

4.3.7. Kompletterande alternativ B – lätta åtgärder plus RVR snabbt sedan ombyggnation AS	21
4.4. Drift- och underhållskostnader	22
4.5. Investeringar per åtgärd	23
4.6. Kostnader per alternativ	24
5. Resultat ekonomisk modell	25
5.1. Lånevolym	26
5.2. Driftskostnader	26
5.3. Årskostnader	28
5.4. Kompletterande alternativ	31
5.5. Osäkerheter i resultat	33
6. Slutsatser ekonomi	34
7. Figurer	35

1. Bakgrund och syfte

Käppalaverket bygger ut för att klara en kontinuerlig ökande belastning samt för att kunna möta de nya utsläppskraven som specificeras i det nya verksamhetstillståndet. Den begränsande faktorn är biolinjernas kvävereningsskapacitet och processutredningar har därför genomförts för att ta fram alternativ för att öka kvävereningsskapaciteten. Beslutat och pågående är projekt Käppala 900k (K900k) omfattande ombyggnation av biolinje 7 och 8 till MBBR-teknik. Inom arbetet med att ta fram en utbyggnadsplan för åtgärder efter K900k genomfördes under 2022 en utredning som belyser och jämför olika utbyggnadsalternativ genom processutredningar och redundansstudie. I arbetet ingick även en ekonomisk analys av dessa utbyggnadsalternativ. Sedan dess har några faktorer och förutsättningar ändrats, främst förutsättningar för processberäkningar för förväntad kvävereningsskapacitet från MBBR-linjerna samt reviderad befolkningsprognos med betydligt lägre utveckling än tidigare. Detta sammantaget ger nya prognoser för när i tiden kapacitet behöver byggas ut på verket. Därför har det gjorts en revidering av utredningen under våren 2024. Nya processberäkningar och sammansatta utbyggnadsalternativ presenteras i Swecos *PM Utbyggnadsalternativ*.

Denna rapport presenterar de nya sammansatta alternativen utifrån vad som ska byggas och när i tiden. Vidare har den tidigare ekonomiska modellen reviderats för att med nya förutsättningar genom ekonomiska parametrar jämföra utbyggnadsalternativen. Ingående investeringar och driftskostnader samt resultat från modellen presenteras i denna rapport. Övergripande slutsatser och diskussion presenteras i huvudrapporten *Utvärdering av utbyggnadsalternativ ver 2*.

Syftet med denna del i arbetet med utbyggnadsplanen är att klargöra de ekonomiska förutsättningarna och skillnaderna mellan olika utbyggnadsalternativ.

2. Förutsättningar

De alternativ som ingår i den ekonomiska analysen i sin helhet är utbyggnadsalternativ 0, 1, 2, 3A och 3B i *PM Utbyggnadsalternativ*, vilka innefattar olika kombinationer av åtgärder såsom ombyggnation av fler linjer till MBBR, bygge av rejektivattenrening samt olika grad av optimering av befintliga aktivslamlinjer. Utbyggnadsalternativ med enbart ombyggnation till MBBR utan rejektivattenrening har inte analyserats ekonomiskt eftersom detta alternativ inte klarar kvävereningsskapaciteten under delar av perioden fram till 2050.

Under utredningens gång hölls en workshop med deltagare från Käppala. Då framkom önskemål om kompletterande alternativ utöver de som först studerats. Dessa alternativ ger en något större marginal i kvävereningsskapacitet första tiden och har därför andra förutsättningar än tidigare alternativ som har som förutsättning att en åtgärd byggs så sent som möjligt men ändå så att kvävereningsskapaciteten klars. De kompletterande alternativen redovisas också i denna PM.

Processmässiga förutsättningar som ligger till grund för samtliga studerade alternativ är att ombyggnation av linje 7 och 8 till MBBR sker enligt plan för projekt K900k. Investeringar för dessa är inkluderade i samtliga nedanstående studerade alternativ. För att bedöma behov av utbyggnadstakt har den beräknade maximala kväverenkinskapaciteten som teoretiskt uppnås utifrån ombyggnationer till MBBR används. Det vill säga med maximal fyllnadsgrad av bärarmaterial. I praktiken skulle kapaciteten anpassas till behovet genom gradvis uppfyllnad med bärare. Bärarmaterialet står dock för en mindre del av den totala investeringen och i denna utredning har därför antagits att hela investeringen tas vid ombyggnation samt den maximala kväverenkinskapaciteten är den som visas i graferna nedan.

Käppalas nya verksamhetstillstånd innefattar begränsningsvärden i form av halt- och mängdkrav av totalkväveutsläpp på 6 mg TN/l och 400 ton TN/år. Före 2050 kommer man med nuvarande befolkningsprognos inte komma upp i 400 ton TN/år och det är alltså haltvillkoret som kommer vara begränsande. För att ha marginal till utsläppskravet har Käppala ansatt ett produktionsmål på 5 mg TN/l. Alla processberäkningar och därmed erforderlig utbyggnadstakt i alternativen är beräknade utifrån att produktionsmålet ska uppnås men med så lite marginal som möjligt. Åtgärderna i respektive alternativ är satta att tas så sent som möjligt i tiden men ändå klara kraven. Det kan dock finnas goda skäl i realiteten att tidigarelägga vissa åtgärder för att ha lite mer marginal i verksamheten. Alternativen är dock uppsatta på detta sätt för att vara jämförbara och ge en bild av hur sent i tiden det med dagens förutsättningar är möjligt att vidta åtgärder.

3. Beskrivning av studerade utbyggnadsalternativ

Efter att de två första linjerna med MBBR är i drift år 2028 finns olika alternativa utbyggnadsvägar framåt. En sammanställning av utbyggnadsalternativen kan utläsas nedan, mer detaljerade beskrivningar samt processantaganden i *PM Utbyggnadsalternativ ver 2*.

Fem alternativ har initialt studerats. Det första alternativet (alternativ 0) är enbart utbyggnad med fler MBBR-linjer samt rejektivattenrening, alternativ 1 innefattar lätta åtgärder för optimering av befintliga aktivslamlinjer samt rejektivattenrening för att i tiden förskjuta behovet av utbyggnad av fler MBBR-linjer. Alternativ 2 innefattar förutom optimering av aktivslamlinjerna ombyggnation för zonindelning att ytterligare öka kapaciteten i de befintliga aktivslamprocesserna, både i gamla och nya verket. Åtgärderna innebär att ombyggnation till MBBR av fler linjer än linje 7-8 inte behöver göras före 2050. Som alternativ 3 har rejektivattenrening lagts till för att inte behöva bygga om samtliga aktivslamlinjer och ändå klara kväverenkinskapaciteten. Alternativ 3 studeras med två olika antagande för kapacitetsberäkningar för resultat efter ombyggnation av aktivslamlinjerna, alternativ 3A med medelgoda resultat och 3B med bättre resultat.

De kompletterande alternativen är som alternativ 1 och 3 men med genomförande av de ”lätta åtgärderna” av befintliga aktivslamlinjer samt bygge av rejektivattenrening direkt efter

linje 7 är ombyggd och i drift år 2027 för att skapa lite större marginal samt skjuta på processval för linje 9 så långt framåt i tiden som möjligt.

3.1. Utgångsläge och förutsättningar utbyggnadsalternativ

Utgångspunkten för samtliga utbyggnadsalternativ är år 2027 då linje 7 är ombyggd till MBBR. Tabell 1 nedan visar respektive linjes process vid början av 2027.

Tabell 1 Process för samtliga biolinjer i början av år 2027.

Linje	Process
1-6	Aktivslam med efterdenitrifikation
7	MBBR
8	Under ombyggnation till MBBR, klart 2028
9	Aktivslam
10	Aktivslam
11	Aktivslam med efterdenitrifikation

Ombyggnation till MBBR antas ta fyra år per linje att genomföra vilket innebär en kapacitetsminskning under byggperioden med motsvarande den linje som är under ombyggnation. Optimering av linje 1-6 görs genom programmering och att öka kapaciteten i returslamsystemet och beräknas inte påverka kapaciteten under tiden. Optimering av linje 9-10 innebär att nitratrecirkulationspumpningen flyttas och dosering av kolkälla möjliggörs samt förbättrad styrning, på samma sätt som gjordes för linje 11 under 2018. Detta bedöms ta ca 6 månader per linje och kapacitetsminskning motsvarande en linje under samma period. Ombyggnation med fler zoner i linje 1-6 beräknas ta ca 4 månader per linje med en linje ur drift i taget. Ombyggnation av linje 9-11 bedöms ta ca 1 år per linje. Respektive åtgärd presenteras närmare i kapitel 4.2 nedan.

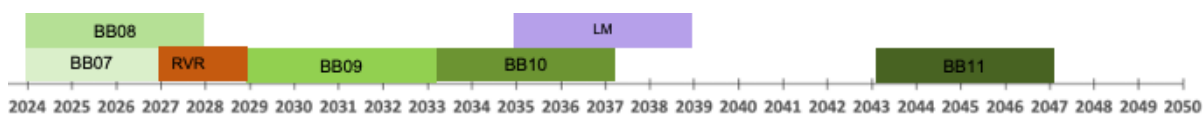
För samtliga initiala utbyggnadsalternativ antas linje 1 tas ur drift 2035 för att ge plats åt läkemedelsrening. I de kompletterande alternativen tas linje 1 ur drift 2030 för att skapa marginal ifall Käppala skulle få krav på läkemedelsrening redan år 2033. Se mer kring krav på läkemedelsrening i huvudrapporten.

I kapacitetsgraferna i detta kapitel visar den gråsvarta linjen inkommande kvävebelastning till Käppalaverket enligt Käppalas prognos Rev. D och varje färg i staplarna visar respektive process sammantagna beräknade kapacitet att rena del av inkommande mängd kväve ner till 5 mg/l ut. I de fall staplarna är högre än den gråsvarta linjen har reningsprocessen överkapacitet. Den röda linjen visar om rejektvattenrening är i drift (1) eller inte (0). I bilaga 1 – PM Utbyggnadsalternativ förklaras kapacitetsgraferna mer ingående.

3.2. Utbyggnadsalternativ 0 – Endast MBBR med rejektvattenrening

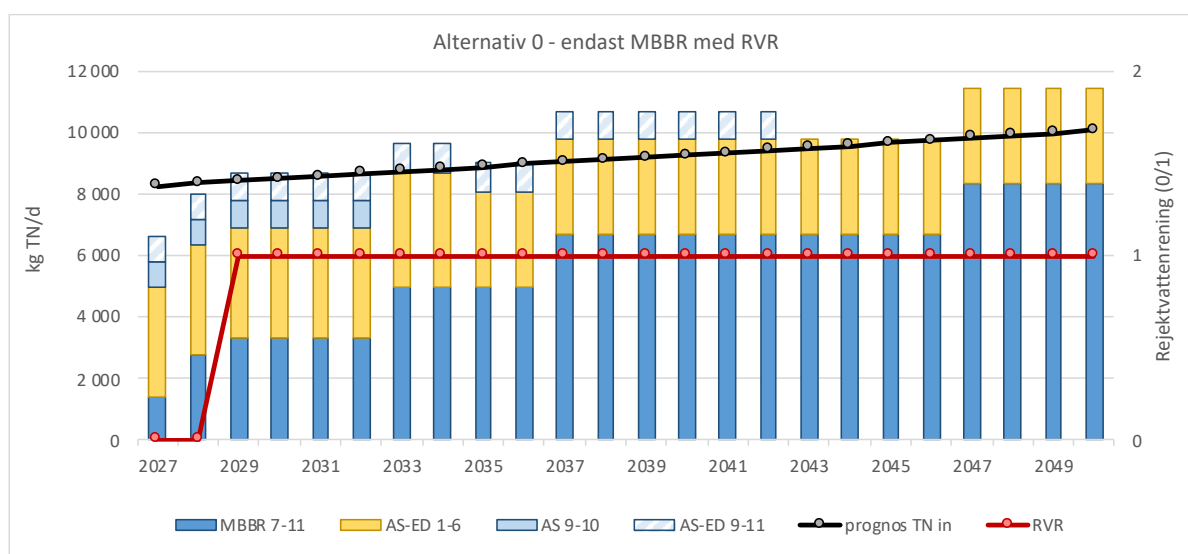
Alternativ 0 innebär att den fortsatta utbyggnaden efter 2026 består i att rejektvattenrening byggs direkt efter linje 7 tagits i drift (2027) och står färdig 2029. Linje 9 byggs om direkt

därpå och står färdig 2033. Därefter byggs linje 10 om direkt, färdig 2037. Linje 11 behöver då byggas om och stå färdig 2047. Se tidslinje i Figur 1 nedan.



Figur 1 Tidslinje för utbyggnadsalternativ 0 – endast MBBR med RVR Gröna rutor MBBR-ombyggnad, orange rejektivattenrening samt lila läkemedelsrening.

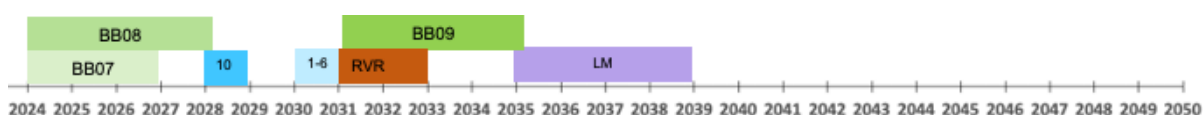
I Figur 2 nedan visas beräknad kapacitet utifrån utbyggnad enligt alternativ 0.



Figur 2. Kväverenskapskapacitet och reningsbehov för att uppnå produktionsmål för utbyggnadsalternativ 0 - endast MBBR med RVR.

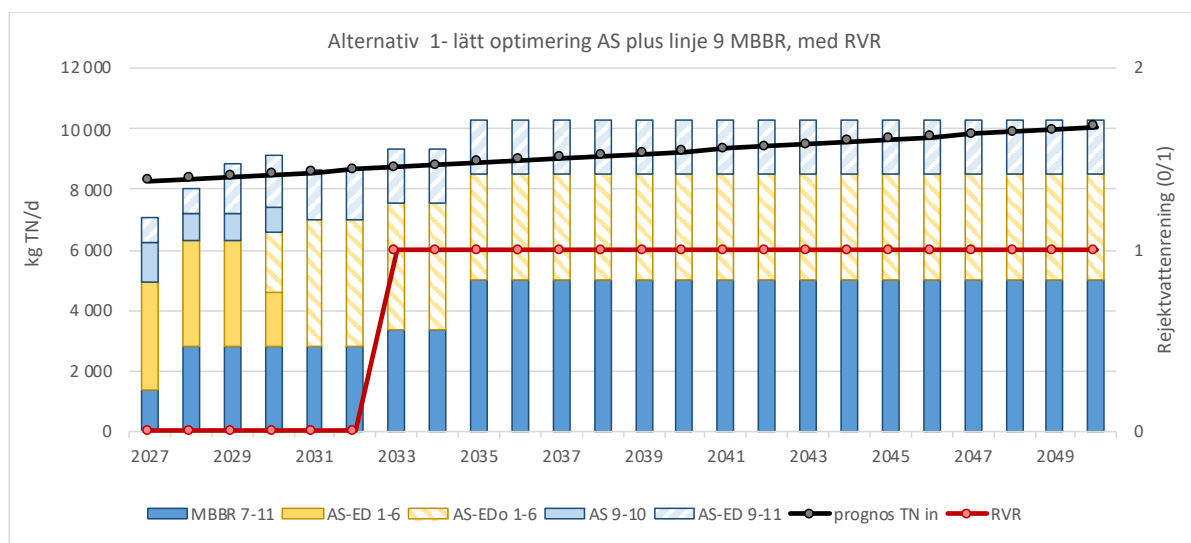
3.3. Utbyggnadsalternativ 1 – lätt optimering av AS plus linje 9 MBBR med rejektivattenrening

I utbyggnadsalternativ 1 görs bara de enkla optimeringarna av aktivslamprocesserna, efterdenitrifikation i linje 10 samt förbättrad styrning av linje 1-6. Linje 9 förses inte med efterdenitrifikation eftersom den kommer tas ur drift för att byggas om till MBBR 2031. Därefter byggs rejektivattenrening 2031-2032. Dessa åtgärder räcker dock inte för reningsbehovet efter 2035 och linje 9 behöver därför byggas om till MBBR under åren 2031-2034.



Figur 3 Tidslinje för utbyggnadsalternativ 1 – lätt optimering AS plus linje 9 MBBR med RVR Gröna rutor MBBR-ombyggnad, orange rejektivattenrening, lila läkemedelsrening, blå lätta åtgärder aktivslamlinjer.

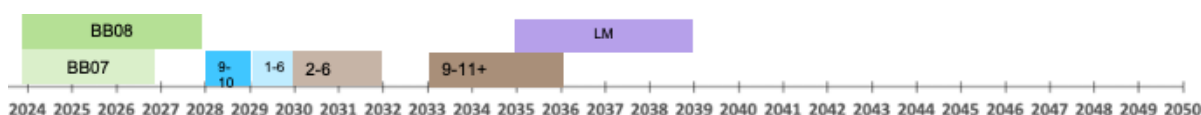
Utbyggd beräknad kapacitet från åtgärderna visas i Figur 4 nedan.



Figur 4. Kväverenskapskapacitet och reningsbehov för att uppnå produktionsmål för utbyggnadsalternativ 1 – lätt optimering av AS plus linje 9 MBBR med RVR.

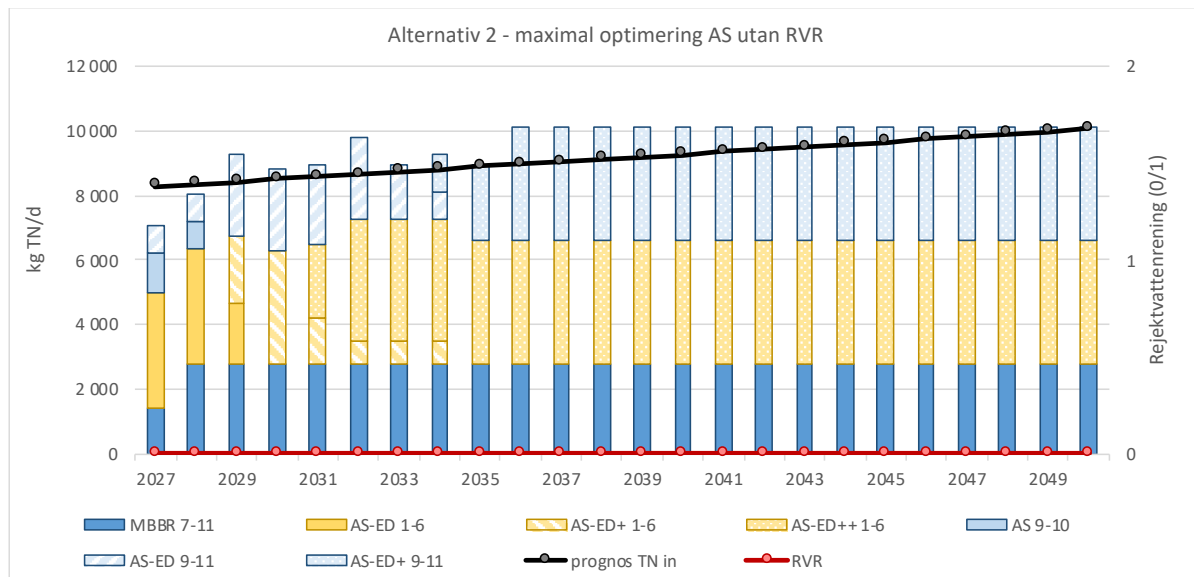
3.4. Utbyggnadsalternativ 2 – maximal optimering av AS utan RVR

I detta alternativ optimeras befintliga aktivslamlinjer maximalt. Då behöver inte rejektvattenrening byggas, se Figur 6. Optimeringen sker i två steg för respektive del av verket, först byggs linje 9 och 10 om med efterdenitrifikation på samma sätt som tidigare gjorts för linje 11 (lätta åtgärder 9-10). Därefter förbättras styrningen av linje 1-6 genom programmeringsåtgärder (lätta åtgärder 1-6). När detta är klart görs en större ombyggnation med zonindelning av först linje 2-6 (ombyggnation 2-6, ej 1 eftersom den ska tas ur drift för läkemedelsrening) och därefter linje 9-11 (ombyggnation 9-11).



Figur 5 Tidslinje för utbyggnadsalternativ 2 – maximal optimering av AS utan RVR. Gröna rutor MBBR-ombyggnad, lila läkemedelsrening, blå lätt åtgärder aktivslamlinjer samt bruna ombyggnation aktivslamlinjer.

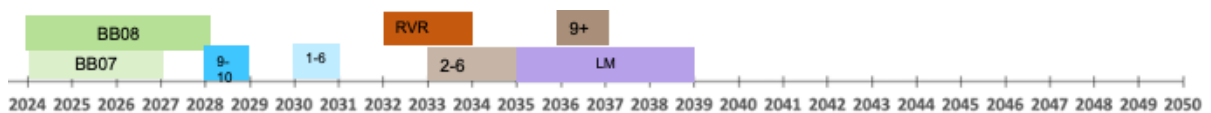
Utbyggd beräknad kapacitet från åtgärderna visas i Figur 6 nedan.



Figur 6 Kvävereringskapacitet och reningsbehov för att uppnå produktionsmål för utbyggnadsalternativ 2- maximal optimering AS utan RVR.

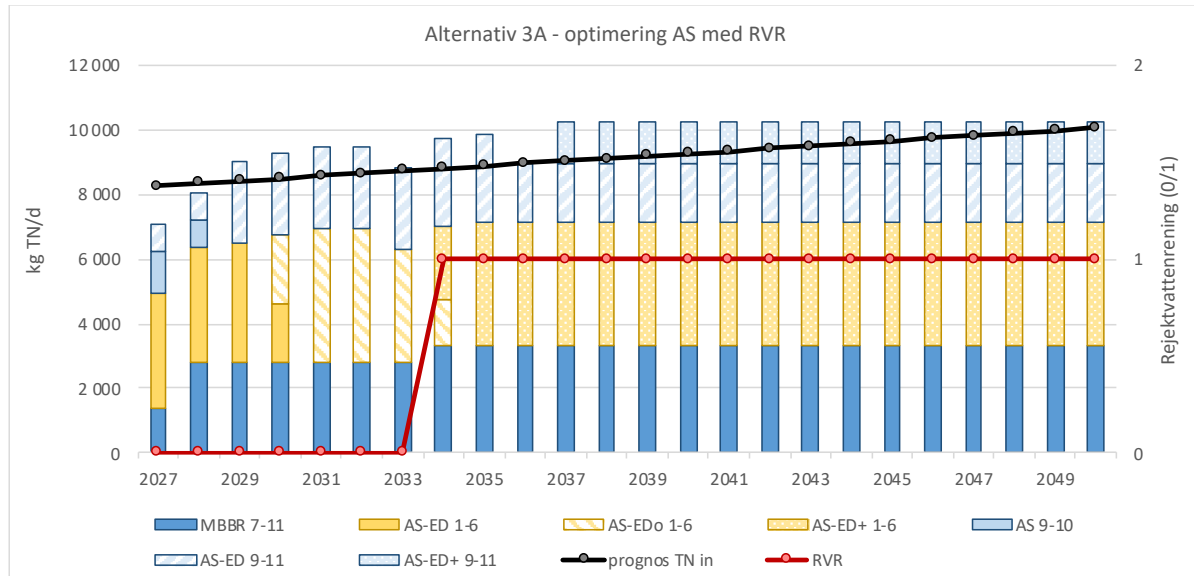
3.5. Utbyggnadsalternativ 3A –optimering av AS med rejektivattenrening

I utbyggnadsalternativ 3A optimeras aktivslamprocesserna på samma sätt som i alternativ 1 men med skillnaden att rejektivattenrening byggs 2032-2033. Det medför att åtgärderna i aktivslambassängerna kan dras ut mer över tiden och ombyggnation av linje 10-11 behöver inte ske för att klara behovet av kvävereringskapacitet till 2050.



Figur 7 Tidslinje för utbyggnadsalternativ 3A –optimering av AS med RVR. Gröna rutor MBBR-ombyggnad, lila läkemedelsrening, orange rvr, blå lätta åtgärder aktivslamlinjer samt bruna ombyggnation aktivslamlinjer.

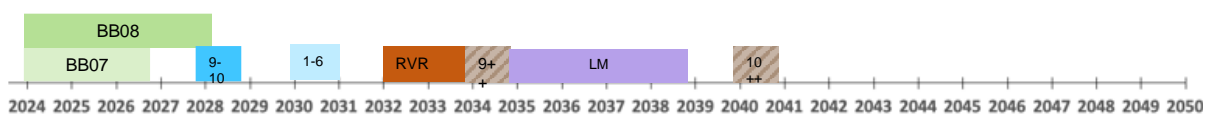
I Figur 8 nedan visas beräknad kapacitet efter utbyggnad av åtgärderna i alternativ 3A.



Figur 8. Kvävereringskapacitet och reningsbehov för att uppnå produktionsmål för utbyggnadsalternativ 3A – optimering av AS med RVR.

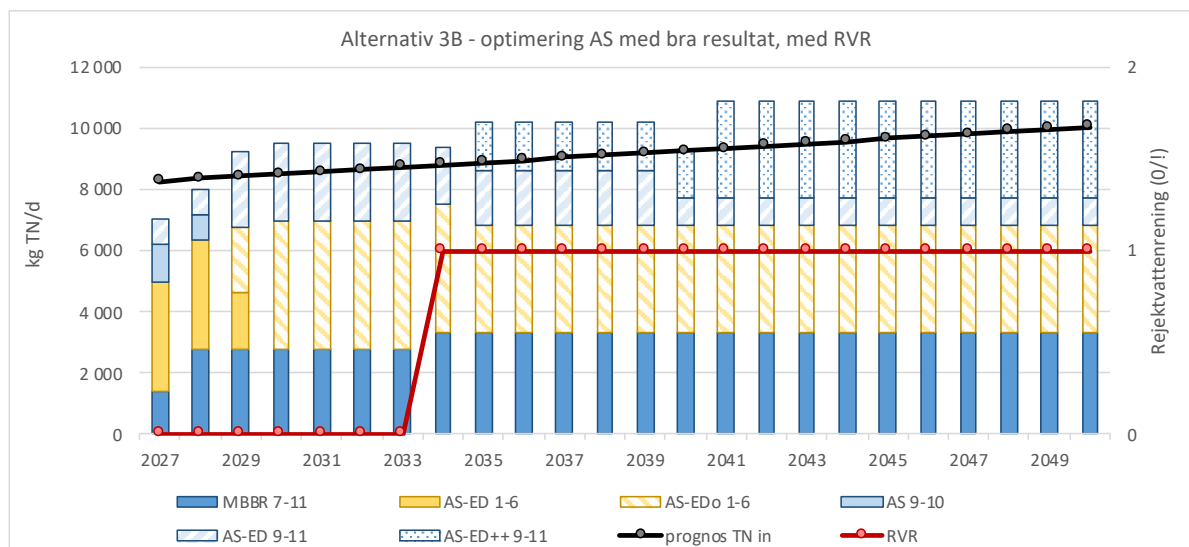
3.6. Utbyggnadsalternativ 3B – optimering AS med bra resultat med rejektivattenrening

Detta alternativ är en variant på 3A där processen i linje 9-10 antas ge ett ännu bättre resultat efter ombyggnation vilket medför att linje 2-6 och linje 11 inte behöver byggas om för att klara kapaciteten till 2050. Precis som i 3A görs de lätta optimeringsåtgärderna först i linje 9-10 med ombyggnad till efterdenitrifikation och därefter programmering av linje 1-6. 2032-2033 byggs rejektivattenrening och sedan direkt byggs linje 9 om med utökad zonindelning. 2040 byggs sedan linje 10 om på samma sätt.



Figur 9 Tidslinje för utbyggnadsalternativ 3B –optimering av AS med bra resultat med RVR. Gröna rutor MBBR-ombyggnad, lila läkemedelsrening, orange rvr, blå lätta åtgärder aktivslamlinjer samt bruna ombyggnation aktivslamlinjer.

