
Svenskt Vatten

UTVECKLING

Rapport
Nr 2026-6

Klimatåtgärder i VA-sektorn

Metodik och fallstudier för framåtblickande konsekvensanalys

Jenny Westerberg
Mattias Bisailon
Clara Haag Johansson
Ola Fredriksson

Svenskt Vatten

UTVECKLING

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området.

Författarna är ensamt ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten AB

POSTADRESS BOX 14057, 16714 Bromma

BESÖKSADRESS Gustavslundsvägen 12, 16751 Bromma

TELEFON 08-506 002 00

E-MAIL svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se

RAPPORTENS TITEL	Klimatåtgärder i VA-sektorn. Metodik och fallstudier för framåtblickande konsekvensanalys
TITLE OF THE REPORT	Climate measures in the water and wastewater sector. Methodology and case studies for forward-looking consequence analysis
FÖRFATTARE	Jenny Westerberg, Mattias Bisailon och Clara Haag Johansson, Profu, Ola Fredriksson, Envidan
RAPPORTNUMMER	2026-6
ANTAL SIDOR	63
SAMMANDRAG	Projektet initierades för att vidareutveckla en metod för beslutsfattande kring energi- och klimatåtgärder i VA-sektorn. Metodiken har använts i fem fallstudier för att bedöma klimatpåverkan av åtgärder i ett framåtblickande systemperspektiv. Metoden kan användas som beslutsunderlag för såväl förändringar av driften som vid investeringar.
SUMMARY	The project was initiated to further develop a methodology for decision-making on energy and climate measures in the public water sector. The methodology has been applied in five case studies to assess the climate impact of measures from a forward-looking system perspective. It can be used as a decision-support tool both for measures in operation and investments.
SÖKORD	Klimat, energi, klimatåtgärder, konsekvensanalys, systemperspektiv, fallstudier, miljövärdering, klimatvärdering
KEYWORDS	Climate, energy, climate measures, consequence analysis, system perspective, case studies, environmental assessment, climate assessment
MÅLGRUPPER	VA-organisationer och branschorganisationer inom VA-sektorn, andra kommunala verksamheter, leverantörer/konsulter till VA-branschen, forskare
RAPPORT	Finns att hämta hem som pdf från Vattenbokhandeln. https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/
UTGIVNINGÅR	2026
UTGIVARE	© Svenskt Vatten AB
REFERENS	Westerberg J., Bisailon M., Haag Johansson C. och Fredriksson O. (2026). <i>Klimatåtgärder i VA-sektorn. Metodik och fallstudier för framåtblickande konsekvensanalys</i> . SVU-rapport 2026-6. Stockholm: Svenskt Vatten.

Om projektet

PROJEKTNUMMER	24-112
PROJEKTETS NAMN	Beslutsstöd för energi- och klimatåtgärder i VA-sektorn
PROJEKTETS FINANSIERING	Svenskt Vatten Utveckling

Förord

Denna rapport är resultatet av projektet *Beslutsstöd för energi- och klimatåtgärder i VA-sektorn*, som genomförts under åren 2024–2025. Projektet tog sin utgångspunkt i ett behov hos VA-organisationer att kunna bedöma klimatpåverkan av driftförändringar och investeringar i ett framåtblickande perspektiv där åtgärdens hela livslängd beaktas. Många beslut som fattas i dag får konsekvenser för energianvändning och klimatpåverkan under flera decennier, vilket ställer höga krav på metodik och analys.

Projektet har genomförts av Profu och Envidan i nära samarbete med tolv svenska VA-organisationer. Arbetet har kombinerat metodutveckling med praktisk tillämpning i konkreta fallstudier, där fem VA-organisationer bidragit med åtgärdsbeskrivning, data, verksamhetskunskap och värdefulla diskussioner. Denna samverkan har varit avgörande för att kunna pröva metodiken mot verkliga frågeställningar och förutsättningar i VA-sektorn.

Rapporten riktar sig i första hand till VA-organisationer som arbetar med energi- och klimatfrågor, särskilt till dem som står inför strategiska val kring investeringar, driftsutveckling och långsiktig planering. Resultaten är även relevanta för kommunala beslutsfattare, myndigheter, konsulter och forskare med intresse för klimatomställning, livscykelperspektiv och beslutsstöd i tekniska system.

Vi vill tacka Svenskt Vatten Utveckling för finansiering och för konstruktivt stöd under projektets gång. Vi vill även rikta ett varmt tack till samtliga medverkande VA-organisationer och deras representanter som bidragit med synpunkter, data, granskning och stort engagemang. Särskilt tack riktas till de fem VA-organisationer som deltagit med fallstudier.

Vi hoppas att rapporten kan fungera som ett användbart underlag och inspiration för att förstå klimatnytta och klimatpåverkan av åtgärder i VA-sektorn.

Jenny Westerberg, Mattias Bisailon, Clara Haag Johansson, Ola Fredriksson

Innehåll

Förord	2
Sammanfattning	4
Summary	5
1 Inledning	6
1.1 Bakgrund	6
1.2 Syfte och mål	6
1.3 Metod och genomförande	7
1.4 Begrepp och förkortningar	8
2 Nulägeskartläggning	11
2.1 Enkät till VA-organisationer	11
2.2 Resultat	11
2.3 Sammanfattning och slutsatser	14
3 Metod för konsekvensanalys	16
3.1 Övergripande utgångspunkter	16
3.2 Konsekvensanalys jämfört med andra metoder	16
3.3 Metodens teoretiska grund	17
3.4 Genomförande av framåtblickande konsekvensanalys	18
3.5 Begränsningar, osäkerheter och tillämpning	20
3.6 Fördjupning om klimatpåverkan från elanvändning	21
4 Fallstudier	23
4.1 Fallstudie LBVA: Biogasåtgärder	23
4.2 Fallstudie Syvab: Slamhantering	28
4.3 Fallstudie Mälarenergi: Minskat vattenbehov	34
4.4 Fallstudie Kretslopp och vatten: Minskat tillskottsvatten	39
4.5 Fallstudie VA SYD: Underhåll av luftarsystem	48
5 Diskussion och slutsatser	55
5.1 Klimatpåverkan och klimatnytta vid byggnation och drift	55
5.2 Centrala lärdomar från fallstudierna	55
5.3 Metodens betydelse	56
5.4 Övergripande slutsatser	57
6 Behov av fortsatt forskning	58
6.1 Fossilt kol i inkommande vatten	58
6.2 Slamkvalitet och klimatpåverkan vid olika användningsområden	58
6.3 Framtida utveckling av klimatpåverkan från el, material och kemikalier	58
6.4 Dagvattensepareringens konsekvenser för rening och byggnation av nytt reningsverk	59
6.5 Kolinlagring i mark och osäkerheter kring långsiktig kolstabilitet	59
6.6 Utvecklad pedagogik, verktyg samt visualisering av resultat	59
Referenser	60
Bilaga A Exempel på standarder och litteratur inom miljövärdering	63
Bilaga B Checklista för framåtblickande konsekvensanalys i VA-sektorn	64

Sammanfattning

Projektet initierades för att vidareutveckla en metod för beslutsfattande kring energi- och klimatåtgärder i VA-sektorn. Metodiken har använts i fem fallstudier för att bedöma klimatpåverkan av åtgärder i ett framåtblickande systemperspektiv. Metoden kan användas som beslutsunderlag för såväl förändringar av driften som vid investeringar.

Många VA-organisationer följer redan upp sin klimatpåverkan, men klimatberäkningarna är ofta bakåtblickande med fokus på driftskedet och ger begränsad vägledning framåt inför nya investeringar. Samtidigt står många anläggningar inför stora investeringsbehov, där val av teknik och material påverkar utsläppen under lång tid framöver. Rapporten ökar förståelsen för hur åtgärder i VA-system påverkar klimatet i ett större systemperspektiv och längre tidsperspektiv. Metodiken som har använts i projektet beaktar både direkta utsläpp i den egna verksamheten och indirekta utsläpp som antingen tillförs eller undviks i andra delar av samhället.

Projektet har drivits av Profu och Envidan i samarbete med tolv VA-organisationer. En nulägesanalys kartlade hur VA-organisationerna arbetar i dag med energi- och klimatberäkningar. Därefter vidareutvecklades och tillämpades en metod för framåtblickande konsekvensanalys, som bygger på livscykelanalys och systemperspektiv. Metodiken har därefter testats i fem fallstudier i samverkan med VA-organisationer: inom biogasanvändning (LBVA), slamhantering (Syvab), minskat vattenbehov (Mälarenergi), dagvattenseparering (Kretslopp och vatten i Göteborg) samt energieffektivisering av luftarsystem (VA SYD). I samtliga fall jämförs åtgärderna med ett valt referensfall.

Åtgärder inom VA-system leder till utsläpp i samband med byggnation och investering. Under åtgärdens livslängd kan däremot driftutsläpp och undvikna utsläpp öka eller minska jämfört med om åtgärden inte hade genomförts. Exempelvis visade LBVA:s och Syvabs fallstudier att biogas och slam kan användas på sätt som ger ökade undvikna utsläpp i samhället, medan Mälarenergis studie visade att minskat vattenbehov kan undvika investeringar och minska utsläppen från användning av el och kemikalier. VA SYD:s studie visade att förbättrat underhåll av luftarsystem ger klimatvinst genom minskat elbehov. Kretslopp och vattens fallstudie visade att dagvattenseparering ger klimatnyttor under driften, men med de antaganden som gjorts räcker det inte helt för att väga upp byggrelaterade utsläpp.

Fallstudierna tydliggör hur val av systemgräns, tidsperspektiv och antaganden påverkar resultaten. Resultaten visar också att initiala bygg- och materialrelaterade utsläpp utgör en allt större del av den totala klimatpåverkan när driften, som pågår under hela åtgärdens livslängd, får bättre klimatprestanda. Det visar på vikten av att minimera utsläppen som sker vid byggnation.

Framåtblickande konsekvensanalys ger ett mer relevant underlag för beslut om åtgärder än traditionella, bokföringsbaserade klimatberäkningar. Samtidigt finns utmaningar i antaganden om exempelvis framtida utveckling. Metoden kan användas som beslutsstöd vid val av åtgärder, tekniska lösningar och material, och kan kombineras med exempelvis kostnadsbedömningar för att prioritera de mest effektiva åtgärderna och välja bort de minst effektiva. Metoden är relativt komplex, vilket innebär ett behov av att vidareutveckla checklistor och verktyg för att förenkla användningen. Ett utkast till checklista presenteras i en bilaga till rapporten.

Summary

The project was initiated to further develop a methodology for decision-making on energy and climate measures in the public water sector. The methodology has been applied in five case studies to assess the climate impact of measures from a forward-looking system perspective. It can be used as a decision-support tool both for measures in operation and investments.

Many public water utilities already calculate and report their climate impact, but climate calculations often have a retrospective focus on emissions from the operational phase and provide limited forward-looking guidance for new investments. At the same time, many facilities face major investment needs, where choices of technology and materials will influence emissions for decades to come. This report increases understanding of how measures in the public water sector affect the climate from a broader system perspective and over a longer time horizon. The methodology applied in the project considers both direct emissions from the organisation's own operations and indirect emissions that are either generated or avoided in other parts of society.

The project was carried out by Profu and Envidan in collaboration with twelve public water utilities. An initial baseline analysis mapped these organisations' current climate and energy work. The project then refined and applied a consequential analytical framework grounded in life cycle assessment (LCA) and systems analysis. The methodology was tested in five case studies in cooperation with public water utilities: biogas utilisation (LBVA), sludge management (Syvab), reduced water demand (Mälarenergi), stormwater separation (Kretslopp och vatten, City of Gothenburg), and energy efficiency improvements in aeration systems (VA SYD). In all cases, the measures were compared with a selected reference scenario.

Measures within the public water sector result in emissions during construction and investment. Over the lifetime of a measure, however, operational emissions and avoided emissions may increase or decrease compared with a situation without the measure. For example, the case studies showed that biogas and sludge can be utilised in ways that increase avoided emissions, while reduced water demand can avoid investments and reduce emissions from electricity and chemical use. Improved maintenance of aeration systems leads to climate benefits through reduced electricity demand. The case study on stormwater separation showed climate benefits during operation, but under the assumptions made, these were not sufficient to fully offset construction-related emissions.

The case studies illustrate how the choice of system boundaries, time horizon, and assumptions influences the results. They also show that initial construction- and material-related emissions account for an increasingly large share of total climate impact as operational performance improves over the lifetime of a measure. This highlights the importance of minimising emissions from construction.

Forward-looking consequential analysis provides a more relevant basis for decision-making on measures than traditional, accounting-based climate calculations. However, there are challenges related to assumptions about e.g. future developments. The method can support selection of measures, technical solutions, and materials, and can be combined with cost assessments to prioritise the most effective measures. The method is relatively complex, and there is a need to further develop checklists and tools to facilitate its practical implementation. A draft version of such a checklist is presented in an appendix to the report.

1 Inledning

Profu, Envidan och tolv svenska VA-organisationer har under 2024–2025 analyserat konsekvenser av åtgärder i VA-sektorn för energianvändning och klimat. Analyserna har gjorts i projektet *Beslutsstöd för energi- och klimatåtgärder i VA-sektorn*, som finansierats av Svenskt Vatten Utveckling samt av deltagande VA-organisationer genom arbetstid. Projektets resultat redovisas i denna rapport.

1.1 Bakgrund

För att nå uppsatta klimatmål på alltifrån global nivå till svensk och lokal nivå behöver växthusgasutsläppen kraftigt minska. Åtgärder för att minska utsläppen behöver ske i alla samhällssektorer. VA-sektorn driver ett viktigt arbete med att mäta och följa upp klimatpåverkan från främst driftskedet. Svenskt Vatten har bland annat tagit fram följande klimatberäkningsverktyg, för driftskedet respektive för ledningsprojekt, som båda finns tillgängliga på Svenskt Vattens webbplats:

- *Klimatberäkningsverktyg för VA-anläggningar. Användarmanual. Version 4.* (Svenskt Vatten 2025a)
- *Klimatberäkning för ledningsprojekt VA. En vägledning. Version 1.* (Svenskt Vatten 2025b)

Svenskt Vatten driver även initiativet Klimatneutral VA-bransch. Vidare har flera VA-organisationer tagit fram konkreta energi- och klimatmål.

Många VA-anläggningar står inför investeringsbehov för utökad kapacitet och/eller renovering av befintliga anläggningar. Det är viktigt att åtgärder i samband med investeringar medför så liten klimatpåverkan som möjligt såväl i byggskedet som i det efterföljande driftskedet. Eftersom många åtgärder har lång livslängd behöver också klimatpåverkan under många år framåt beaktas redan vid planering.

Resultat av klimatberäkningar påverkas mycket av de antaganden som görs kring exempelvis systemgräns och tidsperspektiv. En för snäv systemgräns kan över- eller underskatta klimatpåverkan. En klimatberäkning för en åtgärd som ska leva under många år måste ha ett framåtblickande perspektiv som omfattar åtgärdens hela livslängd. Klimatberäkningar av en viss verksamhet, produkt eller liknande kan visa helt olika resultat, vilket ofta beror på att man valt olika metod/angreppssätt för beräkningarna. Grovt kan man dela in klimatberäkningar i *bokföring* (fördelning av utsläpp mellan aktörer) och *konsekvensanalys* (utsläppskonsekvenser av en verksamhet/åtgärd). Konsekvensanalys är alltså lämpligt som beslutsunderlag inför åtgärder och är den metodik som använts i detta projekt.

1.2 Syfte och mål

Projektets övergripande syfte var att åstadkomma VA-åtgärder som minskar energianvändning och klimatpåverkan i ett systemperspektiv.

Mål för projektet:

1. Ökad kunskap om olika sätt att beräkna klimatpåverkan och när/hur de kan användas.
2. Utvecklad metodik för framåtblickande analys av energi och klimatpåverkan vid åtgärder i VA-system (drift och investeringar).

-
3. Utvärdering av ett antal åtgärder i VA-system ur energi- och klimatsynpunkt.
 4. Rekommendationer kring beräkning och uppföljning av energi och klimat vid åtgärder.

1.3 Metod och genomförande

Projektet har tillämpat flera olika metoder. En viktig del i projektet har varit vidareutveckling av metod för framåtblickande klimatberäkningar med utgångspunkt i livscykelanalys samt metodik som Profu utvecklat bland annat genom klimatbokslut åt VA-organisationer. Utöver metodutvecklingen har projektet även använt kvalitativa och kvantitativa metoder såsom workshoppar, fallstudier, beräkningar och livscykelanalys.

Projektet omfattade fyra delaktiviteter:

1. *Nuläge*

Projektet inleddes med en kartläggning av hur deltagande VA-organisationer arbetar med energi- och klimatberäkningar i drift och vid investeringar. Kartläggningen genomfördes genom en enkät vars utformning diskuterades i projektgruppen. Resultaten sammanställdes och diskuterades vid en workshop, vilket gav en gemensam bild av nuläget samt identifierade utvecklingsbehov.

2. *Metodutveckling*

Med utgångspunkt i nulägesanalysen och befintliga beräkningsmetoder vidareutvecklades en metodik för framåtblickande analys av energi och klimatpåverkan i VA-sektorn. En viktig del av arbetet var även att vid flera projektmöten och workshoppar diskutera metodiken och hur den kan tillämpas i VA-sektorn. Metodiken användes sedan för beräkningarna i aktivitet 3 om fallstudier.

3. *Fallstudier*

Ett antal konkreta åtgärder valdes ut i fem fallstudier. Fallstudierna genomfördes i nära samverkan med respektive fallstudieorganisation. Organisationerna bidrog med åtgärdsbeskrivningar, tekniska förutsättningar, data och verksamhetskunskap, medan Profu och Envidan ansvarade för strukturering av analysen och genomförande av beräkningar i enlighet med den utvecklade metodiken. Resultaten analyserades gemensamt dels vid separata möten med fallstudieorganisationerna, dels vid projektmöten och workshop.

4. *Syntes*

I projektets avslutande fas sammanställdes erfarenheter och resultat från samtliga aktiviteter. Centrala slutsatser, metodrekommendationer och identifierade utmaningar formulerades och diskuterades i projektgruppen innan de sammanställdes i slutrapporten.

Projektet har genomförts av Profu och Envidan i nära samarbete med tolv svenska VA-organisationer. Arbetet har kombinerat metodutveckling med praktisk tillämpning i konkreta fallstudier, där fem VA-organisationer bidragit med åtgärdsbeskrivning, data, verksamhetskunskap och värdefulla diskussioner. Denna samverkan har varit avgörande för att kunna pröva metodiken mot verkliga frågeställningar och förutsättningar i VA-sektorn. Följande VA-organisationer har deltagit i projektet:

- VA SYD (fallstudie)
- Mälarenergi (fallstudie)
- Syvab (fallstudie)
- Laholmsbuktes VA (fallstudie)

-
- Kretslopp och vatten (fallstudie)
 - Gryaab (följare)
 - MittSverige Vatten och Avfall (följare)
 - Stockholm Vatten och Avfall (följare)
 - Karlshamn Energi (följare)
 - Hässleholm Miljö (följare)
 - Västvatten (följare)
 - Tekniska Verken i Linköping (följare)

1.4 Begrepp och förkortningar

Nedan presenteras ett antal begrepp som förekommer i rapporten.

Bakåtblickande analys

Analys som utgår från historiska eller aktuella data för att beskriva utsläpp från en redan genomförd verksamhet eller ett tidigare år.

Biogent kol

Kol som ingår i det naturliga kretsloppet (t.ex. i biomassa och slam) och som kan bidra till kolinlagring i mark.

Bokföring / Bokförings-LCA

Metod för miljöberäkning där utsläpp fördelas mellan aktörer, exempelvis organisationer eller produkter, baserat på givna systemgränser och fördelningsprinciper. Används ofta i hållbarhetsredovisning

Byggrelaterade utsläpp / Investeringsutsläpp

Utsläpp som uppstår vid investeringar och anläggningsarbete, exempelvis produktion av betong, stål, maskiner och transporter.

CSRD

EU:s direktiv om hållbarhetsrapportering (Corporate Sustainability Reporting Directive, CSRD; Direktiv (EU) 2022/2464).

Direkta utsläpp

Utsläpp som sker inom den egna verksamheten, exempelvis koldioxid-, metan- och lustgasutsläpp från reningsprocesser eller förbränning av bränslen.

Driftmarginal (elsystem)

Den elproduktion som på kort sikt påverkas av en förändring i elanvändning, vanligtvis den produktion som är dyrast i drift.

Driftutsläpp / Driftrelaterade utsläpp

Klimatpåverkande utsläpp som uppstår under en åtgärds eller anläggnings driftskede, det vill säga under den löpande användningen under hela åtgärdens livslängd.

Emissionsfaktor / Utsläppsfaktor

Anger hur mycket växthusgaser som släpps ut per enhet aktivitet (t.ex. kg CO₂-ekv per MWh el eller per ton material).

ESRS / European Sustainability Reporting Standards

Obligatoriska standarder för hållbarhetsrapportering enligt CSRD. Det finns flera olika standarder, bland annat den om klimatförändringar (ESRS E1).

Framåtblickande analys

Analys som beaktar framtida förändringar, exempelvis utveckling av energisystem, teknik och utsläppsfaktorer över åtgärdens livslängd

GHGP / Greenhouse Gas Protocol / GHG-protokollet

Frivillig global standard för beräkning av organisationers klimatutsläpp. Den beskriver hur företag och organisationer ska avgränsa och kvantifiera sina utsläpp (scope 1–3) i ett bokföringsperspektiv. Utgör huvudreferens i CSRD.

Indirekta utsläpp

Utsläpp som sker utanför den egna verksamheten men orsakas av den, exempelvis vid produktion av el, kemikalier eller byggmaterial.

Investeringsutsläpp / Byggrelaterade utsläpp

Utsläpp som uppstår vid investeringar och anläggningsarbete, exempelvis produktion av betong, stål, maskiner och transporter.

Konsekvensanalys / Konsekvens-LCA

Metod som analyserar hur utsläppen förändras till följd av en åtgärd. Fokuserar på skillnaden mellan ett referensfall och ett åtgärdsalternativ.

LCI-data (Livscykelinventeringsdata)

Data över resursanvändning och utsläpp som används i livscykelanalys för att beräkna miljöpåverkan.

LCA (Livscykelanalys)

Metod för att beräkna miljöpåverkan från en produkt, process eller verksamhet över hela livscykeln – från råvaruutvinning till avfallshantering.

Marginaler / Marginalmix

Den elproduktion som påverkas av en förändring i elanvändning i ett konsekvensperspektiv, inklusive både drift- och investeringspåverkan.

Nettoeffekt

Skillnaden i klimatpåverkan mellan referensfall och åtgärdsalternativ över en definierad tidsperiod.

Personekvivalent (pe)

Måttenheter för belastning på avloppsreningsverk, ofta definierad som 70 g BOD₇ per person och dygn.

Referensfall

Beskrivning av utvecklingen utan den studerade åtgärden. Används som jämförelsegrund i rapportens fallstudier.

Scope 1–3

GHG-protokollet delar in organisationers växthusgasutsläpp i olika "scopes". Scope 1 avser direkta utsläpp, scope 2 avser indirekta utsläpp från köpt energi, och scope 3 avser övriga indirekta utsläpp i värdekedjan.

Spendanalys

Metod för att uppskatta klimatpåverkan från en organisations inköp genom att koppla inköpskostnader (kr) till genomsnittliga utsläppsfaktorer per krona för olika branscher eller produktkategorier.

Systemgräns

Avgränsning som anger vilka processer, flöden och effekter som inkluderas i analysen.

Tillförda utsläpp

Utsläpp som uppstår till följd av en åtgärd, antingen direkt eller indirekt.