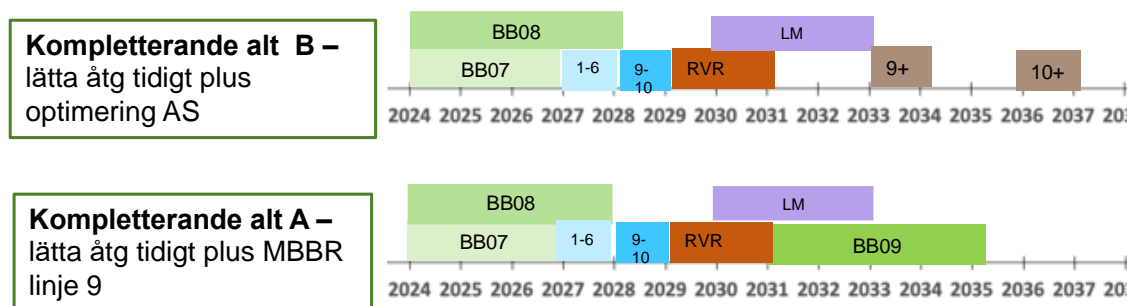
I Figur 10 visas den beräknade utbyggda kapaciteten för alternativ 3B.



Figur 10. Kväverenskapskapacitet och reningsbehov för att uppnå produktionsmål för utbyggnadsalternativ 3B – optimering av AS med bra resultat med RVR.

3.7. Kompletterande alternativ

Under workshopen 2024-05-08 framkom önskemål på kompletterande utbyggnadsalternativ med större marginaler än de ovan studerade alternativen som hade som utgångspunkt att åtgärder ska vidtas så sent som möjligt men att anläggningen ändå ska klara kapaciteten hela tiden. Det huvudsakliga syftet med de kompletterande alternativen är att visa på hur långt fram i tiden det går att skjuta beslut kring linje 9 genom att först vidta de lätta åtgärderna i aktivslamlinjerna och sedan direkt bygga rejektivattenrening. I och med osäkerheterna kring när i tiden Käppala kommer få krav på läkemedelsrening förutsätts i detta alternativ att läkemedelsreningskrav börjar gälla 2033 och att byggtiden är 3 år istället för som tidigare ansatt 4 år, för att säkerställa att kapacitet finns om kravet skulle komma tidigt. I figuren nedan visas två varianter av kompletterande alternativ, båda med lätta åtgärder och rejektivattenrening direkt efter att linje 7 är ombyggd. I kompletterande alternativ A byggs linje 9 om till MBBR vilket då behöver påbörjas direkt efter rejektivattenreningen är färdigställd och i kompletterande alternativ B byggs linje 9 och 10 om till en aktivslamprocess med fler zoner och ökade recirkulationsflöden.

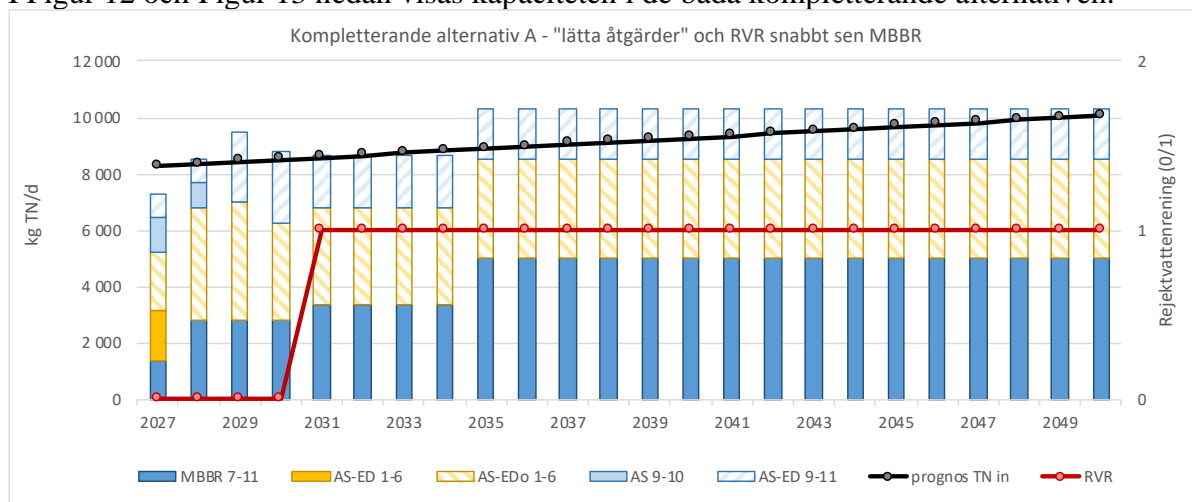


Figur 11 Tillkommande alternativ med lätta åtgärder först och sedan RVR därefter följt av MBBR linje 9 respektive ombyggnation linje 9 och 10

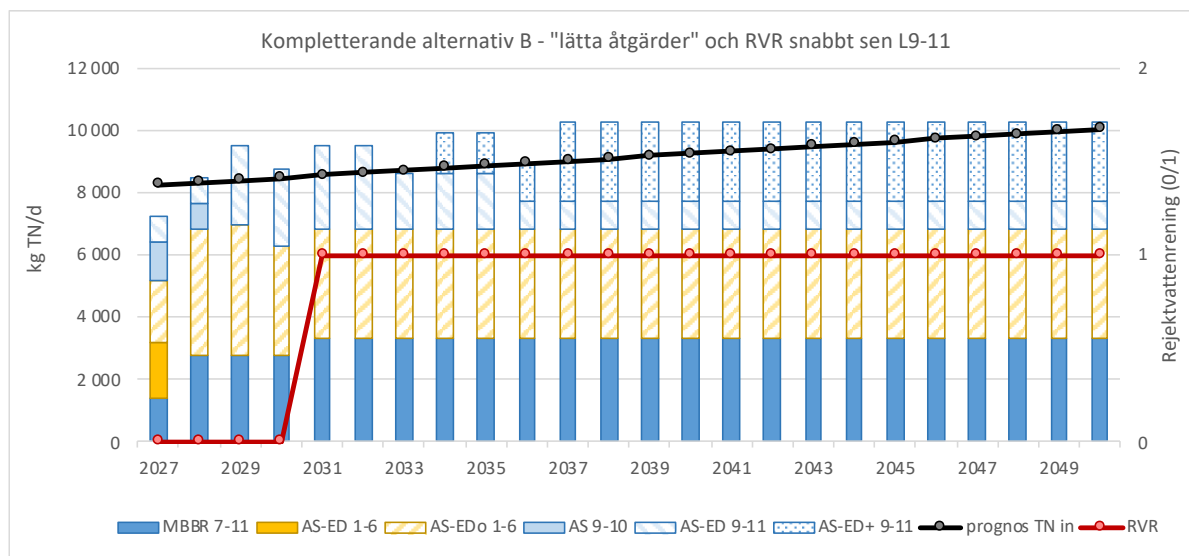
I figuren kan utläsas att genom att vidta de lätta åtgärderna i aktivslamlinjerna följt av rejektivattenrening kan beslut om linje 9 skjutas fram till årsskiftet 2029/30 (förutsatt att beslut behöver fattas två år innan byggstart). Om läkemedelsrening inte behöver vara i drift förrän 2039 kan beslutet skjutas ytterligare ett år framåt i tiden. Samma sak gäller om Linje 1–6 byggs om för ökad kapacitet i ett tidigt skede.

Andra faktorer som kan skjuta beslutet framåt (eller bakåt) i tiden är utvärderingen av den faktiska kapaciteten i Linje 7 med MBBR och Linje 11 med efterdenitrifikation, som kommer hinna utvärderas innan vägvalet. Om kapaciteten i MBBR-linjerna är 7,5% högre än vad som ansatts i denna utredning kan beslutet skjutas 1 år framåt i tiden och om kapaciteten är 10% högre kan beslutet skjutas 2 år framåt i tiden. På samma sätt är det inte orimligt att aktivslamlinjerna 9–11, efter ombyggnation för att erhålla efterdenitrifikation, presterar bättre än vad som ansatts här. Linje 11, som redan är ombyggd, hinner utvärderas med högre belastning under flera år innan vägvalet behöver göras. För att kunna skjuta beslutet 1 respektive 2 år framåt i tiden måste linjerna uppnå 11% respektive 18% högre kapacitet än vad som ansatts i denna utredning.

I Figur 12 och Figur 13 nedan visas kapaciteten i de båda kompletterande alternativen.



Figur 12 Kapacitet i kompletterande alternativ A – lätta åtgärder och RVR snabbt och sen MBBR



Figur 13 Kapacitet i kompletterande alternativ B – lätta åtgärder och RVR snabbt sen ombyggnad av 9-10

4. Ekonomi

För att få en överblick över hur de olika utbyggnadsalternativen skiljer sig ekonomiskt sinsemellan har en ekonomisk beräkningsmodell tagits fram. Nedan beskrivs finansiella förutsättningar, investeringar och driftskostnader. Resultatet från modellen ger inte en ekonomisk helhetsbild utan måste sättas i sammanhang med Käppalaförbundets övriga investeringar och kostnader men kan användas för att jämföra de olika alternativen sinsemellan.

4.1. Finansiella förutsättningar

Finansiella förutsättningar för att göra de ekonomiska beräkningar och analyser som presenteras i denna rapport har erhållits av Erik Båvner, ekonomichef Käppalaförbundet.

- Ränta 3 % år 2024 minskande med 0,1% per år ner till 2,5 %
- Inflation 2%
- Avskrivning aktiveras första hela året då anläggningsdelen är driftsatt
- Avskrivningstider:
 - Bygg 30 år
 - Bärare 25 år
 - VVS, el och maskin 20 år
 - Styr, 15 år

4.2. Investeringar

Nedan beskrivs de antaganden som har gjorts och de bedömda investeringarna för respektive åtgärd som ingår i alternativen.

4.2.1. Allmänna antaganden

Följande antaganden har gjorts för samtliga alternativ:

- Återinvesteringar tas när avskrivningstiden är slut med uppräknat ursprungligt belopp.
- Grundprisnivå:
 - Kalkyler för K900k linje 7 och 8 är uppräknade för hela projektperioden vilket innebär att investeringar för ombyggnation av linjerna 9-11 till MBBR räknas upp med inflation från år 2028.
 - Investeringar för övriga åtgärder (ej MBBR) och övriga kostnader är bedömda i 2024-års prisnivå och räknas upp med inflation från år 2025.

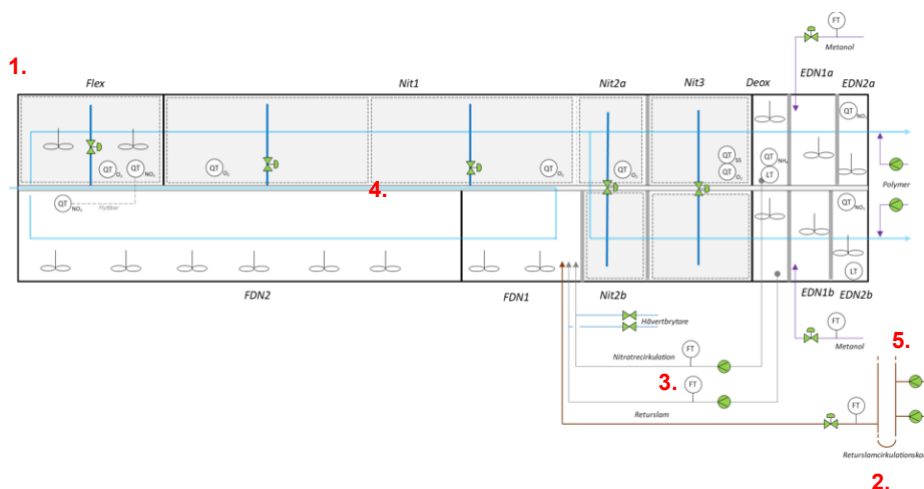
4.2.2. Ombyggnation av linje 7-11 till MBBR

Förutsättningar för investeringar för ombyggnation till MBBR:

- Investeringar för ombyggnation av linje 7 respektive 8 har erhållits från kalkyl för K900k.
- Investeringar för ombyggnation av linje 9-11 till MBBR baseras på att linje 8 byggs om direkt efter linje 7. För ombyggnation till MBBR vid andra tidpunkter har följande antagande gjorts:
 - 50 mnkr dyrare när det går mer än tre år mellan färdigställande av en linje tills ombyggnation av nästa linje påbörjas.
- Byggtid för ombyggnation av linje 7-11 till MBBR har antagits till 4 år och investeringarna fördelas jämnt över byggtidens fyra år.

4.2.3. Optimering av linje 1-6

Programmeringsåtgärder för optimerad styrning samt kapacitetsökning av returslamkanalen. Investering uppskattad för samtliga linjer till 6 mkr för programmering och 5 mkr för returslamledning. Genomförandetid 1 år totalt men ingen kapacitetsminskning för linjerna är i drift under tiden. Åtgärderna visas i Figur 14 nedan.



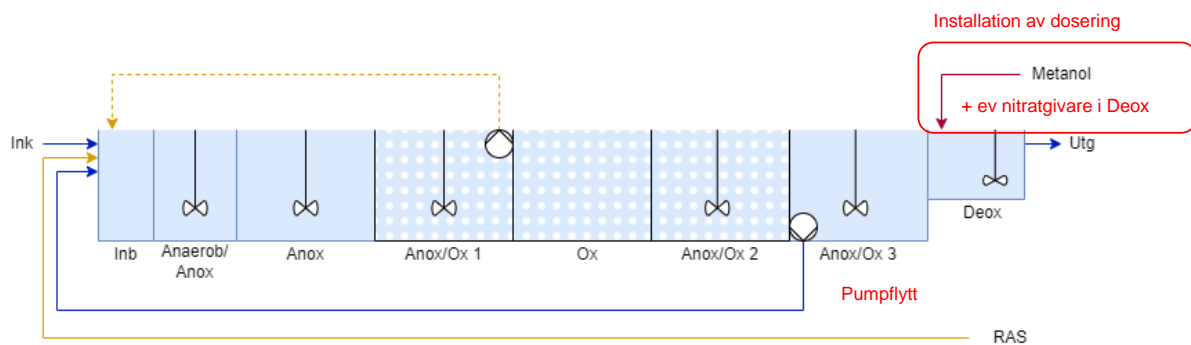
Figur 14 Optimering av aktivslamlinje 1-6

1. Dynamisk styrning av flexzon
2. Styrning av returslamflöde dynamiskt mot inkommande flöde
3. Styrning nitratsirkulation dynamiskt mot inkommande flöde (höga kvoter)
4. Drift med högre slamhalter
5. Recirkulationssystemet

Returslamsystemets kapacitet och möjlighet till högre flöden har inte studerats. En investering har dock tagits med för detta system men det behöver utredas vidare för att säkerställa vilka åtgärder som krävs.

4.2.4. Optimering av linje 9 och 10 med efterdenitrifikation

Linje 9 och 10 byggs om för efterdenitrifikation med dosering av kolkälla se Figur 15. Nitratrecirkulationspumpningen behöver flyttas och styrningen förbättras samt linjerna förses med metanoldosering. Investeringen är bedömd av Käppala till 20 mnkr per linje baserat på erfarenheter från liknande ombyggnation av linje 11 år 2018. Åtgärden bedöms ta ca 6 månader per linje att genomföra, under den perioden är linjen ur drift.

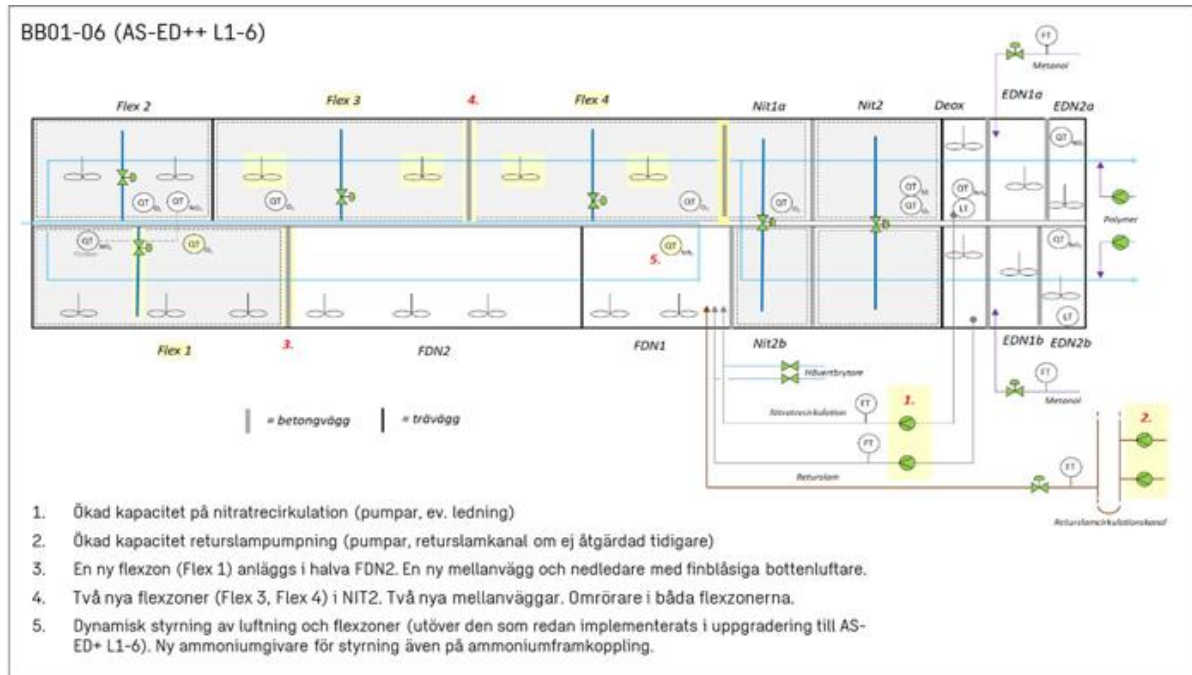


Figur 15 Åtgärder i linje 9-10 för efterdenitrifikation, samma som genomförts i linje 11

4.2.5. Ombyggnation aktivslamprocess i linje 2-6

Sweco har i sin utredning för *PM Utbyggnadsalternativ* tagit fram ett översiktligt förslag på ombyggnation av aktivslamlinje 1-6 med zonindelning och möjlighet till förbättrad styrning av processen.

Föreslagna åtgärder visas översiktligt i Figur 16 nedan.



Figur 16 Översiktlig bild av förbättringsåtgärder i AS 2-6 med nya mellanväggar, omrörare och givare.

Utöver ovanstående åtgärder behövs programmering, eventuellt ett nytt styrskåp samt nitrat- och ammoniumgivare för varje linje. Luftarsystemets kapacitet behöver ses över totalt och för respektive zon så att dagens system är tillräckligt för föreslagen utformning.

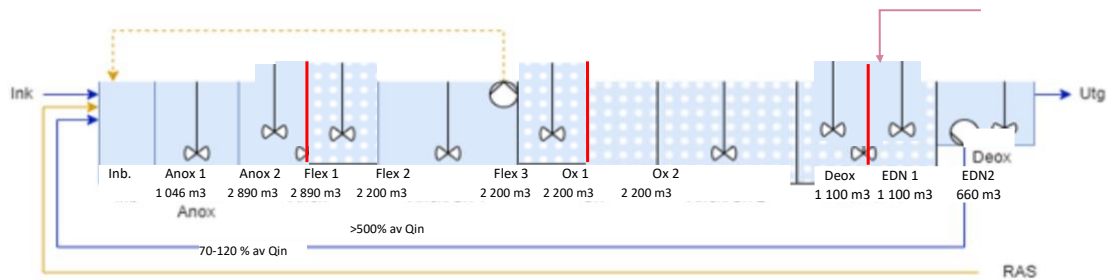
Investeringen för dessa åtgärder har bedömts utifrån Käppalaverkets erfarenheter av tidigare ombyggnationer och antagits till totalt 72 mkr och fördelas på avskrivningstider enligt följande:

- 35 % på bygg 30 år
- 5 % på el, 20 år
- 10 % på styr, 15 år
- 50 % på maskin, 20 år

Genomförandetiden är ansatt till 4 månader per linje och linjen är ur drift under ombyggnationen.

4.2.6. Ombyggnation linje 9-11

Ombyggnation av linje 9-11 innefattar åtgärder så som bättre fördelning av zonpolymer (nya mellanväggar, nya luftare/omrörare), ökade/optimerade recirkulationsflöden, höjning av slamhalten och införande av dynamisk styrning av processen som troligtvis skulle kunna ge stora effekter men exakt hur stora är svårt att säga utan att det utretts vidare. För ombyggda aktivslamlinjer i nya verket har därför två nivåer av kapacitetsökning antagits, AS-ED+ (alternativ 2 och 3A) där det antas att ombyggnationen ger en god effekt i linje med referenser från andra medelbelastade välfungerande reningsverk och AS-ED++ (alternativ 3B) där vi antar att ombyggnationen ger en mycket god effekt, i linje med Linje 1-6 men inte lika stor som i de bäst fungerande referensanläggningarna



Figur 17. Exempel på hur aktivslamprocessen i Linje 9–11 skulle kunna optimeras (observera att inga processberäkningar eller fördjupningar i utformningen gjorts).

Investeringen för ombyggnation linje 9-11 är svår att bedöma eftersom vilka åtgärder som krävs inte är utrett. Ett grovt antagande har gjorts av Käppala på 100 mkr/linje fördelat 50% på bygg 30 år och 50 % på maskin/övrigt 20 år. Tiden för ombyggnationen är ansatt till 1 år per linje men är också den svåruppskattad innan mer detaljerad utredning kring vilka åtgärder som krävs har genomförts.

4.2.7. Renovering linje 9, 10 och 11

I de alternativ där ombyggnation till MBBR av linje 9, 10 och 11 skjuts framåt i tiden till efter år 2040 har en renovering antagits behöva ske år 2035 enligt följande:

- 15 mkr om ombyggnation till MBBR eller förbättrad AS kommer att ske innan 2050
- 30 mkr om ombyggnation till MBBR eller förbättrad AS inte kommer att ske innan 2050
- Fördelas 50% på maskin och 50% på bygg

4.2.8. Rejektvattenrening

Investering för separat rektvattenrening i försedimenteringsbassäng är baserad på Swecos utredning Förstudie rektvattenrening Käppala samt påslag estimerat av Käppala. Totalt har investeringen bedömts uppgå till ca 130 mkr med en genomförandetid på 2 år.

Investeringarna fördelas enligt nedan:

- Bygg 30 mkr
- VVS 9 mkr
- El 13 mkr
- Styr 13 mkr
- Maskin 65 mkr

4.2.9. Läkemedelsrening

Investeringar för byggnation av läkemedelsrening har tagits med i modellen fast den inte bidrar till kvävereningen eftersom det är klart att krav på läkemedelsrening kommer att komma och Käppalas planer är att bygga den i linje 1. I beräkningarna för de ursprungliga alternativen tas linje 1 ur drift för att ge plats åt läkemedelsrening år 2035 och i de kompletterande alternativn år 2030. Det är i nuläget dock mycket osäkert när detta krav

kommer att införas. Investeringen för läkemedelsrening har ansatts till 500 mkr med en byggtid på fyra år (tre år i kompletterande alternativ) fördelat enligt nedan:

- Bygg 175 mnkr
- VVS 50 mnkr
- El 50 mnkr
- Styr 50 mnkr
- Maskin 175 mnkr

4.3. Sammanställning investeringar per alternativ

Nedan följer en sammanställning av ovan beskrivna investeringar och antaganden per alternativ.

Tabell 2 nedan visar en sammanställning av totala investeringar per alternativ.

Tabell 2 Totala investeringar per, mdkr

	Grundinvesteringar		Totalt över perioden,	
	2024-års prisnivå	uppräknade priser	2024-års prisnivå	uppräknade priser
0 - endast MBBR med RVR	7,4	8,4	9,2	11,1
1 - lätta åtgärder AS plus linje 9 MBBR med RVR	4,9	5,2	6,5	7,6
2 - maximal optimering+ ombyggnad AS utan RVR	3,7	3,9	5,4	6,4
3A - optimering + ombyggnad AS med RVR	3,7	3,9	5,4	6,4
3B - optimering + ombyggnad AS med bra resultat med RVR	3,7	3,9	5,4	6,4
Kompletterande alt A - lätta åtg + linje 9 MBBR med RVR	4,9	5,3	6,7	7,9
Kompletterande alt B - lätta åtg + optimering 9-10 med RVR	3,7	4,0	5,4	6,4

Grundinvesteringarna varierar i alternativen mellan 3,7 och 7,4 mdkr i 2024-års prisnivå, det vill säga en skillnad på hela 3,7 mdkr. Inkluderas återinvesteringar efter avskrivningstiderna så blir de totala investeringarna istället mellan 5,4 och 9,2 mdkr, en skillnad på 3,8 mdkr alltså ungefär lika stor skillnad.

4.3.1. Alternativ 0 – endast MBBR och RVR

I detta alternativ byggs linje 9–11 om till MBBR samt rejektvattenrening byggs. Det innebär att rejektvattenrening byggs 2027-2028, linje 9 byggs år 2029-2032, linje 10 2033-2036 och linje 11 först 2043-2046. Investeringen för läkemedelsrening ligger med i samtliga alternativ under åren 2035-2038.

Kalkylen för linje 8 ligger till grund för samtliga ombyggnationer men med ett antaget påslag med 50 mkr för linje 11 eftersom ombyggnation av dessa sker mer än 3 år efter linje 10 och av- och påtablering av entreprenörer behöver ske.

Tabell 3 Investeringar för alternativ 0 – endast MBBR och RVR, grundprisnivå i mkr

Alternativ 0 - endast MBBR och RVR									
		linje 7	linje 8	RVR	linje 9	linje 10	renovering linje 11	Läkemedels- rening	linje 11
Första byggår		2024	2024	2027	2029	2033	2035	2035	2043
Sista byggår		2026	2027	2028	2032	2036	2035	2038	2046
Börjar skrivas av		2027	2028	2029	2033	2037	2036	2039	2047
Bygg	30	465	403	30	403	403	8	175	419
VVS	20	210	182	9	182	182	0	50	189
El	20	45	39	13	39	39	0	50	41
Styr	15	105	91	13	91	91	0	50	95
Bärare	25	165	143	0	143	143	0	0	149
Maskin	20	510	442	65	442	442	8	175	459
SUMMA		1 500	1 300	130	1 300	1 300	15	500	1 350

Totala investeringarna i alternativ 0 uppgår till ca 7,4 miljarder kronor i grundprisnivå från år 2024 till 2046.

4.3.2. Alternativ 1 – lätta åtgärder AS plus linje 9 MBBR med RVR

I detta alternativ genomförs endast de lätta optimeringarna av aktivslamlinjerna. Först byggs linje 10 om till efterdenitrifikation år 2028 och därefter programmeras linje 1-6 för bättre styrning år 2030. Rejektvattenrening och ombyggnation av linje 9 till MBBR behöver sedan pågå samtidigt, RVR 2031-2032 och linje 9 2031-2034. Eftersom linje 10 och 11 inte byggs om alls i detta alternativ ligger en renoveringskostnad med år 2035.

Tabell 4 Investeringar för alternativ 1 – lätta åtgärder AS plus linje 9 MBBR med RVR, grundprisnivå i mkr

Alternativ 1 - lätta åtgärder AS plus linje 9 MBBR med RVR									
		linje 7	linje 8	AS ED 10	AS-ED + 1-6	RVR	renovering linje 10 och linje 11	Läkemedels- rening	
Första byggår		2024	2024	2028	2030	2031	2031	2035	2035
Sista byggår		2026	2027	2028	2030	2032	2034	2035	2038
Börjar skrivas av		2027	2028	2029	2031	2033	2035	2036	2039
Bygg	30	465	403	7	0	30	419	30	175
VVS	20	210	182	0	0	9	189	0	50
El	20	45	39	1	0	13	41	0	50
Styr	15	105	91	2	6	13	95	0	50
Bärare	25	165	143	0	0	0	149	0	0
Maskin	20	510	442	10	5	65	459	30	175
SUMMA		1 500	1 300	20	11	130	1 350	60	500

Totala investeringen i alternativ 1 uppgår till ca 4,9 miljarder kronor i grundprisnivå från år 2024 till år 2038.

4.3.3. Alternativ 2 – maximal optimering AS utan RVR

I detta alternativ byggs inte rejektvattenrening utan aktivslamlinjerna optimeras och byggs om maximalt. Det behöver göras i princip löpande från 2028 till 2036. Byggnation av läkemedelsrening pågår mellan 2035 till 2038 som i samtliga alternativ.

Tabell 5 Investeringar för alternativ 2 – maximal optimering av AS utan RVR, grundprisnivå i mkr

Alternativ 2 - maximal optimering AS utan RVR								
		linje 7	linje 8	AS ED 9-10	AS-ED + 1-6	AS-ED ++ 2-6	AS-ED + 9-11	Läkemedelsrening
Första byggår		2024	2024	2028	2029	2030	2033	2035
Sista byggår		2026	2027	2028	2029	2031	2035	2038
Börjar skrivas av		2027	2028	2029	2030	2032	2036	2039
Bygg	30	465	403	14	0	25	150	175
VVS	20	210	182	0	0	0	0	50
El	20	45	39	2	0	4	0	50
Styr	15	105	91	4	6	7	0	50
Bärare	25	165	143	0	0	0	0	0
Maskin	20	510	442	20	5	36	150	175
SUMMA		1 500	1 300	40	11	72	300	500

För alternativ 2 uppgår den totala grundinvesteringen till 3,7 miljarder kronor i grundprisnivå. Dessa tas mellan åren 2024-2038.

4.3.4. Alternativ 3A – optimering AS med RVR

I alternativ 3A genomförs de lätta åtgärderna i linje 1-6 och 9-10 för att sedan bygga rejektvattenrening 2032 till 2034 och linje 2-6 byggs om under 2033-2034. Därefter behöver bara linje 9 byggas om för att klara kapaciteten, det sker år 2036. Eftersom linjerna 10-11 inte byggs om behöver de renoveras år 2035.

Tabell 6 Investeringar för alternativ 3A – optimering AS med RVR, grundprisnivå i mkr

Alternativ 3A - optimering AS med RVR										
		linje 7	linje 8	AS ED 9-10	AS-ED + 1-6	RVR	AS-ED ++ 2-6	renovering linje 10 och 11	AS-ED + 9	Läkemedelsrening
Första byggår		2024	2024	2028	2030	2032	2033	2035	2036	2035
Sista byggår		2026	2027	2028	2030	2033	2034	2035	2036	2038
Börjar skrivas av		2027	2028	2029	2031	2034	2035	2036	2037	2039
Bygg	30	465	403	14	0	30	25	30	50	175
VVS	20	210	182	0	0	9	0	0	0	50
El	20	45	39	2	0	13	4	0	0	50
Styr	15	105	91	4	6	13	7	0	0	50
Bärare	25	165	143	0	0	0	0	0	0	0
Maskin	20	510	442	20	5	65	36	30	50	175
SUMMA		1 500	1 300	40	11	130	72	60	100	500

De totala investeringarna för alternativ 3A är likvärdiga de för alternativ 2 och uppgår också till 3,7 miljarder kronor.

4.3.5. Alternativ 3B – optimering AS med bra resultat

Alternativ 3B är en variant på 3A där ett bättre resultat för kvävereringskapaciteten efter ombyggnad har antagits för linje 9-11. Fram till 2033 är alternativet lika som 3A men det bättre resultatet medför att ombyggnation av linje 2-6 inte behövs utan istället byggs linje 9 om 2034 och linje 10 år 2040. Linje 11 renoveras år 2035.

Tabell 7 Investeringar för alternativ 3B – optimering AS med bra resultat, grundprisnivå i mnkr

Alternativ 3B - optimering AS med bra resultat med RVR										
		linje 7	linje 8	AS ED 9-10	AS-ED + 1-6	RVR	AS-ED ++ 9	renovering linje 11	Läkemedelsr ening	AS-ED + +10
Första byggår		2024	2024	2028	2029	2032	2034	2035	2035	2040
Sista byggår		2026	2027	2028	2029	2033	2034	2035	2038	2040
Börjar skrivas av		2027	2028	2029	2030	2034	2035	2036	2039	2041
Bygg	30	465	403	14	0	30	50	15	175	50
VVS	20	210	182	0	0	9	0	0	50	0
El	20	45	39	2	0	13	0	0	50	0
Styr	15	105	91	4	6	13	0	0	50	0
Bärare	25	165	143	0	0	0	0	0	0	0
Maskin	20	510	442	20	5	65	50	15	175	50
SUMMA		1 500	1 300	40	11	130	100	30	500	100

Investeringarna är likvärdiga alternativ 3A, 3,7 miljarder kronor. Dock finns en marginell skillnad i att ombyggnation av linje 10 i alternativ 3B är något dyrare än ombyggnation av linje 2-6 som görs istället i 3A.

4.3.6. Kompletterande alternativ A – lätta åtgärder plus RVR snabbt sedan linje 9

MBBR

I detta kompletterande alternativ optimeras linje 1-6 år 2027 och linjerna 9-10 byggs om med efterdenitrifikation år 2028. Därefter byggs RVR år 2032-2033. Linje 9 behöver dock byggas om till MBBR redan år 2031-2034. Linjerna 10-11 byggs inte om och renoveras därför år 2035. I de kompletterande alternativen byggs läkemedelsrening under åren 2030-2033.

Tabell 8 Investeringar för kompletterande alternativ A – lätta åtgärder plus RVR snabbt sedan linje 9 MBBR, md kr

Kompletterande alt A									
		linje 7	linje 8	AS-ED + 1-6	AS-ED 9-10	RVR	Läkemedels rening	linje 9	renovering linje 10 och 11
Första byggår		2024	2024	2027	2028	2032	2030	2031	2035
Sista byggår		2026	2027	2027	2028	2033	2032	2034	2035
Börjar skrivas av		2027	2028	2028	2029	2034	2033	2035	2036
Bygg	30	465	403	0	14	30	175	419	30
VVS	20	210	182	0	0	9	50	189	0
El	20	45	39	0	2	13	50	41	0
Styr	15	105	91	6	4	13	50	95	0
Bärare	25	165	143	0	0	0	0	149	0
Maskin	20	510	442	5	20	65	175	459	30
SUMMA		1 500	1 300	11	40	130	500	1 350	60

4.3.7. Kompletterande alternativ B – lätta åtgärder plus RVR snabbt sedan ombyggnation AS

Kompletterande alternativ B är lika som A fram till 2028. Därefter byggs linjerna 9 och 10 om för optimerad aktivslamprocess år 2033 respektive 2035. Linje 11 behöver då renoveras år 2035. Precis som i kompletterande alternativ A byggs läkemedelsreningen 2030-2032 i detta alternativ.

Tabell 9 Investeringar för kompletterande alternativ B- lätta åtgärder plus RVR snabbt sedan ombyggnation AS, mdkr

Kompletterande alt B										
	linje 7	linje 8	AS-ED + 1-6	AS-ED 9-10	RVR	Läkemedelsr ening	AS ED + 9	renovering linje 11	AS ED + 10	
Första byggår	2024	2024	2027	2028	2032	2030	2033	2035	2036	
Sista byggår	2026	2027	2027	2028	2033	2032	2033	2035	2036	
Börjar skrivas av	2027	2028	2028	2029	2034	2033	2034	2036	2037	
Bygg	30	465	403	0	14	30	175	50	15	50
VVS	20	210	182	0	0	9	50	0	0	0
El	20	45	39	0	2	13	50	0	0	0
Styr	15	105	91	6	4	13	50	0	0	0
Bärare	25	165	143	0	0	0	0	0	0	0
Maskin	20	510	442	5	20	65	175	50	15	50
SUMMA		1 500	1 300	11	40	130	500	100	30	100

4.4. Drift- och underhållskostnader

Samtliga drift- och underhållskostnader har inte inkluderats i den ekonomiska modellen utan endast kostnader för metanol samt energi för luftning av biostegen och rejektvattenrening plus en uppskattad driftskostnad för läkemedelsrening samt underhållskostnad för de aktivslamlinjerna 7-11 som inte byggs om har tagits med. Detta för att det endast är dessa kostnader som bedöms i väsentlig mån skilja sig mellan alternativen. Personalkostnader har inte tagits med i beräkningarna men troligt är att fler olika processer och optimerade processer ger upphov till behov av fler personalresurser.

Metanolförbrukningen i de olika alternativen har beräknats utifrån i Swecos processutredning antagen fördelning av kvävebelastning på de olika linjerna i respektive alternativ samt av Sweco beräknad förbrukning per mängd totalkväve in till respektive processteg, Tabell 10.

Tabell 10 Antagen metanol- och energiförbrukning för de olika kväverenningsprocesserna, från Sweco

	Metanolförbrukning l/kg N in		Energiförbrukning kWh/kg N in	
	utan rvr	med rvr	utan rvr	med rvr
MBBR	1,16	0,97	3,36	2,99
AS utan kolkälla 7-11	0,00	0,00	2,84	2,61
AS ED 7-11	0,66	0,46	2,84	2,61
AS ED 7-11 ombyggd	0,50	0,36	2,51	2,31
AS ED 7-11 ombyggd bra resultat	0,50	0,38	2,35	2,16
AS ED 1-6	0,48	0,31	2,77	2,58
AS ED 1-6 optimerad	0,43	0,26	2,95	2,75
AS ED 2-6 ombyggd	0,46	0,22	2,90	2,70
Rfejktvattenrening	--	--	--	0,16

Pris för metanol är av Käppala angett till 5 168 kr/m³ (6 500 kr/ton) baserat på nuvarande pris.

Energiförbrukningen för luftning av biostegen har på samma sätt som för metanolförbrukningen beräknats utifrån Swecos processberäkningar med angiven fördelning av kvävebelastning per processteg. Elpriset är satt till 1,50 kr/kWh.

Kostnader för underhåll av de aktivslamlinjerna 7-11 som inte byggs om har antagits, baserat på nuvarande underhållskostnader, till 5 mkr per år och linje för linjer som varit i drift mer än 10 år. För de linjer som byggts till MBBR eller förbättrad aktivslamprocess har underhållskostnaden i stället antagits till 500 tkr första året efter ombyggnation och därefter ökande med 500 tkr per år upp till 10 år.

Kostnad för drift av läkemedelsrening är antagen till 32 mkr per år.

4.5. Investeringar per åtgärd

I tabellen nedan presenteras antagna investeringar per åtgärd samt beräknad årlig kapitalkostnad i form av ränta 2,5 % samt avskrivningar. Kapitalkostnaden är beräknad för varje avskrivningstid med Excels-formel *betalning* som beräknar jämna räntebetalningar plus jämna avskrivning för ett lån som återbetalas med lika stora belopp varje år över en ansatt avskrivningstid, vilket ger en uppfattning om genomsnittliga kapitalkostnader. Tabellen redovisar även den ökade kvävereningsskapaciteten som respektive åtgärd bedömts medföra. Detta görs med och utan rejektvattenrening eftersom den antas ge olika effekt för olika processer. Utifrån kapitalkostnad samt ökad kväverening har nyckeltal för respektive åtgärd beräknats som investeringskostnad per kg ökad kvävereningsskapacitet.

Tabell 11 Antagna investeringar, årlig kapitalkostnad och kvävereduktion per åtgärd. Siffrorna avser samtliga angivna linjer för respektive åtgärd.

	Antagen investering (mkr)	Årlig kapital-kostnad: ränta 2,5% + avskrivning (tkr per år)	Ökad kvävereningsskapacitet från åtgärden utan RVR (ton/år)	Ytterligare ökad kvävereningsskapacitet från åtgärden i och med RVR (ton/år)	Totalt ökad kvävereningsskapacitet från åtgärden inkl RVR (ton/år)	Kapital-kostnad per kg TN ökad kvävereningsskapacitet utan RVR (kr/kg TN)	Kapital-kostnad för RVR per ytterligare ökad kvävereningsskapacitet per år i och med RVR (kr/kg TN)	Kapital-kostnad per kg TN total ökad kvävereningsskapacitet inkl RVR (kr/kg TN)
Obyggnad MBBR linje 7-8	2 800	165 620	401	203	604	413	40	288
Obyggnad MBBR linje 7-9	4 100	242 515	601	304	906	403	26	277
Obyggnad MBBR linje 7-11	6 750	399 263	1 002	507	1 509	398	16	270
Uppgradering 9-10 med ED	40	2 403	57*	210	267	42	38	39
Obyggnation linje 9-11	300	16 789	380	87	466	44	93	53
Obyggnation linje 9-11++ med bra resultat	300	16 789	680	134	814	25	60	31
Optimering bättre styrning 2-6	11	805	146	0	146	6		61
Obyggnation 2-6	72	4 326	110	0	110	40		113
Rejektvattenrening	130	8 066						

*Åtgärden ger inte förbättrad kapacitet för total mängd kväve men kan rena ner till lägre koncentrationer. Ökad reduktion är bedömd utifrån vad övriga linjer annars räknats med behöver kompensera för.

Ur tabellen kan utläsas att kapitalkostnaden som ombyggnation till MBBR-process genererar är ca 400 kr per kg TN som åtgärden ökar kvävereningsskapaciteten med. Detta kan då jämföras med kostnaden för ombyggnation av linje 9-11 som kostar ca 25-44 kr/kg TN, optimering av linje 2-6 ca 6 kr/kg TN samt ombyggnation av linje 2-6 ca 40 kr/kg TN.

Införs rejektvattenrening och den enda ombyggnationen som görs är MBBR linje 7-9 kostar rejektvattenreningen ca 26 kr/kg TN, byggs sedan även linje 10 och 11 om till MBBR blir

kostnaden för RVR endast ca 16 kr/kg TN. Är den enda ombyggnationen som görs istället linje 9-11 kostar rejektivattenreningen ca 60-90 kr/kg TN.

Slås kapitalkostnaderna för RVR och MBBR ihop blir kostnaden istället ca 270-290 kr/kg TN att jämföras med kostnaden för RVR plus endast ombyggnad linje 9-11 som blir ca 30-50 kr/kg TN.

4.6. Kostnader per alternativ

För att på samma sätt som ovan jämföra nyckeltal, men här per alternativ, har investeringar, kapitalkostnader och kostnad för metanol och el (förbrukning år 2050) samt ökad kvävereduktion räknats ihop för respektive utbyggnadsalternativ. Detta redovisas i Tabell 12 nedan.

Tabell 12 Investering, beräknad kapitalkostnad, metanol- och elkostnad samt ökad kvävereduktion per alternativ, 2024-års prisnivå

	Antagen investering (mkr)	Årlig kapital-kostnad: ränta 2,5% + avskrivning (tkr per år)	Kostnad metanol och el för drift 2024-års priser (tkr/år)	Ökad kväverenningskapacitet utan RVR (ton/år)	ökad kväverenningskapacitet från RVR i alt. (ton/år)	Ökad kväverenningskapacitet från alla åtg i alt. (ton/år)
0 - endast MBBR med RVR	6 895	408 169	33 537	1 002	507	1 509
1 - lätta åtgärder AS plus linje 9 MBBR med RVR	4 371	258 904	28 680	747	356	1 103
2 - maximal optimering+ ombyggnad AS utan RVR	3 223	189 943	28 564	1 036	0	1 036
3A - optimering + ombyggnad AS med RVR	3 213	190 175	25 974	783	283	1 066
3B - optimering + ombyggnad AS med bra resultat med RVR	3 211	189 767	25 632	1 000	318	1 318

I Tabell 13 nedan redovisas nyckeltal per alternativ.

Tabell 13 Beräknade nyckeltal per alternativ

	Kapitalkostnad per kg TN total ökad kväverenningskapacitet (kr/kg TN)	Driftskostnader (el och metanol) per kg TN ökad kväverenningskapacitet (kr/kg TN)	Årskostnad (kapital+metanol+el) per kg TN total ökad kväverenningskapacitet från alla åtg i alt. (kr/kg TN)	RVR:s kapitalkostnad per ökad kväverenningskapacitet från RVR (kr/kg TN)
0 - endast MBBR med RVR	270	22	293	16
1 - lätta åtgärder AS plus linje 9 MBBR med RVR	235	26	261	23
2 - maximal optimering+ ombyggnad AS utan RVR	183	28	211	0
3A - optimering + ombyggnad AS med RVR	178	24	203	29
3B - optimering + ombyggnad AS med bra resultat med RVR	144	19	163	25

Kapitalkostnaderna (ränta och avskrivning) i alternativ 0 är ca 270 kr per kg ökad kväverenningskapacitet som alternativet ger upphov till. Alternativ 1 har kapitalkostnad på 235 kr per kg ökad kväverenningskapacitet. Alternativ 2, 183 kr/kg TN och 3A motsvarande 178 kr per kg TN. Billigast är alternativ 3B, med ca 144 per kg TN.

För att få med de driftskostnader som är alternativskiljande har el- och metanolkostnad beräknats och delats med den ökade kväverenningskapaciteten som åtgärderna i respektive

alternativ ger upphov till. Där kan utläsas att alternativ 2 som inte har rejektivattenrening är dyrast med 28 kr/kg/TN och alternativ 3B, 19 kr/kg TN.

Sista kolumnen redovisar kapitalkostnaderna för rejektivattenreningen per ökad kväverenningskapacitet. Där kan utläsas att införande av rejektivattenrening är mest kostnadseffektivt när många linjer byggs om till MBBR.

5. Resultat ekonomisk modell

För att få en överblick över hur de olika utbyggnadsalternativen skiljer sig ekonomiskt sinsemellan har en ekonomisk beräkningsmodell tagits fram. Modellen beräknar årskostnader per år för åren 2024 till 2050. Indata är i kapitlet ovan angivna förutsättningar, investeringar och driftskostnader. Utifrån dessa beräknar modellen respektive alternativs påverkan på Käppalaförbundets lånevolym, kapitaltjänstkostnader, driftskostnader samt årskostnader över åren 2024-2050.

För varje alternativ presenteras grafer med lånevolym och årskostnader.

Resultaten från den ekonomiska modellen innefattar inte Käppalaförbundets alla lån och kostnader utan endast investeringar och ovan nämnda driftskostnader för de olika utbyggnadsalternativen. Total påverkan på ekonomin kan därför inte utläsas från resultaten utan beräkningarna är endast till för en jämförelse mellan studerade utbyggnadsalternativ.

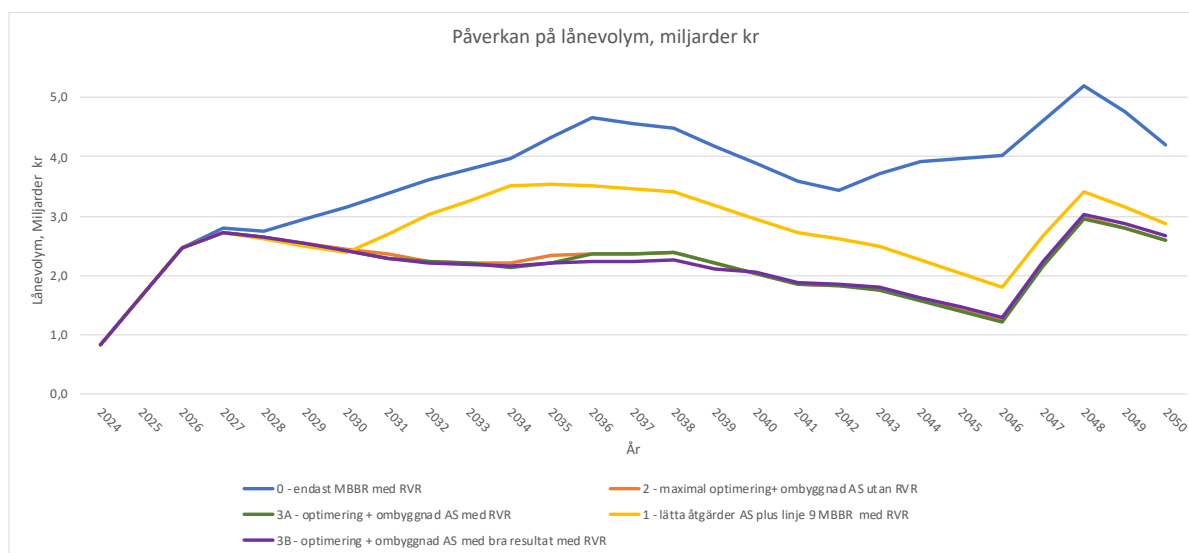
Käppalaförbundet har utöver vanliga hushåll även anslutning av industrier som är med och delar på kostnaderna på samma sätt som hushållen. För att fördela kostnaderna rättvis har Käppalaförbundet tagit fram begreppet total anslutning, TA, där industriernas belastning räknats om till personekvivalenter och slagits ihop med antal anslutna personer. Prognosen visar att TA kommer öka från ca 714 tusen till drygt en miljon från 2024 till 2050. Resultaten redovisas också som kronor per ansluten TA. Det är med samma resonemang som ovan inte en total påverkansfaktor på taxan utan endast att ses som en jämförelse mellan alternativens skillnader i taxepåverkan.

Alla kostnader räknas upp med antagen inflation på 2 % för att beräkna varje års reella kostnader, detta används för lånevolym och driftskostnader nedan. Men för att kunna jämföra skillnaderna mellan alternativen över tid, trots att pengarnas värde minskar med åren genom inflationen, har årskostnaderna räknats om till 2024-års penningvärde genom att dividera den uppräknade årskostnaden med den för varje år ackumulerade inflationen sedan 2024. Det ger en uppfattning om alternativens ekonomiska skillnader utifrån dagens värde på pengarna.

5.1. Lånevolym

Lånevolymen visar hur stort lånet är för de sammanlagda investeringarna varje år för respektive alternativ. Lånevolymen ökas med summan av nya investeringar varje år och minskas med varje års sammanlagda avskrivningsbelopp.

I Figur 18 nedan visas alternativens påverkan på den totala lånevolymen i uppräknad prisnivå.



Figur 18 Alternativens påverkan på totala lånevolymen för respektive år i miljarder kronor i uppräknad prisnivå.

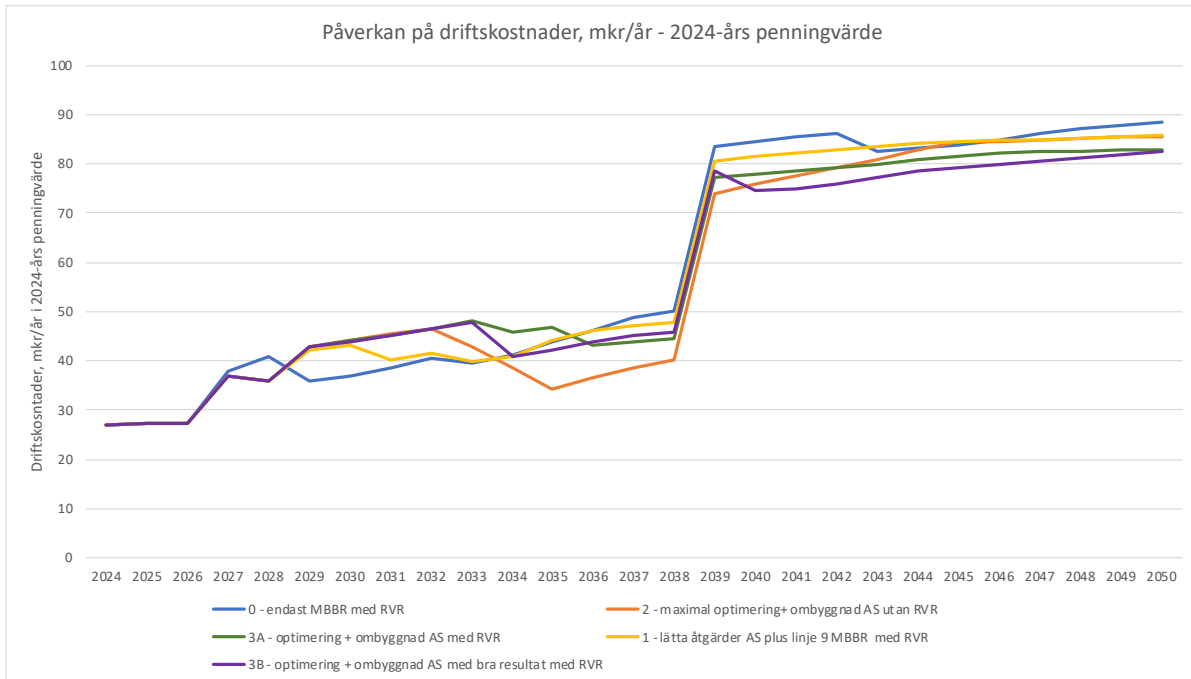
Figuren visar tydligt att de tunga investeringarna för ombyggnation till MBBR genererar hög lånevolym jämfört med optimering och ombyggnation av aktivslamlinjerna.

I alternativ 0 där linje 7-11 byggs om till MBBR kommer den totala lånevolymen från dessa investeringar upp i 4,7 miljarder kronor, år 2036. Senare i perioden när stora återinvesteringar tas kommer lånevolymen enligt beräkningarna upp i över 5 miljarder kronor med det är förknippat med stora osäkerheter så långt fram i tiden. I alternativ 1 där linje 7-9 byggs om till MBBR är lånevolymen som mest 3,5 miljarder kronor år 2034-2036.

Alternativ 2, 3A och 3B har liknande investeringar och betydligt lägre lånevolym. Störsts lånevolym är efter linje 7 och 8 byggts om till MBBR 2027, ca 2,7 miljarder kronor samt upp mot 3 miljarder kronor i slutet av perioden då återinvesteringar för linje 7 och 8 tas.

5.2. Driftskostnader

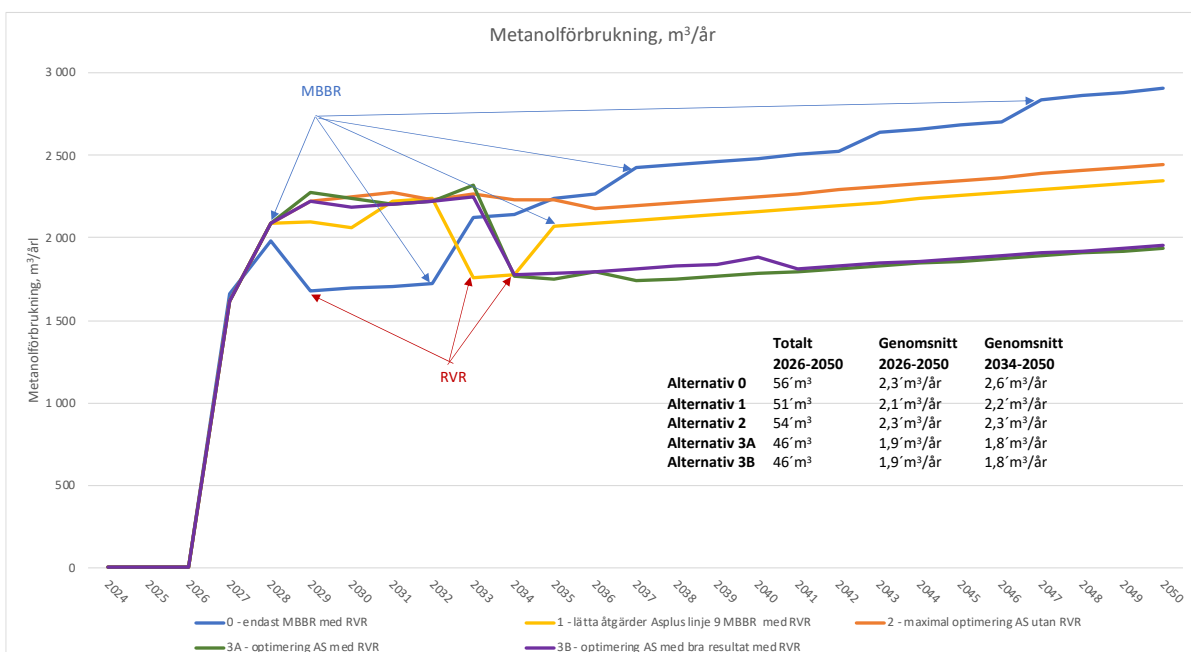
För att få en helhetsbild av skillnaden mellan de olika alternativens påverkan på taxan har även driftskostnader tagits med. Driftskostnaderna innefattar endast de kostnader som är olika i alternativen vilket är kostnader för underhåll, energi för luftning, metanol som extern kolkälla samt drift av läkemedelsrening. Driftskostnaderna visas i Figur 19 nedan.