Undvikna utsläpp

Utsläpp som inte sker tack vare att en åtgärd ersätter mer klimatbelastande produktion eller aktivitet.

Utsläppsfaktor / Emissionsfaktor

Anger hur mycket växthusgaser som släpps ut per enhet aktivitet (t.ex. kg CO₂-ekv per MWh el eller per ton material).

2 Nulägeskartläggning

Syftet med nulägeskartläggningen var att skapa en bild av hur deltagande VA-organisationer i dagsläget arbetar med att beräkna och följa upp energi- och klimatpåverkan – både i den löpande driften och vid investeringar. Den syftade även till att bättre förstå när och i vilka sammanhang energi- och klimatberäkningar görs, vilka metoder och verktyg som används vid uppföljning respektive inför beslut, vilka data som används samt vilka utvecklingsbehov som finns inom området.

När resultaten beskrivs nedan används en del begrepp såsom bokföring och konsekvensanalys. Dessa begrepp beskrivs i begreppslistan i avsnitt 1.4 samt fördjupas i kapitel 3.

2.1 Enkät till VA-organisationer

Arbetet har genomförts genom en enkät till deltagande VA-organisationer samt en sammanställning och analys av inkomna svar. Enkäten riktade sig till personer med ansvar eller insyn i energi-, klimat- eller hållbarhetsarbetet inom sina respektive organisationer.

Enkäten omfattade följande huvudområden:

- *Klimatarbetet*, där frågor ställdes om hur ofta klimatutsläpp beräknas, i vilka sammanhang de används, vilka växthusgaser som inkluderas och vilka metoder och verktyg som används.
- *Energianvändningen*, med fokus på hur energi följs upp, vilka energislag som används och produceras internt samt hur organisationerna arbetar med energi-effektivisering.
- *Utvecklingsbehov och kommentarer*, där respondenterna fick beskriva vilka delar de upplever fungerar väl och vilka områden som kan förbättras.

Enkäten skickades ut i september 2024 och besvarades av samtliga tolv deltagande VA-organisationer.

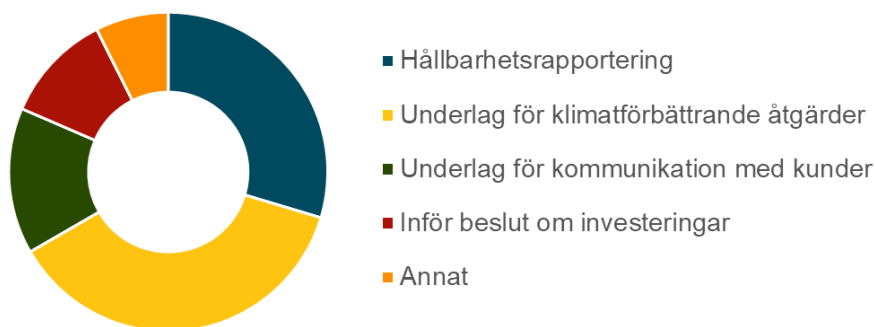
2.2 Resultat

2.2.1 Klimatarbetet i VA-sektorn

De flesta organisationer som besvarat enkäten uppger att de genomför klimatberäkningar i någon form. Vanligast är att detta görs årligen, ofta som del av den övergripande hållbarhetsrapporteringen eller i samband med ett klimatbokslut. Några organisationer gör klimatberäkningar mer sällan, exempelvis vid särskilda projekt eller när det efterfrågas i samband med investeringsbeslut.

Syftet med beräkningarna varierar (Figur 2.1). För många handlar det om underlag till hållbarhetsrapportering, medan andra framför allt använder resultaten för att identifiera klimatförbättrande åtgärder. Färre organisationer anger att de använder klimatberäkningar som ett underlag vid investeringsbeslut, vilket antyder att denna koppling fortfarande är svag.

I vilka sammanhang beräknar ni era klimatutsläpp?



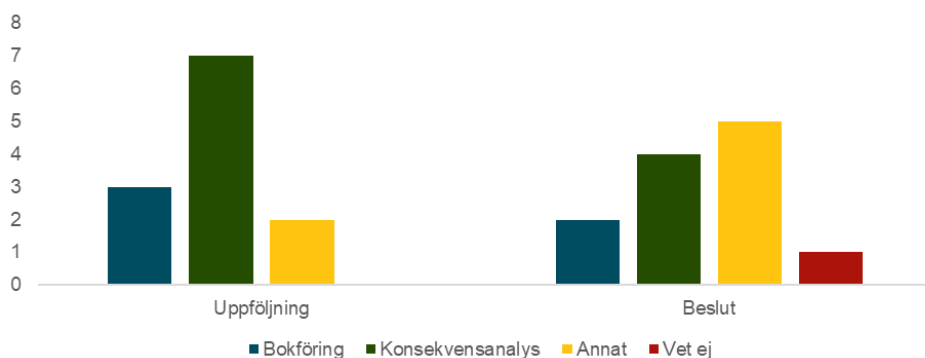
Figur 2.1

Utfall av enkätfrågan "I vilka sammanhang beräknar ni era klimatutsläpp?". Samma respondent kunde ange flera olika svar.

Enkäten ställde också frågor om hur VA-organisationerna räknar på klimatpåverkan vid uppföljning (t.ex. klimatpåverkan från föregående års verksamhet) respektive inför beslut om förändringar (t.ex. inför kommande investeringar). Av Figur 2.2 framgår att en majoritet tillämpar konsekvensanalys vid uppföljning. Att så många tillämpar ett konsekvensperspektiv vid såväl uppföljning som vid beslut kan troligen förklaras genom att många använder Svenskt Vattens verktyg, som trots att det i grunden bygger på bokföring också innehåller inslag av konsekvensanalys (t.ex. kvantifierar vissa undvikna utsläpp). En annan förklaring kan vara att projektet är inriktat mot konsekvensanalys och att de VA-organisationer som redan arbetar utifrån ett systemperspektiv i större utsträckning kan ha lockats att delta i detta projekt.

Hur organisationerna räknar när de står inför beslut varierar mer. Många anger att de använder annan metod än bokföring eller konsekvensanalys. Det gick inte att utläsa ur enkätsvaren vad detta innebär. Flera nämner att de inte rutinmässigt gör klimatberäkningar inför beslut om åtgärder. Någon enstaka gör i dagsläget inte uppföljande klimatberäkningar, men förändring är på väg.

Hur räknar ni vid uppföljning resp. beslut?

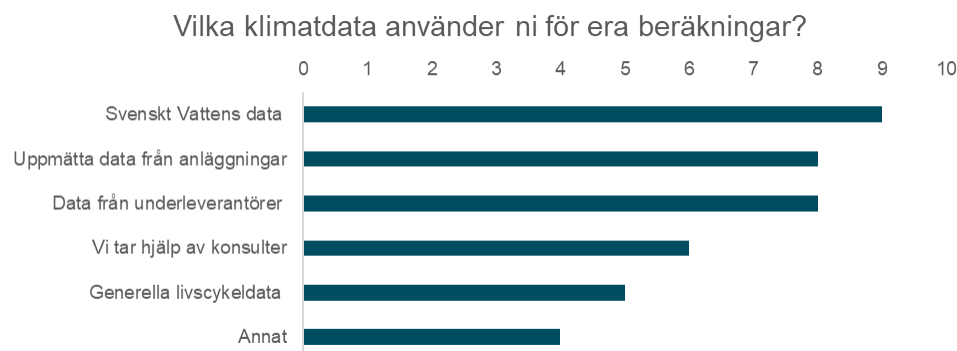


Figur 2.2

Resultat kring hur respondenterna gör klimatberäkningar vid uppföljning respektive beslut. Staplarna visar antal respondenter som angivit ett visst svar. Endast ett svar kunde anges per respondent.

När det gäller verktyg och stöd använder många Svenskt Vattens klimatberäkningsverktyg för VA-anläggningar (Svenskt Vatten 2025a) ibland i kombination med egenutvecklade beräkningsmallar eller med hjälp av konsulter. Några organisationer nämner att de använder spendanalyser, vilket är en metod för att uppskatta klimatpåverkan från en organisations inköp genom att koppla inköpskostnader till utsläpp. Samtidigt uppger flera att befintliga verktyg inte alltid täcker deras behov. Framför allt saknas stöd för att bedöma klimatpåverkan vid investeringar och för att kunna göra framåtblickande analyser som fångar en åtgärds effekter över tid. Det bör i sammanhanget nämnas att enkäten besvarades innan Svenskt Vatten tillhandahållit sitt klimatberäkningsverktyg för ledningsprojekt (Svenskt Vatten 2025b).

De datakällor som används varierar, men data från Svenskt Vattens verktyg är vanligast, följt av data från egna anläggningar och från underleverantörer (Figur 2.3). Samtliga organisationer använder någon form av verktyg, standardiserade metoder eller konsultstöd för klimatberäkningar. Det vanligaste är Svenskt Vattens verktyg (Svenskt Vatten 2025a), men även konsultstöd från VA-teknik Södra samt Profus klimatbokslut (Profus 2026) nämns. Några organisationer har testat en mängd olika verktyg och metoder. Till exempel nämns spendanalyser, Trafikverkets klimatkalkyl (Trafikverket 2026), Avfall Sveriges klimatverktyg (Avfall Sverige 2026) samt stöd från högskolor.



Figur 2.3

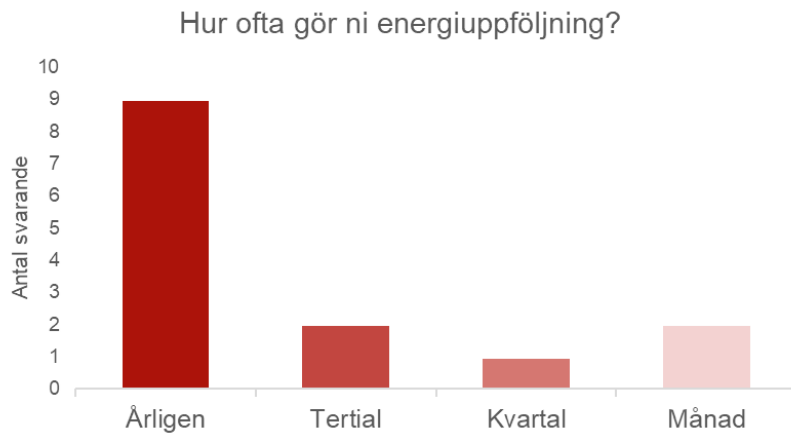
Klimatdata som används vid klimatberäkningar enligt enkäten. Staplarna visar antal respondenter som angivit ett visst svar. Samma respondent kunde ange flera olika svar.

Respondenterna hade möjlighet att i fritext ge kommentarer kring hur nöjda de är med de metoder och verktyg de i dag använder för klimatberäkningar. Av dessa framgår att många i grunden är nöjda med de verktyg och metoder de använder, men att det finns flera viktiga utvecklingsbehov. Många beskriver att dagens verktyg fungerar väl för att beräkna klimatpåverkan i driftskedet, men att de inte täcker hela verksamheten. Framför allt lyfts att investeringar och projekt på anläggningarna inte omfattas i tillräcklig grad. Flera organisationer efterfrågar därför möjligheter att räkna framåtblickande, så att beräkningarna kan användas som underlag inför investeringsbeslut och bidra till att identifiera klimatomfattande bättre val av teknik, material och arbetsmetoder. Enkäten genomfördes alltså innan Svenskt Vattens nya verktyg kring ledningsnät lanserats (Svenskt Vatten 2025b).

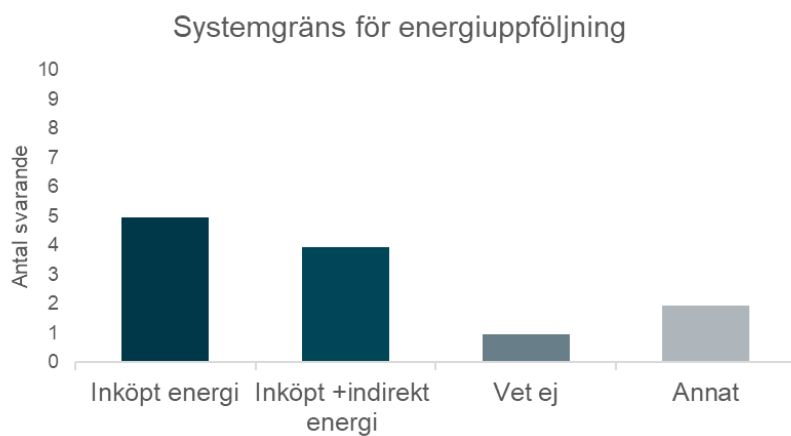
Övriga behov som lyfts är bättre verktyg för framåtblickande analyser, att inkludera indirekta utsläpp längs värdekedjan, att bättre beakta klimatpåverkan från hela verksamheten, samt att kunna jämföra klimatpåverkan av att bygga nytt eller underhålla befintliga anläggningar. Det finns även ett behov av mer mätdata och uppdaterade livscykelvärden för att öka precisionen i beräkningarna. Nu används mycket schablondata medan verkligheten skiljer sig mellan olika organisationer. Någon lyfter en önskan om att kunna uttrycka resultat som kostnad per ton koldioxidekvivalenter (kr/CO₂-ekv).

2.2.2 Energiarbetet i VA-sektorn

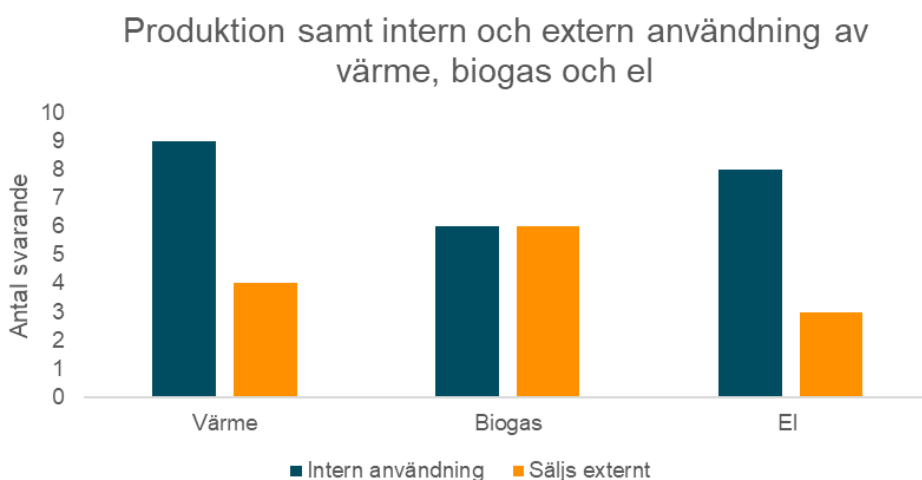
När det gäller energiarbetet (Figur 2.4) följer de flesta organisationer upp sin energi-användning regelbundet, oftast årligen men ibland även månadsvis. Uppföljningen omfattar i regel köpt el, fjärrvärme och eventuella bränslen. Endast ett fåtal inkluderar indirekt energianvändning, till exempel transporter som utförs av leverantörer.



Figur 2.4
Resultat från enkäten kring energiuppföljning.



Samtliga VA-organisationer använder el i sin verksamhet och elva av tolv använder även fjärrvärme och bränslen, där biogas och diesel är absolut vanligast följt av eldningsolja och HVO. Många VA-organisationer har egenproduktion av värme (83 %), biogas (75 %) och el (75 %). Denna energi används internt i anläggningarna och/eller säljs externt (Figur 2.5). De som säljer värme säljer till fjärrvärmenät. El produceras genom gasmotorer och/eller egna solceller.



Figur 2.5
Utfall av enkätfrågan "Producerar ni el, värme och/eller bränslen inom er verksamhet och hur används de?". Samma respondent kunde ange flera olika svar.

Energieffektiviseringsarbetet varierar stort mellan respondenterna. En del anger att de gör väldigt lite kring energieffektivisering, medan andra har väl utvecklat arbete. Exempel på åtgärder som lyfts är kring pumpar, luftare, styrsystem, driftoptimering

samt slamavvattning. Flera genomför även energikartläggningar för att identifiera behov av energieffektivisering.

På frågan om organisationerna är nöjda med sitt energiarbete eller om de ser ytterligare behov, svarar flera att energiarbetet skulle kunna bli bättre, till exempel genom mer systematik. Det lyfts även behov av metoder för att prioritera åtgärder samt metoder för att utvärdera effekten av energieffektiviseringsåtgärder ur ett klimatperspektiv.

2.3 Sammanfattning och slutsatser

Nulägesanalysen visar att de allra flesta VA-organisationer följer upp sin klimatpåverkan och sin energianvändning, men arbetet präglas fortfarande av stor variation i tillvägagångssätt och metodik.

Av enkäten framgår att majoriteten av deltagande VA-organisationer använder konsekvensanalys även vid uppföljning. Det är dock oklart om VA-organisationerna använder konsekvensanalys fullt ut eller om de använder Svenskt Vattens klimatberäkningsverktyg för VA-anläggningar (Svenskt Vatten 2025a) och betraktar det som ett verktyg som utgår från konsekvensanalys (i och med att verktyget omfattar inslag av konsekvensanalys).

Av enkätsvaren kring *klimatarbetet* framgår önskemål om att utveckla beräkningsmetodik och -verktyg mot ett mer framåtblickande, heltäckande och beslutsorienterat stöd – där både data, metodik och användbarhet förbättras för att ge verklig nytta i planering och styrning av VA-verksamheter. Detta projekt, samt Svenskt Vattens klimatberäkningsverktyg för ledningsnät (Svenskt Vatten 2025b) kan vara två viktiga pusselbitar framåt. Behov som lyfts kopplat till *energiarbetet* är mer systematiskt arbete, energikartläggning, ökat fokus på konvertering av fossila bränslen mot förnybara samt metoder för att prioritera och utvärdera åtgärder för energieffektivisering ur kostnads- och klimatperspektiv.

3 Metod för konsekvensanalys

3.1 Övergripande utgångspunkter

Den metodik som används inom projektet utgår från *framåtblickande konsekvensanalys*. Det innebär att analysera hur klimatpåverkan förändras av att genomföra olika åtgärder. Klimatpåverkan inkluderar så långt som möjligt alla väsentliga förändringar som åtgärderna orsakar – både inom den egna organisationen och i samhället i stort – och beskriver hur dessa förändringar utvecklas över tid. Metodiken är därmed avsedd att fungera som ett beslutsunderlag, där olika alternativ kan jämföras på ett konsekvent sätt i ett livscykel- och systemperspektiv.

Metodiken har tagit sin utgångspunkt i etablerade principer inom livscykelanalys (konsekvens-LCA), befintlig metodik för framåtblickande klimatberäkningar (se exempel på standarder och litteratur i Bilaga A) samt i Svenskt Vattens klimatberäkningsverktyg för VA-anläggningar (Svenskt Vatten 2025a). Särskilt fokus för metodutvecklingen har varit på delar som saknas eller är mindre utvecklade i Svenskt Vattens klimatberäkningsverktyg, såsom framåtblickande perspektiv samt klimatpåverkan från investeringar.

3.2 Konsekvensanalys jämfört med andra metoder

3.2.1 Bokföring och konsekvensanalys

Miljö- och klimatanalyser kan generellt indelas i två grundläggande metoder – bokföring och konsekvensanalys. Vid bokföring fördelas utsläpp mellan aktörer (t.ex. företag, verksamheter, nationer, kommuner, individer) och används till exempel vid hållbarhetsredovisning. Konsekvensanalys syftar till att analysera hur utsläpp påverkas av en förändring, till exempel inför beslut om en åtgärd. Bokföring och konsekvensanalys svarar alltså på olika frågor och är därmed lämpade att användas vid olika tillfällen.

Både bokföring och konsekvensanalys kan genomföras antingen bakåtblickande eller framåtblickande, vilket illustreras i Figur 3.1. Av figuren framgår bland annat att denna rapport bygger framåtblickande konsekvensanalys samt att Svenskt Vattens klimatberäkningsverktyg för VA-anläggningar (Svenskt Vatten 2025a) i huvudsak bygger på bakåtblickande bokföring. Svenskt Vattens klimatberäkningsverktyg har dock även inslag av bakåtblickande konsekvensanalys i och med att vissa undvikna utsläpp inkluderas.

	Bakåtblickande	Framåtblickande
Bokföring	Hållbarhetsredovisning (ej underlag för åtgärder) Svenskt Vattens klimatberäkningsverktyg för VA-anläggningar	T.ex. framtida elmix
Konsekvensanalys	Klimatbokslut med ett konsekvensperspektiv	Investeringsbeslut / åtgärdsanalys Denna rapport

Figur 3.1

Illustration av bakåt- respektive framåtblickande bokföring och konsekvensanalys med exempel på tillämpningsområden. Figuren visar även vad denna rapport respektive Svenskt Vattens klimatberäkningsverktyg för VA-anläggningar (Svenskt Vatten 2025a) bygger på.

3.2.2 Konsekvensanalys i förhållande till CSRD, GHG-protokollet och annan klimatrapportering

Den metodik som används i denna rapport – framåtblickande konsekvensanalys – har ett annat syfte än de ramverk som används för hållbarhetsrapportering, såsom EU:s direktiv om hållbarhetsrapportering (CSRD) och GHG-protokollets *Corporate Standard* (GHGP 2004).

Metodikerna i denna rapport syftar till att framåtblickande analysera hur utsläppen förändras till följd av en specifik åtgärd över hela dess livslängd. CSRD och GHG-protokollets företagsstandard syftar i stället till att redovisa en hel organisations faktiska, historiska utsläpp under ett visst år. Metoderna är därför inte utbytbara, utan kompletterar varandra.

CSRD kräver att rapporteringen sker enligt *European Sustainability Reporting Standards* (ESRS), där ESRS E1 (klimat) i praktiken utgår från GHG-protokollets *Corporate Standard* (GHGP 2004) som huvudreferens. Syftet är transparens, jämförbarhet och uppföljning av organisationers klimatpåverkan över tid. Enligt GHG-protokollets *Corporate Standard* delas en organisations historiska utsläpp (t.ex. föregående år) in i scope 1 (direkta utsläpp), scope 2 (indirekta utsläpp från köpt energi) och scope 3 (övriga indirekta utsläpp i värdekedjan).

GHG-protokollet har dock även publicerat standarder och vägledningar som lyfter fram konsekvensanalys. Exempel är *Policy and Action Standard* (GHGP 2014), som analyserar effekter av styrmedel och åtgärder genom jämförelse mellan referensscenario och åtgärdsscenario, samt standarden för *Project Accounting* (GHGP 2005) som beskriver hur utsläpp jämförs i ett projektscenario med ett referensscenario. I rapporten *Estimating and Reporting the Comparative Emissions Impacts of Products* (GHGP 2018) anges vidare uttryckligen att konsekvensbaserade metoder bör användas när beräkningar ska ligga till grund för beslut. Konsekvensanalys är alltså sedan länge accepterat som metod inom GHG-protokollet när syftet är att analysera effekter av exempelvis styrmedel, projekt och produkter.

Flera av GHG-protokollets standarder är för närvarande under revidering. Enligt den tidplan som publicerats av organisationen förväntas uppdaterade utkast avseende effekter av åtgärder och styrmedel under 2027 och slutliga versioner omkring 2028. Detta inkluderar bland annat frågor om förhållandet mellan redovisning (bokföring) och åtgärdsanalys (konsekvensanalys).

3.3 Metodens teoretiska grund

Metodikerna bygger på *konsekvens-LCA*, en etablerad princip inom livscykelanalys (LCA). Det innebär att analysen fokuserar på de förändringar i miljöpåverkan som uppstår när en viss åtgärd införs. I praktiken innebär detta att systemgränserna måste breddas så att även de indirekta effekterna inkluderas – exempelvis hur förändrad energianvändning påverkar produktion av el och värme i andra delar av energisystemet, eller hur förändrad användning av slam eller biogas påverkar utsläpp i andra sektorer.