Figur 19 Alternativskiljande driftskostnader för utbyggnadsalternativen, mkr/år i 2024-års penningvärde

I figuren kan utläsas att driftskostnaderna är relativt likvärdiga över tiden mellan alternativen. År 2027 är driftskostnaden för samtliga alternativ ca 37 mnkr/år och ökar med ca 30 mkr år 2039 när läkemedelsreningen tas i drift. Vid år 2050 landar de på runt 80-90 mnkr/år i 2025-års penningvärde.

Det som kan vara av intresse av andra orsaker än enbart ekonomiskt är kemikalieförbrukning och energiförbrukning. Dessa redovisas i Figur 20 och Figur 21 nedan.

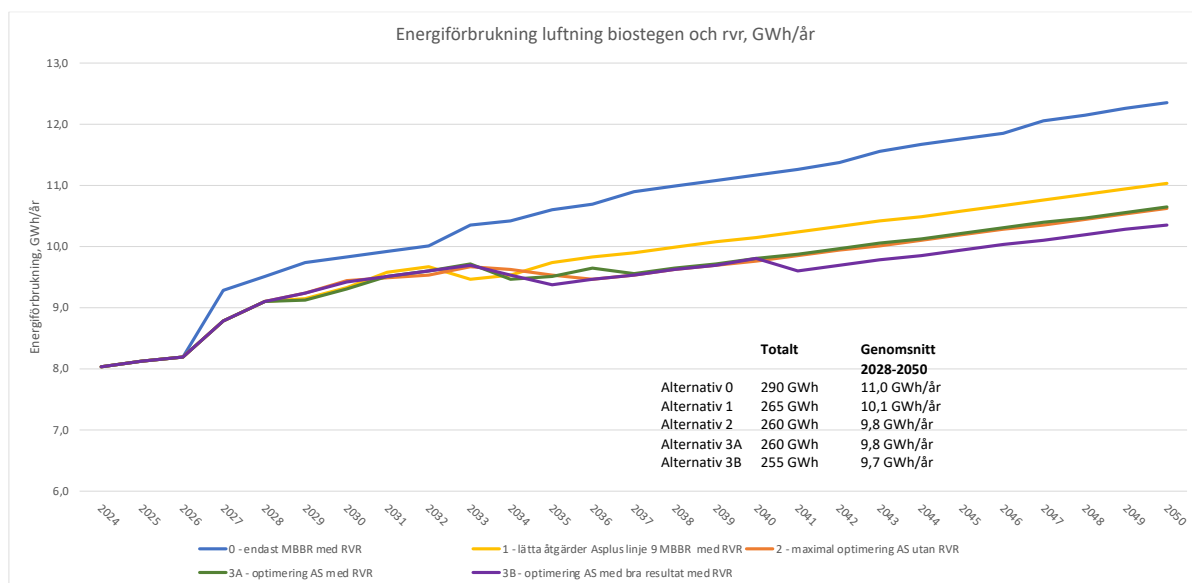


Figur 20 Metanolförbrukning för respektive alternativ.

MBBR-processen kräver mer metanol än aktivslam med efterdenitrifikation, vilket figuren visar. I genomsnitt över hela perioden rör det sig om ca 400 m³ mer per år för alternativ 0 med fem MBBR-linjer än för alternativ 3A och 3B med endast två MBBR-linjer.

Figuren visar också att rejektivattenreningen har stor påverkan på metanolförbrukningen. Sett över hela perioden behöver alternativet med maximal optimering av AS men utan rejektivattenrening (alternativ 2) ungefär 400 m³ mer metanol per år än alternativen med optimering av AS men med rejektivattenrening (alternativ 3A och 3B). Tittar man på bara perioden efter rejektivattenreningen är i drift, 2035-2050 så rör det sig istället om ca 500 m³ per år i genomsnitt.

Figur 21 nedan visar beräknad energiförbrukning för alternativen.



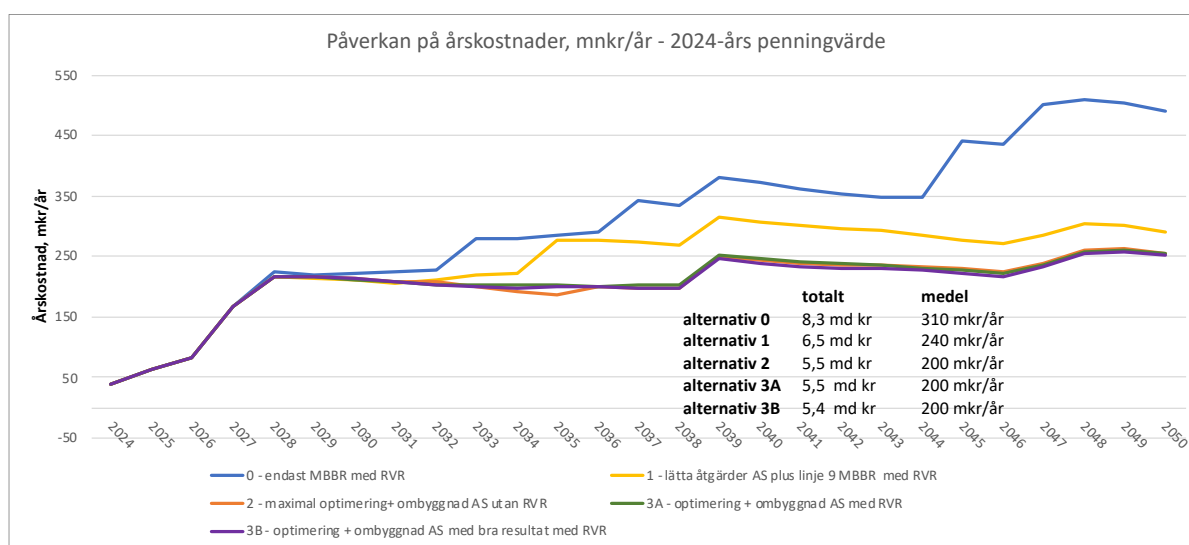
Figur 21 Energiförbrukning för luftning av biolinjer och separat rejektivattenrening för respektive alternativ i GWh/år.

Figuren visar att MBBR-processen är betydligt mer energikrävande än aktivslamprocessen. Alternativ 0 med fem MBBR-linjer behöver i genomsnitt över perioden 2028-2050 ungefär 1,2 – 1,3 GWh per år mer än alternativ 2, 3A och 3B som bara har två MBBR-linjer. Vidare kan utläsas att skillnaden mellan rejektivattenrening och maximal optimering av aktivslamprocesserna är försumbar avseende energiförbrukning.

5.3. Årskostnader

För att få en övergripande jämförelse mellan alternativen presenteras här resultat i form av årskostnader för respektive alternativ. Årskostnaderna innefattar ränta, avskrivning, underhåll, el, metanol samt drift av rejektivattenrening för beskrivna åtgärder. Noteras bör att detta inte är samtliga av Käppalaförbundets årskostnader utan endast den påverkan investeringar och alternativskiljande driftskostnader har på de totala årskostnaderna.

I graferna nedan presenteras årskostnaderna i 2024-års penningvärde för respektive alternativ. Det vill säga de uppräknade kostnaderna tillbakaräknade till 2024-års penningvärde.



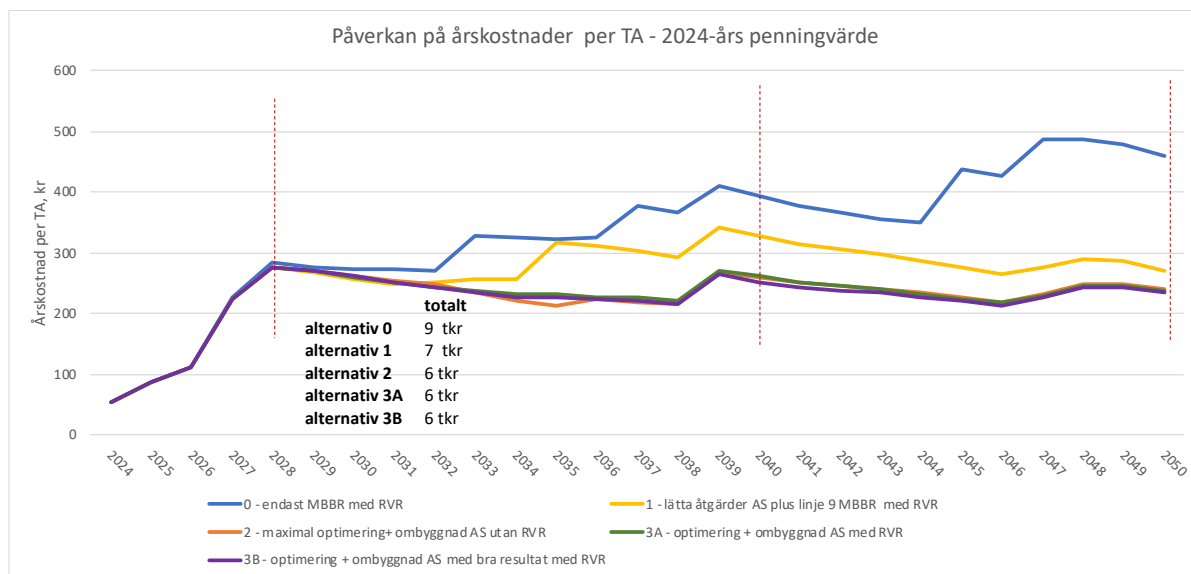
Figur 22 Påverkan på totala årskostnader från respektive alternativ, miljoner kr i 2024-års penningvärde

Alternativ 0 där samtliga av linje 7-11 byggs om till MBBR samt att rejektivattenrening byggs får en total årskostnad med 2024-års penningvärde för hela perioden på ca 8,3 miljarder kronor vilket motsvarar i genomsnitt 310 miljoner kronor per år.

Alternativ 1 där endast linje 7-9 byggs om till MBBR samt rejektivattenrening får istället en total årskostnad på ca 6,5 miljarder kronor över hela perioden, i genomsnitt 240 miljoner kr per år.

Figur 22 visar vidare att alternativ 2, 3A och 3B där ingen mer MBBR-linje behöver byggas utöver linje 7 och 8 genererar likvärdiga årskostnader över hela perioden motsvarande ca 5,4-5,5 miljarder kronor, 200 miljoner kronor per år i genomsnitt.

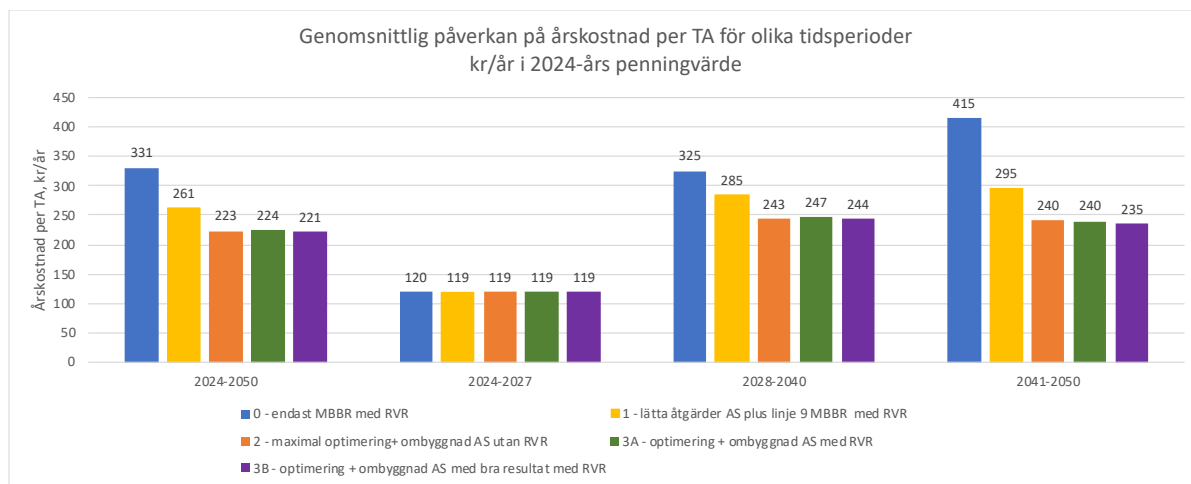
Det är alltså tydligt att ombyggnationen till MBBR-linjer är av avgörande ekonomisk faktor. För att få en uppfattning om det är en betydande skillnad är det relevant att få ett begrepp om hur mycket pengar det är för den enskilda invånaren. Därför har årskostnaderna delats per TA och redovisas i figuren nedan.



Figur 23 Respektive alternativs påverkan på årskostnaden fördelat per ansluten person, kr.

Den totala påverkan på årskostnaden för hela perioden varierar från 6 till 9 tusen kronor per TA. Alternativ 0 kostar alltså totalt ca 3 tusen kronor mer per TA än alternativ 2, 3A och 3B samt ca 2 tusen kronor mer per TA än alternativ 1.

Kostnadsskillnaderna skiljer sig dock i olika tidsperioder och i Figur 24 nedan visas genomsnittliga årskostnader per TA för några olika perioder.



Figur 24 Genomsnittlig påverkan på årskostnad per TA för olika tidsperioder, kr/år i 2024-års penningvärde

Över hela perioden 2024 till 2050 kostar alternativ 0 i genomsnitt ca 330 kr per TA och år. Alternativ 1 motsvarande 260 kr och alternativ 2, 3A och 3B ca 220 kr/år och TA. Det innebär att alternativ 0 med ombyggnation till fem MBBR-linjer kostar varje person i genomsnitt ca 110 kr mer per år än alternativ 2, 3A och 3B där det i stället satsas på att optimera befintliga aktivslamprocesser.

Fram till 2027 är dock alla alternativen i stort sett lika med en genomsnittlig kostnad på ca 120 kr per TA och år. Trettonårsperioden därefter, fram till 2040 (2028 – 2040) kostar i stället i genomsnitt ca 325 kr/TA och år för alternativ 0 och ca 40 kr/TA och år mindre för

alternativ 1 och 80 kr/TA och år mindre för alternativ 2, 3A och 3B. Den senare delen av den studerade tidsperioden, 10 år, från 2041 till 2050 kostar i genomsnitt 415 kr/ TA och år för alternativ 0 och 120 kr/TA och år mindre för alternativ 1 samt 170 - 175 kr/TA och år mindre för alternativ 2, 3A och 3B.

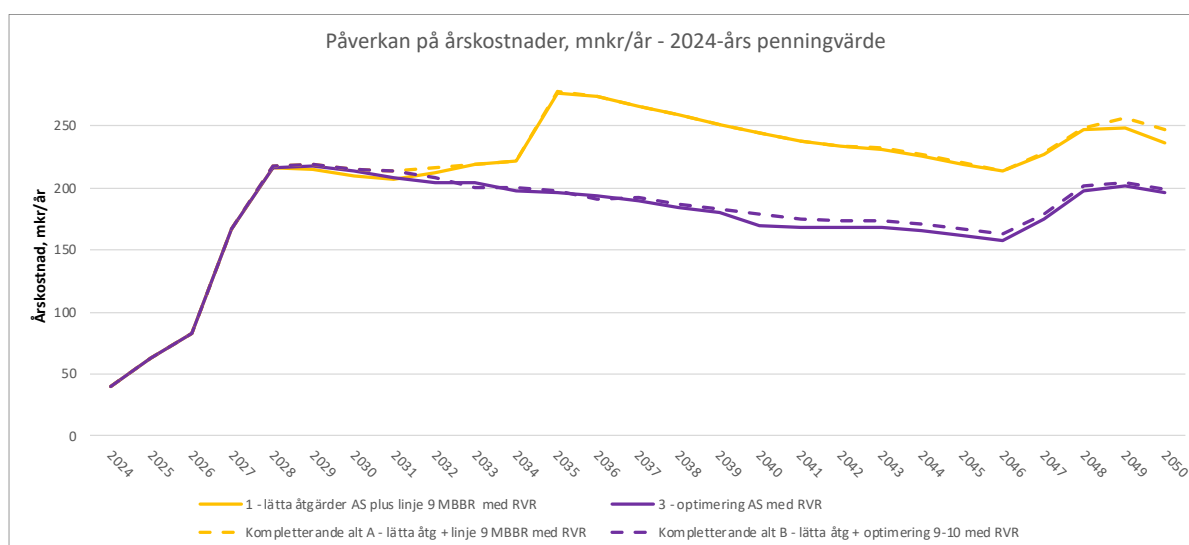
Den ekonomiska analysen visar alltså att de stora investeringarna för ombyggnad till MBBR genererar stora ekonomiska skillnader för Käppalaförbundet på i genomsnitt runt 110 mkr/år vilket för den enskilda medborgaren rör sig om i genomsnitt ca 110 kr/år varierande över perioden mellan 80-175 kr/TA och år.

5.4. Kompletterande alternativ

Det kompletterande alternativet A är investeringsmässigt mycket likt alternativ 1, enda skillnaden är att i alternativ 1 byggs aldrig linje 9 om med efterdenitrifikation men det görs i kompletterande alternativ A, en investering som är uppskattad till 20 mkr. Kompletterande alternativ B är investeringsmässigt precis lika som alternativ 3B men med skillnaden att de mer konservativa antagandena för ökad kvävereningskapacitet efter genomförda åtgärder har använts för ombyggnation av linje 9 och 10 i kompletterande alternativ B medan det bättre resultatet har använts i alternativ 3B. Detta medför att åtgärderna kan senareläggas i alternativ 3B jämfört med kompletterande alternativ B.

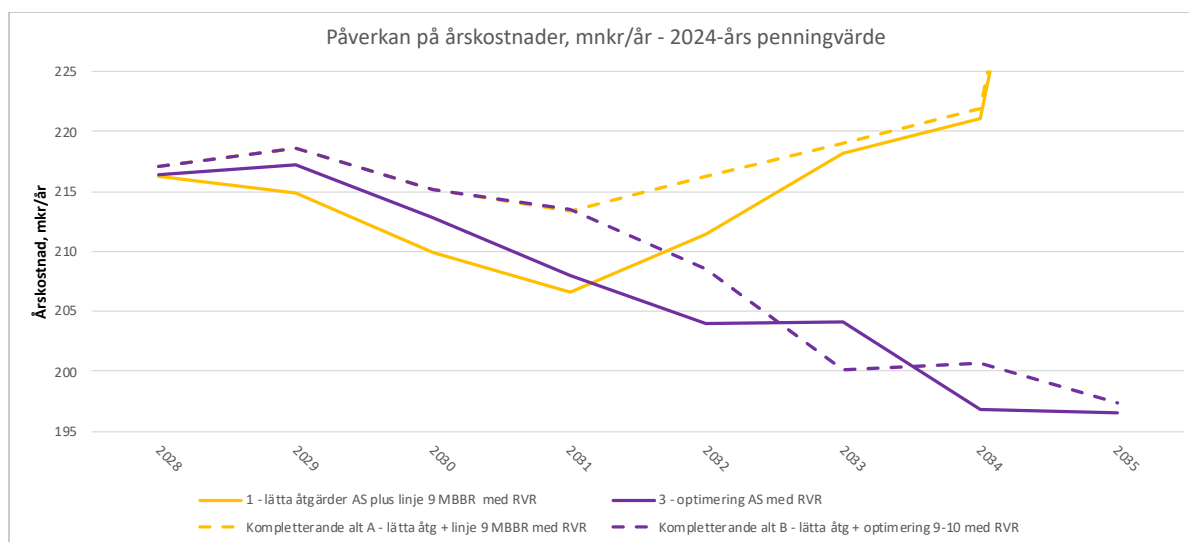
En annan skillnad är att läkemedelsreningen ligger tidigare i de kompletterande alternativen jämfört med de ursprungliga. För att få en uppfattning om de ekonomiska skillnaderna i att tidigarelägga lätta åtgärder i aktivslamlinjerna har de kompletterande alternativen jämförts med alternativ 1 och 3B men utan investering och drift av läkemedelsrening eftersom tidpunkten då läkemedelsreningen behöver byggas inte är ett val som ingår i utbyggnadsplanen då Käppala inte styr över när kravet kommer.

Figur 25 nedan visar årskostnaderna för alternativ 1 och 3B samt kompletterande alternativ A samt kompletterande alternativ B i 2024-års penningvärde utan läkemedelsrening.



Figur 25 Årskostnader utan läkemedelsrening för alternativ 1, 3B och kompletterande alternativ A och B, i 2024-års penningvärde

Som figuren ovan visar skiljer sig årskostnaderna i alternativ 1 och kompletterande alternativ A mycket lite åt, lika så i alternativ 3B och kompletterande alternativ B. Fördyringen som blir genom att lägga lätta åtgärder samt rejektivattenreningen lite tidigare i kompletterande alternativen syns främst mellan åren 2028 och 2034. I Figur 26 nedan visas en zoomad bild över den perioden.



Figur 26 Årskostnader utan läkemedelsrening för alternativ 1, 3B och kompletterande alternativ A och B, i 2024-års penningvärde under åren 2028-2035

Kompletterande alternativ A är i 2024-års penningvärde totalt 23 mkr dyrare än alternativ 1, i genomsnitt 4 mkr per år under perioden 2028-2034.

Jämförs alternativ 3B med kompletterande alternativ B under perioden 2028-2032 är kompletterande alternativ B 15 mkr dyrare, i genomsnitt ca 3 mkr per år.

Jämförs istället alternativ 1 med kompletterande alternativ B mellan 2028-2031 är kompletterande alternativ B totalt 17 mkr dyrare, i genomsnitt 4 mkr per år. Därefter blir kompletterande alternativ B betydligt billigare än alternativ 1 eftersom linje 9 inte byggs om till MBBR.

5.5. Osäkerheter i resultat

Den ekonomiska modellen är en beräkningsmodell och resultatet inte mer säkert än indata. Denna modell har indata som baseras på ekonomiska parametrar såsom inflation och ränta. Dessa parametrar är svåra att prognostisera. En högre ränta gör det mer lönsamt att skjuta de stora investeringarna framåt i tiden men en högre inflation gör det å andra sidan mindre lönsamt att skjuta investeringar i tiden. Troligt är att dessa effekter tar ut varandra och minskar felmarginalen i skillnaderna mellan alternativen.

Driftskostnader såsom energiförbrukning och kemikalieförbrukning baseras på processberäkningar med osäkerhetsfaktorer. Framtida el- och kemikaliepriser är också svårprognostiserade. Driftskostnaderna är dock en liten del av de totala årskostnaderna så dessa felkällor påverkar inte slutresultatet i den övergripande jämförelsen nämnvärt. Det kan dock vara en intressant parameter att studera närmare längre fram om inte fler MBBR-linjer byggs utan olika möjligheter till optimering av aktivslamlinjerna väljs istället.

Det som påverkar årskostnaderna är främst investeringarna. Kostnaden för en investering påverkas av angivna avskrivningstider och ränta. I denna modell påverkar avskrivningstiden även när i tiden en återinvestering tas. För stora investeringar ger fördelningen på avskrivningstid relativt stor påverkan på modellens beräknade årskostnader.

Det som ger störst ekonomiska skillnader mellan alternativen är dock investeringarnas storlekar. Samtliga investeringar i denna modell bygger på kostnadsbedömningar baserade på olika typ av underlag och antaganden vilka är behäftade med osäkerheter. Investeringarna för åtgärder utöver ombyggnation till MBBR är relativt små i förhållande till investeringen för MBBR och därför får felmarginalen i dessa investeringsbedömningar inte så stor påverkan på det ekonomiska utfallet i den övergripande jämförelsen. Det som får störst inverkan på ekonomiska skillnader mellan alternativen är hur många linjer som byggs om till MBBR. Görs dock valet att inte bygga om samtliga av linjerna 7-11 till MBBR kan det vara av intresse att studera ekonomin igen när en utredning för ombyggnation till förbättrad aktivslam för linje 9-11 genomförts och ett bättre underlag för åtgärder, investeringar och kväverenskapskapacitet finns.

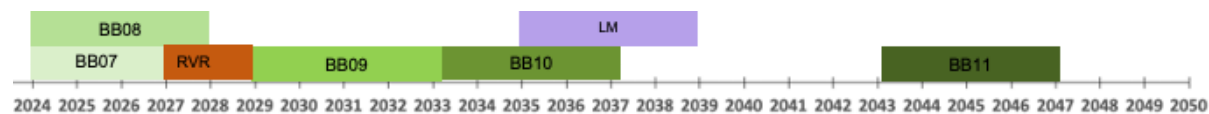
Denna utredning visar på att det går att klara kväverenskapsbehovet fram till 2050 utan att bygga om fler linjer än 7-8 till MBBR, genom enbart optimering och ombyggnation av aktivslamlinjerna eller delvis ombyggnation och rejektvattenrening. Detta är dock baserat på processberäkningar och befolkningsprognos vilket innebär att osäkerheter i dessa ger effekt på resultatet.

6. Slutsatser ekonomi

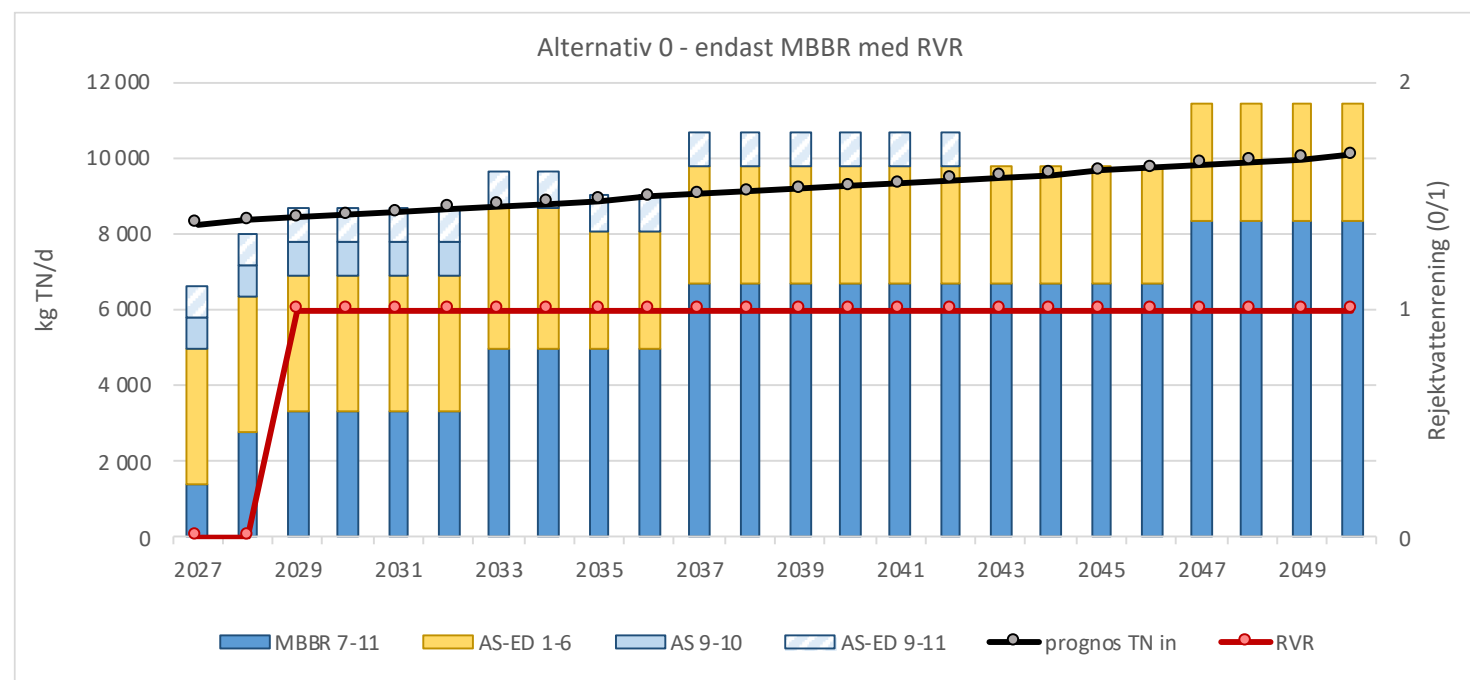
De ekonomiska beräkningarna visar att det finns stor ekonomisk vinning i att inte bygga om fler linjer än 7-8 till MBBR. Vilka aktivslamlinjer som sen optimeras eller byggs om eller om rejektvattenrening byggs för att klara kväverenkinskapaciteten har mycket liten ekonomisk betydelse. Att genomföra mindre optimeringsåtgärder i aktivslamlinjerna samt bygga rejektvattenrening direkt efter linje 7 är ombyggd till MBBR (kompletterande alternativ) för att erhålla lite större marginal de första åren innebär inte heller någon stor kostnadsökning jämfört med att genomföra åtgärderna så sent som möjligt.

En vidareutvecklad analys och jämförelse mellan alternativen redovisas i huvudrapporten *Utvärdering av utbyggnadsalternativ - huvudrapport ver 2*.

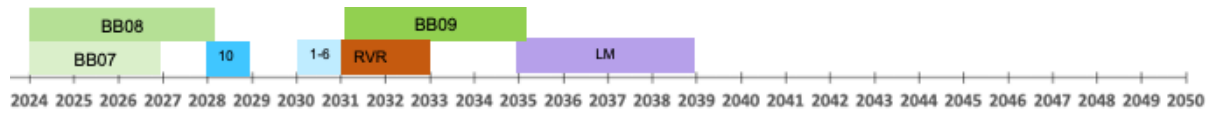
7. Figurer



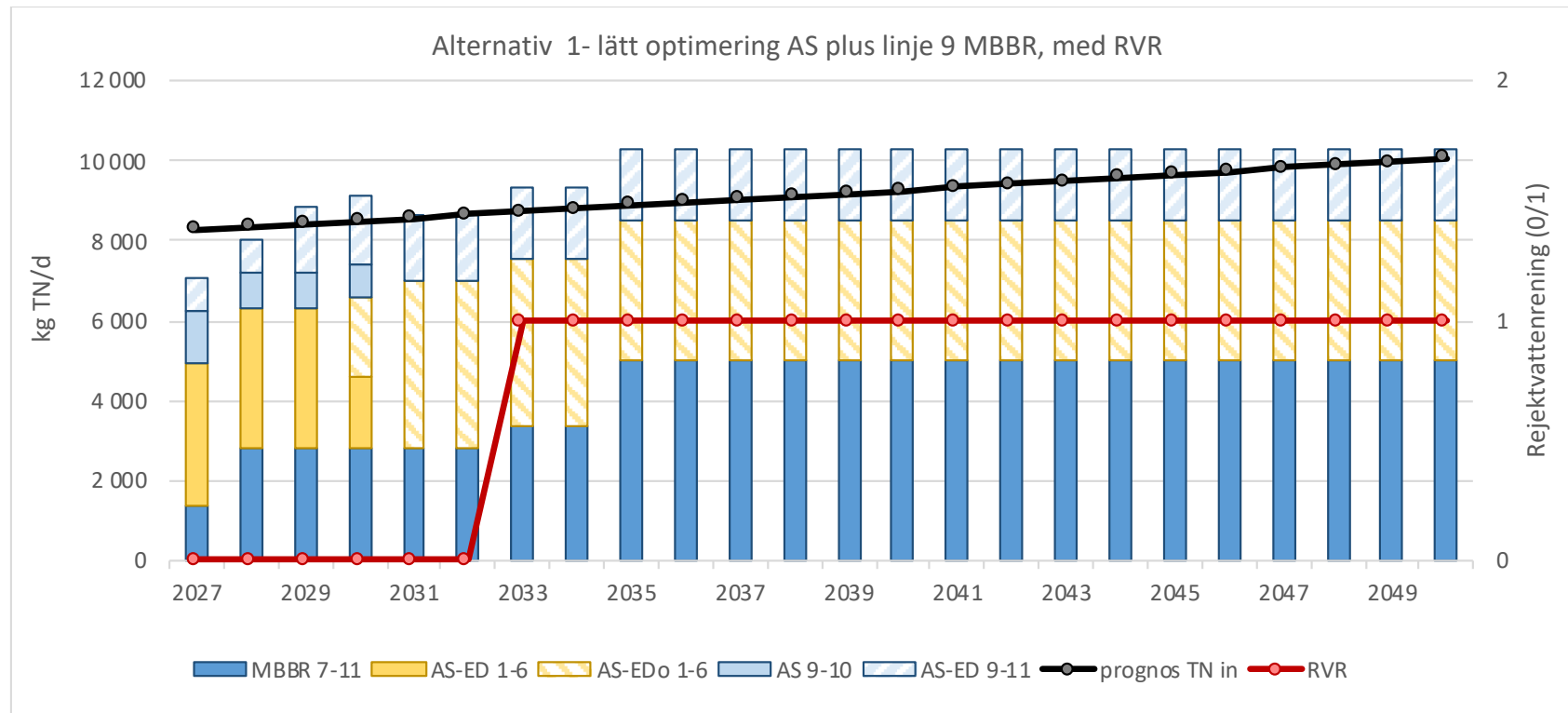
Figur 1 Tidslinje för utbyggnadsalternativ 0 – endast MBBR med RVR Gröna rutor MBBR-ombyggnad, orange rejektivattenrening samt lila läkemedelsrening.



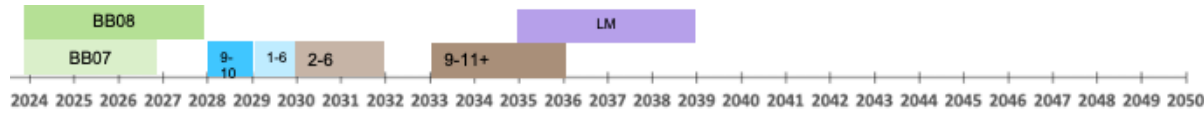
Figur 2. Kvävereringskapacitet och reningsbehov för att uppnå produktionsmål för utbyggnadsalternativ 0 - endast MBBR med RVR.



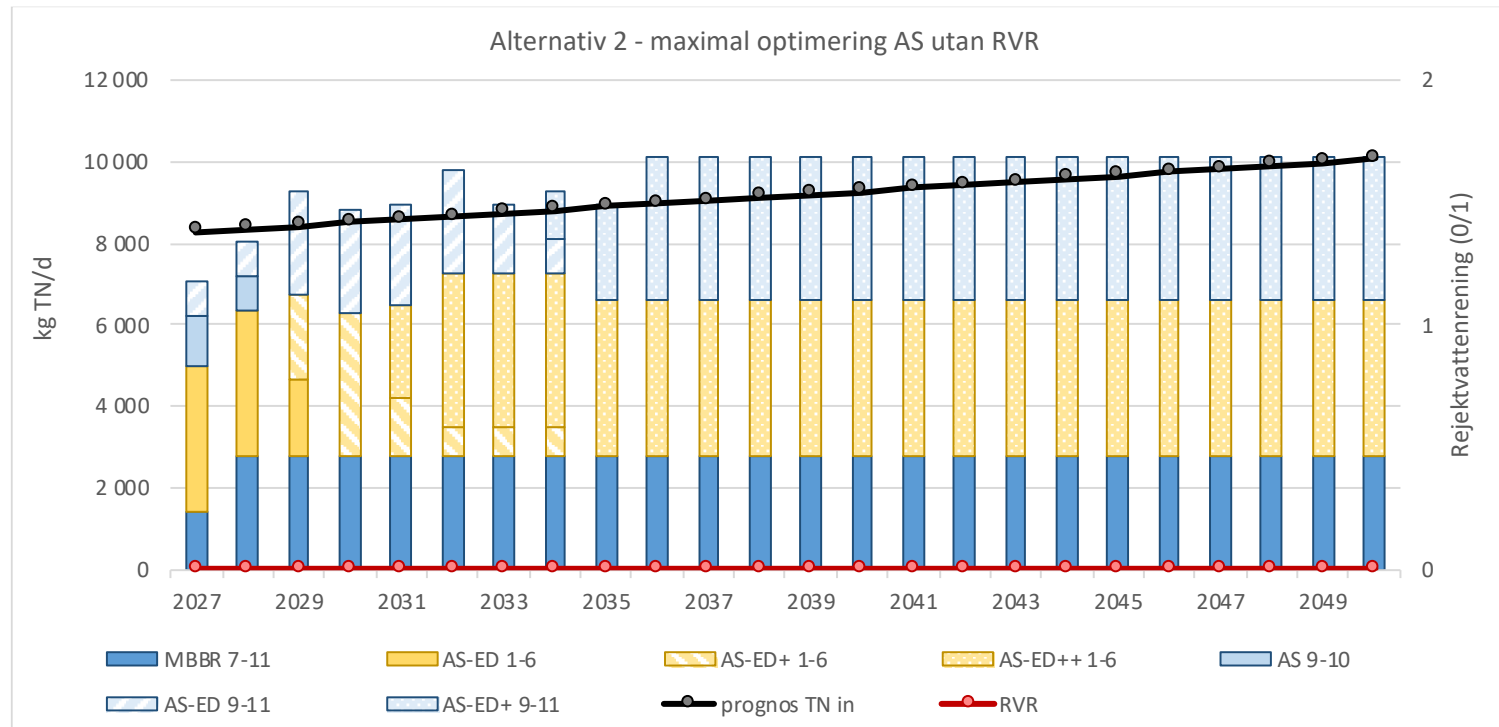
Figur 3 Tidslinje för utbyggnadsalternativ 1 – lätt optimering AS plus linje 9 MBBR med RVR Gröna rutor MBBR-ombyggnad, orange rektvattenrening, lila läkemedelsrening, blå lätta åtgärder aktivslamlinjer.



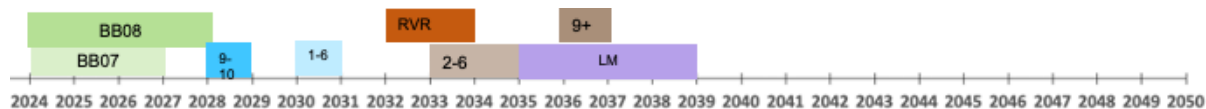
Figur 4. Kväverenskapskapacitet och reningsbehov för att uppnå produktionsmål för utbyggnadsalternativ 1 – lätt optimering av AS plus linje 9 MBBR med RVR.



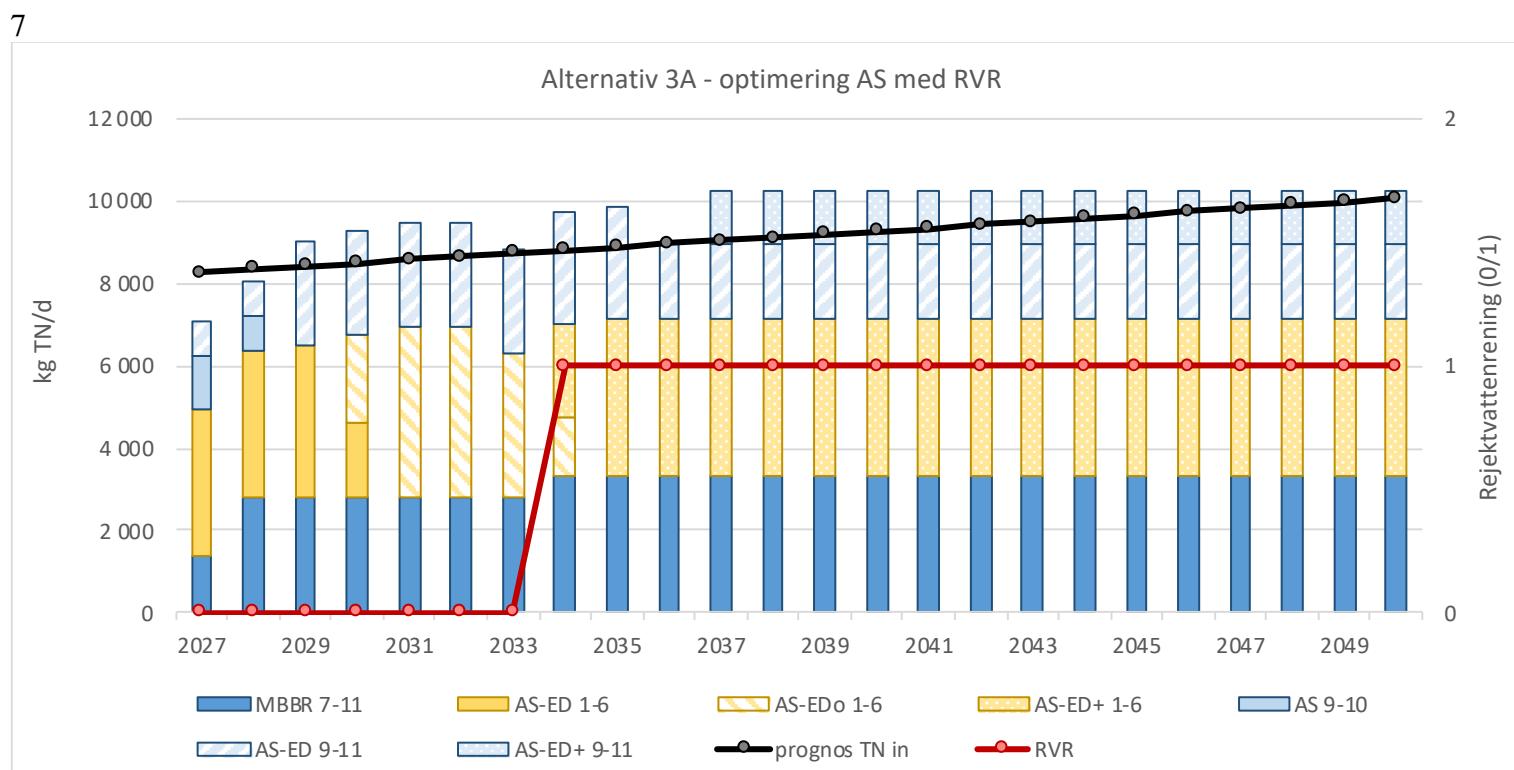
Figur 5 Tidslinje för utbyggnadsalternativ 2 – maximal optimering av AS utan RVR. Gröna rutor MBBR-ombyggnad, lila läkemedelsrening, blå lätta åtgärder aktivslamlinjer samt bruna ombyggnation aktivslamlinjer.



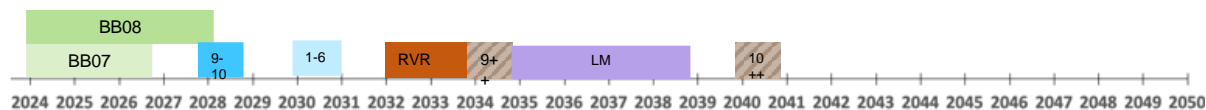
Figur 6 Kvävereningsskapacitet och reningsbehov för att uppnå produktionsmål för utbyggnadsalternativ 2- maximal optimering AS utan RVR.



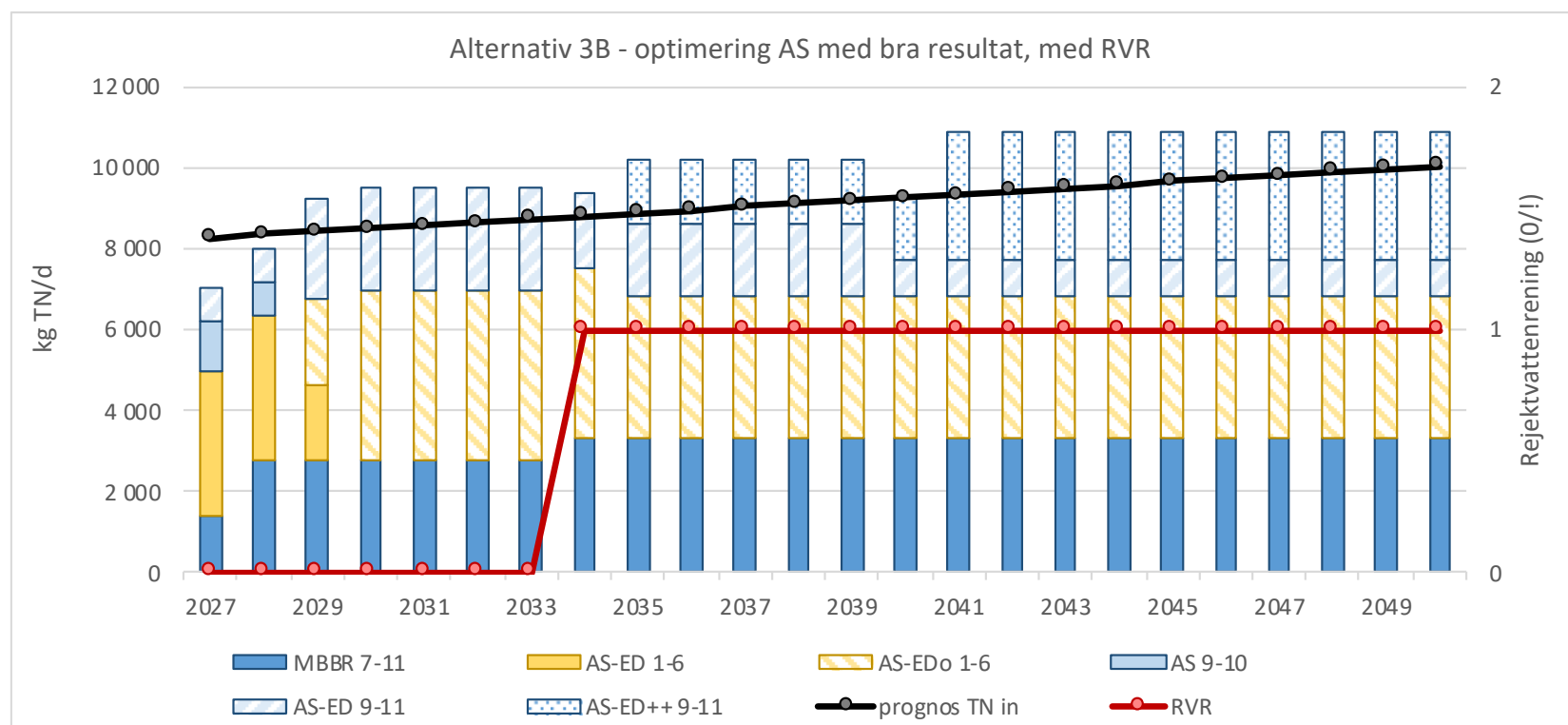
Figur 7 Tidslinje för utbyggnadsalternativ 3A –optimering av AS med RVR. Gröna rutor MBBR-ombyggnad, lila läkemedelsrening, orange rvr, blå lätta åtgärder aktivslamlinjer samt bruna ombyggnation aktivslamlinjer.



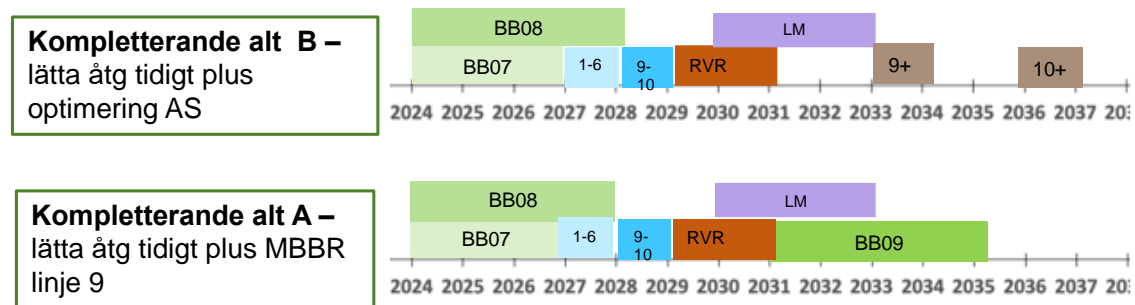
Figur 8. Kväverenskapskapacitet och reningsbehov för att uppnå produktionsmål för utbyggnadsalternativ 3A –optimering av AS med RVR.



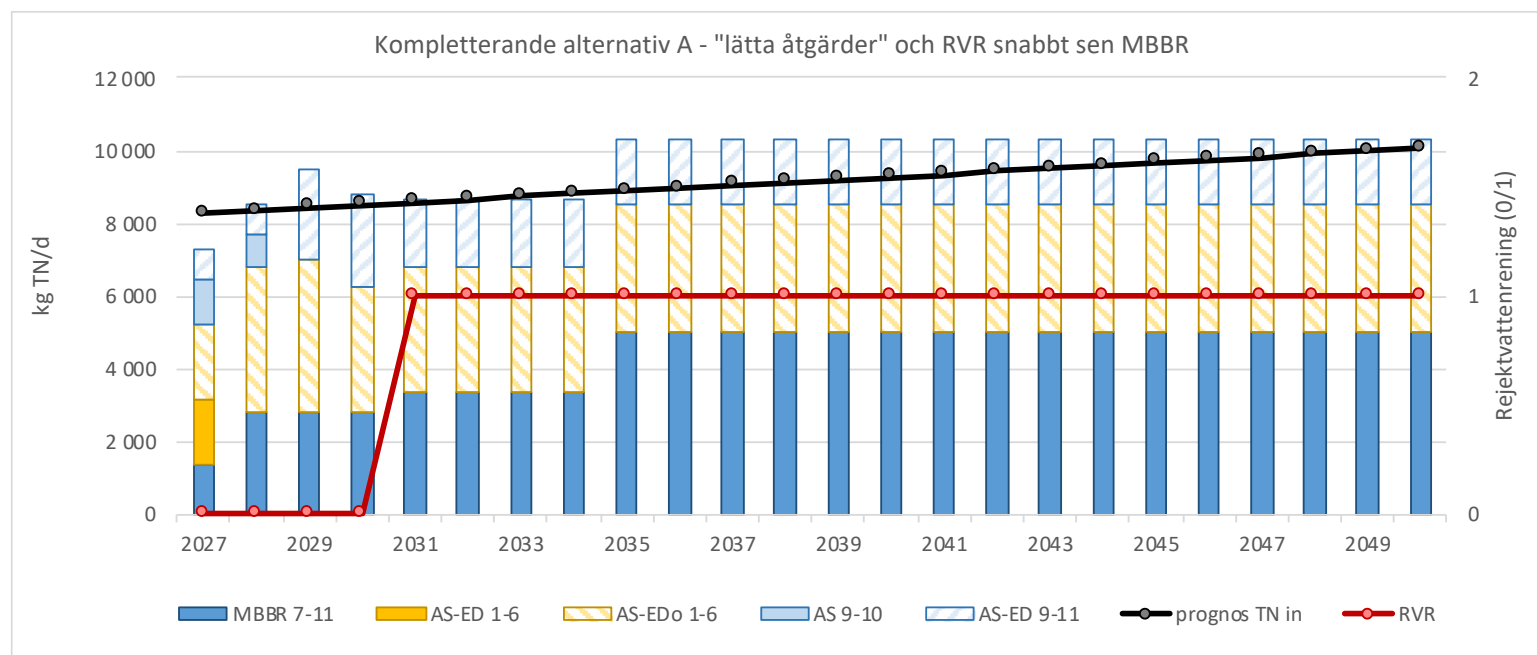
Figur 9 Tidslinje för utbyggnadsalternativ 3B –optimering av AS med bra resultat med RVR. Gröna rutor MBBR-ombyggnad, lila läkemedelsrening, orange rvr, blå lätta åtgärder aktivslamlinjer samt bruna ombyggnation aktivslamlinjer.



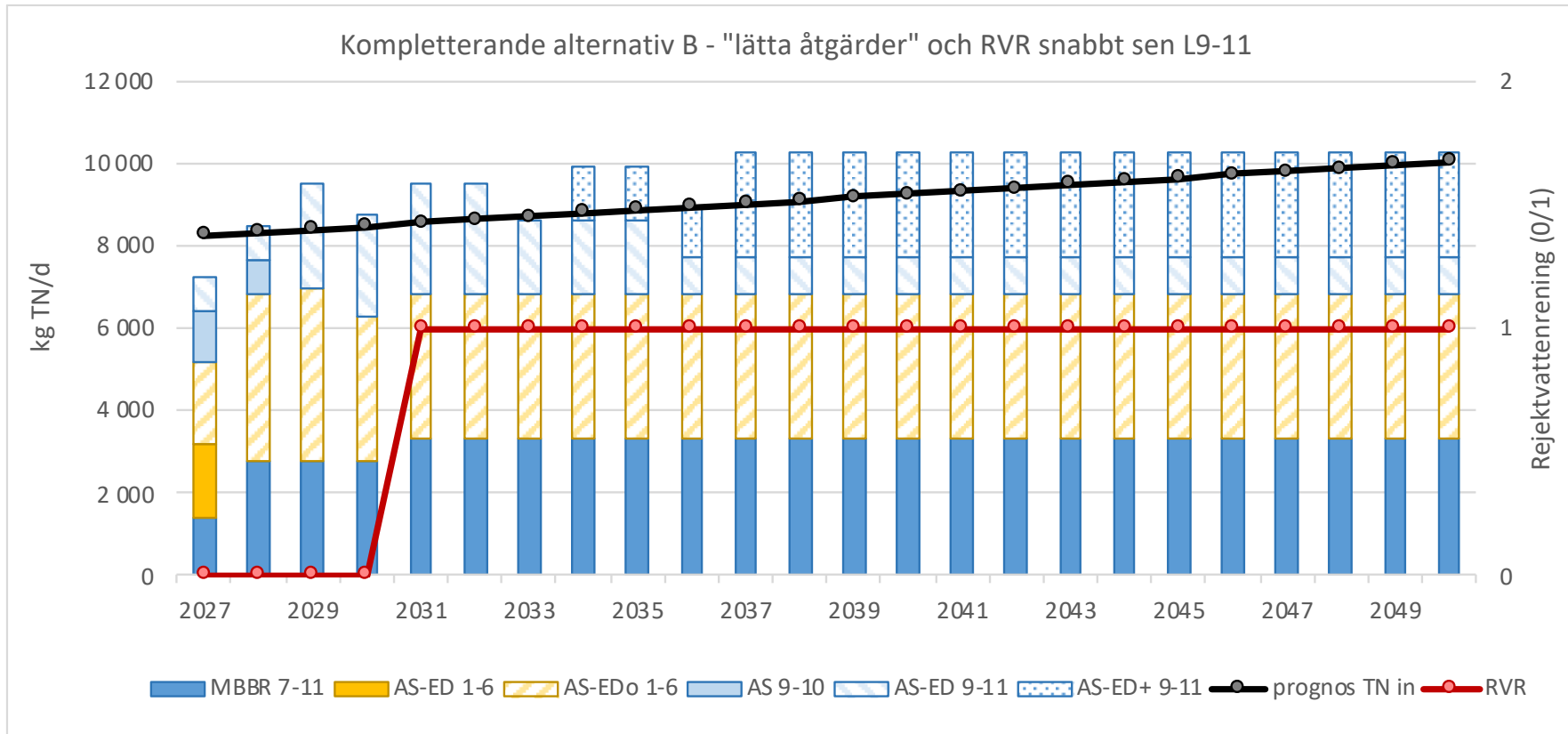
Figur 10. Kvävereringskapacitet och reningsbehov för att uppnå produktionsmål för utbyggnadsalternativ 3B – optimering av AS med bra resultat med RVR.