Metoden beaktar därmed både tillförda utsläpp och undvikna utsläpp. Tillförda utsläpp kan vara antingen direkta (till exempel från utsläpp av metan eller lustgas eller från förbränning i egna verksamheten) eller indirekta (till exempel från byggnation, energianvändning eller produktion av material och kemikalier). Undvikna utsläpp uppstår när den egna verksamheten bidrar till att minska utsläpp någon annanstans i samhället. Ett typiskt exempel är att biogas från ett reningsverk kan ersätta naturgas i transportsektorn, eller att värme från avloppsvatten kan ersätta annan värmeproduktion i fjärrvärmenätet. Även om både tillförda och undvikna utsläpp ingår i metodiken är det viktigt att tydligt specificera var och en av dem för att förstå vilka utsläpp en organisation har direkt rådighet över respektive vilka som påverkas av utveckling i samhället i övrigt.

Analysen baseras på en jämförelse mellan ett referensfall och ett eller flera åtgärdsalternativ. Referensfallet kan till exempel vara ett fall där verksamheten fortsätter som i dag. Skillnaden mellan referensfall och åtgärdsalternativen beskriver den nettoeffekt (positiv eller negativ) som åtgärden har på klimatpåverkande utsläpp. Om nettoeffekten är negativ innebär det att utsläppen är lägre än i referensfallet och/eller att de undvikna utsläppen är högre än i referensfallet.

I projektet används begreppet framåtblickande för att betona att analysen tar hänsyn till framtida utveckling som påverkar en åtgärds klimatpåverkan under hela dess livslängd. Tidsperspektivet är alltså centralt i framåtblickande konsekvensanalys. Till exempel behöver hänsyn tas till att utsläppsfaktorer för el, värme, material och transporter förändras över tid i takt med förändringar i samhället. Genom att inkludera denna utveckling kan man bättre spegla de faktiska konsekvenserna av dagens beslut, eftersom många åtgärder inom VA-sektorn har mycket lång livslängd och därmed påverkar klimatet under flera decennier framöver. Ett dilemma är förstås att vi i dag inte vet hur denna framtida utveckling kan se ut. Då kan scenarier vara användbart eller antaganden om teknikförbättring. Ett annat sätt är att göra känslighetsanalyser för att undersöka hur vissa parametrar påverkar resultaten vid olika antaganden.

3.4 Genomförande av framåtblickande konsekvensanalys

Beräkningar enligt framåtblickande konsekvensanalys kan delas in i följande delmoment:

- *Om analysen*: Beskrivning av referensfall och åtgärder
- *Beräkningsförutsättningar*: Antaganden och indata
- *Resultat*: Beräkning, analys, tolkning
- *Diskussion, slutsatser och rekommendationer*

I Figur 3.2 sammanfattas viktiga aspekter att ta med i respektive delmoment. Samtliga delmoment beskrivs också i mer detalj i den efterföljande texten. I Bilaga B redovisas även en checklista som kan användas som stöd för VA-organisationer vid framåtblickande åtgärdsanalys.

Figur 3.2

Exempel på aspekter att beakta vid framåtblickande konsekvensanalys.



3.4.1 Om analysen: Beskrivning av referensfall och åtgärder

Analysen inleds med att åtgärden och referensfallet definieras tydligt. Det handlar ofta om att beskriva både de tekniska och funktionella skillnaderna mellan alternativen – till exempel hur en ny process, teknik eller driftstrategi påverkar mängden producerad energi, användningen av kemikalier, transporter eller materialbehov. Eftersom underlaget kommer att ligga till grund för kvantifieringar är det viktigt att beskriva de olika fallen så noga som möjligt. I detta steg kan beskrivningen vara kvalitativ för att i nästa steg bli mer kvantitativ.

Här ingår också att ta fram relevant systemgräns samt tidsperspektiv för analysen. Systemgränsen anger vilka delar av VA-verksamheten och omgivande system som ska inkluderas i analysen. I projektet har systemgränserna i regel omfattat såväl de direkta processerna inom anläggningen som de flöden av energi och material som påverkas i samhället. Exempelvis kan en förändrad elanvändning i ett reningsverk ge upphov till minskade utsläpp i elproduktionen, men även till ökade utsläpp från byggnation av ny utrustning.

Tidsperspektivet beror till exempel på åtgärdernas tänkta livslängd, men det kan även vara intressant att göra nedslag vid något särskilt år in i framtiden. I projektet har tidsperiod oftast valts som motsvarar åtgärdens livslängd – från 15 år ända upp till 100 år. I något fall har i stället nedslag gjorts vid två bestämda år i framtiden. Genom att inkludera hela livscykeln kan utsläpp som uppstår vid byggnation jämföras med utsläpp, besparingar eller undvikna utsläpp som sker under driften. Eftersom byggrelaterade utsläpp sker tidigt, medan nyttan ofta ackumuleras över tid, kan valet av tidsperiod påverka slutsatserna påtagligt.

3.4.2 Beräkningsförutsättningar: Antaganden och indata

Relevanta energi- och materialflöden kartläggs så noga som möjligt, baserat på analysen ovan. Det gäller både energi- och materialflöden som kommer att ske inom den egna verksamheten, men också flöden i omvärlden som påverkas av åtgärderna. Detta kan till exempel vara uppgifter om elanvändning före och efter åtgärden, behov av material för investering i en ny ledning, användning av kemikalier före och efter åtgärden och liknande. I många fall behöver *antaganden* göras kring hur energi- och materialflöden påverkas. Detta framkommer tydligt i beskrivningarna av respektive fallstudie i avsnitt 4. Antaganden för respektive fallstudie har genomförts i nära samarbete mellan utförare och VA-organisationerna.

För att beräkna utsläpp behövs utsläppsfaktorer (LCI-data = livscykelinventeringsdata). Arbetet med att ta fram utsläppsfaktorer kan vara omfattande och beror på data-tillgänglighet. Exempelvis kan data hämtas från egna mätningar, litteratur, databaser, verktyg eller genom modellkörningar. Det framåtblickande perspektivet innebär att utsläppsfaktorerna förhoppningsvis kommer att bli lägre över tid i takt med att samhället ställer om mot lägre klimatpåverkan. Denna aspekt gör metodiken mer komplex men också mer relevant som underlag för långsiktiga investeringsbeslut. I projektet har vi försökt fånga detta genom att för relevanta utsläppsfaktorer anta successivt lägre utsläpp över tid.

I detta steg kan det även vara lämpligt att identifiera känslighetsanalyser som kan behöva genomföras i projektet. Ibland är det dock lättare att se behov av känslighetsanalyser i nästa steg (Resultat: Beräkning, analys, tolkning) eftersom det kan vara först då som man förstår vilka utsläppsposter som har stor påverkan på resultaten.

I detta projekt har vi utgått från en mängd olika källor för utsläppsdata. Många utsläppsfaktorer är hämtade från Ecoinvent-databasen i beräkningsverktyget SimaPro (Wernet et al. 2016). Databasen ger tillgång till uppdaterade utsläppsfaktorer för ett stort antal material och processer. En hel del beräkningar bygger också på Svenskt Vattens beräkningsverktyg för VA-anläggningar, där så bedömts relevant även för detta projekts framåtblickade konsekvensperspektiv. För energirelaterade utsläpp används modelleringar som Profu utvecklat av det nordeuropeiska kraftsystemet, vilket beskriver hur

elproduktionens klimatpåverkan förändras över tid vid olika ambitionsnivåer i klimatarbetet. Avsnitt 3.6 ger en fördjupad beskrivning av klimatpåverkan från elsystemet vid framåtblickande konsekvensanalys. Kortfattat minskar klimatpåverkan från elen tydligt från i dag och framåt. Det innebär att klimatnyttan av exempelvis en energi-effektiviseringsåtgärd eller ökad egen elproduktion minskar över tid.

3.4.3 Resultat: Beräkning, analys, tolkning

Beräkningarna omfattar både tillförda och undvikna utsläpp. De tillförda utsläppen kan vara direkta (t.ex. metanläckage, bränsleförbrukning) eller indirekta (t.ex. tillverkning av byggmaterial, produktion av el, transporter). Undvikna utsläpp uppstår när åtgärden leder till att annan, mer klimatbelastande produktion trängs undan – till exempel att egen elproduktion ersätter marginalel i det nordeuropeiska elsystemet eller att återvunnen värme ersätter fjärrvärme från fossila källor.

Resultaten uttrycks som nettoförändring i klimatpåverkan (ton CO₂-ekvivalenter) för hela analysperioden, och i vissa fall även per år eller per ansluten personekvivalent (pe). I flera fall redovisas också resultaten grafiskt, med uppdelning på direkta, indirekta och undvikna utsläpp. På så vis blir det tydligt var de största bidragen finns och vilka delar av systemet som dominerar resultatet. Ett negativt nettoresultat innebär att utsläppen är lägre än i referensfallet (utsläppsminskning) och/eller att de undvikna utsläppen är högre än i referensfallet.

Slutligen tolkas resultaten i relation till osäkerheter och känslighetsanalyser. Osäkerheterna kan gälla till exempel framtida energimix, teknikutveckling, driftparametrar eller antaganden om hur långsiktigt kol binds in i mark vid spridning av slam eller biokol. Genom att redovisa antaganden öppet och testa känsligheten för olika parametrar skapas transparens och möjlighet för läsaren att bedöma robustheten i resultaten.

3.4.4 Diskussion, slutsatser och rekommendationer

När ovan moment har genomförts är det värdefullt att diskutera resultaten med avseende på exempelvis osäkra och robusta resultat, specifika antaganden av betydelse för resultaten, slutsatser, behov av fortsatt arbete samt rekommendationer. Hur diskussionen läggs upp är starkt beroende av vilken åtgärd som studerats. I fallstudierna har vi valt att skriva separata avsnitt för diskussion, slutsatser respektive rekommendationer.

3.5 Begränsningar, osäkerheter och tillämpning

Alla konsekvensanalyser innehåller osäkerheter, särskilt när de är framåtblickande. Osäkerheten gäller inte minst framtida teknikutveckling, energimixar och politiska beslut. I stället för att se dessa som svagheter bör de betraktas som en del av metodens styrka – eftersom de synliggör de antaganden som ligger till grund för besluten.

Metoden är inte avsedd att ge exakta prognoser för framtida utsläpp, utan att visa riktning och relativa skillnader mellan olika alternativ. Resultaten bör därför användas som ett kvalificerat beslutsstöd, där klimatpåverkan vägs samman med andra faktorer som kostnad, resiliens, energiförsörjning och lokala miljöeffekter. Det bör samtidigt noteras att VA-verksamhetens taxefinansiering och vattentjänstlagens krav på att avgifterna inte får överstiga nödvändiga kostnader kan begränsa möjligheten att motivera åtgärder vars huvudsakliga klimatnytta uppstår utanför den egna verksamheten. Detta bör beaktas vid framåtblickande åtgärdsanalys, exempelvis kan det vara viktigt att tydligt specificera vilka utsläpp som ökar eller minskar inom respektive utanför den egna verksamheten.

Sammanfattningsvis ger tillämpande av metodiken ett helhetsperspektiv på klimatpåverkan från åtgärder i VA-sektorn. Genom att beakta både bygg- och driftskeden, direkta och indirekta effekter samt framtida systemförändringar skapas ett underlag som är bättre anpassat för långsiktiga beslut som ofta är relevanta för VA-sektorn.

3.6 Fördjupning om klimatpåverkan från elanvändning

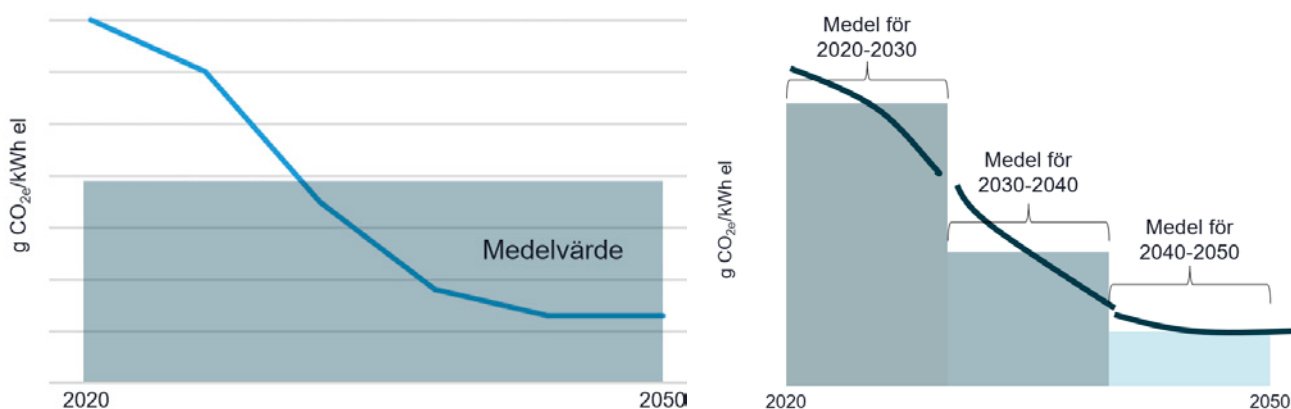
En framåtblickande konsekvensanalys av elens klimatpåverkan utgår från ett systemperspektiv där målet är att besvara frågan: ”Vilken påverkan får en framtida förändring i elanvändning eller elproduktion på utsläppen i det nordeuropeiska elsystemet?” Det innebär att analysen inte fokuserar på historiska medelvärden utan på hur elsystemet faktiskt förändras som följd av en åtgärd med hänsyn till åtgärdens livslängd.

Eftersom det nordiska och nordeuropeiska elsystemet är sammankopplat, kommer även en lokal förändring i Sverige att påverka produktion och investeringar i andra länder. Konsekvensanalysen måste därför inkludera hela det nordeuropeiska elsystemet, inte enbart Sveriges produktionsmix. Vidare påverkas inte HELA elproduktionssystemet av förändringen (t.ex. en åtgärd), utan främst påverkas den elproduktion som är dyr i drift. Detta brukar kallas *driftmarginal*. En förändring kan även påverka vilka investeringar som görs i elsystemet, vilket brukar kallas *byggmarginal*. I ett framtidsperspektiv är det alltså en mix av elproduktion som påverkas av förändrad elanvändning. Det kan kallas *marginalmix* eller *alternativ elproduktion*.

Framåtblickande analyser måste därför beakta både driftmässiga effekter (hur systemet körs år för år) och investeringsmässiga effekter (hur systemet successivt byggs ut och avvecklas). Som nämnts ovan påverkar en åtgärd elsystemet under sin livslängd. Hänsyn behöver därför tas till elsystemets framtida utveckling. Det kan göras genom att utgå från scenarier som beskriver olika möjliga utvecklingar av elsystemet. Genom scenarierna kan man analysera en åtgärds konsekvenser under olika möjliga framtider.

I projektet har vi utgått från ett scenario för elsystemets utveckling med höga klimatambitioner i Nordeuropa. Profu har sedan med hjälp av en avancerad energisystemmodell (TIMES-Nordic) analyserat kort- och långsiktiga marginaleffekter i elsystemet vid förändrad elanvändning. Klimatpåverkan från elen minskar tydligt från i dag och framåt. Genom att väga samman utvecklingen över åtgärdens hela livslängd kan man beräkna ett genomsnittligt värde för utsläppsfaktorn, men också tydliggöra hur nyttan varierar mellan olika tidsperioder.

Till vänster i Figur 3.3 visas en principskiss över hur klimatpåverkan från elsystemet i konsekvensperspektiv (marginal) förändras över tiden (linjen) och medelvärdet över tiden (rektangeln). Det innebär att klimatnyttan av exempelvis en energieffektiviseringsåtgärd eller ökad egen elproduktion minskar över tid. I detta projekt skiljer sig dock livslängden för de åtgärder som studeras i de olika fallstudierna. Hänsyn behöver därför tas till när i tiden de olika åtgärderna har verkan och hur det påverkar klimatutsläppen från elsystemet. En förfinad principskiss med ökad tidsupplösning visas till höger i samma figur.



Figur 3.3

Principskisser över klimatpåverkan av den el som påverkas av förändrad elanvändning (marginalel). Linjen visar hur klimatpåverkan successivt förändras, medan rektanglarna visar medelvärdet av klimatpåverkan under aktuell tidsperiod. Till vänster visas förändringen av klimatpåverkan under hela elscenariots tidsperiod (i detta fall 2020–2050). Till höger visas en mer uppdelad bild i tioårsperioder (2020–2030, 2030–2040 respektive 2040–2050).

Resultatet blir alltså en mix av marginalproduktion som varierar över åtgärdens livslängd och därmed ett tidsberoende klimatvärde för elen. Hur utsläppsfaktorn för el varierar i de aktuella fallstudierna presenteras i Tabell 3.1. Det är en slump att det blir samma utsläppsfaktor för LBVA och Kretslopp och vatten trots olika analyserade tidsperioder.

Fallstudie	Tidsperiod	Els klimatpåverkan, medelvärde (kg CO ₂ -ekv/MWh)
LBVA	2030–2050	31
Syvab	2027 resp. 2047	310 resp. 10
Mälarenergi	2025–2070	44
Kretslopp och vatten	2025–2125	31
VA SYD	2025–2040	118

Tabell 3.1

Studerad tidsperiod samt utsläppsfaktorer för el i de fem fallstudierna.

4 Fallstudier

I detta kapitel redovisas resultat från de fem fallstudier som genomförts inom projektet.

Följande fallstudier har genomförts:

- *Laholmsbuktens VA (LBVA)*: Biogasåtgärder
- *Syva*: Slamhantering
- *Mälarenergi*: Minskat vattenbehov
- *Kretslopp och vatten i Göteborg*: Minskat tillskottsvatten
- *VA SYD*: Underhåll av luftarsystem

Fallstudierna utgår från metodiken som beskrivs i kapitel 3, det vill säga framåtblickande konsekvensanalys. Metodiken bygger alltså på att ett eller flera åtgärdsalternativ jämförs med ett referensfall, att lämpligt tidsperspektiv beaktas (till exempel åtgärdens fulla livslängd) samt att såväl tillförda som undvikna utsläpp inkluderas. Tillförda utsläpp kan vara direkta och alltså ske inom den egna verksamheten eller indirekta och då ske någon annanstans i samhället. Undvikna utsläpp kan uppstå i samhället som följd av verksamheten, till exempel genom att biogas ersätter naturgas. När åtgärderna jämförs mot en referens kan resultatet (nettot/skillnaden/förändringen) visa en ökning eller minskning av såväl tillförda som undvikna utsläpp jämfört med referensfallet.

Samtliga fallstudier beskrivs på samma sätt i efterföljande avsnitt, dvs de delas in i avsnitten:

- *Om fallstudien*: Beskrivning av referensfall och åtgärder
- *Beräkningsförutsättningar*: Antaganden och indata
- *Resultat*: Beräkning, analys, tolkning
- *Diskussion*
- *Slutsatser*
- *Rekommendationer*

Fallstudierna har utformats och genomförts i nära samarbete med fallstudieorganisationerna. Benämningar och resultatpresentation skiljer sig därför mellan de olika fallstudierna. För någon fallstudie visas exempelvis resultat från nedslag i framtida år, en annan fallstudie visar hur resultatet påverkas under hela livslängden medan andra visar ett resultat för hela livslängden. Detta är delvis ett medvetet val för att visa hur olika frågeställningar kan analyseras och resultatredovisas med framåtblickande konsekvensanalys. De olika sätten att redovisa resultaten kan alltså ge inspiration för andra som önskar göra framåtblickande klimatberäkningar.

4.1 Fallstudie LBVA: Biogasåtgärder

4.1.1 Om fallstudien: Beskrivning av referensfall och åtgärder

Denna fallstudie har genomförts i samarbete med LBVA och analyserar hur olika biogasåtgärder påverkar klimat och energi i ett systemperspektiv. Studien belyser hur olika sätt att ta tillvara gasen från rötningen av avloppsslammet kan bidra till utsläppsminskningar och effektiv resursanvändning.

LBVA kommer att flytta sin nuvarande biogasproduktion till en ny lokalisering och i samband med detta är man intresserade av att jämföra tre alternativ för hur den producerade biogasen i form av rågas kan användas (Tabell 4.1). Rågasmängden förväntas enligt LBVA öka successivt från 10,9 GWh år 2030 till 13 GWh år 2050. Alternativ 1 utgör referensfall.

Studerade alternativ	Beskrivning
Alternativ 1 (Referensfall)	Rågasen förbränns i en gasmotor för produktion av värme och el.
Alternativ 2	Rågasen uppgraderas till fordonsgaskvalitet, komprimeras samt distribueras via lastbil till tankställe.
Alternativ 3	Rågasen uppgraderas till naturgaskvalitet och levereras via en tillkommande ledning till gasnätet.

Tabell 4.1

Referensfall (alternativ 1) och två alternativ för att använda LBVA:s biogas.

Beräkningarna har genomförts som en *framåtblickande konsekvensanalys* över perioden 2030–2050. Analysen omfattar:

- *Tillförda utsläpp*: Här ingår *direkta utsläpp* som sker direkt från LBVA:s anläggningar och verksamheter. Här ingår också *indirekta utsläpp* som uppstår till följd av de alternativ som LBVA väljer men där själva utsläppet sker hos en annan aktör. Exempel på indirekta utsläpp är utsläpp förknippade med byggnation av anläggningar och energianvändning.
- *Undvikna utsläpp*: Här inkluderas utsläpp som undviks till följd av de produkter/nyttigheter som de olika alternativen genererar. Ett exempel är då producerad el och värme ersätter annan värme- och elproduktion. Ett annat exempel är då biogas i uppgraderad form ersätter andra energibärare.

4.1.2 Beräkningsförutsättningar: Antaganden och indata

- Mass- och energiflöden för de olika alternativen baseras på data från LBVA och Envidan. Detta inkluderar också antaganden om *direkta utsläpp* i form av metan vid uppgradering (alternativ 2 och 3) och komprimering (alternativ 2).
- Indirekta utsläpp för byggnation av gasmotor (alternativ 1 - Referensfall), uppgradering (alternativ 2 och 3), komprimering (alternativ 2) och ledning till gasnät (alternativ 3) har beräknats av Profu med hjälp av data/input från LBVA och Envidan och matchning mot liknande komponenter/material i LCA-verktyget SimaPro.
- Indirekta utsläpp för transport av komprimerad gas från LBVA:s anläggning till tankställe (alternativ 2) antas ske med lastbil som drivs av producerad biogas från LBVA. Detta innebär att en liten del av den producerade biogasen förbrukas för distribution. Lastbilstransporten har antagits förbruka 2 MJ/tonkm i genomsnitt för full och tom last (tonkm står för tonkilometer som är ett mått på transportarbete genom att multiplicera vikten av ett gods i ton med den sträcka i kilometer som det transporteras). Vidare har distansen mellan LBVA och tankställe antagits till 200 km och att lastbilen återvänder tillbaka till LBVA med tom last (dvs totalt färdas lastbilen 400 km mellan varje påfyllning av last).
- Indirekta och undvikna utsläpp för el och värme:
 - Utsläppen för el minskar över perioden och baseras på Profus modellering av det nordeuropeiska kraftsystemet. Observera att utsläppsfaktorn kan variera beroende på antaganden om den framtida utvecklingen, speciellt avseende klimatambitioner och ifall de uppfylls för det nordeuropeiska kraftsystemet. Här har vi valt en analys med en hög klimatambition, dvs i linje med EU:s nuvarande klimatambitioner. Den genomsnittliga utsläppsfaktorn för el för hela perioden 2030–2050 uppgår till 31 kg CO₂-ekv/MWh el, se fördjupad beskrivning om elens klimatpåverkan i avsnitt 3.6.
 - När det gäller värmeproduktion från gasmotor (alternativ 1) utgår modelleringen ifrån att motsvarande värmemängd inte behöver produceras i Halmstads fjärrvärmenät, dvs motsvarande utsläpp kan undvikas. Modelleringen tar sin utgångspunkt i Halmstad Energi och Miljö's klimatbokslut för år 2024 (Profu 2025a) och antar gradvis minskade utsläpp för produktionen av fjärrvärme givet de höga klimatambitioner i samhället. Den genomsnittliga utsläppsfaktorn för den alternativa värmeproduktionen för hela perioden 2030–2050 uppgår till 30 kg CO₂-ekv/MWh värme.