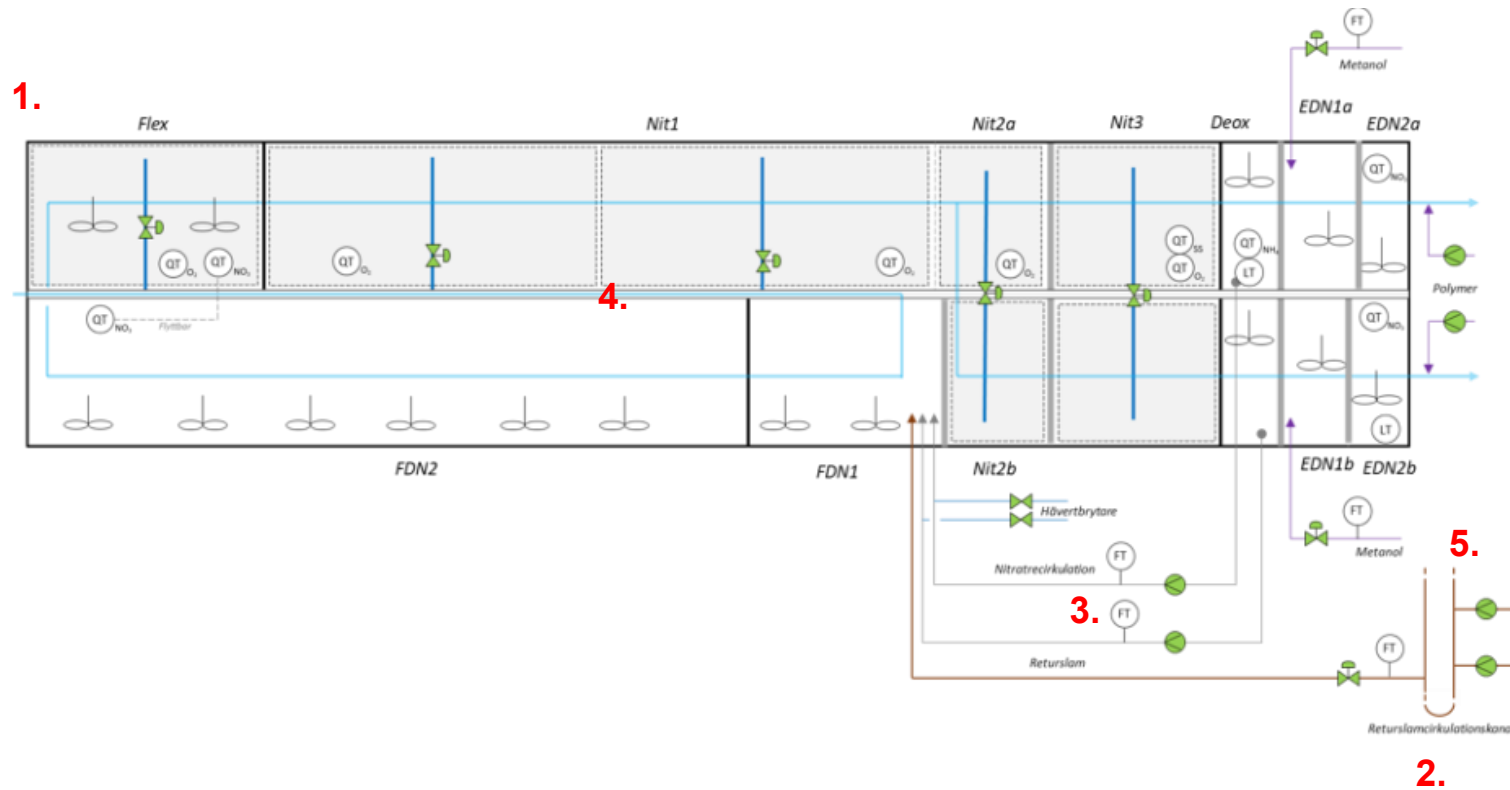
Figur 11 Tillkommande alternativ med lätta åtgärder först och sedan RVR därefter följt av MBBR linje 9 respektive ombyggnation linje 9 och 10



Figur 12 Kapacitet i kompletterande alternativ A – lätta åtgärder och RVR snabbt och sen MBBR

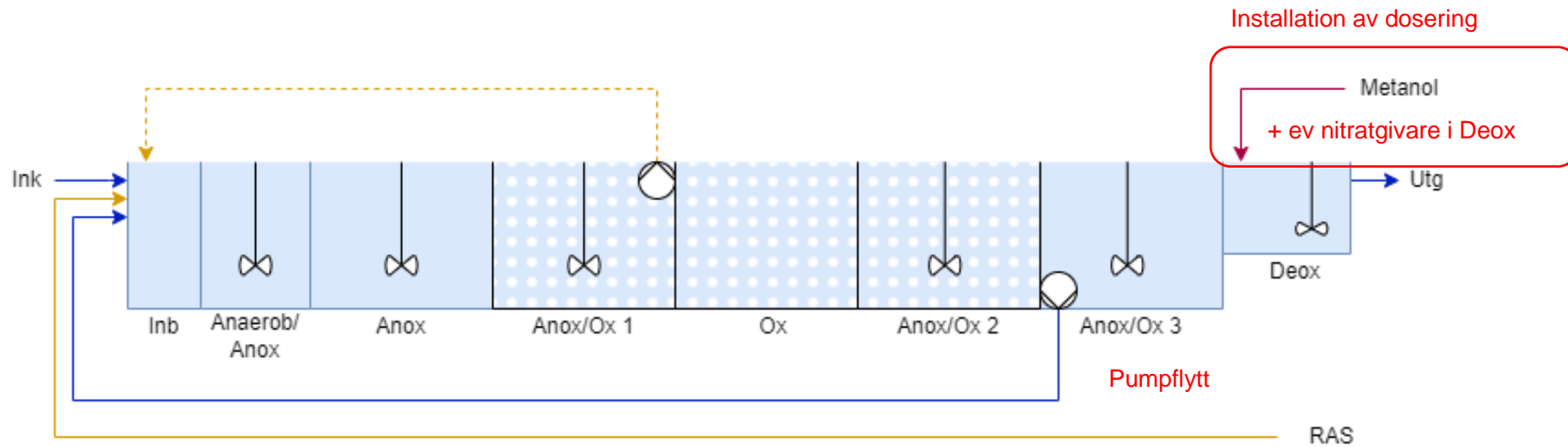


Figur 13 Kapacitet i kompletterande alternativ B – lätta åtgärder och RVR snabbt sen ombyggnad av 9-10

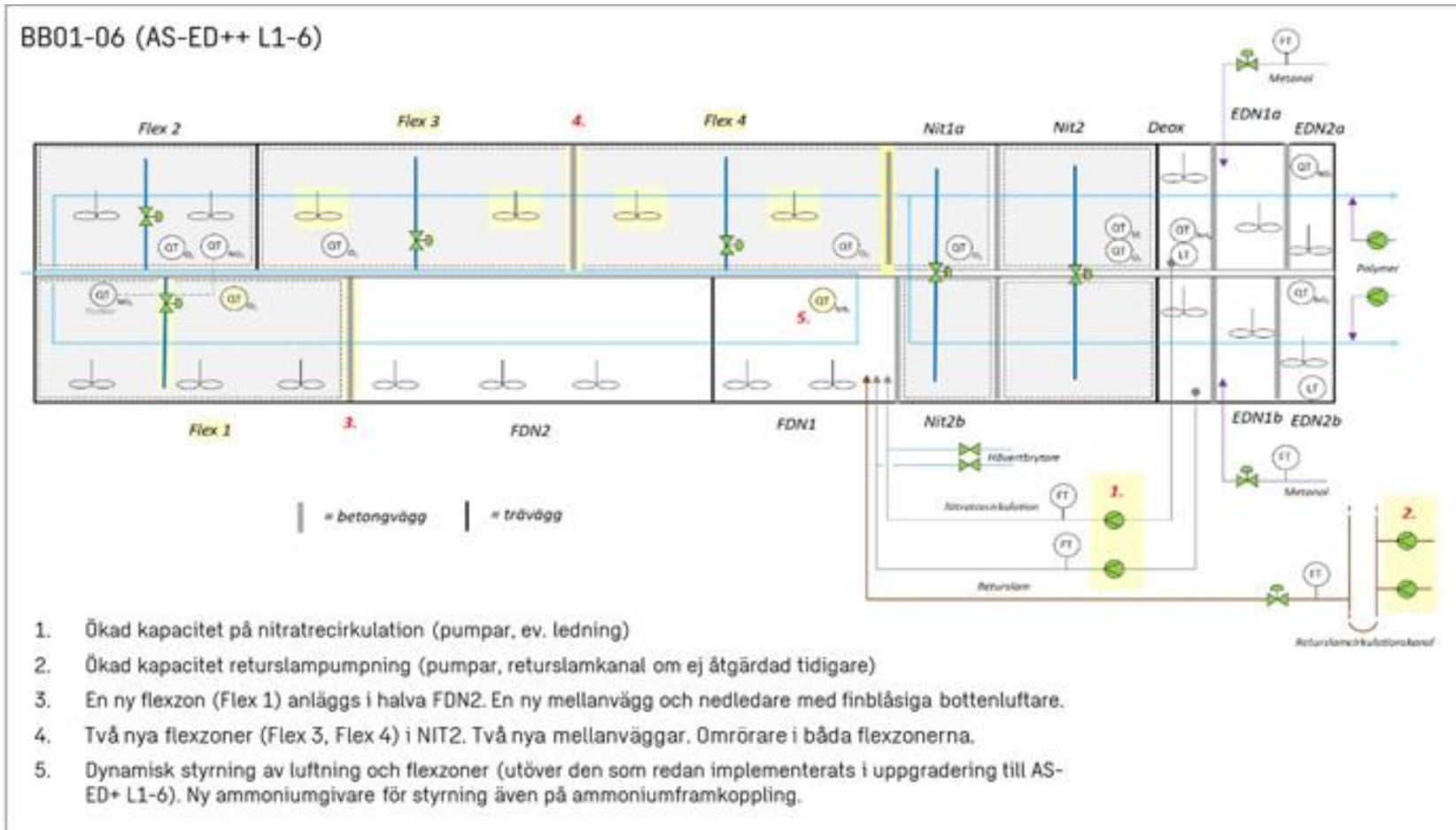


Figur14 Optimering av aktivslamlinje 1-6

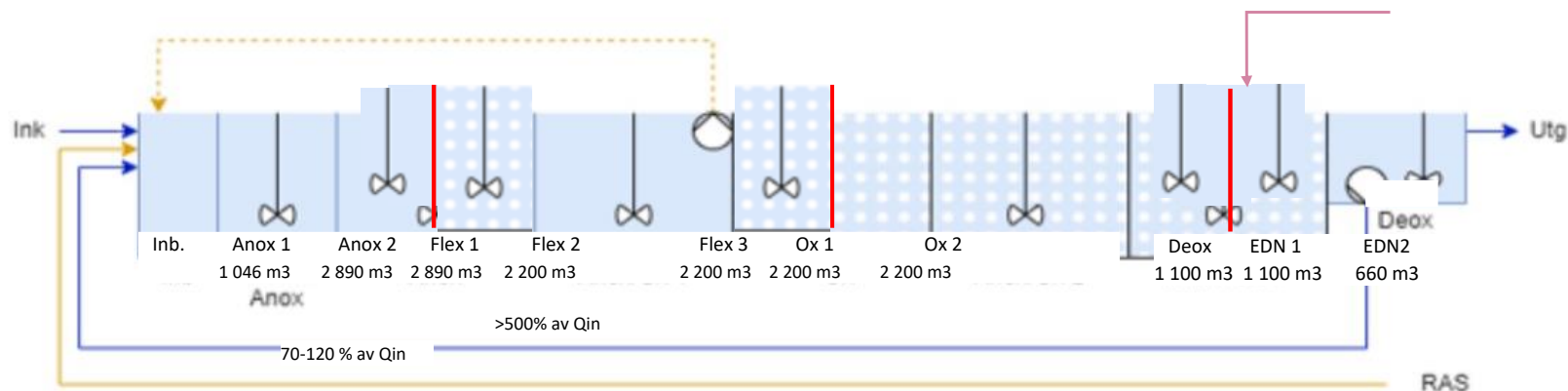
1. Dynamisk styrning av flexzon
2. Styrning av returslamflöde dynamiskt mot inkommande flöde
3. Styrning nitratcirkulation dynamiskt mot inkommande flöde (höga kvoter)
4. Drift med högre slamhalter
5. Recirkulationssystemet



Figur 15 Åtgärder i linje 9-10 för efterdenitrifikation, samma som genomförts i linje 11



Figur 16 Översiktlig bild av förbättringsåtgärder i AS 2-6 med nya mellanväggar, omrörare och givare.



Figur 17. Exempel på hur aktivslamprocessen i Linje 9–11 skulle kunna optimeras (observera att inga processberäkningar eller fördjupningar i utformningen gjorts).

Tabell 2 Totala investeringar per, mdkr

	Grundinvesteringar		Totalt över perioden,	
	2024-års prisnivå	uppräknade priser	2024-års prisnivå	uppräknade priser
0 - endast MBBR med RVR	7,4	8,4	9,2	11,1
1 - lätta åtgärder AS plus linje 9 MBBR med RVR	4,9	5,2	6,5	7,6
2 - maximal optimering+ ombyggnad AS utan RVR	3,7	3,9	5,4	6,4
3A - optimering + ombyggnad AS med RVR	3,7	3,9	5,4	6,4
3B - optimering + ombyggnad AS med bra resultat med RVR	3,7	3,9	5,4	6,4
Kompletterande alt A - lätta åtg + linje 9 MBBR med RVR	4,9	5,3	6,7	7,9
Kompletterande alt B - lätta åtg + optimering 9-10 med RVR	3,7	4,0	5,4	6,4

Tabell 3 Investeringar för alternativ 0 – endast MBBR och RVR, grundprisnivå i mkr

Alternativ 0 - endast MBBR och RVR									
		linje 7	linje 8	RVR	linje 9	linje 10	renovering linje 11	Läkemedels- rening	linje 11
Första byggår		2024	2024	2027	2029	2033	2035	2035	2043
Sista byggår		2026	2027	2028	2032	2036	2035	2038	2046
Börjar skrivas av		2027	2028	2029	2033	2037	2036	2039	2047
Bygg	30	465	403	30	403	403	8	175	419
VVS	20	210	182	9	182	182	0	50	189
El	20	45	39	13	39	39	0	50	41
Styr	15	105	91	13	91	91	0	50	95
Bärare	25	165	143	0	143	143	0	0	149
Maskin	20	510	442	65	442	442	8	175	459
SUMMA		1 500	1 300	130	1 300	1 300	15	500	1 350

Tabell 4 Investeringar för alternativ 1 – lätta åtgärder AS plus linje 9 MBBR med RVR, grundprisnivå i mkr

Alternativ 1 - lätta åtgärder AS plus linje 9 MBBR med RVR								reovering	Läkemedels
		linje 7	linje 8	AS ED 10	AS-ED + 1-6	RVR	linje 9	linje 10 och	rening
Första byggår		2024	2024	2028	2030	2031	2031	2035	2035
Sista byggår		2026	2027	2028	2030	2032	2034	2035	2038
Börjar skrivas av		2027	2028	2029	2031	2033	2035	2036	2039
Bygg	30	465	403	7	0	30	419	30	175
VVS	20	210	182	0	0	9	189	0	50
El	20	45	39	1	0	13	41	0	50
Styr	15	105	91	2	6	13	95	0	50
Bärare	25	165	143	0	0	0	149	0	0
Maskin	20	510	442	10	5	65	459	30	175
SUMMA		1 500	1 300	20	11	130	1 350	60	500

Tabell 5 Investeringar för alternativ 2 – maximal optimering av AS utan RVR, grundprisnivå i mkr

Alternativ 2 - maximal optimering AS utan RVR								
		linje 7	linje 8	AS ED 9-10	AS-ED + 1-6	AS-ED ++ 2- 6	AS-ED + 9-11	Läkemedels rening
Första byggår		2024	2024	2028	2029	2030	2033	2035
Sista byggår		2026	2027	2028	2029	2031	2035	2038
Börjar skrivas av		2027	2028	2029	2030	2032	2036	2039
Bygg	30	465	403	14	0	25	150	175
VVS	20	210	182	0	0	0	0	50
El	20	45	39	2	0	4	0	50
Styr	15	105	91	4	6	7	0	50
Bärare	25	165	143	0	0	0	0	0
Maskin	20	510	442	20	5	36	150	175
SUMMA		1 500	1 300	40	11	72	300	500

Tabell 6 Investeringar för alternativ 3A –optimering AS med RVR, grundprisnivå i mkr

Alternativ 3A - optimering AS med RVR										
						reovering		Läkemedels		
						AS-ED ++ 2-	linje 10 och			
		linje 7	linje 8	AS ED 9-10	AS-ED + 1-6	RVR	6	11	AS-ED + 9	rening
Första byggår		2024	2024	2028	2030	2032	2033	2035	2036	2035
Sista byggår		2026	2027	2028	2030	2033	2034	2035	2036	2038
Börjar skrivas av		2027	2028	2029	2031	2034	2035	2036	2037	2039
Bygg	30	465	403	14	0	30	25	30	50	175
VVS	20	210	182	0	0	9	0	0	0	50
El	20	45	39	2	0	13	4	0	0	50
Styr	15	105	91	4	6	13	7	0	0	50
Bärare	25	165	143	0	0	0	0	0	0	0
Maskin	20	510	442	20	5	65	36	30	50	175
SUMMA		1 500	1 300	40	11	130	72	60	100	500

Tabell 7 Investeringar för alternativ 3B – optimering AS med bra resultat, grundprisnivå i mnkr

Alternativ 3B - optimering AS med bra resultat med RVR										
		linje 7	linje 8	AS ED 9-10	AS-ED + 1-6	RVR	AS-ED ++ 9	renovering linje 11	Läkemedelsr ening	AS-ED + +10
Första byggår		2024	2024	2028	2029	2032	2034	2035	2035	2040
Sista byggår		2026	2027	2028	2029	2033	2034	2035	2038	2040
Börjar skrivas av		2027	2028	2029	2030	2034	2035	2036	2039	2041
Bygg	30	465	403	14	0	30	50	15	175	50
VVS	20	210	182	0	0	9	0	0	50	0
El	20	45	39	2	0	13	0	0	50	0
Styr	15	105	91	4	6	13	0	0	50	0
Bärare	25	165	143	0	0	0	0	0	0	0
Maskin	20	510	442	20	5	65	50	15	175	50
SUMMA		1 500	1 300	40	11	130	100	30	500	100

Tabell 8 Investeringar för kompletterande alternativ A – lätta åtgärder plus RVR snabbt sedan linje 9 MBBR, md kr

Kompletterande alt A									
		linje 7	linje 8	AS-ED + 1-6	AS-ED 9-10	RVR	Läkemedels rening	linje 9	reovering linje 10 och 11
Första byggår		2024	2024	2027	2028	2032	2030	2031	2035
Sista byggår		2026	2027	2027	2028	2033	2032	2034	2035
Börjar skrivas av		2027	2028	2028	2029	2034	2033	2035	2036
Bygg	30	465	403	0	14	30	175	419	30
VVS	20	210	182	0	0	9	50	189	0
El	20	45	39	0	2	13	50	41	0
Styr	15	105	91	6	4	13	50	95	0
Bärare	25	165	143	0	0	0	0	149	0
Maskin	20	510	442	5	20	65	175	459	30
SUMMA		1 500	1 300	11	40	130	500	1 350	60

Tabell 9 Investeringar för kompletterande alternativ B- lätta åtgärder plus RVR snabbt sedan ombyggnation AS, mdkr

Kompletterande alt B										
		linje 7	linje 8	AS-ED + 1-6	AS-ED 9-10	RVR	Läkemedelsr ening	AS ED + 9	renovering linje 11	AS ED + 10
Första byggår		2024	2024	2027	2028	2032	2030	2033	2035	2036
Sista byggår		2026	2027	2027	2028	2033	2032	2033	2035	2036
Börjar skrivas av		2027	2028	2028	2029	2034	2033	2034	2036	2037
Bygg	30	465	403	0	14	30	175	50	15	50
VVS	20	210	182	0	0	9	50	0	0	0
El	20	45	39	0	2	13	50	0	0	0
Styr	15	105	91	6	4	13	50	0	0	0
Bärare	25	165	143	0	0	0	0	0	0	0
Maskin	20	510	442	5	20	65	175	50	15	50
SUMMA		1 500	1 300	11	40	130	500	100	30	100

Tabell 10 Antagen metanol- och energiförbrukning för de olika kvävereningsprocesserna, från Sweco

	Metanolförbrukning l/kg N in		Energiförbrukning kWh/kg N in	
	utan rvr	med rvr	utan rvr	med rvr
MBBR	1,16	0,97	3,36	2,99
AS utan kolkälla 7-11	0,00	0,00	2,84	2,61
AS ED 7-11	0,66	0,46	2,84	2,61
AS ED 7-11 ombyggd	0,50	0,36	2,51	2,31
AS ED 7-11 ombyggd bra resultat	0,50	0,38	2,35	2,16
AS ED 1-6	0,48	0,31	2,77	2,58
AS ED 1-6 optimerad	0,43	0,26	2,95	2,75
AS ED 2-6 ombyggd	0,46	0,22	2,90	2,70
Rfejektvattenrening	--	--	--	0,16

Tabell 11 Antagna investeringar, årlig kapitalkostnad och kvävereduktion per åtgärd. Siffrorna avser samtliga angivna linjer för respektive åtgärd.

	Antagen investering (mkr)	Årlig kapital-kostnad: ränta 2,5% + avskrivning (tkr per år)	Ökad kväverenningskapacitet från åtgärden utan RVR (ton/år)	Ytterligare ökad kväverenningskapacitet från åtgärden i och med RVR (ton/år)	Totalt ökad kväverenningskapacitet från åtgärden inkl RVR (ton/år)	Kapital-kostnad per kg TN ökad kväverenningskapacitet utan RVR (kr/kg TN)	Kapital-kostnad för RVR per ytterligare ökad kväverenningskapacitet per år i och med RVR (kr/kg TN)	Kapital-kostnad per kg TN total ökad kväverenningskapacitet inkl RVR (kr/kg TN)
Ombyggnad MBBR linje 7-8	2 800	165 620	401	203	604	413	40	288
Ombyggnad MBBR linje 7-9	4 100	242 515	601	304	906	403	26	277
Ombyggnad MBBR linje 7-11	6 750	399 263	1 002	507	1 509	398	16	270
Uppgradering 9-10 med ED	40	2 403	57*	210	267	42	38	39
Ombyggnation linje 9-11	300	16 789	380	87	466	44	93	53
Ombyggnation linje 9-11++ med bra resultat	300	16 789	680	134	814	25	60	31
Optimering bättre styrning 2-6	11	805	146	0	146	6		61
Ombyggnation 2-6	72	4 326	110	0	110	40		113
Rejektvattenrening	130	8 066						

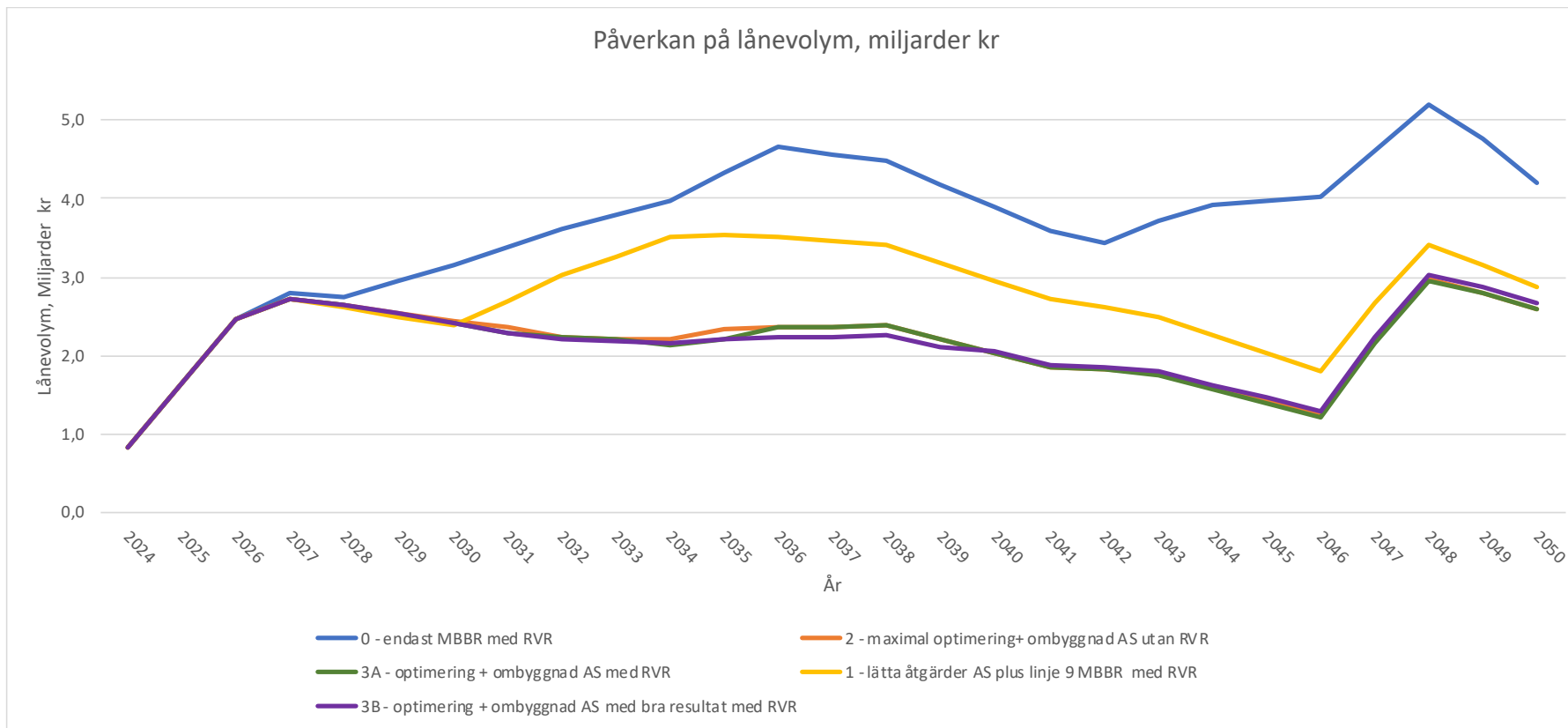
*Åtgärden ger inte förbättrad kapacitet för total mängd kväve men kan rena ner till lägre koncentrationer. Ökad reduktion är bedömd utifrån vad övriga linjer annars räknats med behöver kompensera för.