- Undvikna utsläpp för fordonsgas (alternativ 2) och gas till gasnät (alternativ 3):
 - I båda dessa fall antas att tillkommande leverans baserad på biogas bidrar till att ersätta naturgas (i fordonsgas respektive i gasnät). Detta baseras på att de biogaspotentialer som estimeras för Europa i ett 2050-perspektiv är tydligt mindre än dagens användning av naturgas i det sammankopplade europeiska gasnätet. Enligt Eurostat (2025) konsumerades ca 355 miljarder kubikmeter naturgas i EU-27 år 2023. Samma år producerades enligt European Biogas Association (EBA 2024) ca 19 miljarder kubikmeter biogas i EU-27, vilket motsvarar ca 5 % av naturgasmängden. EBA (2025) bedömer i sin roadmap för biogasproduktion i Europa att produktionen av biogas potentiellt skulle kunna öka till 150 miljarder kubikmeter år 2050. Varje tillkommande mängd biogas bidrar därmed till att ersätta naturgas.

4.1.3 Resultat: Beräkning, analys, tolkning

Energi

I såväl alternativ 1 (referensfallet) som i åtgärdsfallen förväntas rågasmängden öka successivt från 10,9 GWh år 2030 till 13 GWh år 2050. Referensfallet innebär att biogasen används för produktion av el och värme. I åtgärdsalternativen uppgraderas biogasen i stället, vilket kräver el. I alternativ 2 levereras därefter biogasen till transportsektorn genom lastbil, vilket kräver el för komprimering samt bränsle för lastbilstransport. I alternativ 3 antas i stället att en gasledning byggs och att biogasen levereras ut på gasnätet. I Tabell 4.2 sammanfattas produktion och användning av energi i referensfallet (alternativ 1) och de två åtgärdsfallen.

Produktion (GWh/år)	Alt 1 2030	Alt 2 2030	Alt 3 2030	Alt 1 2050	Alt 2 2050	Alt 3 2050
Mängd rågas	10,9	10,9	10,9	13,0	13,0	13,0
El	4,1			4,9		
Värme	5,5			6,5		
Användning (GWh/år)	Alt 1 2030	Alt 2 2030	Alt 3 2030	Alt 1 2050	Alt 2 2050	Alt 3 2050
El		0,61	0,39		0,72	0,46
Varav uppgradering		0,39	0,39		0,46	0,46
Varav komprimering		0,22			0,26	
Fordonsgas, netto efter transport		10,6			12,7	
Gas till gasnät			10,8			12,9

Tabell 4.2

Energianvändning och -produktion i referensfallet (Alt 1) samt efter åtgärd (Alt 2 och Alt 3).

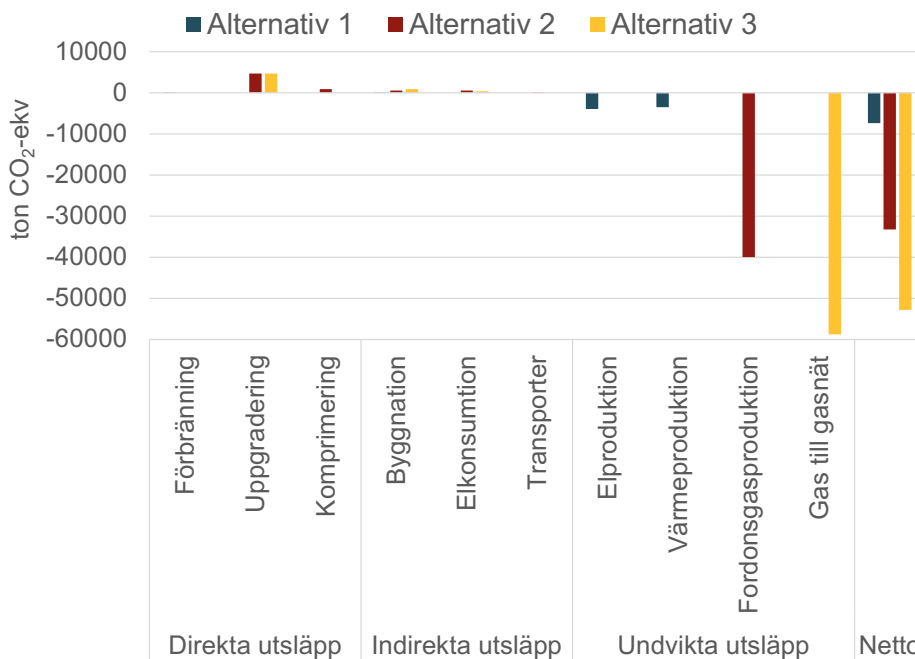
Klimat

I Figur 4.1 jämförs utfallet för de tre alternativen. Notera att här inkluderas samtliga poster som återfinns i något av alternativen (tex är posten "Förbränning" enbart relevant för alternativ 1 där rågasen förbränns och det sker då en, i sammanhanget mycket liten, emission av oförbränd gas motsvarande knappt 50 ton CO₂-ekv under hela perioden 2030–2050).

Utifrån resultaten kan vi göra följande observationer:

- *Alternativ 1 (gasmotor)*: Producerar egen el och värme vilket minskar externa behov, men den totala biogasanvändningen ger relativt liten substitutionseffekt när el- och värmemixen förändras mot allt mindre klimatpåverkande utsläpp.
- *Alternativ 2 (fordonsgas)*: Ger tydlig klimatnytta eftersom gasen ersätter fossila bränslen (naturgas) i transportsektorn under hela perioden. Detta alternativ har samtidigt störst direkta utsläpp (genom metanslip vid uppgradering och komprimering).

- **Alternativ 3 (gas till gasnät):** Ger också tydlig klimatnytta då gasen ersätter naturgas i gasnätet under hela perioden. Klimatnyttan blir något större än i alternativ 2 eftersom ingen biogas åtgår till att driva lastbilstransport mellan LBVA och tankställe som i alternativ 2 (med andra ord kan en något större mängd naturgas ersättas i alternativ 3 än i alternativ 2). Alternativ 3 medför störst indirekt tillförda utsläpp på grund av byggnation. Byggandet av en uppgradering och en anslutningsledning på 500 meter (i alternativ 3) medför större utsläpp än byggandet av uppgradering och komprimering (i alternativ 2).



Figur 4.1

Akkumulerade klimatpåverkande utsläpp (tillförda och undvikna) under perioden 2030–2050 för de tre studerade alternativen.

Sammantaget faller alternativ 3 ut som alternativet med störst sammanlagd klimatnytta (med liten marginal jämfört med alternativ 2). Jämfört med alternativ 1 (Referensfallet) innebär alternativ 3 en sammanlagd utsläppsminskning på ca 46 600 ton CO₂-ekv över hela perioden 2030–2050. Detta motsvarar en årlig genomsnittlig utsläppsminskning på drygt 2 300 ton CO₂-ekv.

Ett alternativt sätt att illustrera utsläppsminskningen är att slå ut den på de antal personekvivalenter (pe) som är anslutna till LBVA:s anläggning. Detta antal växer från knappt 185 000 pe år 2030 till drygt 208 000 pe år 2050. Om man slår ut den ackumulerade utsläppsminskningen för perioden (46 600 ton CO₂-ekv) på medelvärdet för anslutna pe under perioden (drygt 196 300 pe) så motsvarar detta en minskning på knappt 240 kg CO₂-ekv/pe i alternativ 3 jämfört med alternativ 1 (Referensfallet).

4.1.4 Diskussion

Alla tre alternativ visar *positiv klimatnytta* i systemperspektiv. Skillnaden mellan alternativen handlar framför allt om *vilken energibärare biogasen ersätter*:

- Där gasen ersätter *fossila bränslen* (Alternativ 2 och 3) blir klimatnyttan mycket tydlig.
- Där gasen används för *sektorer där klimatomställningen kommit relativt långt i ett europeiskt perspektiv* (nordeuropeisk elproduktion och svensk fjärrvärmeproduktion) blir klimatnyttan inte lika stor (Alternativ 1).

Resultaten för alternativ 2 och 3 hamnar nära varandra. Alternativ 2 skulle, i förhållande till alternativ 3, gynnas av:

- Mindre metanslip vid komprimering
- Kortare transport mellan LBVA och tankställe. Denna observation är svår att dra ifrån diagrammen ovan (eftersom utsläppen från transporter knappt går att utläsa). Förklaringen är i stället att vi räknar med att lastbilarna som transporterar fordonsgasen drivs av en delmängd av den producerade biogasen från LBVA. Ju kortare transportavståndet är, desto mer biogas kan i stället avsättas som produkt och därmed bidra till att de undvikna utsläppen från fordonsgasproduktion blir större.

Ytterligare en faktor som skulle kunna minska skillnaden mellan alternativen är om avståndet för att ansluta LBVA till gasnät (i alternativ 3) är större än 500 meter. I en känslighetsanalys, där övriga parametrar hålls konstanta, kan man konstatera att avståndet maximalt får uppgå till drygt 1 500 meter för att alternativ 3 ska falla ut bättre än alternativ 2.

En faktor som potentiellt skulle kunna öka skillnaden mellan alternativ 2 och 3 är om elektrifieringen i den svenska transportsektorn går betydligt snabbare än förväntat och det i slutändan även innebär att behovet av fordonsgas försvinner, dvs man måste hitta alternativa avsättningsområden för fordonsgasen. Detta har inte studerats i projektet, men kan vara intressant som en framtida känslighetsanalys i uppföljande studier.

Rörande alternativ 1 så har det en fördel ur beredskaps- och energiförsörjningsskäl för LBVA:s egen verksamhet eftersom man har minst behov av extern värme- och elförsörjning för att driva verksamheten. Samtidigt kommer denna stärkta energiförsörjningssituation för LBVA till en ”energiförsörjningskostnad” för EU som helhet eftersom biogasen inte kan användas till att ersätta naturgas där EU i dag har ett stort importberoende.

4.1.5 Slutsatser

- *Rågasproduktionen ökar* från knappt 11 till 13 GWh under perioden 2030–2050. I referensfallet används gasen för el- och värmeproduktion, medan åtgärdsalternativen innebär uppgradering av biogas för leverans till transportsektorn eller gasnätet.
- *Uppgradering av biogasen* kräver el (inklusive komprimering i transportalternativet), men möjliggör leverans av biogas som fordonsgas eller till gasnätet.
- Samtliga alternativ ger *betydande klimatnytta* över perioden 2030–2050.
- *Gas till gasnät (Alternativ 3)* ger störst klimatnytta, givet beräkningsförutsättningarna.
- *Fordonsgas (Alternativ 2)* ger också stor klimatnytta och skillnaden är liten jämfört med alternativ 3.
- *Gasmotor (Alternativ 1, referensfall)* ger mindre men stabil klimatnytta.
- Resultaten visar värdet av att analysera åtgärder i ett *livscykel- och systemperspektiv*, där även undvikna utsläpp vägs in.

4.1.6 Rekommendationer

- *Fortsätt utveckla biogasanvändningen* med fokus på sektorer som har stort beroende av fossila energibärare både i dag och i framtiden.
- *Beakta metanläckage och effektiv uppgradering* som en central del i klimatarbetet.
- *Överväg att analysera kombinationslösningar*, t.ex. flexibel användning mellan fordonsgas och gasnät.
- *Utvärdera ekonomiska effekter* – investeringskostnader, driftkostnader och intäkter för olika alternativ:
 - Vilket alternativ ger störst klimatnytta i förhållande till den nettokostnad (eller nettointäkt) de medför?

4.2 Fallstudie Syvab: Slamhantering

4.2.1 Om fallstudien: Beskrivning av referensfall och åtgärder

Denna fallstudie har genomförts i samarbete med Syvab och analyserar hur olika alternativ för att hantera avloppsslam påverkar klimat och energi i ett systemperspektiv. Slammet innehåller både energi (organiskt material) och växtnäring, vilket innebär att valet av alternativ påverkar både utsläpp, resursutnyttjande och möjlig kolinlagring.

Tre alternativ jämförs med ett referensfall enligt Tabell 4.3.

Tabell 4.3

Referensfall och tre alternativ för att hantera Syvabs avloppsslam.

Studerade alternativ	Beskrivning	Huvudsaklig förändring jämfört med referensfall
Referensfall	Mesofil rötning, avvattning, lagring av slam, spridning av slam som i dag (dvs på åkermark)	-
Alt 1: Termofil rötning	Termofil rötning, samma efterhantering som i dag	Potentiellt högre gasutbyte och mindre lagringsutsläpp. Kräver byggnation och installation av värmeväxlare.
Alt 2: Torkning	Mesofil rötning, avvattning, torkning , lagring och spridning av torkat slam	Minskad vattenhalt, mindre mängder att lagra, transportera och sprida. Mindre lagringsutsläpp. Kräver byggnation och installation av tork samt tillkommande värmeproduktion från träpelletseldning.
Alt 3: Pyrolys	Mesofil rötning, avvattning, torkning + pyrolys av slam , lagring och spridning av slambiokol	Minskad vattenhalt, mindre mängder att lagra, transportera och sprida. Kol binds långsiktigt i biokol, men samtidigt mindre växttillgänglig näring. Ökar elkonsumention och kräver byggnation och installation av tork- och pyrolysanläggning samt lagerbyggnad för att lagra slambiokol.

Beräkningarna har genomförts som en *framåtblickande konsekvensanalys* med *nedslag för åren 2027 och 2047* då livslängden för åtgärden antagits till 20 år. Analysen omfattar:

- **Tillförda utsläpp:** Här ingår *direkta utsläpp* som sker direkt från Syvabs anläggningar och verksamheter. Här ingår också *indirekta utsläpp* som uppstår till följd av de alternativ som Syvab väljer men där själva utsläppet sker hos en annan aktör. Exempel på indirekta utsläpp är utsläpp förknippade med byggnation av anläggningar och energianvändning.
- **Undvikna utsläpp:** Här inkluderas utsläpp som undviks till följd av de produkter/nyttigheter som de olika alternativen genererar. Ett exempel är näringsämnen från slam och slambiokol som ersätter alternativ produktion av näringsämnen vid spridning på åkermark. Ett annat exempel är biogent kol som genom spridning av slam eller slambiokol binds in i jorden varaktigt och därmed agerar som en kolsänka och minskar atmosfärens innehåll av koldioxid.

I analysen inkluderas enbart de delar av Syvabs verksamhet som förändras mellan referensfallet och de tre alternativen.

De huvudsakliga skillnaderna i förutsättningarna mellan år 2027 och år 2047 är:

- Mass- och energiflöden är större år 2047 än år 2027 då Syvab räknar med att antalet anslutna kommer att växa.
- Omvärldsförutsättningarna förändras (gäller huvudsakligen utsläpp från den nordeuropeiska elproduktionen, vilket förklaras mer i detalj under avsnitt 4.2.2).

4.2.2 Beräkningsförutsättningar: Antaganden och indata

- Mass- och energiflöden för de olika alternativen baseras på data från Syvab (med stöd och avstämning med Envidan).
- Utsläpp för lagring av slam är för referensfallet beräknade med hjälp av data från senaste versionen av Svenskt Vattens klimatberäkningsverktyg för VA-anläggningar

(Svenskt Vatten 2025a) och för alternativ 1 baserat på resultat som har publicerats i SVU-rapport 2026-5, Termofil rötning - en inventering (Fredriksson et al. 2026). De emissionsfaktorer som använts är 27 kg CH₄/ton TS slam respektive 14,2 kg CH₄/ton TS slam. För alternativ 2 (torkning) och alternativ 3 (pyrolys) antas inga sådana utsläpp ske.

- Indirekta utsläpp för byggnation av värmeväxlare (alternativ 1), torkning (alternativ 2, 3), pyrolysanläggning (alternativ 3) och lager för biokol (alternativ 3 som antas behöva en byggnad för att undvika ofrivillig spridning vid lagring) har beräknats av Profu med hjälp av data/input från Syvab, litteratursökning, branschkontakter och matchning mot liknande komponenter/material i LCA-verktyget SimaPro. Eftersom vi tittar på utsläppen under två enskilda år (2027 respektive 2047) har vi tagit med 1/20 av dessa utsläpp för respektive år (detta för att jämföra dem mot de årliga driftutsläppen). Observera att det går att göra mer detaljerade analyser med olika livslängder för t.ex. byggnader, komponenter, maskiner etc. Då bör man utgå från den del som har den längsta livslängden och lägga till utsläpp för de delar som kräver reinvesteringar under den längsta livslängden. De totala utsläppen divideras sedan med den längsta livslängden för att få fram ett årligt genomsnittligt utsläpp. I denna analys för Syvab har de indirekta utsläppen för byggnation mycket liten påverkan på valet mellan alternativen, men detta kan vara annorlunda i andra studier.
- Direkta och indirekta utsläpp för tillkommande värmebehov. För alla alternativ utom alternativ 2 så räcker överskottsvärme från Syvabs gasmotor för att täcka värmebehovet. (Gasmotorns storlek och kapacitet är densamma i alla alternativ, därför har vi inte inkluderat några utsläpp från byggnation och/eller reinvesteringar i denna). För alternativ 2 har vi antagit att det extra värmebehovet (som inte täcks av gasmotorn) produceras genom förbränning av träpellets i en hetvattenpanna. Hetvattenpannan placeras fysiskt på Syvabs område. Eftersom bränslet är biogent blir de direkta utsläppen mycket små och i stället är det de indirekta utsläppen från produktion och distribution av pellets till Syvab som dominerar. Syvab har i dag möjlighet att använda eldningsolja i befintliga pannor, men detta skulle ge mycket större klimatpåverkande utsläpp (framför allt från förbränningen) än att använda träpellets.
- Indirekta/undvikna utsläpp för el:
 - Utsläppen för el minskar över perioden och baseras på Profus modellering av det nordeuropeiska kraftsystemet. Observera att utsläppsfaktorn kan variera beroende på antaganden om den framtida utvecklingen, speciellt avseende klimatambitioner och ifall de uppfylls för det nordeuropeiska kraftsystemet. Här har vi valt en analys med en hög klimatambition, dvs i linje med EU:s nuvarande klimatambitioner. Utsläppsfaktorn för el uppgår till drygt 310 kg CO₂-ekv/MWh el år 2027 och till 10 kg CO₂-ekv/MWh el år 2047, se fördjupad beskrivning om elens klimatpåverkan i avsnitt 3.6.
 - Det är enbart ett av de studerade alternativen (alternativ 1 och enbart år 2047) som ger upphov till större gasproduktion och därmed större elproduktion. I beräkningarna inkluderar vi vad denna ”extra mängd el” undviker för utsläpp.
 - Alternativ 3 (pyrolys) bedöms ha en tydligt tillkommande elanvändning jämfört med övriga alternativ. Eftersom tekniken med torkning och pyrolys är ny har vi inte funnit data för elanvändning för kommersiella anläggningar. Baserat på en litteraturstudie har vi här gjort ett antagande om en elförbrukning på 200 kWh el/inkommande TS. Vi återkommer i samband med resultaten kring betydelsen av detta antagande.
 - För 2047 antas transporter av slam/slambiol ske med lastfordon som är eldrivna och elkonsumtionen beräknas ha motsatt effekt i förhållande till elproduktionen när det gäller klimatpåverkande utsläpp.

-
- Undvikna utsläpp genom näringsämnen i slam /slambiokol:
 - För avvattnat slam (Referensfall och Alternativ 1) och för torkat slam (Alternativ 2) antas samma mängd näringsämnen spridas och nyttiggöras i mark där de ersätter konstgödsel.
 - För slambiokol (Alternativ 3) antas en stor del av näringsämnena gå förlorade/ inte vara lika växttillgängliga. Detta innebär att mindre utsläpp undviks för alternativ produktion av näringsämnen i Alternativ 3.
 - Undvikna utsläpp genom kolinbindning:
 - Baseras på data om egenskaper för slam respektive slambiokol enligt underlag från Syvab samt data för inbindning av kol enligt senaste versionen av Svenskt Vattens beräkningsverktyg (Svenskt Vatten 2025a). Detta innebär att 5 % av kol i slam och torkat slam (Referensfall och Alternativ 1–2) antas bindas in långsiktigt i åkermarken, medan motsvarande siffra är 90 % för slambiokol (Alternativ 3), i enlighet med data från Svenskt Vattens beräkningsverktyg.
 - Mängden kol i avvattnat slam, torkat slam respektive slambiokol har utgått från den mängd kol som företaget AquaGreen bedömer kommer att finnas i slambiolet (Alternativ 3). Enligt (Gustafsson et al. 2025) finns stora variationer hur stor del av det ursprungliga kolet som bevaras genom pyrolyprocessen från avloppsslam till slambiokol. Rapporten pekar på att ”variationer uppskattas kunna bero på slamhanteringsprocessen, egenskaper hos det specifika avloppsslammet och pyrolyprocessen, inklusive specifik teknik och pyrolystemperatur”. Rapporten visar dels på en källa som anger variationer mellan 10 % och 35 % och en annan källa som pekar på att drygt 40 % av det ursprungliga kolet bevaras genom pyrolyprocessen från avloppsslam till slambiokol. Noterbart i den senare källan är att 80–90 % av slammen uppskattas ha varit orötade, vilket inte är fallet i denna studie där vi utgår från rötat slam. Vi har här valt att lägga oss ungefär mitt i dessa intervall genom att anta att 25 % av det ursprungliga kolet bevaras genom pyrolyprocessen från rötat avloppsslam till slambiokol. Därigenom har vi ”baklänges” kunnat beräkna kolinnehållet i det slam/torkade slam som sprids i referensfall respektive Alternativ 1 och 2.

4.2.3 Resultat: Beräkning, analys, tolkning

Energi

El- och värmeproduktionen år 2027 skiljer sig inte i de tre åtgärdsfallen jämfört med referensfallet. År 2047 ger dock alternativet med termofil rötning (Alt 1) högre el- och värmeproduktion än övriga fall, vilket beror på högre gasutbyte vid rötningen. Elbehovet är samma i samtliga åtgärdsfall samt i referensen år 2027. År 2047 skiljer sig elbehovet vilket beror på att transporter av slam/torkat slam/biokol antas ske med eldrivna lastbilar (år 2027 antas motsvarande transporter ske med lastbilar som drivs av HVO). Värmebehovet skiljer sig åt och i alternativ 2 (mesofil rötning + torkning) räcker inte värmeproduktionen till utan där krävs tillkommande värmeproduktion från träpelletseldning. I Tabell 4.4 sammanfattas produktion och användning av energi i referensfallet och de tre åtgärdsfallen.