Tabell 12 Investering, beräknad kapitalkostnad, metanol- och elkostnad samt ökad kvävereduktion per alternativ, 2024-års prisnivå

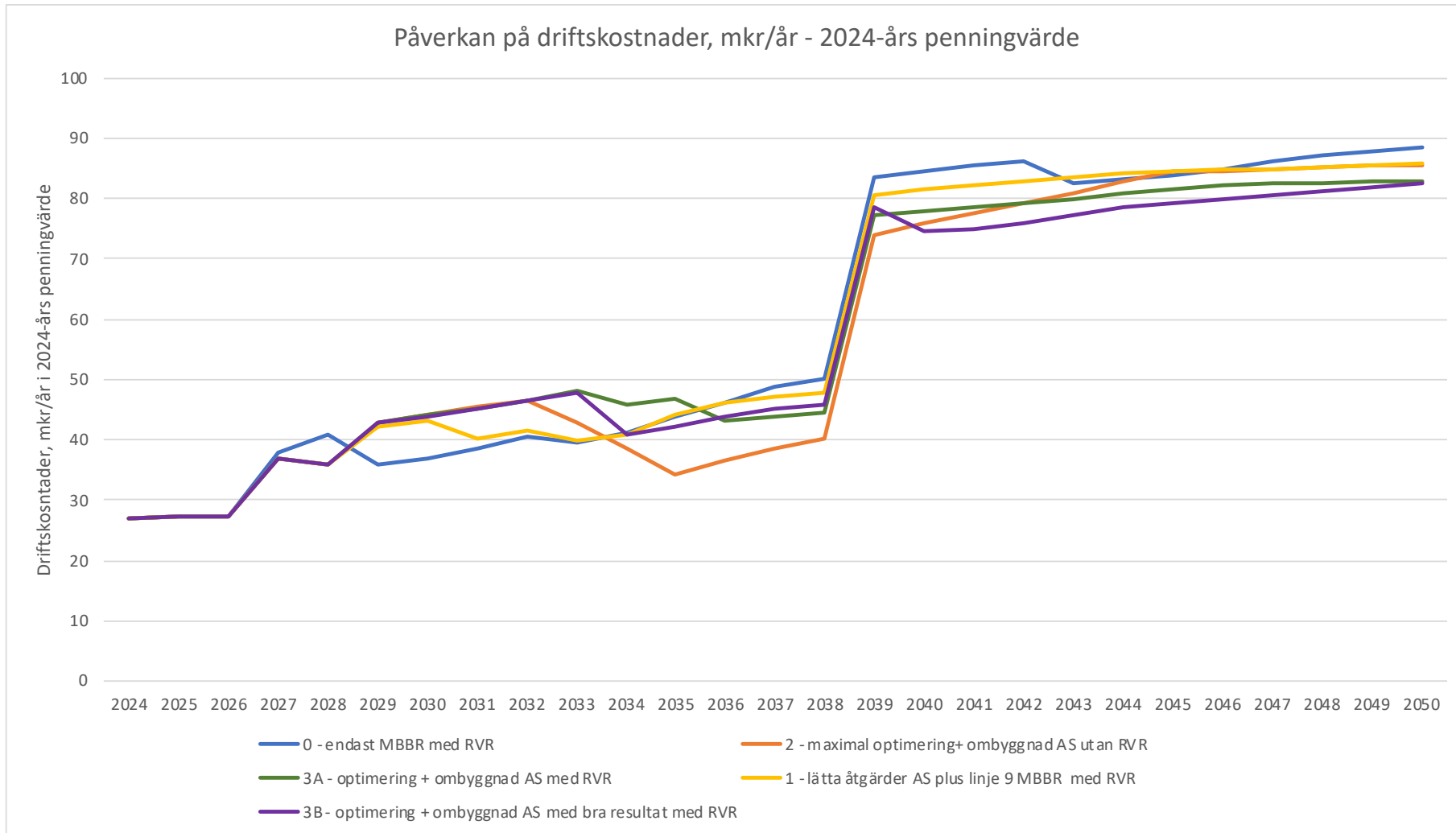
	Antagen investering (mkr)	Årlig kapital-kostnad: ränta 2,5% + avskrivning (tkr per år)	Kostnad metanol och el för drift 2024-års priser (tkr/år)	Ökad kvävereringskapacitet i alt utan RVR (ton/år)	ökad kvävereringskapacitet från RVR i alt. (ton/år)	Ökad kvävereringskapacitet från alla åtg i alt. (ton/år)
0 - endast MBBR med RVR	6 895	408 169	33 537	1 002	507	1 509
1 - lätta åtgärder AS plus linje 9 MBBR med RVR	4 371	258 904	28 680	747	356	1 103
2 - maximal optimering+ ombyggnad AS utan RVR	3 223	189 943	28 564	1 036	0	1 036
3A - optimering + ombyggnad AS med RVR	3 213	190 175	25 974	783	283	1 066
3B - optimering + ombyggnad AS med bra resultat med RVR	3 211	189 767	25 632	1 000	318	1 318

Tabell 13 Beräknade nyckeltal per alternativ

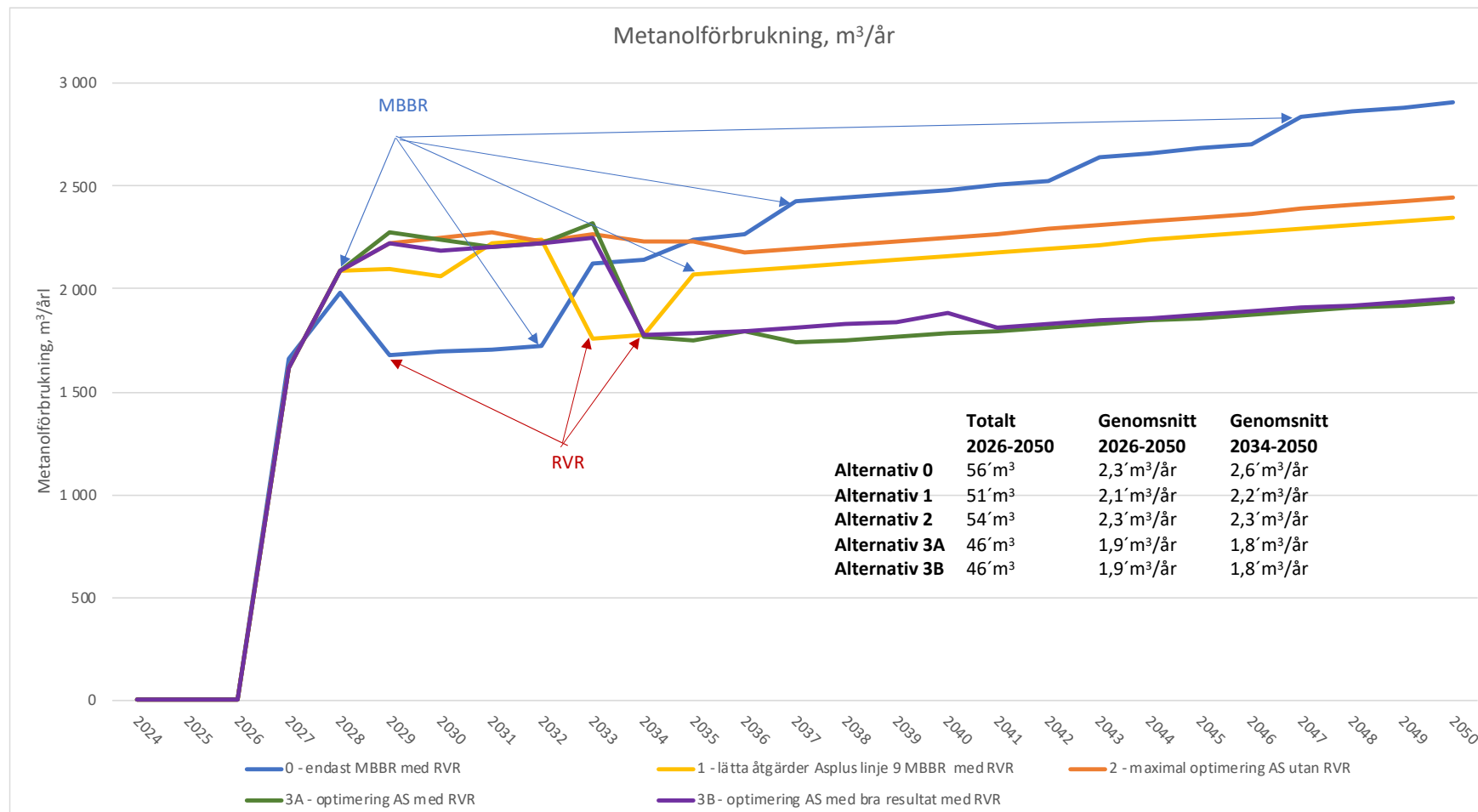
	Kapitalkostnad per kg TN total ökad kvävereringskapacitet (kr/kg TN)	Driftskostnader (el och metanol) per kg TN ökad kvävereringskapacitet (kr/kg TN)	Årskostnad (kapital+metanol+el) per kg TN total ökad kvävereringskapacitet från alla åtg i alt. (kr/kg TN)	RVR:s kapitalkostnad per ökad kvävereringskapacitet från RVR (kr/kg TN)
0 - endast MBBR med RVR	270	22	293	16
1 - lätta åtgärder AS plus linje 9 MBBR med RVR	235	26	261	23
2 - maximal optimering+ ombyggnad AS utan RVR	183	28	211	0
3A - optimering + ombyggnad AS med RVR	178	24	203	29
3B - optimering + ombyggnad AS med bra resultat med RVR	144	19	163	25



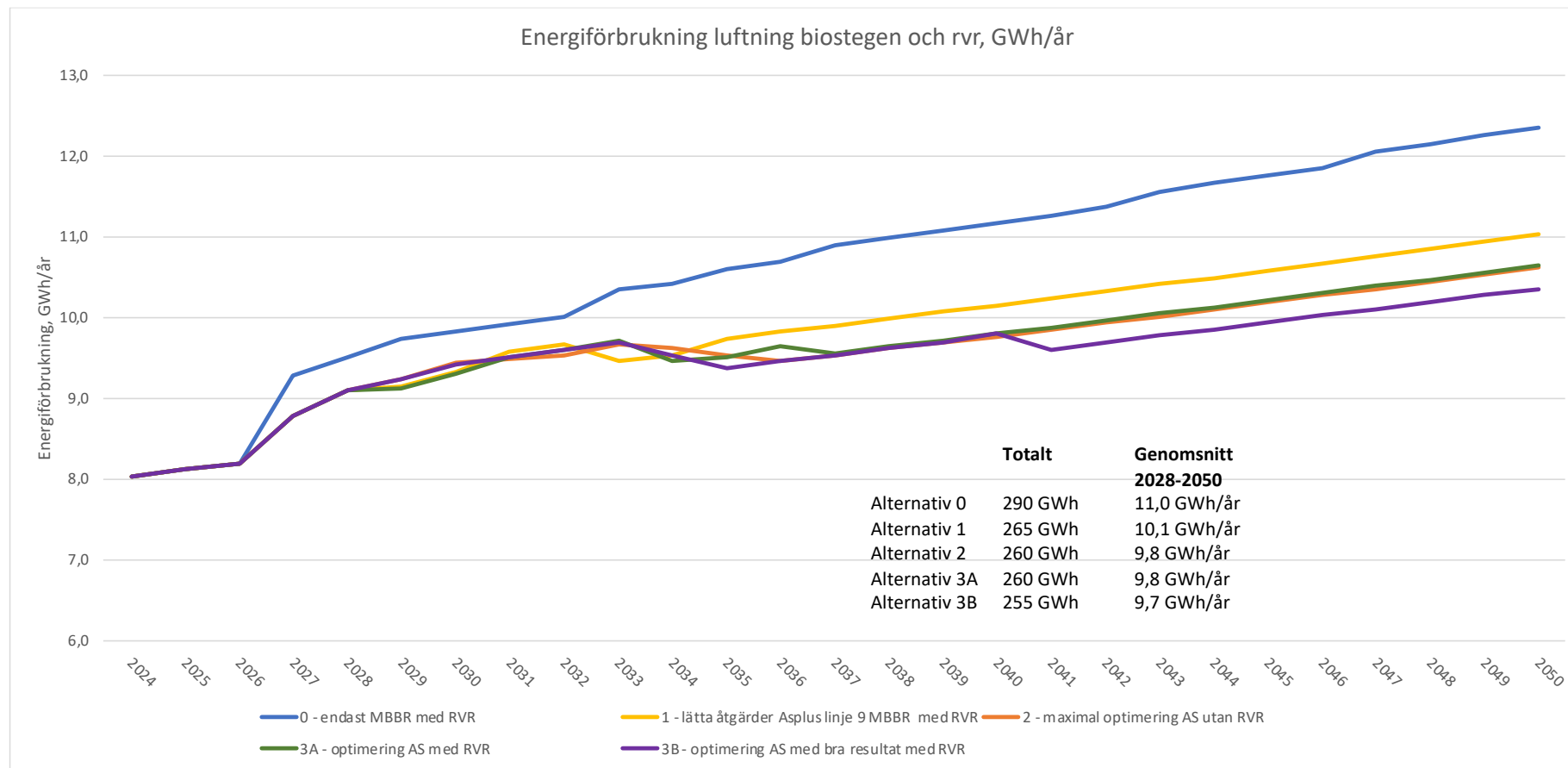
Figur 18 Alternativens påverkan på totala lånevolymen för respektive år i miljarder kronor i uppräknad prisnivå.



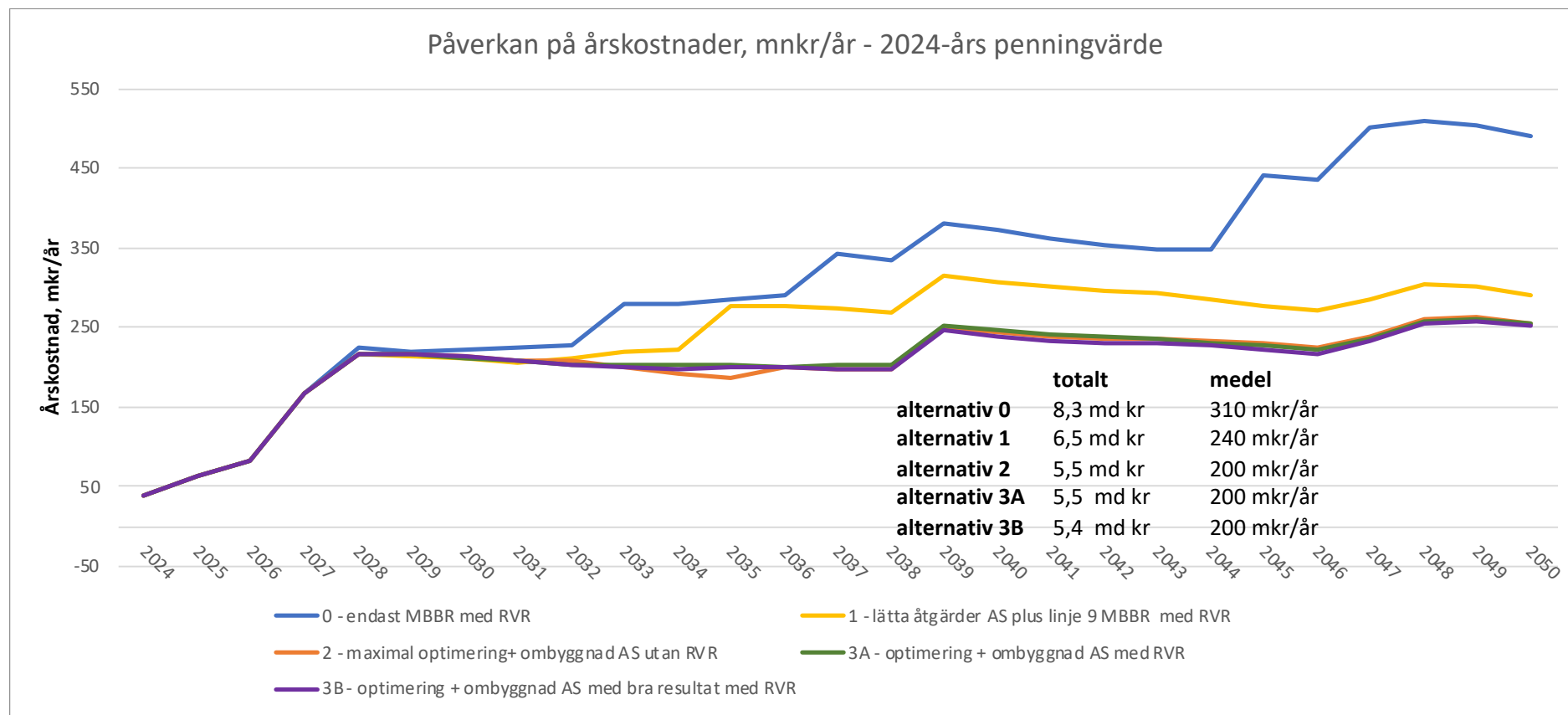
Figur 19 Alternativskiljande driftskostnader för utbyggnadsalternativen, mkr/år i 2024-års penningvärde



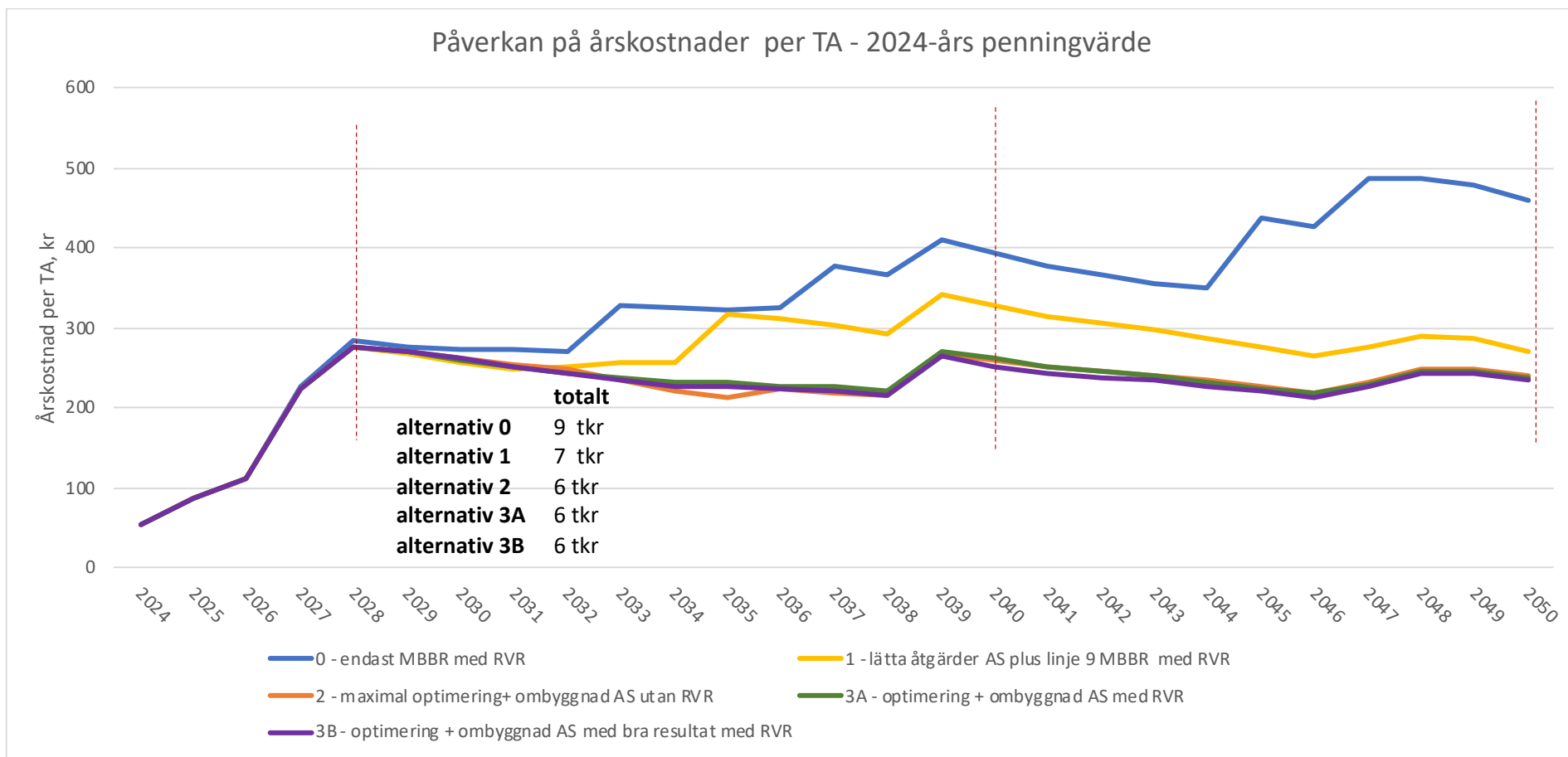
Figur 20 Metanolförbrukning för respektive alternativ.



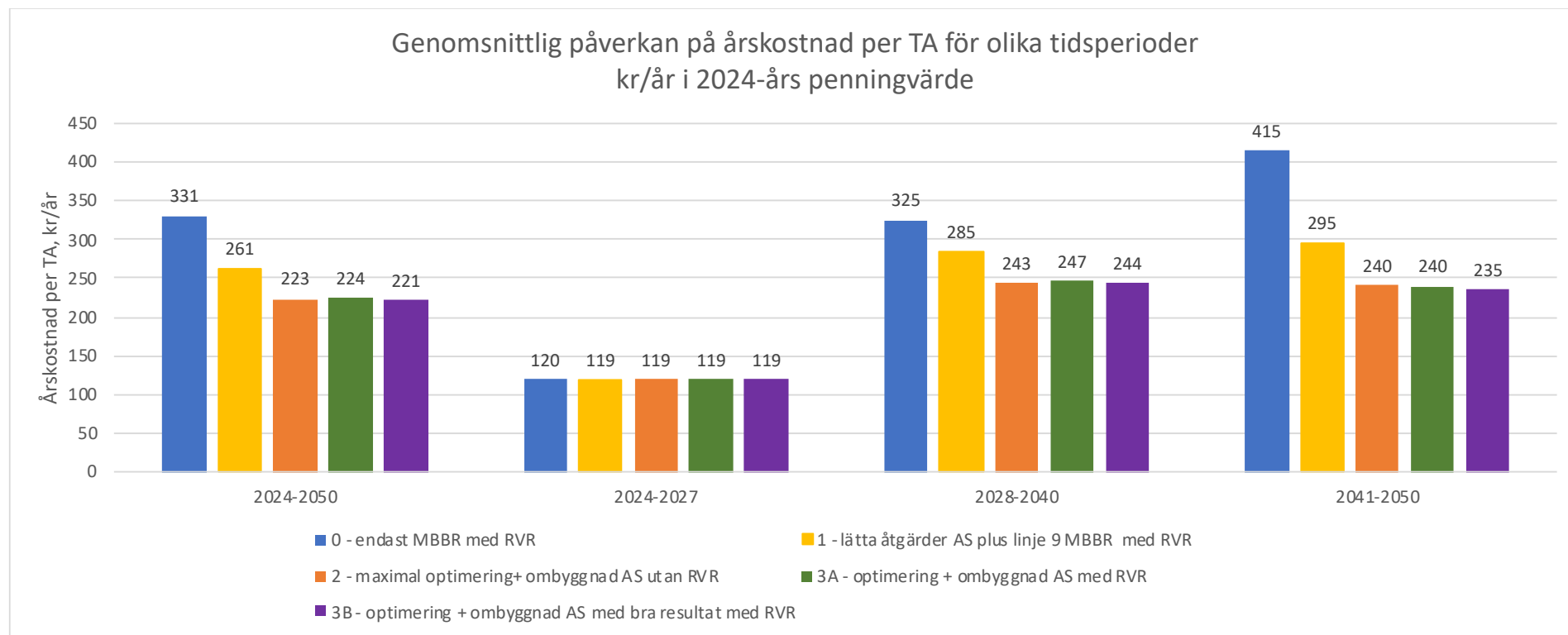
Figur 21 Energiförbrukning för luftning av biolinjer och separat rejektivattenrening för respektive alternativ i GWh/år.



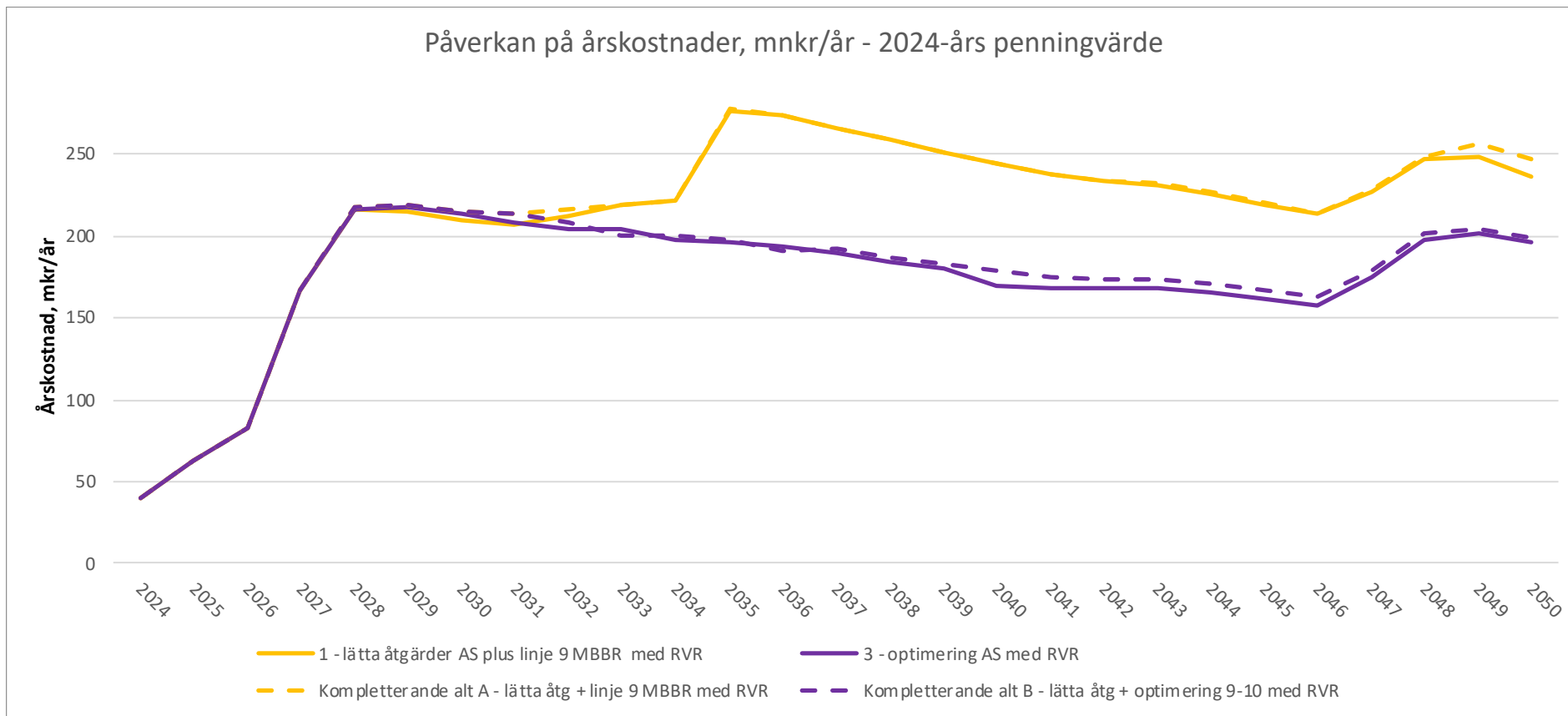
Figur 22 Påverkan på totala årskostnader från respektive alternativ, miljoner kr i 2024-års penningvärde



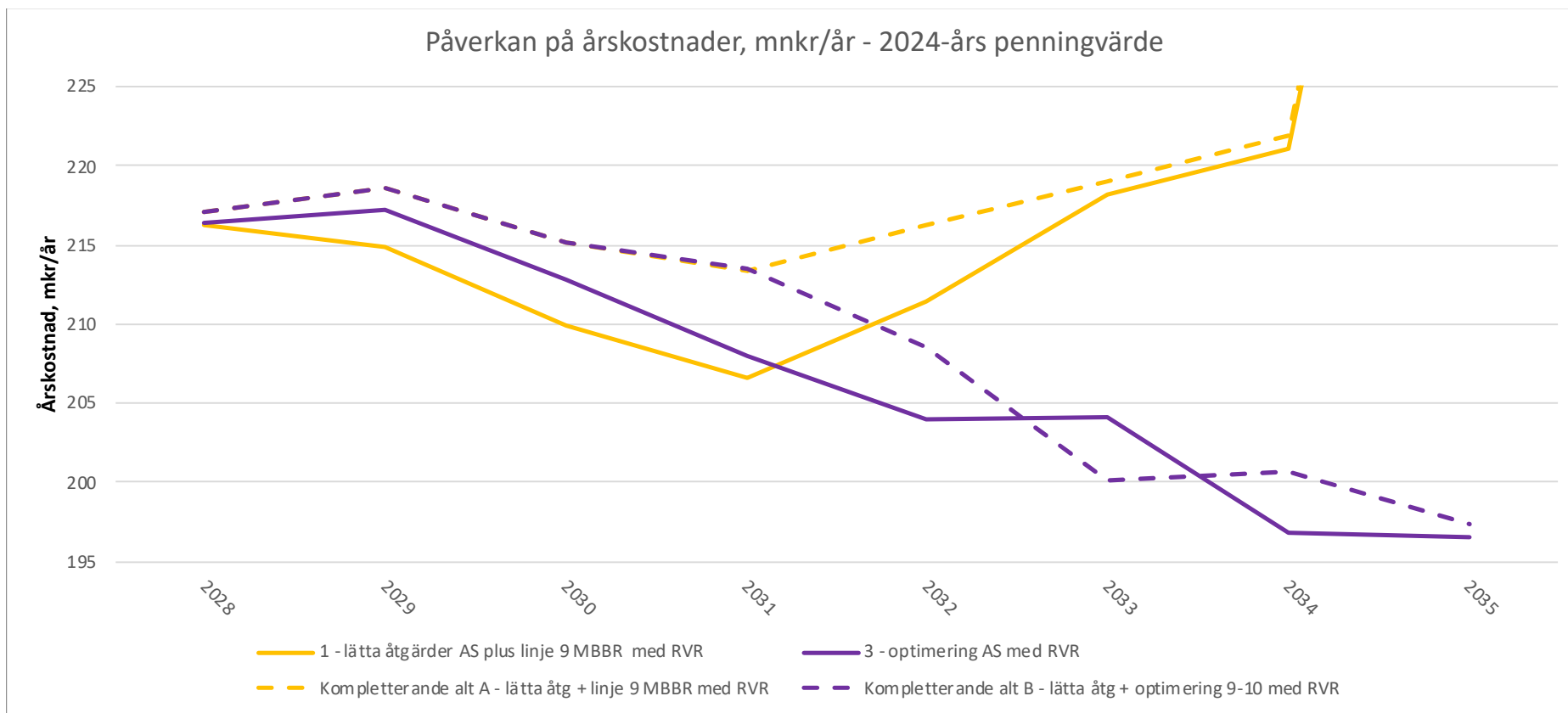
Figur 23 Respektive alternativs påverkan på årskostnaden fördelat per ansluten person, kr.