Produktion (GWh/år)	Referens 2027	Alt 1 2027	Alt 2 2027	Alt 3 2027	Referens 2047	Alt 1 2047	Alt 2 2047	Alt 3 2047
El	20	20	20	20	23	29	23	23
Värme från gasmotor	22	22	22	22	25	31	25	25
Värme från pelletseldning	-	-	14	-	-	-	16	-
Användning (GWh/år)	Referens 2027	Alt 1 2027	Alt 2 2027	Alt 3 2027	Referens 2047	Alt 1 2047	Alt 2 2047	Alt 3 2047
El	1,8	1,8	1,8	1,8	6,5	6,5	3,3	2,6
Värme	13	19	35	15	14	21	41	17
HVO	3,8	3,8	1,0	0,4	-	-	-	-

Klimat

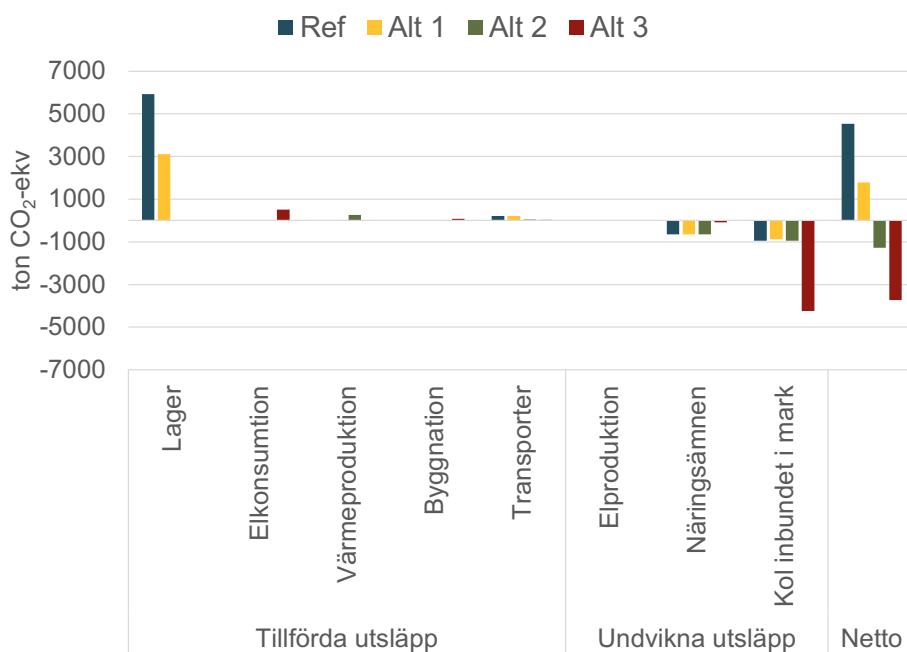
I Figur 4.2 och Figur 4.3 jämförs utfallet för referensfallet och de tre alternativen 1–3 år 2027 respektive år 2047. Notera att här inkluderas samtliga poster som återfinns i referensfallet och/eller i alternativ 1–3.

Utifrån resultaten kan vi göra följande observationer:

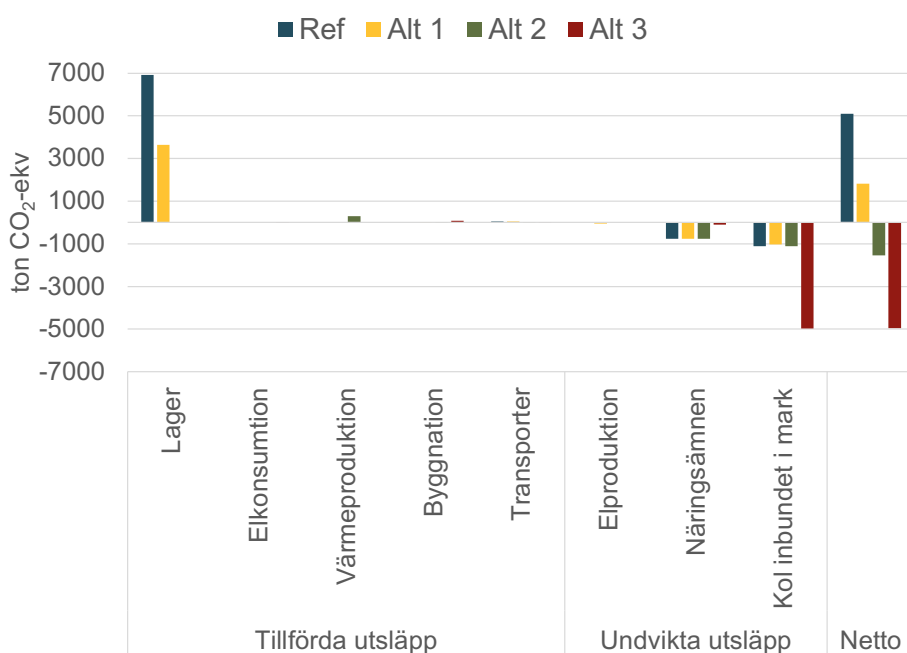
- **Referensfallet:** Resultaten domineras helt av utsläpp från lagring av det rötade slammet. Dessa utsläpp motverkas i viss mån av att näringsämnen i slammet bidrar till att undvika utsläpp från alternativ produktion av näringsämnen och från inbindning av biogent kol i åkermarken, men nettoresultatet är ett tydligt utsläpp.
- **Alternativ 1 (Termofil rötning):** Jämfört med referensfallet är utsläppen från lagring av det rötade slammet klart mindre och det är huvudorsaken till att nettoresultatet innebär en klar förbättring jämfört med referensfallet.
- **Alternativ 2 (Torkning):** Givet förutsättningarna så sker här inga utsläpp från lagringen av det torkade slammet. De utsläpp som tillkommer för att uppnå detta (tillkommande värmeproduktion från pellets och byggnation och installation av tork) är små i förhållande de utsläpp som undviks från lagring. Dessutom minskar utsläpp från transporter genom att det torkade slammet har en klart lägre vikt än det avvattnade slammet i referensfallet.
- **Alternativ 3 (Pyrolys):** Detta alternativ ger det bästa utfallet då det både undviker utsläpp från lagring och det varaktigt binder in betydligt större mängd biogent kol i åkermark. Även här är de tillkommande utsläppen för att uppnå detta (genom ökad elkonsumtion samt byggnation av tork- och pyrolysanläggning samt lager för slam-biokol) små i förhållande till de utsläpp som undviks vid lagring respektive binds in som biogent kol. Analysen visar att elkonsumtionens påverkan för resultatet år 2027 inte är obetydlig, men även kraftigt mycket högre (+ 400 %) elkonsumtion än de antagna 200 kWh el/inkommande ton TS skulle inte ändra rangordningen mellan alternativen. För år 2047 är utsläppen från elkonsumtion så pass låga att det inte längre är en parameter som kan påverka rangordningen mellan alternativen.

Tabell 4.4

Energianvändning och -produktion i referensfallet samt studerade åtgärdsfall (Alt 1–3).



Figur 4.2
Klimatpåverkande utsläpp (tillförda och undvikna) år 2027 för referensfallet och de tre studerade alternativen.



Figur 4.3
Klimatpåverkande utsläpp (tillförda och undvikna) år 2047 för referensfallet och de tre studerade alternativen.

Sammanlagt faller alternativ 3 (Pyrolysis) ut som alternativet med störst sammanlagd klimatnytta. Jämfört med referensfallet innebär alternativ 3 en utsläppsminskning på sammanlagt ca 8 250 ton CO₂-ekv år 2027 och 10 000 ton CO₂-ekv år 2047.

Ett alternativt sätt att illustrera resultaten är att slå ut dem på det antal personekvivalenter (pe) som är anslutna till Syvabs anläggning. Detta antal antas i denna studie växa från 290 000 pe år 2027 till 350 000 pe år 2047. Detta innebär att alternativ 3 jämfört med referensfallet minskar utsläppen med 28 kg CO₂-ekv/pe år 2027 och 29 kg CO₂-ekv/pe år 2047.

4.2.4 Diskussion

Analysen visar att valet av slamhantering har *betydande inverkan på VA-systemets klimatbalans*.

De största osäkerheterna gäller:

- Framtida teknik för pyrolys och torkning (verkningsgrad, driftdata).
- Kolinbindningens varaktighet och stabilitet.
- Växttillgänglighet hos näringsämnen i slambiol (påverkar behov av ersättningsgödsel).
- Utsläppsfaktorer för elproduktion i framtida scenarier.

Framför allt är det de två första punkterna som har stor betydelse för resultaten. Här finns ett behov av att få fram mer data som publiceras och görs tillgängliga för hela VA-branschen.

Faktorer som används för hur stor del av kolet som långsiktigt binds in i jorden är hämtade från den senaste versionen av Svenskt Vattens klimatberäkningsverktyg för VA-anläggningar (Svenskt Vatten 2025a). Baserat på detta antogs i beräkningarna att endast 5 % av det biogena kolet i det avvattnade respektive torkade slammet binds in varaktigt i åkermarken (referensfall samt alternativ 1–2).

I en äldre version av verktyget var motsvarande siffra 35 %, men man har reviderat detta antagande då man bedömer att siffran 35 % förmodligen inte tagit hänsyn till ett 100-årsperspektiv vilket är det som inkluderas i verktyget. Samtidigt poängterade man att faktorer för slam respektive slambiol är belagda med osäkerheter.

I beräkningarna har vi, baserat på Svenskt Vattens beräkningsverktyg, använt 90% för slambiol och 5 % för avvattnat slam/torkat slam när det gäller hur stor del av kolet som långsiktigt binds in i jorden. I en känslighetsanalys testade vi hur mycket kolinbindningen måste öka för det näst bästa alternativet (dvs alternativ 2 med torkat slam) för att det ska falla ut lika bra som alternativ 3. Känslighetsanalysen visade att kolinbindningen för torkat slam (alternativ 2) måste öka från 5 % till 18 % för att alternativ 2 och 3 ska få jämbördiga resultat.

4.2.5 Slutsatser

- *Termofil rötning ger högre gasutbyte år 2047* och därmed ökad el- och värmeproduktion än övriga fall.
- Alternativet med *mesofil rötning plus torkning kräver extern värme*, vilket antas ske med pellets.
- Alla studerade alternativen 1–3 ger minskade utsläpp jämfört med dagens hantering (referensfall).
- *Pyrolys (Alt 3)* ger den största och mest långsiktiga klimatnyttan: upp till 10 000 ton CO₂-ekv/år lägre utsläpp år 2047.
- *Torkning (Alt 2)* ger stor men lägre nytta (≈ 6 600 ton CO₂-ekv/år 2047).
- *Termofil rötning (Alt 1)* ger viss nytta (≈ 3 300 ton CO₂-ekv/år 2047).
- Resultaten bekräftar värdet av att inkludera både *drift- och investeringsutsläpp*, samt *undvikna utsläpp och kolinlagring*, i beslutsunderlag för VA-åtgärder.
- Pyrolys framstår som *en klart klimatrelevant teknik* i ett 20-årsperspektiv, särskilt om kolets stabilitet bekräftas i kommande forskning.

4.2.6 Rekommendationer

- *Utvärdera pyrolys* som långsiktig strategi för slamhantering, men fortsätt parallellt fördjupa kunskapen om termofil rötning och torkning som alternativa lösningar.
- *Fördjupa kunskapen om kolinlagring och näringsämnens växttillgänglighet* i avloppsslam och i biokol från avloppsslam.
- *Följ teknikutvecklingen* och uppdatera klimatbedömningarna när nya emissionsdata finns tillgängliga.

4.3 Fallstudie Mälarenergi: Minskat vattenbehov

4.3.1 Om fallstudien: Beskrivning av referensfall och åtgärder

Denna fallstudie har genomförts i samarbete med Mälarenergi och analyserar klimatpåverkan av minskat vattenbehov i Västeråsregionen. Minskad vattenanvändning påverkar både driftens energibehov och kemikalieanvändning, samt framtida investeringsbehov i nya vattenverk.

Mälarenergi bedriver dricksvattenproduktion vid Fågelbacken och Hässlö. Om vattenförbrukningen fortsätter öka enligt dagens trend (referensfallet), krävs investering i ny kapacitet för dricksvattenproduktion kring 2030–2035 för att möta efterfrågan.

Målfallet bygger i stället på långsiktig vattenhushållning, vilket gör att befintlig kapacitet räcker hela perioden fram till 2070.

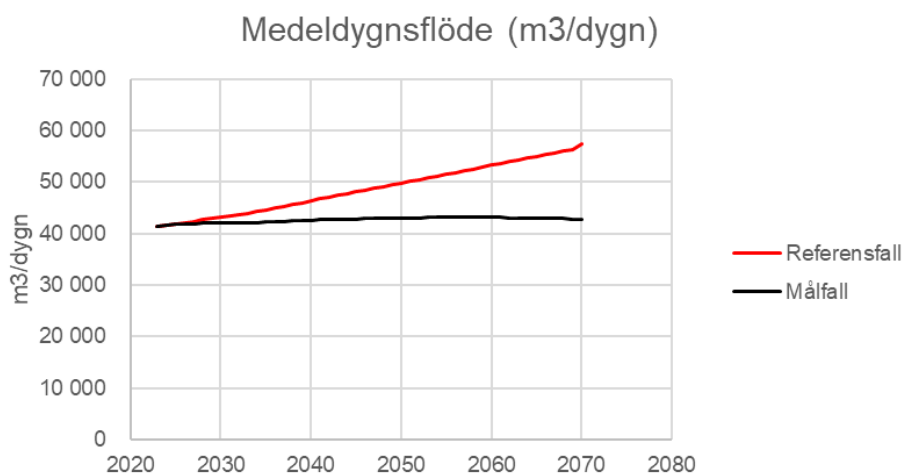
Analysen genomförs som en framåtblickande konsekvensanalys som omfattar hela kedjan för dricksvattenproduktion. Tidsperspektivet som bedömts som lämpligt avser perioden från i dag till 2070, dvs en period på 45 år. Två fall jämförs som beskrivs i Tabell 4.5.

Studerade alternativ	Beskrivning
Referensfall	Fortsatt ökning av vattenanvändning i takt med befolkningsökning (oförändrad specifik vattenanvändning som i dag ligger på ca 180 liter/person och dygn). Kapacitetsbrist uppstår kring 2035, vilket kräver utbyggnad av nytt vattenverk med ca 840 m ³ /h extra kapacitet under åren 2030–2031.
Målfall	Minskad specifik vattenanvändning till 100 liter/person och dygn till 2070. Befintlig kapacitet räcker hela perioden – ingen utbyggnad krävs.

Tabell 4.5

Beskrivning av referensfall och målfall.

I Figur 4.4 illustreras hur det beräknade medeldygsflödet utvecklas under perioden 2025–2070 i referens- och målfall.



Figur 4.4

Beräknat medeldygsflöde för producerat dricksvatten i referensfall respektive i målfall.

Analysen omfattar:

- **Tillförda utsläpp:** Här ingår *direkta utsläpp* som sker direkt från Mälarenergis anläggningar och verksamheter. Här ingår också *indirekta utsläpp* som uppstår till följd av de alternativ som Mälarenergi väljer men där själva utsläppet sker hos en annan aktör. Exempel på indirekta utsläpp är utsläpp förknippade med byggnation av anläggningar och kemikalieanvändning.

I analysen inkluderas följande delar:

- Energiförbrukning (el) vid dricksvattenproduktion.

-
- Kemikalieanvändning vid vattenrening.
 - Klimatpåverkan från byggnation av nytt verk (referensfall).
 - En framtida PFAS-rening antas installeras runt 2030, där den aktiva kolmängden i målfallet är 25 % mindre än i referensfallet tack vare den lägre vattenvolymen.

I analysen inkluderas INTE följande delar (då studien behövde avgränsas utifrån projektets budget):

- Klimatpåverkan från åtgärder som minskar vattenförbrukningen (t.ex. teknik- eller beteendeförändringar).
 - Dessa kan leda till ökade utsläpp (t.ex. i form av teknik som måste produceras och installeras för att bidra till att minska vattenförbrukningen) och/eller till minskade utsläpp (t.ex. om den minskade vattenförbrukningen sker genom minskad tid för duschande så bör detta även minska värmeförbrukningen).
- Påverkan på distributionsnätet för dricksvatten.
- Påverkan på avloppssystemet (mindre spillvatten).
- Klimatpåverkan från byggnation av själva PFAS-anläggningen (typ av PFAS-anläggning ännu ej fastställd).

Dessa delar är klart relevanta att inkludera i fortsatta studier. Den förstnämnda delen kan både gynna och missgynna målfallet i förhållande till referensfallet. Inkluderande av de tre sistnämnda delarna bör gynna målfallet jämfört med referensfallet.

4.3.2 Beräkningsförutsättningar: Antaganden och indata

- Utsläpp för konsumtion av el vid vattenreningen:
 - Utgångspunkten är den specifika elkonsumtionen (0,52 kWh el per m³ producerat vatten) beräknat utifrån Mälarenergis klimatbokslut år 2024 för Fågelbacken och Hässlö (Profu 2025b).
 - Den specifika elkonsumtionen antas vara konstant under perioden 2025–2070, men total elkonsumtion beror på mängden vatten som ska produceras.
 - Utsläppen för el minskar över perioden och baseras på Profus modellering av det nordeuropeiska kraftsystemet. Observera att utsläppsfaktorn kan variera beroende på antaganden om den framtida utvecklingen, speciellt avseende klimatambitioner och ifall de uppfylls för det nordeuropeiska kraftsystemet. Här har vi valt en analys med en hög klimatambition, dvs i linje med EU:s nuvarande klimatambitioner. Den genomsnittliga utsläppsfaktorn för el för hela perioden 2025–2070 uppgår till 44 kg CO₂-ekv/MWh el, se fördjupad beskrivning om elens klimatpåverkan i avsnitt 3.6.
- Utsläpp för konsumtion av kemikalier vid vattenreningen:
 - Utgångspunkten är den specifika klimatpåverkan från kemikalieanvändning (0,25 kg CO₂-ekv per m³ producerat vatten) beräknat utifrån Mälarenergis klimatbokslut år 2024 för Fågelbacken och Hässlö (Profu 2025b).
 - Den specifika kemikaliekonsumtionen antas konstant under perioden 2025–2070 men total kemikaliekonsumtion beror på mängden dricksvatten som ska produceras.
 - De klimatpåverkande utsläppen från produktion av kemikalier antas minska under perioden på grund av att all industri antas minska sina utsläpp för att bidra till de höga klimatambitioner i samhället. Vi har emellertid inte tillgång till en modell som modellerar hur och i vilken takt denna omställning sker inom kemikalieproduktionen. För denna studie har vi därför gjort ett generellt antagande för kemikalier att klimatpåverkan (genom klimatförbättrande åtgärder vid produktion och för insatsvaror såsom t ex el) minskar med 2 % per år (jämfört med föregående år).
- Utsläpp relaterade till att bygga och installera ytterligare drygt 840 m³/h kapacitet

(i referensfallet). Vi har här undersökt två källor:

- Data för ett vattenverk från LCA-modellen SimaPro, anpassat till denna kapacitet, ger en lägre skattning (drygt 310 ton CO₂-ekv).
- Data för betong och stål för ett nytt vattenverk i en mindre ort i Sverige (<50 000 invånare), anpassat till denna kapacitet, ger en högre skattning (drygt 680 ton CO₂-ekv)
- I beräkningarna har vi valt att använda den högre skattningen.
- Utsläpp relaterade till mängden aktivt kol som behövs för PFAS-rening:
 - Det aktiva kolet antas ha biogent ursprung.
 - I målfallet behöver drygt 25 % mindre mängd aktivt kol installeras jämfört med referensfallet på grund av den lägre vattenvolymen. Det aktiva kolet regenereras vart 1,5 år och här har antagits att 5 % av kolet förloras vid regenereringen och måste fyllas på (i beräkningarna har vi, för att förenkla, slagit ut detta per år). Utsläpp för det aktiva kolet (från kokosskal med ett utsläpp på 1,1 ton CO₂-ekv/ton aktivt kol) har hämtats från Svenskt Vattens klimatberäkningsverktyg (Svenskt Vatten 2025a).

4.3.3 Resultat: Beräkning, analys, tolkning

Energi

Eftersom målfallet antar en minskad vattenförbrukning per person så minskar även elbehovet för dricksvattenproduktion per person. Elkonsumtionen ökar ändå jämfört med i dag (på grund av ökad befolkning), men i betydligt mindre utsträckning än i referensfallet (Tabell 4.6).

Elanvändning (GWh/år)	2025	2050	2070
Referens	8,02	9,54	11,0
Målfall	8,02	8,24	8,19

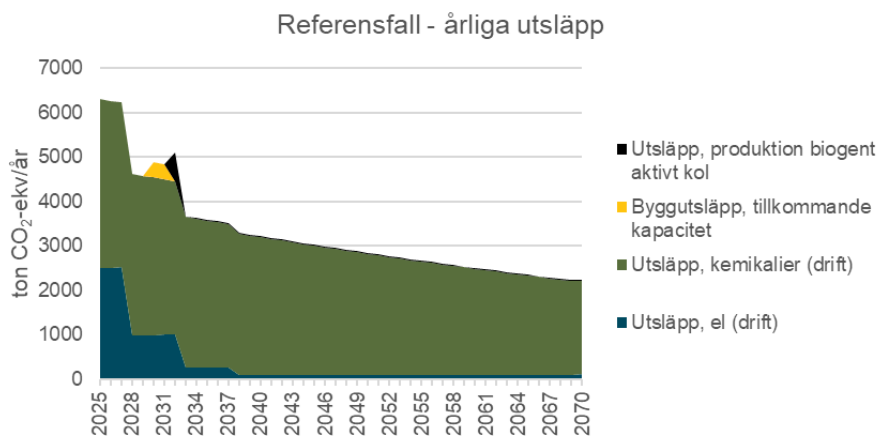
Tabell 4.6

Elbehov i referensfallet samt efter åtgärd (målfall). Nedslag har gjorts för de två framtida åren 2050 samt 2070. Tre värdesiffror har valts för att tydliggöra att det är en skillnad i elbehov mellan 2050 och 2070 i målfallet.

Klimat

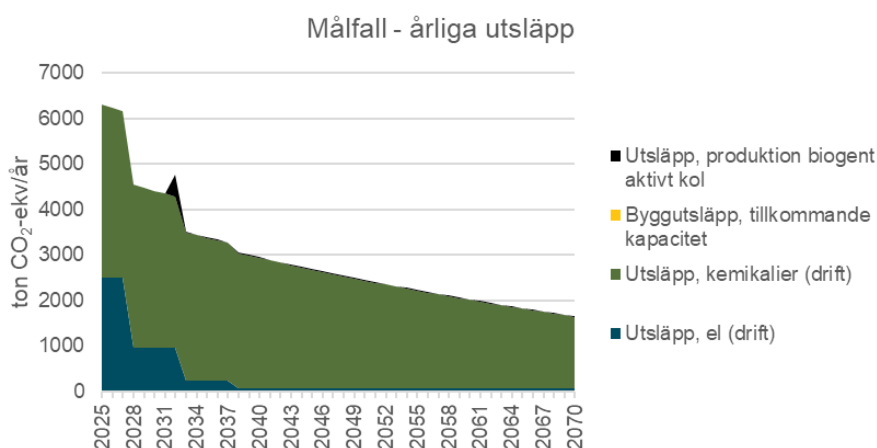
I Figur 4.5 och Figur 4.6 visas de årliga klimatpåverkande utsläppen som de inkluderade delarna ger upphov till under perioden 2025–2070 i referensfallet respektive i målfallet.

Av figurerna framgår tydligt att kemikalieanvändningen står för de största klimatpåverkande utsläppen. De minskar över tid i bägge fallen, vilket beror på antagandet om att de specifika klimatpåverkande utsläppen för kemikalierna minskar med 2 % per år (jämfört med föregående år). Minskningen blir tydligt större i målfallet eftersom vattenförbrukningen här ligger relativt stilla (medan vattenförbrukningen ökar i referensfallet).



Figur 4.5

Årliga utsläpp från inkluderade delar i referensfallet.

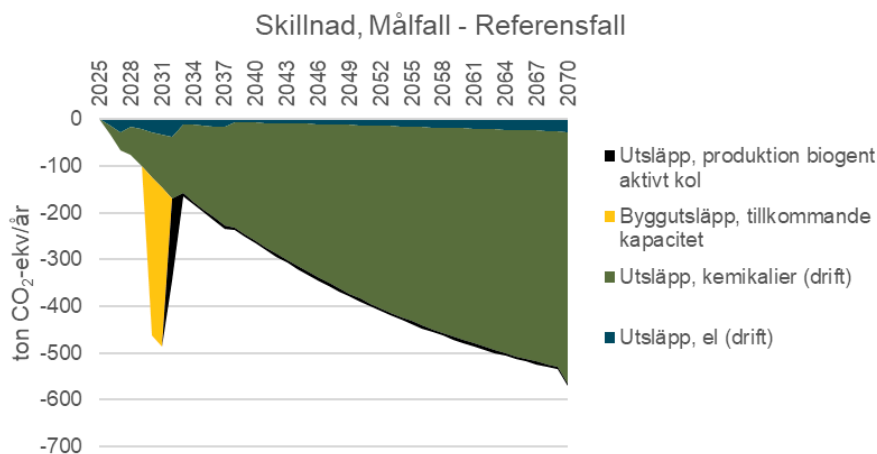


Figur 4.6

Årliga utsläpp från inkluderade delar i målfallet.

I Figur 4.7 illustreras vilka undvikna utsläpp som uppnås i målfallet jämfört med referensfallet. Från figuren kan vi konstatera följande:

- Den största klimatnyttan kommer från *minskad kemikalieanvändning* – en konsekvens av lägre vattenproduktion under hela perioden. Totalt undviks 14 500 ton CO₂-ekv under den studerade perioden.
- Minskad *elförbrukning* ger också ett positivt bidrag, även om elens klimatintensitet sjunker över tid (totalt undviks 770 ton CO₂-ekv).
- *Byggutsläpp* undviks helt tack vare att kapacitetsökningen vid nuvarande vattenverk inte behöver byggas i målfallet (totalt 680 ton CO₂-ekv).
- Minskad användning av *aktivt kol* för PFAS-rening ger ytterligare bidrag till klimatnytta (totalt 400 ton CO₂-ekv).



Figur 4.7

Skillnad i årliga utsläpp mellan målfallet och referensfallet. Negativt tecken betyder att lägre utsläpp sker i målfallet jämfört med referensfallet.

Om målfallet infaller innebär det i jämförelse med referensfallet att en lägre mängd utsläpp kommer ske, och summeras det och fördelas över hela undersökta tidsperioden innebär det ca 360 ton CO₂-ekv lägre utsläpp årligen i genomsnitt.

Under denna period förutsätts befolkningen som omfattas i studien växa från knappt 162 000 personer år 2025 till knappt 220 000 personer år 2070. Om man slår ut det ackumulerade resultatet för perioden (16 300 ton CO₂-ekv lägre utsläpp i målfallet jämfört med referensfallet) på medelbefolkningen under perioden (knappt 190 000 personer) så motsvarar detta 86 kg CO₂-ekv /person lägre i målfallet jämfört med referensfallet.

4.3.4 Diskussion

Resultatet visar att *åtgärder som minskar vattenanvändningen har en potentiell klimatnytta i ett långsiktigt perspektiv.*

Samtidigt är det viktigt att komma ihåg att utsläppen förknippade med de åtgärder som krävs för att uppnå den minskade vattenanvändningen inte är inkluderade i studien. Som vi konstaterade inledningsvis kan man tänka sig bland annat tekniska åtgärder och beteendemässiga åtgärder som minskar vattenanvändningen. Det är sannolikt att dessa på något sätt medför klimatpåverkande utsläpp (även beteendemässiga förändringar kan t.ex. behöva en informationskampanj som kommer att förbruka energi och/eller material), men samtidigt kan de också indirekt medföra minskade utsläpp (jämför t.ex. minskad duschtid som både minskar vattenförbrukning och energibehovet för att värma upp vatten).

Därtill finns flera positiva systemeffekter som inte inkluderats men som sannolikt förstärker nyttan:

- Minskad belastning på distributionsnätet för dricksvatten.
- Minskad belastning på avloppssystemet och reningsverk.
- Möjlig fördröjd eller undviken utbyggnad även på avloppssidan.
- Mindre storlek på byggnation av PFAS-anläggning.

I fortsatta studier kan det också vara intressant att gå vidare med fördjupade känslighetsanalyser kring t.ex. klimatpåverkan från kemikalier, förändringar i produktionen som påverkar den specifika energiförbrukningen och alternativ utveckling för befolkningstillväxten.

4.3.5 Slutsatser

- Elbehovet för produktion av dricksvatten minskar jämfört med referensfallet, vilket beror på lägre vattenbehov. Befolkningsökning innebär ändå att elbehovet ökar något från i dag till 2070.
- Ett minskat vattenbehov hos Mälarenergis kunder kan potentiellt innebära en *tydlig klimatnytta* på lång sikt (≈ 16 300 ton CO₂-ekv undvikna utsläpp ackumulerat under perioden 2025–2070).
- Den största effekten kommer från minskad *kemikalieanvändning*, följt av minskad elkonsumention.
- Minskad vattenanvändning kan potentiellt även innebära *ekonomiska och driftmässiga fördelar*, inklusive fördröjt investeringsbehov.

4.3.6 Rekommendationer

- *Integrera vattenhushållning* i planeringen av framtida kapacitet och PFAS-rening.
- *Utvärdera tekniska åtgärder, styrmedel och beteendepåverkan* (ex. mer vatteneffektiva tekniker i hemmet, prisdifferentiering, informationskampanjer) som kan bidra till att realisera målfallet.
 - Vilken kombination av åtgärder krävs för att uppnå den minskade vattenanvändningen?

- Hur påverkar dessa åtgärder material- och energianvändning samt klimatpåverkande utsläpp?
- Påverkas andra tekniska system av åtgärden (t.ex. uppvärmningssystemet i samband med minskad användning av duschvatten) och vilken effekt får detta på klimatpåverkande utsläpp?
- *Utöka analysen* till att omfatta distributionsnätet för dricksvatten och avloppssystemet för att fånga hela bilden av hur de klimatpåverkande utsläppen utvecklas i målfallet.
- *Studera* vilka klimatpåverkande utsläpp som byggnation av PFAS-anläggning och eventuell övrig resursförbrukning utöver aktivt kol medför.

4.4 Fallstudie Kretslopp och vatten: Minskat tillskottsvatten

4.4.1 Om fallstudien: Beskrivning av referensfall och åtgärder

Denna fallstudie har genomförts i samarbete med Kretslopp och vatten i Göteborg och analyserar separering av dagvatten i stadsdelen Munkebäck. Området har problem med återkommande källaröversvämningar, bräddning till Säveån samt höga flöden till både Kodammens pumpstation och Gryaabs reningsverk.

Syftet med åtgärden är att minska dessa problem genom att bygga nya dagvattenledningar och införa lokal dagvattenrening. Samtidigt innebär byggandet av nya ledningar och anläggningar ett klimatmässigt avtryck som behöver vägas mot de klimatnyttor åtgärden medför under driften.

Åtgärden innebär separering av ett kombinerat system i Munkebäck. Före åtgärd leds både spill- och dagvatten till avloppsreningsverket, vilket orsakar bräddningar och översvämningar. Efter åtgärd leds dagvatten i separata ledningar och ny dagvattenrening införs.

Ett tidsperspektiv om 100 år har bedömts rimligt för denna fallstudie då huvudåtgärden (separering av ledningsnät) bedöms ha ungefär den livslängden. Liksom i alla fallstudier tillämpas metodik för framåtblickande konsekvensanalys (se vidare i kapitel 3) vilket inkluderar såväl *investeringsfasen* (byggskedet) som *driftsfasen*. Resultatet visar den samlade klimatpåverkan över hela livscykeln jämfört med ett referensalternativ där ingen åtgärd genomförs.

Referensfall och åtgärd för fallstudien sammanfattas i Tabell 4.7.

Tabell 4.7

Referensfall och åtgärdsbeskrivning för Kretslopp och vattens fallstudie.

Studerade alternativ	Beskrivning	Huvudsaklig förändring jämfört med referensfall
Före åtgärd (referensfall)	Dagvatten från Munkebäck i Göteborg leds till Gryaabs reningsverk och orsakar regelbunden bräddning och källaröversvämningar.	-
Efter åtgärd	Dagvatten separeras till egen ledning och egen rening.	<ul style="list-style-type: none"> • Byggnation av separat ledning för dagvatten • Alternativ dagvattenrening • Mindre vatten leds till ARV, bräddas samt orsakar källaröversvämningar

Klimatpåverkan från följande inkluderas i fallstudien:

- *Ledningsbyggnation* – utsläpp från produktion och läggning av nya ledningar.
- *Alternativ dagvattenrening (brunnfilter)* – klimatpåverkan från material och underhåll.
- *Pumpning och rening* – förändrad energiåtgång och utsläpp från Gryaabs reningsverk.
- *Bräddning* – utsläpp av växthusgaser (framför allt metan) från näringsämnen som når recipient.

-
- *Källaröversvämningar* – utsläpp kopplade till skador och materialförluster.
 - *Slamkvalitet* – förändrade tillförda och/eller undvikna utsläpp genom ändrad användning av slam (jordtillverkning kontra åker gödsling).

Samtliga poster ovan utom slamkvalitet avser *tillförda utsläpp* som antingen ökar eller minskar. Vad gäller slamkvalitet så kan slamhantering innebära *undvikna utsläpp*, till exempel om slam ersätter torv för jordtillverkning eller att åker gödsling ersätter konst gödsel.

4.4.2 Beräkningsförutsättningar: Antaganden och indata

Antaganden har gjorts i samarbete med Kretslopp och vatten och vissa avstämningar har även gjorts med Envidan. Viktiga antaganden sammanfattas nedan:

- Beräkning av utsläpp från *byggnation av dagvattenledning* baseras på Kretslopp och vattens uppgifter om ledningslängd (se nedan under indata). Ledningarna antas byggas i betong och kräva schaktning före samt asfaltering efter anläggning.
- *Alternativ dagvattenrening* antas göras med brunnsfilter med bark/flis (byte årligen), stålkomponenter och sand (byte vart 5:e år). Det finns givetvis andra lösningar också såsom dagvattendammar.
- Klimatpåverkan från *elanvändning* (t.ex. för pumpning) baseras på Profus modellering av det nordeuropeiska kraftsystemet. Observera att utsläppsfaktorn kan variera beroende på antaganden om den framtida utvecklingen, speciellt avseende klimatambitioner och ifall de uppfylls för det nordeuropeiska kraftsystemet. Här har vi valt en analys med en hög klimatambition, dvs i linje med EU:s nuvarande klimatambitioner. Den genomsnittliga utsläppsfaktorn för el för hela perioden 2025–2125 uppgår till 31 kg CO₂-ekv/MWh el, se fördjupad beskrivning om elens klimatpåverkan i avsnitt 3.6.
- *Utsläppen från reningsverket* minskar då mindre volym vatten behöver tas omhand. Dagens utsläppsfaktor för rening (0,12 kg CO₂-ekv/m³) har erhållits från Gryaab och vi har sedan gjort antagandet att utsläppsfaktorn minskar med 2 % per år. Beräkningarna har inte beaktat 1) att högre flöden till avloppsreningsverket på grund av tillskottsvatten sannolikt innebär högre klimatpåverkan (marginaleffekt), 2) att minskat tillskottsvatten skjuter fram behovet av att bygga ett nytt reningsverk till senare i den studerade 100-årsperioden (bedömningen är att ett nytt reningsverk ändå behöver byggas under åtgärdens livslängd). Dessa antaganden är förknippade med stora osäkerheter och behöver studeras vidare, se vidare i avsnitt 4.4.4.
- *Bräddning* innebär att spillvatten når naturen i stället för att renas i avloppsreningsverket, vilket innebär risk för utsläpp av metan och lustgas i recipienten. I fallstudien inkluderas lokal bräddning från ledningsnätet i det studerade området. Höga flöden innebär också att bräddning sker i ARV, men detta är inte analyserat i fallstudien. Svenskt Vattens klimatberäkningsverktyg för VA-anläggningar (Svenskt Vatten 2025a) används för att beräkna metan- och lustgasutsläppen. Verktyget beräknar utsläppen av metan och lustgas baserat på mängd BOD respektive kväve i *utgående vatten*. I fallstudien är det alltså inte utgående vatten, utan *bräddat vatten* vi räknar på, där BOD-koncentrationen är 33 g/m³ och kvävekoncentrationen 7,5 g/m³. Vi antar även att den motsvarande mängd metan som bildas i naturen i stället hade producerats som biogas i reningsverket och ersatt naturgas som transportbränsle. Dataunderlag har hämtats från LBVA:s fallstudie, se vidare i avsnitt 3.1 där även olika alternativ användning av biogasen analyserats.
- Undvikna utsläpp på grund av färre *källaröversvämningar* är mycket svårt att uppskatta. I denna studie har vi gjort antaganden om vilka egendomar som kan tänkas förstöras vid källaröversvämningar. Detta omfattar t.ex. elektronisk utrustning, textilier och möbler. Då antagandena är förknippade med mycket stora osäkerheter har vi även gjort en validering baserat på uppgifter om kostnader för källaröversvämningar

från försäkringsbolag samt utsläppsbedömningar från renoveringsinvesteringar från fastighetsbolag.

- **Slamkvaliteten** antas förbättras vid separering av ledningar eftersom föroreningar i dagvattnet från till exempel trafiken inte längre når reningsverket. När slamkvaliteten förbättras ökar avsättningsmöjligheterna för slammet. I samråd med Kretslopp och vatten samt Envidan har vi antagit att ytterligare en halv veckas slam per år får förbättrad kvalitet. Antagandet i fallstudien är att detta kan läggas på åkermark i stället för att gå till jordtillverkning. Beräkning av klimatpåverkan för olika slamhantering (till åkermark respektive till jordproduktion) har gjorts med hjälp av Svenskt Vattens klimatberäkningsverktyg för VA-anläggningar (Svenskt Vatten 2025a). Samma kolinlagring i marken ingår i både referens och åtgärd i enlighet med verktyget. Läs vidare om osäkerheter kring slamkvalitet under diskussion (avsnitt 4.4.4).

En del antaganden är förknippade med stor osäkerhet. Det gäller särskilt kring källaröversvämningar, slamhantering och påverkan på rening, läs vidare i diskussionsavsnittet till denna fallstudie (avsnitt 4.4.4). Eftersom fallstudien har ett 100-årsperspektiv tillkommer även osäkerheter om framtida utveckling (befolkning, teknik m.m.) som kan påverka utsläppen under driftfasen. Vissa indata har erhållits från Kretslopp och vatten och andra har Profu hämtat från litteratur, LCA-verktyg samt genom egna antaganden. Viktiga indata sammanställs i Tabell 4.8.

	Före åtgärd (referens)	Efter åtgärd
Tillkommande dagvattenledning		71 km
Tillkommande brunnsfilter		6 300 st
Bräddad volym på ledningsnätet (normalår)	39 500 m ³ /år	780 m ³ /år
Antal källaröversvämningar	82/år	31/år
Pumpad volym tillskottsvatten till reningsverk	580 000 m ³ /år	44 000 m ³ /år

Tabell 4.8

Exempel på indata för fallstudie om minskat tillskottsvatten.

4.4.3 Resultat: Beräkning, analys, tolkning

Energi

Åtgärden innebär energibehov vid investering främst i form av transportarbete för schaktning och bortförsl. Denna energianvändning sker alltså initialt. Under åtgärdens livslängd behöver sedan mindre avloppsvatten pumpas varvid elförbrukningen för pumpning minskar, samtidigt som underhåll av brunnsfilter kräver lite bränsle för transportarbete. I Tabell 4.9 sammanfattas användning av energi före och efter åtgärd. Åtgärden innebär ingen förändrad produktion av el, värme eller bränslen. Notera att bränsleåtgången för underhåll av brunnsfiltren baseras på diesel. I ett hundraårigt perspektiv är det rimligt att anta att transporterna successivt kommer att baseras på förnybara bränslen eller el. I klimatberäkningarna, som presenteras senare, har därför en successiv minskning av utsläppen antagits.

Energianvändning	Referens (i dag)	Efter åtgärd
Investering:		
Diesel för schaktning och bortförsl (liter totalt vid investering)	0	1 210 000
(GWh totalt vid investering)	0	11,8
Drift:		
El för pumpning (MWh/år)	128	9,6
Transportbränsle vid underhåll av brunnsfilter (liter/år)	0	250
(MWh/år)	0	2,6

Tabell 4.9

Energianvändning i referensfallet samt efter åtgärd. Notera att dieselförbrukningen avser initial förbrukning vid schaktning och bortförsl av schaktmassor medan el för pumpning samt diesel för underhåll av brunnsfilter påverkas under hela åtgärdens livslängd och därför anges i årlig energiförbrukning. Dieselförbrukning anges i såväl volyms- som energienheter.

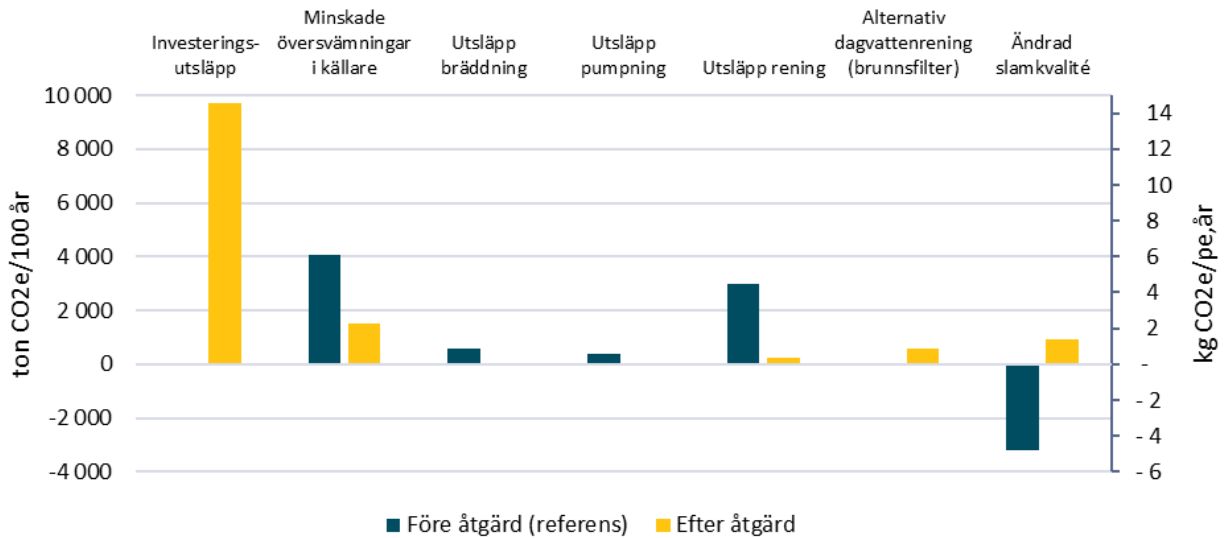
Klimat

Investeringsfasen, som innebär byggnation av separata dagvattenledningar, ger en initial klimatpåverkan på cirka 9 700 ton CO₂-ekv, samt ytterligare utsläpp från dagvattenreningsystemet på omkring 5,8 ton CO₂-ekv per år under driften. Dessa utsläpp kommer från de brunnsfilter som antagits som dagvattenrening. Där kommer klimatpåverkan från produktion av filter, sand samt transporter. Utsläppen från transporterna är i sammanhanget mycket små och antas initialt baseras på diesel för att successivt övergå till transportarbete med lägre klimatpåverkan. Likaså produktionen av material för brunnsfilter antas successivt få lägre klimatpåverkan. Klimatpåverkan från ledningsbygget sker främst initialt, medan följande systemeffekter tillkommer gradvis under driftstiden:

- *Minskade källaröversvämningar*
Minskningen från 82 till 31 översvämningar per år ger klimatnytta genom minskade skador på möbler, vitvaror, textilier m.m. Klimatnyttan har beräknats till ca 25 ton CO₂-ekv per år, vilket inkluderar antagande om teknikutveckling som ger 2 % lägre klimatpåverkan per år. Den sammanlagda nyttan över 100 år blir omkring 2 500 ton CO₂-ekv.
- *Minskad bräddning*
Bräddad volym på ledningsnätet minskar med över 98 %, vilket minskar utsläppen av metan och lustgas från recipienten med cirka 570 ton CO₂-ekv över 100 år. I denna klimatnytta ingår även att något mer biogas kan produceras i ARV vilket antar ersätta naturgas. Denna nytta är dock mycket liten jämfört med undvikna metan- och lustgasutsläpp. Däremot inkluderas inte att höga flöden även orsakar bräddning i reningsverket, vilket alltså också kan förväntas minska vid dagvattenseparering. Det innebär alltså att klimatnyttan av minskad bräddning är underskattad.
- *Minskad pumpning och rening*
Minskad tillförd volym till Gryaab ger lägre klimatpåverkan från reningsverket, vilket motsvarar cirka 2 800 ton CO₂-ekv över 100 år.
- *Förbättrad slamkvalitet*
Den förbättrade slamkvaliteten gör att ytterligare en halv veckas slam får ökade avsättningsmöjligheter till olika ändamål. Vid antagandet att detta slam används som åker gödsel i stället för jordförbättring ger det en ökad klimatpåverkan på omkring 4 100 ton CO₂-ekv över 100 år. Detta bygger på Svenskt Vattens klimatberäkningsverktyg för VA-anläggningar (Svenskt Vatten 2025a) där slam till jord antas ersätta torv vilket har en högre klimatpåverkan än den konstgödsel som kan ersättas av att lägga slam på åker. Om alternativet i stället är att slammet fortsatt går till jordförbättring så skulle det ge samma klimatpåverkan som i dag vid antagandet att det även i framtiden är torv som ersätts (se känslighetsanalys nedan).

Resultaten för klimatpåverkan av systemeffekterna före och efter åtgärd, baserat på de antaganden som gjorts i fallstudien, illustreras i Figur 4.8. Huvudaxeln (vänster axel) visar total klimatpåverkan över 100 år medan sekundäraxeln (höger axel) visar per personekvivalent (pe) och år.

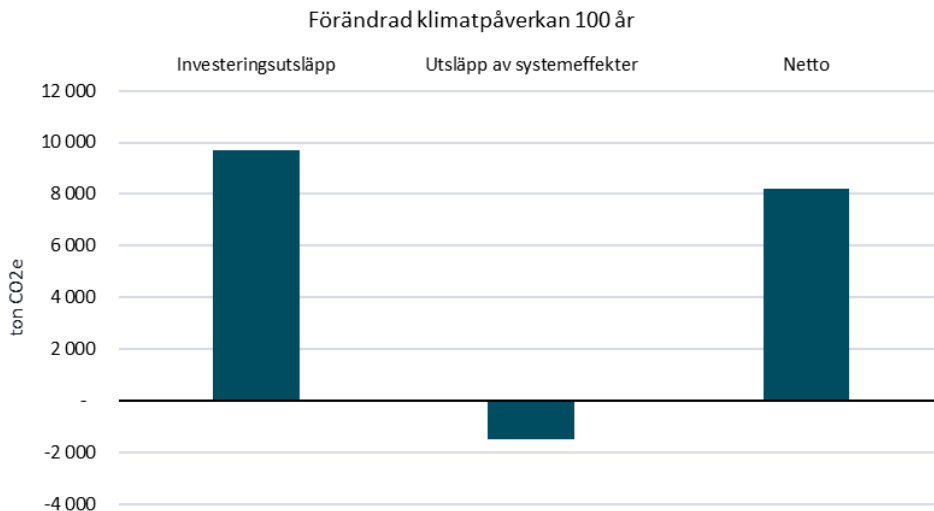
Klimatpåverkan över 100 år



Den samlade klimatpåverkan under 100-årsperioden, inklusive tillförda och undvikna utsläpp i såväl investerings- som driftskedet framgår av Figur 4.9. Figur 4.10 visar samma resultat fast indelat i olika poster, så att det tydligt framgår att vissa utsläpp ökar och andra minskar. Den sammanlagda klimatpåverkan över 100 år är drygt 8 000 ton koldioxidekvivalenter, vilket motsvarar ca 12 kg CO₂-ekv per pe och år.