Figur 24 Genomsnittlig påverkan på årskostnad per TA för olika tidsperioder, kr/år i 2024-års penningvärde



Figur 25 Årskostnader utan läkemedelsrening för alternativ 1, 3B och kompletterande alternativ A och B, i 2024-års penningvärde



Figur 26 Årskostnader utan läkemedelsrening för alternativ 1, 3B och kompletterande alternativ A och B, i 2024-års penningvärde under åren 2028-2035

Bilaga 4 - Klimatpåverkan för olika utbyggnadsalternativ

Revisionshistorik

Rev.	Datum	Kommentar	Reviderad av
0.1	2024-05-29	Första utgåvan	Jonas Bengtsson Sofia Andersson

1 Bakgrund

I deluppdrag Uppdatering utbyggnadsalternativ (etapp 4 inom huvuduppdrag Käppalaverket 3.0 – Utbyggnadsplan) ska utredningen inkludera en enklare CO₂-analys för de olika utbyggnadsalternativ som utredningen presenterar och omfatta klimatpåverkan av investering respektive drift uttryckt som koldioxidekvivalenter. Klimatpåverkan av investering baseras på huvudsaklig materialåtgång medan klimatpåverkan för drift baseras på huvudsaklig förbrukning av råvara (metanol) och el för fullt belastad linje.

2 Klimatpåverkan investering

2.1 Metod

Detta PM sammanfattar bedömd klimatpåverkan för utbyggnation av:

- MBBR-linje
- Ombyggnation av BB01-BB06 per linje
- Ombyggnation av BB09-BB11 per linje
- Rejektivattenreningsanläggning

I separata avsnitt, 2.3 till 2.6, redogörs vilka underlag och poster som ligger till grund för värdering av materialåtgång.

Materialen i investeringen är indelade i huvudsakliga typer: rostfritt stål, betong och plast (HDPE).

Materialåtgången omfattar inte maskinteknisk installation, behov av ombyggnation av olika gemensamma försörjningssystem eller tillfälliga/provisoriska lösningar för att möjliggöra ombyggnationen.

Sammanfattningen ska ses som grov och översiktlig, som en summering av huvudkomponenternas material.

Underlagens kvalitet för de olika alternativen skiljer sig åt:

- För MBBR-linje finns tillgång till detaljerat underlag eftersom linjekonceptet är färdigprojekterat och i påbörjad byggnation (BB07, BB08).
- För Rejektvattenreningsanläggningen finns förstudie framtagen med konceptlösning presenterad (2023)
- För optimering av linje i BB01-BB06 är åtgärder skissade i en fördjupad processutredning (2023)
- För optimering av linje i BB09-BB11 är åtgärder skissade inom föreliggande deluppdrag (2024). Effekterna av åtgärderna är inte processutredda och omfattningen av ombyggnation ska ses som preliminär.

Den specifika CO₂-belastningen som används i beräkningarna baseras på schablonsiffror som är en uppskattning av den genomsnittliga belastningen för produktion av ett kg material. Enligt Life Cycle Assessment (LCA) studier uppskattas följande belastningsintervall (Sweco m fl), vald siffra som använts i denna utredning anges inom parentes:

- Rostfritt stål: 5–8 kg CO₂/kg (6,5)
- Betong: 0,6-1 kg CO₂/kg (0,85)
- Plast (HDPE): 1-4 kg CO₂/kg (2,1)

Det är viktigt att notera att dessa siffror kan variera beroende på olika faktorer som materialkvalitet/typ, produktionsmetod, energikälla, tillsatser, geografisk plats för tillverkningen och användningsområde.

2.2 Resultat

Tabell 1 visar översiktlig materialåtgång för olika utbyggnationer och Tabell 2 visar den schablonmässiga klimatpåverkan som materialet värderas ha. Resultaten visar att ombyggnation av en linje till MBBR ger mer än 10 gånger högre klimatavtryck uttryckt som koldioxidekvivalenter än ombyggnation av en linje i BB09-BB11 till mer effektiva aktivslamlinjer eller byggnation av en rejektvattenrening i FS01 och nästan 100 gånger högre klimatavtryck än ombyggnation av en aktivslamlinje i BB01-06.

Tabell 1. Materialåtgång vid ut- eller ombyggnation av en linje (investeringskostnad)

Material		MBBR	BB01-BB06	BB09-BB11	Rejektvatten
Stål	kg	487 000	5 000	-	14 000
Betong	kg	1 121 000	36 000	475 000	110 000
Plast (HDPE)	kg	844 000	-	-	98 000
Makadam	kg	-	-	-	150 000

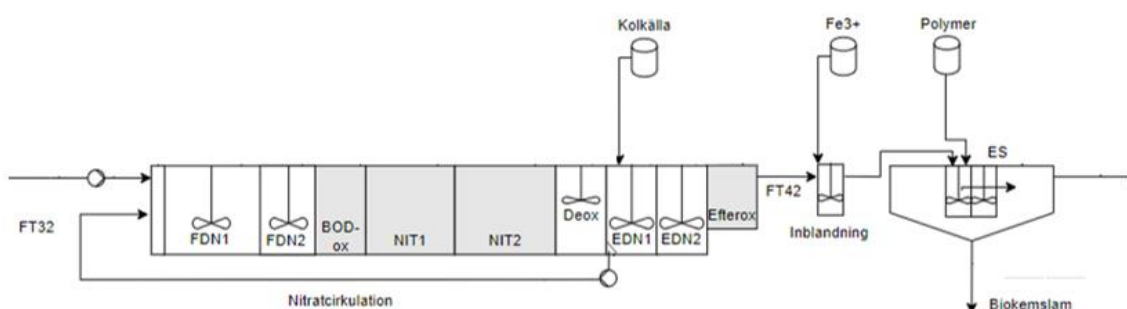
Avsnitt 2.3 till 2.6 redovisar vilka poster som har inkluderats i varje materialsummering.

Tabell 2. Klimatpåverkan vid ut- eller ombyggnation av en linje (investeringskostnad)

Material		MBBR	BB01-BB06	BB09-BB11	Rejektvatten
Stål	kg CO ₂	3 169 000	34 000	-	94 000
Betong	kg CO ₂	953 000	31 000	404 000	93 000
Plast (HDPE)	kg CO ₂	1 772 000	-	-	205 000
Makadam	kg CO ₂	-	-	-	Uppgift saknas
<i>Totalt</i>	<i>kg CO₂</i>	<i>5 894 000</i>	<i>65 000</i>	<i>404 000</i>	<i>392 000</i>

2.3 Materialåtgång MBBR

Figur 1 visar zonindelningen i MBBR-linjerna som ligger till grund för bedömning av materialåtgången och Tabell 3 redovisar vilka materialposter som är inkluderade i värderingen av materialåtgång för att bygga en MBBR-linje.



Figur 1. Schema över zonindelning som ligger till grund för materialuppskattning för en MBBR-linje.

Tabell 3. Materialåtgång MBBR-linje

Material	Post	Material (kg)	Källa
Stål	BB och ES, K01	93 100	Tillverkningsritningar, stål (K01)
	BB, N01	378 500	Elementlistor (N01)
	Täckplåt (trp) BB	4 900	Dalux (volym*densitet 7900 kg/m ³)
	Mediabrygga (balk, durk, räcke, upphängning)	11 100	Dalux (volym*densitet 7900 kg/m ³)
Betong	Bjälklag, mittgång BB	296 500	Dalux (volym*densitet 2400 kg/m ³)
	Fundament räcke mittgång BB	22 300	Dalux (volym*densitet 2400 kg/m ³)
	Fundament silväggar/pelare BB	436 300	Dalux (volym*densitet 2400 kg/m ³)
	Pelare BB	202 200	Dalux (volym*densitet 2400 kg/m ³)
	Vägg inlopp-FDN1 BB	95 400	Dalux (volym*densitet 2400 kg/m ³)
	Flockningskammare ES	68 200	Dalux (volym*densitet 2400 kg/m ³)
Plast	Bärare i HDPE	843 900	Bärrarvolym K900k, skrymdensitet 118 kg/m ³ (Anox)

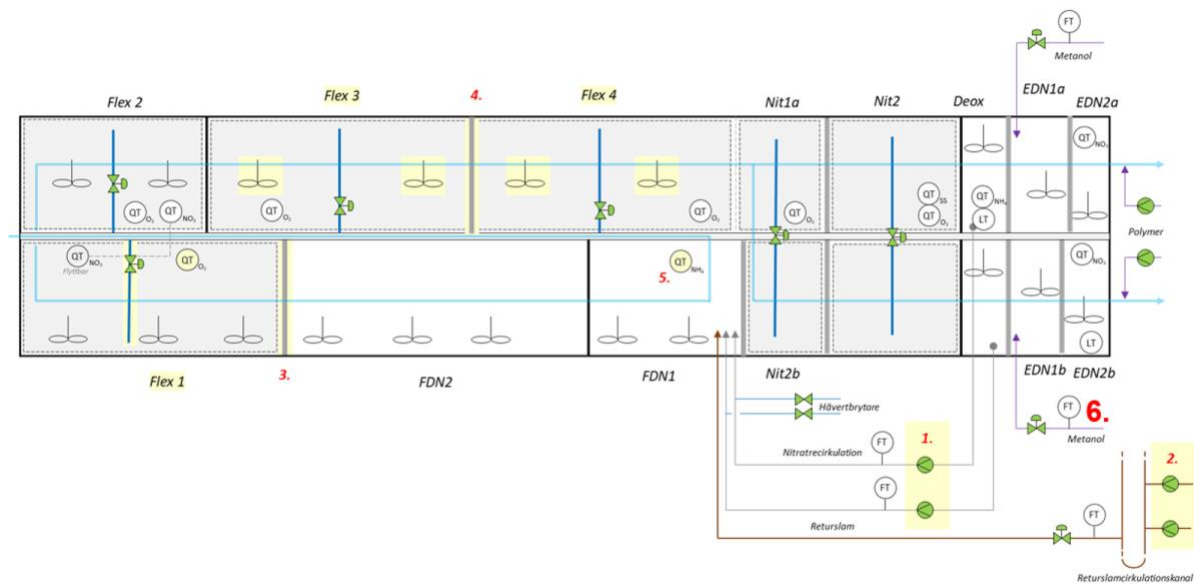
Tabell 4 redovisar poster som inte har inkluderats i sammanställningen.

Tabell 4. Ej inkluderat material i MBBR-linje

Material	Post
Stål	Rörledningar, luftmanifolders och nedledare BB, armeringsjärn, gallerdurk ES, räckan BB och ES, lyftanordning (deox)
Plast	Gångbrygga till omrörare
Virke	Flockningskammare
Övrigt	SAPA-golv längs bergvägg (aluminium)

2.4 Materialåtgång, optimerad linje i BB01-BB06

Figur 2 Figur 1 visar de byggåtgärder i aktivslamlinjerna i BB01-BB06 som ligger till grund för bedömning av materialåtgången och Tabell 5 redovisar vilka materialposter som är inkluderade i värderingen av materialåtgång för att bygga om en linje i BB01-BB06 för ökad kapacitet.



Figur 2. Schema över zonindelning som ligger till grund för materialuppskattning för en aktivslamlinje i BB01-BB06.

Tabell 5. Materialåtgång ombyggd linje BB01-BB06. De ombyggnationer som ingår beskrivs i Utredningsrapport Optimering Linje 1-6 (2024)

Material	Post	Material (kg)	Källa
Stål	Balkar för omrörare	5 200	Referens EDN1 MBBR-linje K900k
Betong	Väggar flexzoner	36 000	Dalux (volym*densitet 2400 kg/m ³)

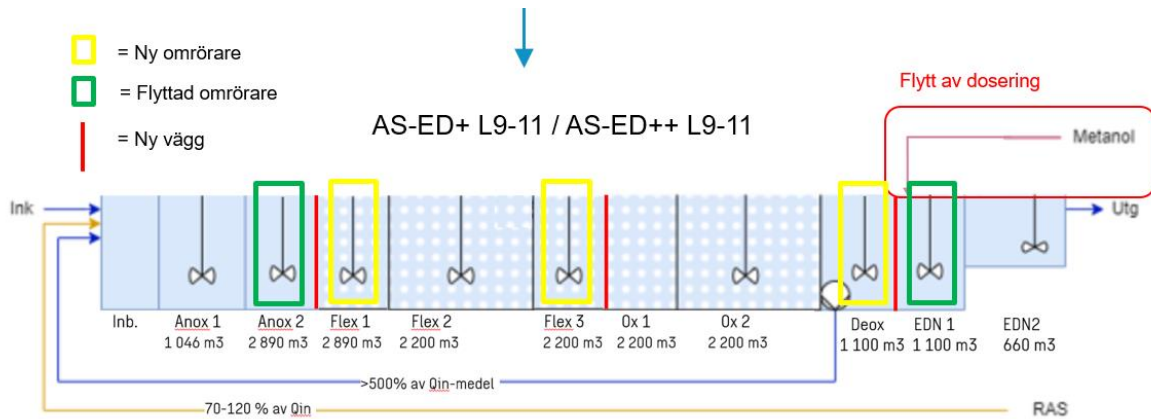
Tabell 6 redovisar poster som inte har inkluderats i sammanställningen.

Tabell 6. Ej inkluderat material i BB01-BB06-linje

Material	Poster
Stål	Ev nya rörledningar för returslamsystem och/eller nitratrecirkulation, luftmanifolder/nedledare BB, armeringsjärn, gallerdurk och räcke till omrörare

2.5 Materialåtgång, ombyggnation linje i BB09-BB11

Figur 3 visar de byggåtgärder i aktivslamlinjerna i BB09-BB11 som ligger till grund för bedömning av materialåtgången och Tabell 7 redovisar vilka materialposter som är inkluderade i värderingen av materialåtgång för att bygga om en linje i BB09-BB11 för ökad kapacitet.



Figur 3. Schema över zonindelning som ligger till grund för materialuppskattning för en aktivslamlinje i BB09-BB11.

Tabell 7. Materialåtgång ombyggd linje BB09-BB11. De ombyggnationer som ingår beskrivs i Utredningsrapport utbyggnadsalternativ ver. 2 (2024)

Material	Post	Material (kg)	Källa
Betong	Väggar flexzoner	347 100	Dalux (volym*densitet 2400 kg/m ³)
	Bjälklag nya omrörare	76 900	Dalux (volym*densitet 2400 kg/m ³)
	Bjälklag flyttade omrörare	51 300	Dalux (volym*densitet 2400 kg/m ³)

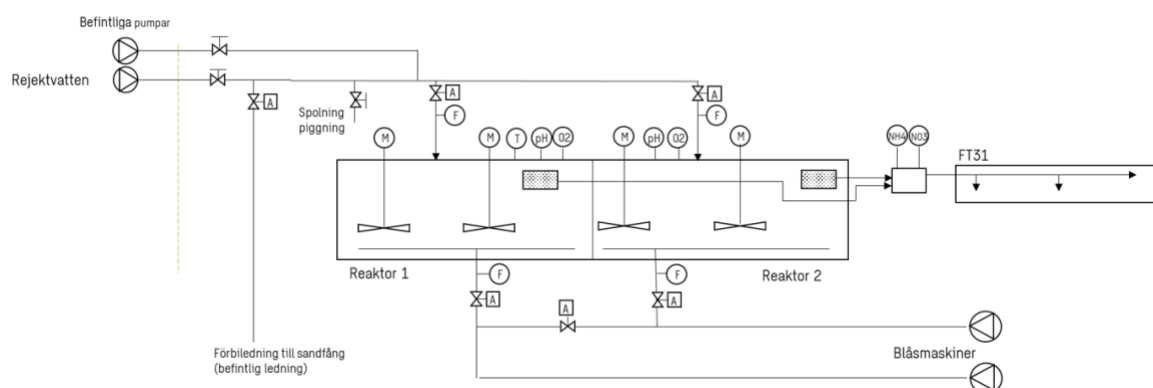
Tabell 8 redovisar poster som inte har inkluderats i sammanställningen.

Tabell 8. Ej inkluderat material i ombyggd linje BB09-BB11

Material	Poster
Stål	Rörledningar, luftmanifolders och nedledare, armeringsjärn, gallerdurk räckan BB

2.6 Materialåtgång, rejektivattenreningsanläggning

Figur 4 visar utformningen av rejektivattenreningen i FS01 som ligger till grund för bedömning av materialåtgången och Tabell 9 redovisar vilka materialposter som är inkluderade i värderingen av materialåtgång för att bygga en rejektivattenreningsanläggning.



Figur 4. Schema över utformningen av en rejektivattenrening i FS01 som ligger till grund för materialuppskattningen.

Tabell 9. Materialåtgång MBBR-linje. De ombyggnationer som ingår beskrivs i Förstudie Rejektivattenrening Käppala (2023)

Material	Post	Material (kg)	Källa
Stål	Balkar nya omrörare	5 500	Referens EDN1 MBBR-linje K900k
	Brygga (gång) omrörare	1 400	Förstudie (Area), lev-uppgift (kg/m ²)
	Inloppsrör, rejektivatten	3 600	Förstudie (längd), 13 resp 17 kg/m
	Utloppsrör, rejektivatten	3 900	Förstudie (längd), 17 resp 35 kg/m
Betong	Övergjutning slamficka	4 800	Förstudie (A), t=0,2m, densitet 2400 kg/m ³
	Bjälklag över slamficka	25 200	Förstudie (A, t), densitet 2400 kg/m ³
	Mellanvägg i bioreaktor	34 600	Förstudie (A, t), densitet 2400 kg/m ³
	Höjning av bassängvägg	45 000	Förstudie (A, t), densitet 2400 kg/m ³
Plast	Bärare	97 700	Förstudie (V), skrymdensitet 118 kg/m ³ (Anox)
Makadam	Igenfyllning slamficka	150 000	Förstudie (V), densitet 1500 kg/m ³

Tabell 10 redovisar poster som inte har inkluderats i sammanställningen.

Tabell 10. Ej inkluderat material i rejektvattenreningsanläggningen

Material	Poster
Stål	Luftmanifolders och nedledare, armeringsjärn, räcken

3 Klimatpåverkan drift

3.1 Metod

Detta PM sammanfattar bedömd klimatpåverkan för drift av en linje av typerna:

- En MBBR-linje (MBBR L7-11)
- Optimerad linje i BB01-06 (AS-EDo L1-6)
- Ombyggd aktivslamlinje i BB01-BB06 (AS-ED+ L1-6)
- Ombyggd aktivslamlinje i BB09-BB11 (AS-ED+ L9-11 & AS-ED++ L9-11)
- Samtliga alternativ ovan med och utan rejektvattenrening

I utredningen är det enbart den biologiska reningen som ingår. De driftkostnader som omfattas av sammanställningen är metanol- och elförbrukning för luftning av biologin. Sammanställningen omfattar inte annan elförbrukning i aktivslamlinjerna som krävs för t.ex. recirkulationspumpning, skrapspel, instrument, ventilation, allmän-el eller andra stödsystem. Andra processkemikalier ingår inte heller i sammanställningen.

Sammanfattningen ska ses som grov och översiktlig och bygger på maximalt belastade linjer.

Förbrukning metanol i MBBR-linjerna samt BB01-BB06 har hämtats ur utredningsrapporterna PM Kapacitet MBBR-linjer med slutlig utformning (Sweco 2024-03-20), Optimering Linje 1–6 (Sweco 2024-04-30). Metanolförbrukningen i aktivslamlinjerna i BB09-BB11 utgår från resultat av de pilotförsök som genomfördes i BB11 år 2017-2020. Elförbrukning för luftning har beräknats via standardiserade luftningsberäkningar enligt ELSA (SVU rapport 2019-23) med en antagen energiförbrukning på 25 Wh/Nm³ i gamla verket (enligt driftdata; 5,9 m vattendjup) samt 40 Wh/Nm³ i nya verket (10 m vattendjup) och 20 Wh/Nm³ i rejektvattenreningen (3,6 m vattendjup).

Den specifika CO₂-belastningen som används i beräkningarna baseras på schablonsiffror som är hämtade ur Klimatberäkningsverktyg för VA-anläggningar - Användarmanual (Svenskt Vatten, sep 2022):

- Fossil metanol 2052 kg CO₂/ton MeOH, varav 70 kg CO₂/ton utgör transport (antagen sträcka Hamburg-Stockholm).
- El residualmix 372 kg CO₂/MWh (stämmer överens med Käppalas elmix 2023)

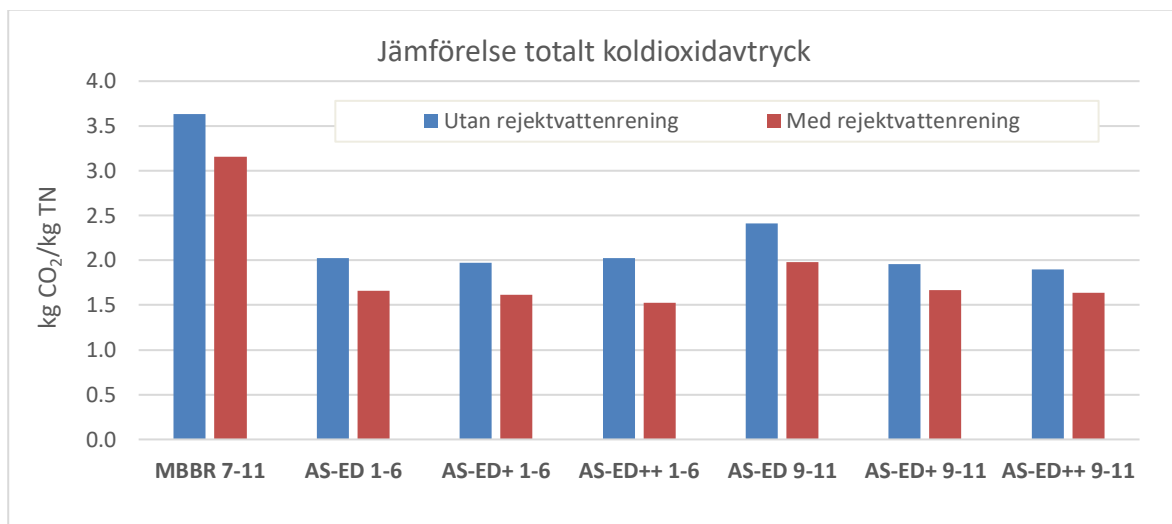
Resultaten har normaliserats mot kvävereningsskapaciteten i vardera linje uttryckt som inkommande kväve per dygn för att möjliggöra en jämförelse.

En sammanställning av den faktiska förbrukningen i färdigutbyggd anläggning år 2050 redovisas även. Då är inte alla linjer fullbelastade i samtliga utbyggnadsalternativ och belastningen förutsätts vara proportionellt fördelad mot den maximala kapaciteten per linje mellan de linjer som är i drift.

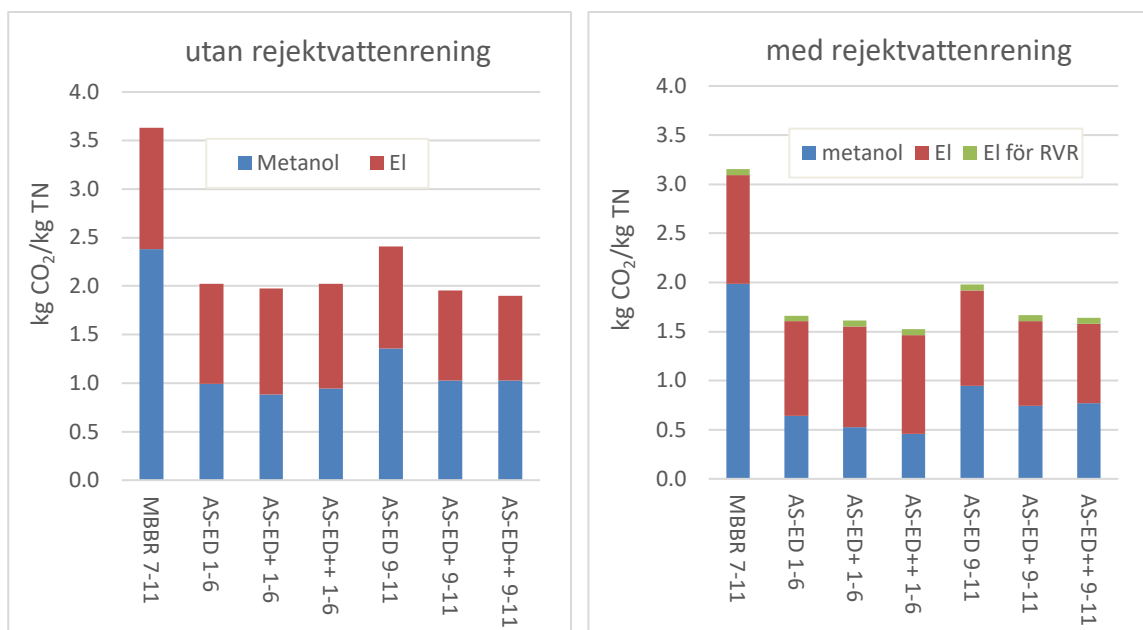
3.2 Resultat

Som framgår av resultaten i Figur 5 och Figur 6 är klimatavtrycket högst per kg kväve i MBBR-linjerna. Detta beror framför allt på den höga metanolförbrukningen (Figur 6). I övrigt skiljer det sig inte så mycket åt mellan de olika linjetyperna. Generellt sett ger införandet av rejektivattenrening ett lägre klimatavtryck från samtliga linjetyper. Eftersom elförbrukningen för rejektivattenreningen slås ut på de olika linjerna blir bidraget per linje litet i relation till övrig elförbrukning.

Genom att byta elavtal till grön el kan klimatavtrycket från el minskas från 372 kg CO₂/MWh till 7–67 kg CO₂/MWh. På samma sätt kan byte från fossil metanol till en biobaserad kolkälla minska klimatavtrycket från 2052 kg CO₂/ton till 613 kg CO₂/ton (biobaserad etanol) eller nära noll för en internt producerad kolkälla (till exempel fermentering av slam).



Figur 5. Koldioxidavtryck från drift (el och metanol) av en fullbelastad linje.



Figur 6. Koldioxidavtryck från drift (el och metanol) av en fullbelastad linje utan rejektivattenrening (vänster) och med rejektivattenrening (höger).

I Tabell 11 redovisas den sammanlagda el- och metanolförbrukning år 2050 för de studerade utbyggnadsalternativen (förutom de kompletterande alternativen som blir snarlika alternativ 1 respektive 3A år 2050) och det klimatavtryck i form av koldioxidekvivalenter som det resulterar i. Ur tabellen framgår att Nollalternativet med utbyggnad av MBBR-linjer ger högst klimatpåverkan från drift följt av alternativ 1 (där en tredje MBBR-linje byggs) och 2 (där ingen rejektivattenrening byggs). Alternativ 3A och B får ett lite lägre klimatavtryck, ungefär 26% lägre än Nollalternativet.

Tabell 11. Koldioxidavtryck från drift år 2050 (metanol och el) för de olika utbyggnadsalternativen

Parameter	Enhet	Alt. 0 - endast MBBR & RVR	Alt. 1 – lätta åtgärder & RVR + MBBR	Alt. 2 – optimering AS utan RVR	Alt. 3A - optimering AS & RVR	Alt. 3B – opt. AS & RVR, bra resultat
Elförbrukning	GWh/år	12,37	11,07	10,64	10,68	10,38
CO ₂ -ekv. från el	ton CO ₂ /år	4 602	4 118	3 958	3 973	3 861
Metanolförbrukning	m ³ /år	2 903	2 347	2 451	1 940	1 963
CO ₂ -ekv. från metanol	ton CO ₂ /år	7 540	6 096	6 366	5 039	5 099
CO₂-ekv. total	ton CO₂/år	12 142	10 214	10 324	9 012	8 960

4 Slutsats

Klimatavtrycket för att bygga och drifva en MBBR-linje är betydligt större än för övriga linjetyper, både totalt sett och om det normaliseras mot kvävereringskapaciteten i en linje.

Dessa siffror ska inte ses som exakta värden för klimatavtrycken utan som en grov jämförelse av några utvalda komponenter. Skillnaden mellan MBBR och övriga linjetyper är dock så stor att det med säkerhet går att säga att linjerna genererar ett betydligt större klimatavtryck än de övriga.