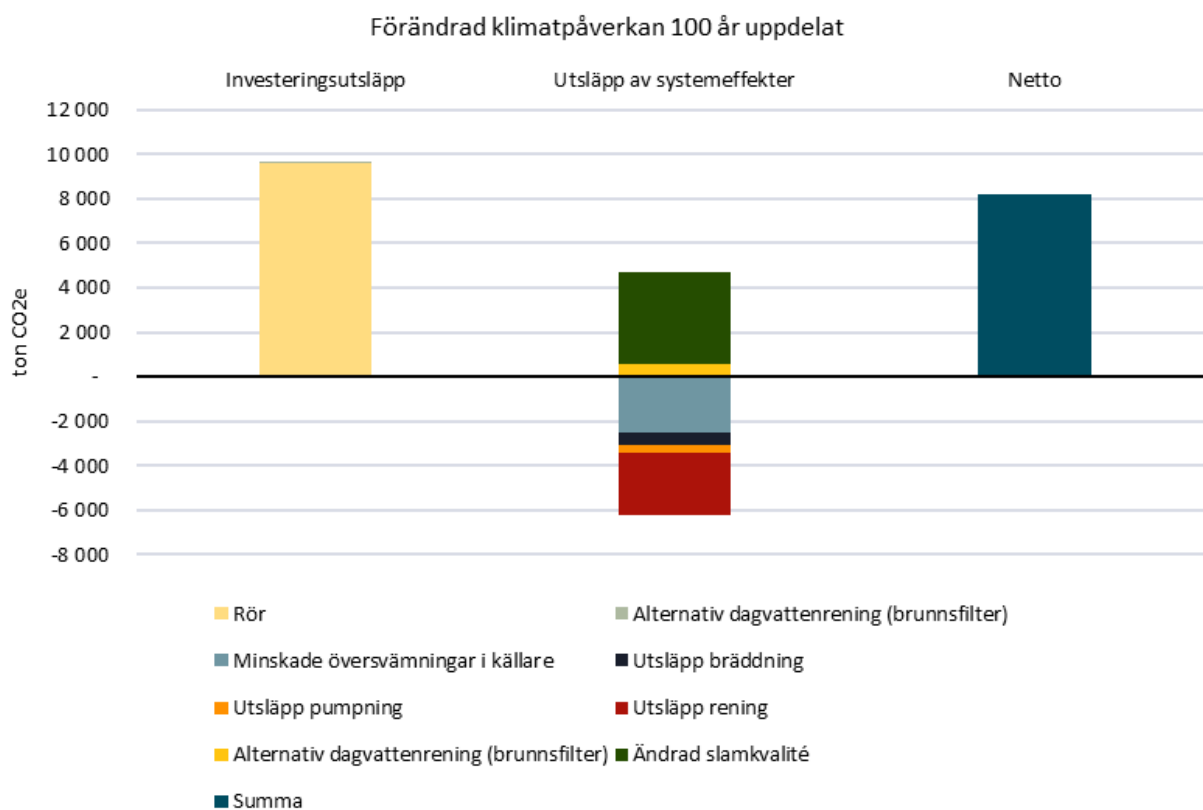
Figur 4.8

Klimatpåverkan i ett 100-årsperspektiv före respektive efter åtgärd. Staplar över noll = tillförda utsläpp, staplar under noll = undvikna utsläpp.



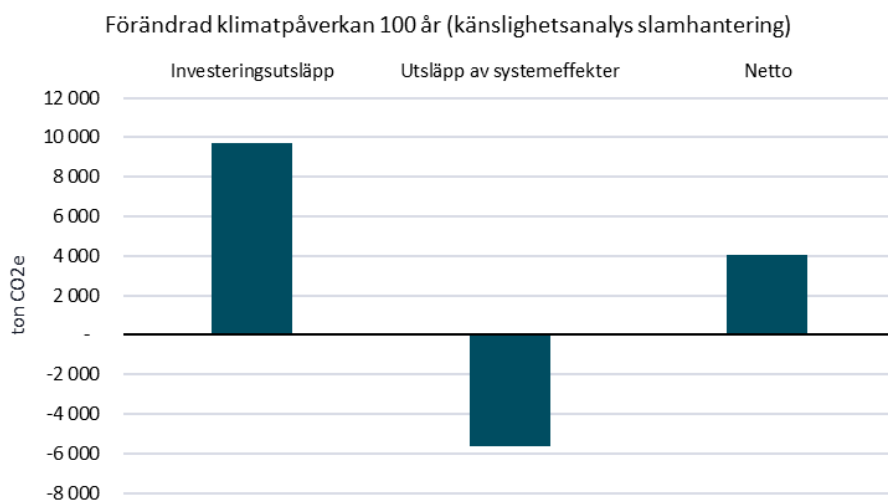
Figur 4.9

Samlad klimatpåverkan i ett 100-årsperspektiv i ton CO₂-ekv. Resultatet visar klimatpåverkan från investeringsutsläpp, utsläpp från systemeffekter och båda summerade. Staplar över noll innebär ökade utsläpp, staplar under noll innebär minskade utsläpp och/eller ökade undvikna utsläpp.



En känslighetsanalys har gjorts med antagandet att inget ytterligare slam läggs på åkermark, utan att det fortsatt går till jordtillverkning. Då ökar undvikna utsläpp från systemeffekter (Figur 4.11).

Figur 4.10
Förändrad klimatpåverkan i ett 100-årsperspektiv uppdelat på olika utsläppsposter.



Figur 4.11
Förändrad klimatpåverkan i ett 100-årsperspektiv uppdelat på olika utsläppsposter.

4.4.4 Diskussion

Minskat tillskottsvatten till reningsverken har stora nyttor för samhället genom bland annat minskad bräddning med minskad miljöpåverkan som följd samt minskad risk för källaröversvämningar. Detta kommer dock med initiala utsläpp från anläggande av separat dagvattenhantering. Resultaten visar att dessa utsläpp i ett 100-årsperspektiv inte helt vägs upp av minskade utsläpp under driftfasen. Resultaten är dock förknippade med stora osäkerheter gällande särskilt minskat behov av rening på grund av minskat tillskottsvatten, slamhantering och källaröversvämningar:

- *Minskade utsläpp för rening.* I projektet har vi utgått från att ett nytt reningsverk ändå hade behövt byggas under åtgärdens livslängd. Det är sannolikt förknippat med lägre klimatpåverkan i byggskedet om reningsverk byggs längre fram i tiden. Exempelvis kan ny teknik utvecklas och byggmaterial ha lägre klimatpåverkan. En ytterligare osäkerhet som inte beaktats är att det sannolikt kostar mer ur klimatsynpunkt att rena avloppsvattnet vid de högre flöden som tillskottsvatten orsakar. Båda dessa aspekter skulle innebära lägre total klimatpåverkan för denna fallstudie och behöver studeras vidare.
- *Slamhantering* är en avgörande faktor där val påverkar resultatet kraftigt. I Kretslopp och vattens fall jämförs att slammet går till jordförbättring eller åker gödsling. Svenskt Vattens verktyg har använts för att beräkna klimatpåverkan av dessa alternativ. Vid jordförbättring antar verktyget att torv ersätts. Detta är förknippat med osäkerheter, dels är det osäkert om slam får användas för jordförbättring i framtiden, dels är det osäkert om torv kommer att användas för jordtillverkning. En tänkbar utveckling är att slam av god kvalitet i framtiden får gå till åkermark, medan slam av sämre kvalitet förbränns och askan deponeras.
- Beräkningarna av klimatnytta från minskade *källaröversvämningar* bygger på antaganden om vilka material som skadas vid översvämningarna. Dessa antaganden är förstuds förknippade med stora osäkerheter. I verkligheten är det sannolikt mycket stor spridning i vilka material som skadas beroende bland annat på typ av byggnad och hur ofta översvämningar inträffar. Beräkningarna har dock även stämts av mot uppgifter om kostnader för källaröversvämningar (från ett försäkringsbolag) samt utsläppsbedömningar från renoveringsinvesteringar (från ett fastighetsbolag). Beräkningarna har inte inkluderat att betong under sin livslängd tar upp en del koldioxid genom karbonatisering. Hur stort upptaget är beror bland annat på vilken typ av och hur mycket cement som betongen innehåller, porositet, temperatur och exponering av koldioxid.

Trots osäkerheterna visar fallstudien vikten av att inkludera hela livscykeln och effekter utanför den egna organisationen. Om analysen enbart gjorts ur ett bokföringsperspektiv hade kanske inte de systemnyttor som finns tagits i beaktande. Det framåtblickande perspektivet gör det möjligt att identifiera synergier och konflikter mellan åtgärder, exempelvis hur investeringar som ökar byggutsläpp på kort sikt kan ge långsiktiga klimatvinster genom minskad driftbelastning. Med tanke på behovet att snabbt minska utsläppen i samhället är det viktigt att analysera möjligheterna att minska utsläppen i investeringsskedet. Inspiration kring åtgärder för minskad klimatpåverkan i ledningsnätprojekt kan exempelvis hämtas från SVU-rapport 2025-4 (Voulgaridis et al. 2025).

4.4.5 Slutsatser

När samtliga delmoment summeras (byggnation + drift) visar fallstudien, med de antaganden som gjorts, att:

- Investeringen i separat dagvattenledning kräver *energi för schaktning och bortförel*. Detta utgör den absolut största energiåtgången under åtgärdens livslängd.
- *Initiala utsläpp* från bl.a. byggnation av separata dagvattenledningar vägs delvis, men inte helt, upp av *klimatnyttor under driften* i form av minskad bräddning, minskad pumpning och färre källaröversvämningar.
- Med de antaganden som gjorts är det totala utfallet en *ökning av utsläppen* i ett 100-årsperspektiv.
- Resultaten är *mycket känsliga för antaganden* om till exempel minskat reningsbehov, slamhantering och källaröversvämningar.
- Åtgärden för dock med sig *andra positiva systemeffekter* såsom förbättrad resiliens, minskad belastning på avloppssystemet, betydande riskreduktion för översvämningar samt miljönytta genom minskad bräddning av orenat avloppsvatten.
- Det finns behov av att fördjupa analyserna kring de osäkra antagandena och göra mer

känslighetsanalyser kring dessa. Det gäller exempelvis kring påverkan på *rening* och uppskjutet behov av nytt reningsverk, förändrad *slamhantering* på grund av förbättrad slamkvalitet, konsekvenser av minskade *källaröversvämningar* och möjligen kring flera alternativ för *dagvattenrening*.

4.4.6 Rekommendationer

- Undersök möjligheten till *dagvattenledning* med så låg klimatpåverkan som möjligt.
- *Fördjupa analyserna kring de mest känsliga antagandena* exempelvis om:
 - *Konsekvenser för rening och byggnation av nytt reningsverk*. Detta inkluderar hur drift vid höga flöden (på grund av tillskottsvatten) påverkar utsläpp av växthusgaser från reningsverket samt konsekvenser av att minskat tillskottsvatten skjuter upp behovet av nytt reningsverk alternativt möjliggör annan dimensionering och utformning.
 - *Hur förbättrad slamkvalitet påverkar slamhantering*. Här behövs såväl djupare analys av hur minskat tillskottsvatten påverkar slamkvaliteten samt vilka alternativ för slamhantering som detta för med sig och klimatpåverkan av dessa. Här inkluderas även analys på kort och lång sikt, då man kan tänka sig att synen på och möjliga lösningar för slamhantering kommer att förändras framåt.
 - *Undvikna utsläpp från minskade källaröversvämningar*. Det kommer sannolikt alltid vara förknippat med osäkerheter att bedöma konsekvenser av minskade källaröversvämningar, men analysen skulle åtminstone kunna fördjupas med känslighetsanalyser.
 - *Alternativ dagvattenrening*. I fallstudien har alternativ dagvattenrening antagits utgöras av brunnsfilter. Det finns ett behov av att även studera andra alternativ.
- *Fortsatt analys* av hur de utsläppsfaktorer som har stor påverkan på resultaten kan komma att utvecklas i ett framåtblickande perspektiv.

4.5 Fallstudie VA SYD: Underhåll av luftarsystem

4.5.1 Om fallstudien: Beskrivning av referensfall och åtgärder

Denna fallstudie har genomförts i samarbete med VA SYD och fokuserar på påverkan på energi och klimat av förändrat underhåll av luftarsystem på avloppsreningsverk. Luftningen står för en stor del av elförbrukningen vid biologisk rening, och effektiviteten påverkas av luftarnas skick. Prestandan för luftarsystem sjunker successivt efter att nya membran tagits i drift. Hur snabbt detta går varierar mellan olika reningsverk och det är därför viktigt att övervaka luftningens prestanda på respektive verk. Fallstudien utvärderar ett nytt underhållskoncept med utgångspunkt i SVU-rapport 2024-12, *Övervakning och underhåll av luftarsystem* (Bengtsson & Samuelsson 2024). Konceptet innebär tätare utbyte av luftarmembran samt årlig syrarengöring. Syftet med fallstudien är att analysera hur det förändrade underhållet påverkar energianvändning och klimatpåverkan jämfört med dagens praxis.

Tidsperspektivet för denna fallstudie har fastställts till 15 år för att täcka in tre fem-års-cykler av underhåll enligt SVU-rapport 2024-12. Klimatpåverkan från material, transporter och drift beaktas. Beräkning av klimatpåverkan bygger på framåtblickande konsekvensanalys, se vidare i kapitel 3.

Referensfall och åtgärd för fallstudien sammanfattas i Tabell 4.10.

Studerade alternativ	Beskrivning	Huvudsaklig förändring jämfört med referensfall
Före åtgärd (referensfall)	Luftare i ARV underhålls enligt nuvarande rutiner	-
Efter åtgärd	Luftare i ARV underhålls i enlighet med SVU-rapport 2024-12 Övervakning och underhåll av luftarsystem	<ul style="list-style-type: none"> • Tätare byte av luftarmembran • Tätare rengöring med syra

Tabell 4.10

Referensfall och åtgärdsbeskrivning för VA SYD:s fallstudie.

Referensalternativet innebär alltså att underhållet fortsätter som i dag, med rengöring endast genom motionering av luftarna och byte av luftarmembran vart 10:e år.

Åtgärdsalternativet innebär ökad underhållsfrekvens enligt antagandena i SVU-rapport 2024-12. Fyra av VA SYD:s avloppsreningsverk (ARV) har ingått i analyserna, vilket sammanlagt omfattar cirka 600 000 personekvivalenter. Luftarsystemen består av membranluftare i plast/gummi, som fördelar luft i bassängerna. Luftarnas skick påverkar syreöverföringen och därmed elbehovet. De fyra ARV som undersökts har i dag totalt 17 400 luftare uppdelade på sju sorter vilket är beaktat i beräkningarna.

Klimatpåverkan från följande inkluderas i fallstudien:

- Tillverkning och avfallshantering av luftarmembran
- Slamsugning i samband med luftarmembransbyte
- Syraförbrukning vid årlig rengöring
- Syrautrustning (tillverkning, installation och drift)
- Förändrad elförbrukning vid drift.

Samtliga poster ovan avser tillförda utsläpp som antingen ökar eller minskar. Fallstudien omfattar inga undvikna utsläpp.

4.5.2 Beräkningsförutsättningar: Antaganden och indata

Antaganden och indata för åtgärden baseras i stor utsträckning på SVU-rapport 2024-12. Referensalternativet, alltså hur underhåll av luftare sker i dag samt dagens behov av energi, kemikalier och material, har erhållits från VA SYD. De övergripande antagandena framgår av Tabell 4.11.

Parameter	Referens (i dag)	Efter åtgärd
Luftarbyte	Vart 10:e år	Vart 5:e år
Syrarengöring	Ingen	En gång per år
Utrustning	Befintlig	Installation av syradoseringssystem

Tabell 4.11

Antaganden i referensfallet samt efter åtgärd.

- Åtgärdskonceptet i SVU-rapport 2024-12 bygger på erfarenheter från svensk och internationell drift, där regelbunden syrarengöring motverkar igensättning och bibehåller energieffektivitet. Konceptet omfattar regelbunden mätning av syreöverföring och mottryck, årlig syratvätt samt byte av membran vart 5:e år. I dag byter VA SYD membran ca vart 10:e år. Åtgärden innebär ökade materialflöden (fler luftare och mer transport) och kemikalieanvändning, men innebär en energieffektivisering i och med att luftarnas elförbrukning minskar. Den potentiella förbättringen i energieffektivitet med ovanstående underhåll varierar mellan reningsverk och har antagits motsvara en typisk nivå på 10 % minskad elanvändning, vilket baseras på resultat från Bengtsson och Samuelsson (2024).
- Luftarna antas bestå av en kombination av olika typer av hårdplaster, gummi och stål, beroende på luftartyp, där vissa till största delen består av stål och andra till större del av plast. Antaganden om vikt och komposition har hämtats från eller baserats

på luftarnas produktblad.

- *Syraförbrukningen* beräknades utifrån den befintliga syraförbrukningen på Sjölunda ARV i dag, vilket uppgår till ca 1,6 l syra per år per m² membran.
- När luftare byts behöver bassängen tömmas helt och *slamsugning* behövs för att få upp slam som ligger i botten av bassängerna. Bränsleförbrukning för detta antas till 1,3 l HVO/m³ slam.
- I beräkningen har *emissionsfaktorer från databasen Ecoinvent* använts via *SimaPro*, kombinerat med Profus framtidsscenarioer för klimatpåverkan från elproduktion i konsekvensperspektiv.
- *Utsläppen för el* minskar över perioden och baseras på Profus modellering av det nordeuropeiska kraftsystemet. Observera att utsläppsfaktorn kan variera beroende på antaganden om den framtida utvecklingen, speciellt avseende klimatambitioner och ifall de uppfylls för det nordeuropeiska kraftsystemet. Här har vi valt en analys med en hög klimatambition, dvs i linje med EU:s nuvarande klimatambitioner. Utsläppsfaktorn för el uppgår till ca 118 kg CO₂-ekv/MWh el för perioden 2025–2040, se fördjupad beskrivning om elens klimatpåverkan i avsnitt 3.6.

4.5.3 Resultat: Beräkning, analys, tolkning

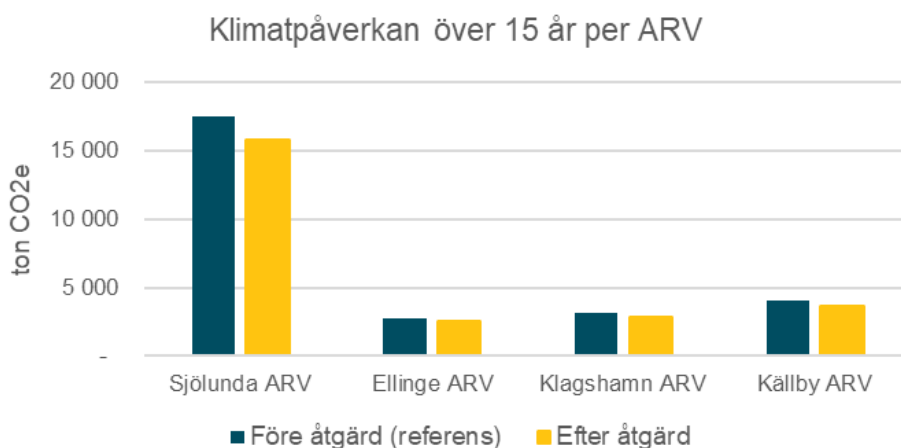
Energi

Ett viktigt syfte med att förändra underhållet av luftare är att minska elförbrukningen i reningsverken. Fallstudien är alltså i stor utsträckning fokuserad på energi och den elbesparing som kan göras genom tätare rengöring och byte av luftare. Åtgärden innebär ökad frekvens av slamtömning för att byta luftare. Därmed åtgår bränsle för slamsugning, vilket har antagits vara diesel. I Tabell 4.12 sammanfattas energianvändning före och efter åtgärd. Fallstudien har inte inkluderat någon förändrad produktion av el, värme eller bränslen.

Energianvändning	Referens (i dag)	Efter åtgärd
El (MWh/år)	15,5	13,9
Diesel (liter/år)	442	884
Diesel (MWh/år)	4,3	8,7

Klimat

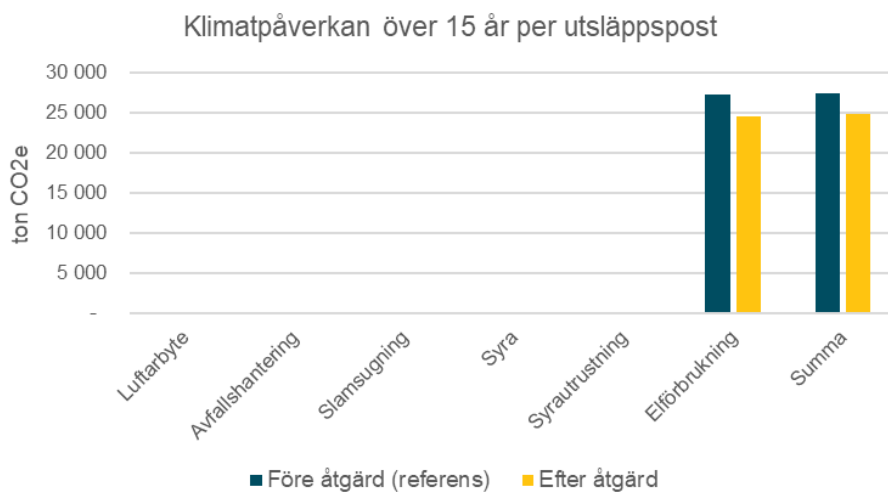
Resultatet visar på en minskning i klimatpåverkan för samtliga undersökta avloppsreningsverks klimatpåverkan för drift av luftare (Figur 4.12). Sjölunda är ett större avloppsreningsverk och har således högre staplar.



Figur 4.12

Resultat med och utan ändring av underhåll av luftare i ton CO₂-ekv över 15 år uppdelat på fyra avloppsreningsverk.

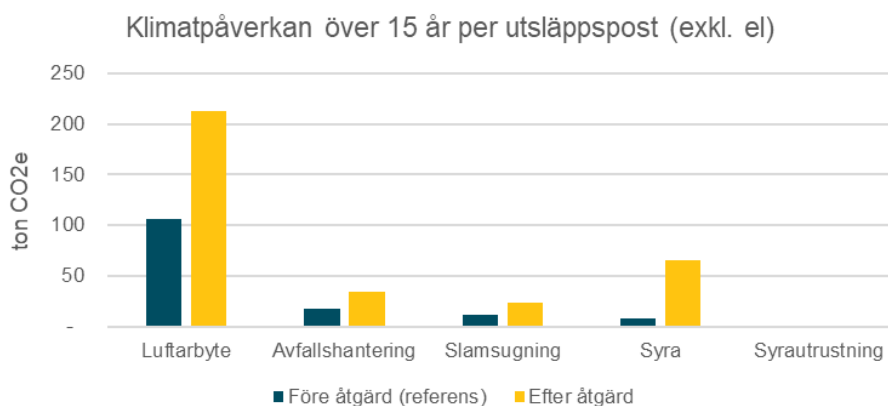
När resultatet över alla ARV summeras och delas upp efter klimatpåverkan från material, processer och energiförbrukning som ingår blir det tydligt att påverkan nästan enbart består av minskad påverkan från elkonsumtion som följd av effektivare luftare (Figur 4.13).



Figur 4.13

Resultat med och utan ändring av underhåll av luftare i ton CO₂-ekv över 15 år uppdelat på material, processer och energiförbrukning.

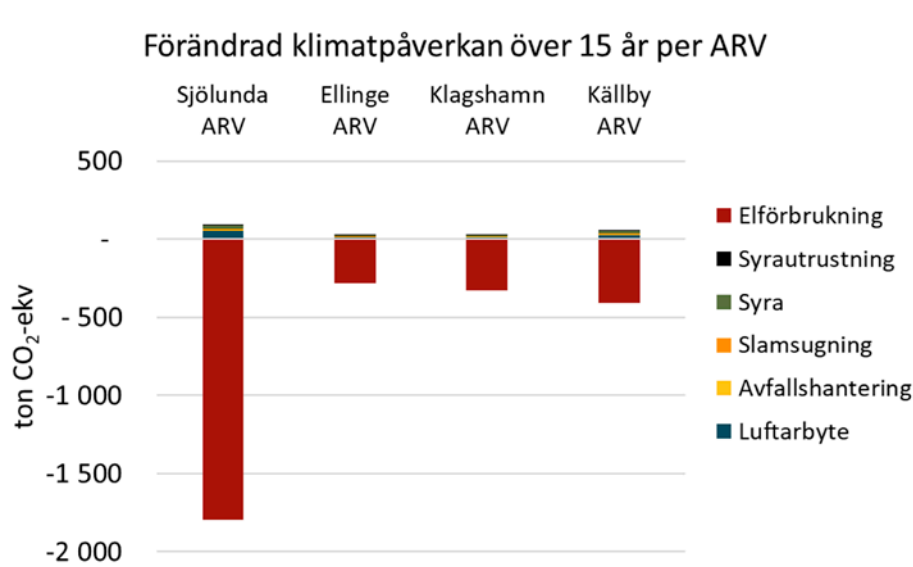
För att utvärdera resterande klimatpåverkan från material och energikonsumtion visas samma diagram i Figur 4.14 men utan utsläpp från elförbrukning. För dessa innebär ändringen en fördubbling i klimatutsläpp för luftarbyte, avfallshantering och slamsugning då bytet går från vart tionde till vart femte år. Syraförbrukningen ökar då syraanvändning går från endast en anläggningsdel på Sjölunda ARV till alla anläggningsdelar för samtliga studerade ARV. Påverkan från ny syrautrustning är försumbar.



Figur 4.14

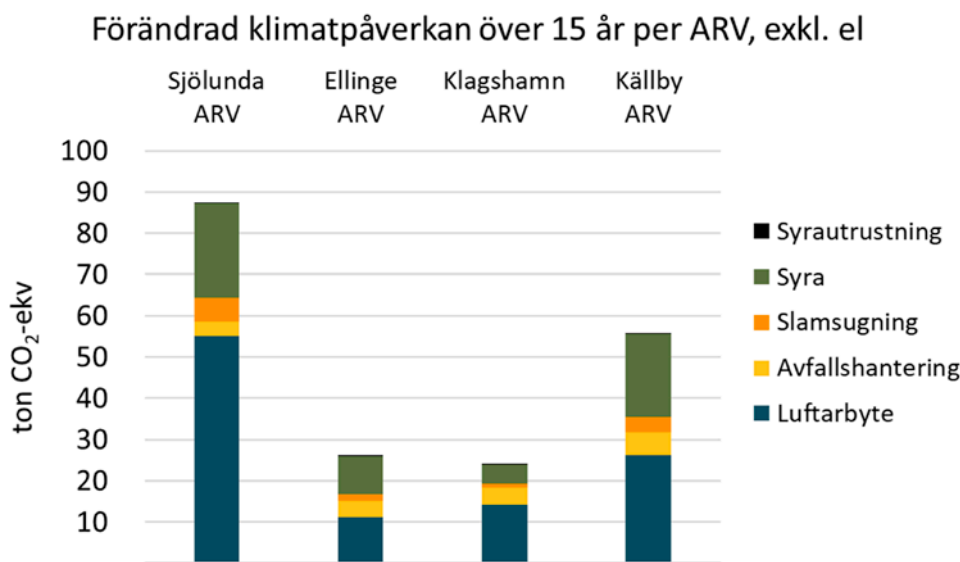
Resultat med och utan ändring av underhåll av luftare i ton CO₂-ekv över 15 år uppdelat på material och processer, men exklusive el för att synliggöra storleksordningen på dessa utsläppskällor.

När skillnaden mellan före och efter åtgärd delas upp efter ARV och klimatpåverkan från förbrukning kan vi utläsa storleksskillnaderna såväl mellan som inom respektive ARV (Figur 4.15). Sjölunda står för såväl största minskade som tillförda klimatpåverkan på grund av dess storlek men klimatpåverkan från förbrukning behöver inte nödvändigtvis vara direkt proportionerlig mot reningsverkets storlek. Exempelvis har Klagshamns ARV större klimatpåverkan från luftarbyte än Ellinge ARV, men Ellinge ARV har större klimatpåverkan från syraförbrukning än Klagshamns ARV. Detta beror på olika val av luftare som har olika klimatpåverkan och yta som behöver rengöras med syra. I Figur 4.16 visas samma resultat som i Figur 4.15, men exklusive utsläpp från elanvändning. Detta för att förtydliga storleksordningen mellan övriga utsläppsposter.



Figur 4.15

Skillnad i resultat mellan med och utan ändring av underhåll av luftare i ton CO₂-ekv över 15 år uppdelat i ARV och på material, processer och energiförbrukning. Staplar över noll innebär ökade utsläpp, staplar under noll innebär minskade utsläpp.

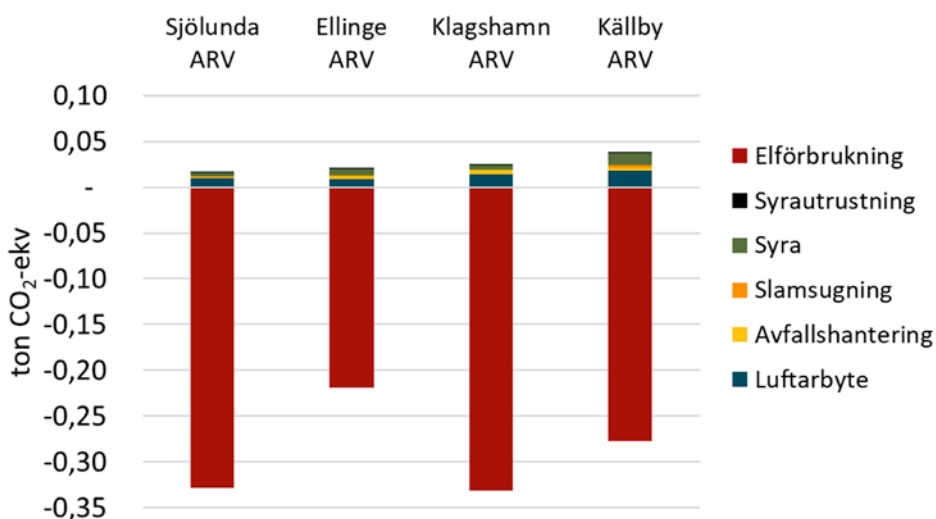


Figur 4.16

Samma figur som ovan (Figur 4.15), men exklusive minskade utsläpp från elanvändning för att förtydliga storleksordningen för övriga utsläppsposter.

I Figur 4.17 visas skillnad i tillförda och undvikna utsläpp per personekvivalent (pe) som är anslutna till respektive ARV. Definitionen av pe som användes är 70 g BOD₇ per pe och dygn. Här framgår att klimatbesparingen per pe varierar mellan olika ARV. Ett skäl till detta är att sammansättningen på avloppsvattnen är olika för de olika reningsverken. Ellinge ARV har t.ex. en stor andel av sin belastning från en livsmedelsindustri vilket ger relativt stort bidrag av organiskt material (BOD). I Figur 4.18 visas samma resultat som i Figur 4.17, men exklusive utsläpp från elanvändning. Detta för att förtydliga storleksordningen mellan övriga utsläppsposter.

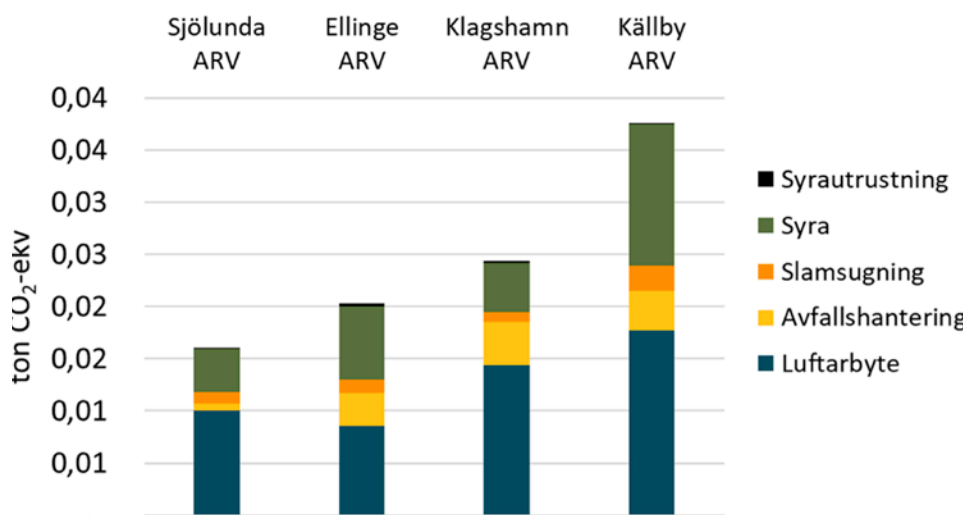
Förändrad klimatpåverkan per pe och år



Figur 4.17

Skillnad i resultat mellan med och utan ändring av underhåll av luftare i kg CO₂-ekv per pe per år uppdelat i ARV och på material, processer och energiförbrukning. Staplar över noll innebär ökade utsläpp, staplar under noll innebär minskade utsläpp.

Förändrad klimatpåverkan per pe och år, exkl. år



Figur 4.18

Samma figur som ovan (Figur 4.17), men exklusive minskade utsläpp från elanvändning för att förtydliga storleksordningen för övriga utsläppsposter.

Sammantaget ger åtgärden en total klimatnytta på ca 2 600 ton CO₂-ekv under 15 år för samtliga anläggningar tillsammans, eller knappt 175 ton CO₂-ekv/år. Den största nyttan kommer från minskad elförbrukning, medan klimatpåverkan ökar marginellt från material, slamsugning och syrarengöring. Även med antagande om framtida minskning av elens klimatintensitet (fram till 2040) är elbesparingen dominerande. Detaljerade resultat för olika utsläppsposter presenteras i Tabell 4.13. Klimatpåverkan per person-ekvivalent uppgår till cirka - 0,29 kg CO₂-ekv/pe och år.

Komponent	Förändrad klimatpåverkan	Kommentar
Elförbrukning	- ca 2 800 ton CO ₂ -ekv	Minskad energiåtgång vid effektivare luftning
Luftarmembran (produktion + avfall)	+ ca 120 ton CO ₂ -ekv	Tätare byten, fler membran produceras
Slamsugning	+ ca 12 ton CO ₂ -ekv	Fler tömningar och transporter
Syra och utrustning	+ ca 60 ton CO ₂ -ekv	Ökad kemikalieanvändning och utrustning
Totalt (netto)	≈ - 2 600 ton CO₂-ekv	Nettoresultat för alla ARV

Tabell 4.13

Förändrad klimatpåverkan för olika utsläppsposter.

En känslighetsanalys visar vidare att skillnader mellan olika syror för rengöring har begränsad betydelse för total klimatpåverkan. Myrsyra skulle ge något högre medan saltsyra skulle ge något lägre utsläpp än ättiksyra.

4.5.4 Diskussion

Elförbrukningen för luftning minskar tydligt redan första året efter införande av tätare rengöring. Förbättrad syrgasöverföring och lägre mottryck i luftarsystemen leder till direkt minskad energianvändning för blåsmaskinerna, vilket i sin tur minskar elrelaterade utsläpp.

Minskningen i klimatpåverkan för de fyra undersökta ARV motsvarar 0,32 % av VA SYD:s totala påverkan 2023 och 15 % av de elrelaterade utsläppen för de fyra undersökta reningsverken. Samtidigt står VA SYD:s utsläpp av lustgas för över 70 gånger större utsläpp. Förbättrad övervakning och underhåll av luftarsystem ska kanske i första hand ses som en effektivisering som minskar kostnader men leder till en viss minskning i klimatpåverkan ”på köpet”.

Även om klimatpåverkan från el minskar över tid i takt med ökad andel förnybart, visar studien att energieffektivisering fortfarande ger klimatnytta, om än minskande över tid. Utsläppen från ökad materialanvändning (membran, syra) motsvarar endast omkring 10 % av nyttan från elbesparingen under 15-årsperioden.

Åtgärden har dessutom ingen negativ påverkan på processens funktion eller efterföljande reningssteg – vilket gör den lätt att införa utan risk för försämrade reningsgrad.

De största osäkerheterna gäller:

- *Faktiska energibesparingar* vid olika reningsverk (beroende på hastigheten för den lokala försämringen av prestandan, driftförhållanden och styrning). Detta utgör den viktigaste osäkerheten eftersom elbesparingen utgör den absolut största förändringen i klimatpåverkan.
- *Livslängd och materialkomposition för luftarmembranen*. Efter elbesparingen har detta störst påverkan på resultaten och är även förknippat med osäkerheter. Bland annat har de produktblad som delvis utgjort underlag för antagandena inte varit fullständiga i redovisningen av materialkomposition.
- *Klimatfaktorer för tillverkning och avfallshantering* av komponenter till luftare.

4.5.5 Slutsatser

- Förändrat underhåll av luftarsystem har potential att ge en tydlig *energibesparing* då elförbrukningen för luftning minskar. Eftersom luftningen står för en betydande andel av reningsverkens totala elförbrukning så är åtgärden mycket intressant ur energiperspektiv.
- *Klimatnyttan* av den antagna minskade elförbrukningen överväger ökningen av utsläpp från material, kemikalier och slamsugning.
- Nettoeffekten uppgår till cirka 2 600 ton CO₂-ekv reduktion över 15 år, motsvarande ~175 ton CO₂-ekv/år.
- Åtgärden bidrar dessutom till ökad marginal i kapaciteten för blåsmaskinerna.

4.5.6 Rekommendationer

- *Implementera förändrat underhåll av luftare* på samtliga större reningsverk där luftning står för en betydande del av energianvändningen.
- *Följ upp elförbrukning och mottryck* kontinuerligt för att kvantifiera faktisk besparing.
- *Undersök möjligheten till cirkulära materialflöden* för luftarmembran (återvinning eller återanvändning).

5 Diskussion och slutsatser

5.1 Klimatpåverkan och klimatnytta vid byggnation och drift

Projektet har vidareutvecklat och tillämpat en metodik för att analysera energi- och klimatpåverkan av åtgärder i VA-systemen ur ett framåtblickande konsekvensperspektiv. De genomförda fallstudierna visar hur denna metodik kan användas för åtgärder som spänner från driftförändringar till större investeringar. Resultaten av fallstudierna ska ses som exempel och inte exakta svar, bland annat då de är platsspecifika och begränsas av de antaganden och analyser som varit möjliga att genomföra inom ramen för detta projekt.

Fallstudierna visar att åtgärder inom VA-sektorn i många fall kan ge tydlig klimatnytta i ett livscykelperspektiv. Denna nytta kan uppstå genom att utsläpp undviks i andra delar av samhället. Exempel är när biogas ersätter fossila bränslen, såsom i LBVA:s fallstudie eller när slam som läggs på åkermark bidrar till att binda in biogent kol i olika utsträckning som i Syvabs fallstudie. Nyttan kan också uppstå genom minskade tillförda utsläpp under driften, till exempel genom energieffektivisering eller minskat behov av kemikalier. Ett exempel från fallstudierna är minskat elbehov genom åtgärder i luftarsystem, som VA SYD:s fallstudie analyserat.

Samtidigt sker i vissa fall betydande utsläpp i bygg- och investeringsskedet. Dessa utsläpp sker ofta initialt i en åtgärds livscykel till skillnad från tillförda och undvikna utsläpp under driften, vilka kan påverkas under hela livscykeln. I fallstudien om dagvattenseparering (Kretslopp och vatten) vägdes de initiala utsläppen från ledningsbyggnation bara delvis upp av klimatnyttan under driften, baserat på de antaganden som gjordes. Det beror delvis just på att investeringsutsläppen sker initialt medan klimatnyttorna uppstår i driften under åtgärdens hela livslängd. Dessa nyttor antas minska över tid i takt med teknikutvecklingen, vilket i relevanta fall har inkluderats i beräkningarna. Detta visar också på behovet av att minimera de initiala utsläppen, till exempel att välja material med låg klimatpåverkan.

Tidsperspektivet har visat sig vara centralt. Resultaten påverkas starkt av hur lång tidsperiod som inkluderas och hur framtida förändringar i energisystem och teknik antas utvecklas. I Mälarenergis fallstudie om minskat vattenbehov syns till exempel en successiv minskning av klimatpåverkan över tid, delvis beroende på antagandet om att el- och kemikalieproduktion i framtiden har lägre klimatpåverkan.

5.2 Centrala lärdomar från fallstudierna

Syntesen av fallstudierna pekar ut några gemensamma lärdomar:

- *Konsekvensperspektivet tydliggör både nyttor och avvägningar*
Åtgärder som initialt innebär ökade utsläpp kan ge långsiktig nytta, medan andra ger snabb nytta men avtagande effekt över tid. Den typen av insikter framträder inte vid traditionella, bakåtblickande beräkningar.
- *Dynamik över livslängden är centralt*
Fallstudierna visar att byggutsläpp sker tidigt medan driftutsläpp och undvikna utsläpp ackumuleras långsamt. Klimatnyttan kan alltså avta eller öka över tid beroende på teknik och externa faktorer. Detta visar vikten av att analysera hur tillförda och undvikna utsläpp utvecklas över hela åtgärdens livslängd.

-
- *Tydliga och ej för snäva systemgränser är avgörande*
Om analysen enbart omfattar direkta utsläpp riskerar man att förbise större klimatnyttor eller bieffekter. Att inkludera omvärldseffekter, t.ex. undvikna utsläpp genom ersättning av fossila energibärare i övriga samhället, kan förändra slutsatserna. Det är alltså viktigt att tydligt definiera systemgränserna för åtgärdsanalysen och att systemgränserna inte är för snäva för att fånga in alla väsentliga omvärldseffekter.
 - *Resultaten beror av de antaganden som görs*
Alla klimatberäkningar som omfattar ett bredare systemperspektiv än egna direkta utsläpp kräver antaganden och beräkningsförutsättningar. Det framåtblickande perspektivet lägger till en dimension av osäkerhet eftersom ingen i dag med säkerhet kan veta hur klimatpåverkan utvecklas framåt. Ett sätt att hantera särskilt osäkra antaganden är att göra känslighetsanalyser.
 - *Materialrelaterade utsläpp får ökad betydelse*
I takt med att driftens utsläpp minskar blir utsläpp från byggnation och komponenter proportionellt större. Det pekar på vikten av att minimera de initiala utsläppen från byggnation för att åtgärderna ska ge långsiktigt lägre klimatpåverkan än om åtgärden inte vidtas.
 - *Energiomställningens hastighet påverkar resultaten*
Om elproduktionen i Nordeuropa snabbt blir mer förnybar, minskar klimatnyttan av elbesparande åtgärder. Samtidigt ökar nyttan av åtgärder som minskar utsläpp från kemikalier, material eller metan- och lustgasemissioner.
 - *Framtida klimatprestanda för kemikalier och insatsvaror är osäkra*
I flera fallstudier spelar klimatprestanda för kemikalier stor roll för resultaten. Förhoppningsvis kommer klimatpåverkan från dessa att minska, men det är osäkert hur snabbt det kommer att ske.

5.3 Metodens betydelse

Framåtblickande konsekvensanalys är ett användbart verktyg för att förstå systemeffekter och undvika missvisande slutsatser. Konsekvensanalys fokuserar på hur utsläppen förändras till följd av en åtgärd. Det innebär att metodiken bättre svarar på frågan som beslutsfattare ofta ställer: *Vilken klimatpåverkan får den här åtgärden – totalt sett och över tid?*

Den framåtblickande metoden ger underlag kring en åtgärds totala klimatpåverkan över livslängden. Många åtgärder i VA-sektorn har lång livslängd, vilket utgör en utmaning, då det kräver antaganden om hur klimatpåverkan förändras under kanske så lång tid som upp till 100 år. Till detta kommer även osäkerheter i antaganden om vilka effekter åtgärderna ger. Exempelvis har fallstudien om separering av dagvattenledning (Kretslopp och vatten i Göteborg) visat sig innebära svåra antaganden kring konsekvenser av minskade källaröversvämningar. Dessa antaganden påverkar resultaten, men de gör också beräkningarna mer relevanta för beslut. Metoden förutsätter därmed en medvetenhet hos användaren om att resultaten inte ska tolkas som exakta sanningar, utan som ett beslutsunderlag som visar sannolika riktningar och belyser vilka delar som kräver fördjupad analys.

Trots osäkerheter i antaganden kan känslighetsanalyser ge ett värdefullt beslutsstöd. Genom att pröva olika antaganden och scenarier kan man identifiera alternativ som konsekvent presterar sämre än andra. Dessa kan då med relativ trygghet väljas bort, eftersom de visar sig vara mindre fördelaktiga oavsett hur centrala parametrar förändras.

På samma sätt kan känslighetsanalyser lyfta fram alternativ som uppvisar god klimatprestanda oavsett antaganden och scenarier. När ett alternativ är robust, det vill säga visar bättre resultat än andra under många olika förutsättningar, stärks underlaget för att gå vidare med just det alternativet.

5.4 Övergripande slutsatser

Slutsatser för fallstudierna presenteras i respektive delavsnitt i kapitel 4. Utöver dessa har följande övergripande slutsatser dragits från projektet:

- Framåtblickande konsekvensanalys ger ett mer relevant underlag för beslut om åtgärder än traditionella, bokföringsbaserade klimatberäkningar. Samtidigt finns utmaningar i antaganden om exempelvis framtida utveckling.
- Ett systemperspektiv synliggör klimatnytta även utanför VA-organisationens gränser, till exempel genom att fossila utsläpp undviks i andra sektorer.
- Metoden kan användas som beslutsstöd vid val av åtgärder, tekniska lösningar och material, och kan kombineras med exempelvis kostnadsbedömningar för att prioritera mest effektiva åtgärder och välja bort minst effektiva åtgärder.
- Åtgärder inom VA-systemen kan ge betydande klimatnytta över tid, även om de orsakar utsläpp i bygg- eller investeringsskedet.
- Systemgräns, tidsperspektiv och antaganden påverkar resultaten starkt. Det är rekommenderat att genomföra känslighetsanalyser, särskilt för utsläppsposter som både bedöms betydelsefulla och osäkra.
- Bygg- och materialrelaterade utsläpp blir allt viktigare i takt med att driftens utsläpp minskar; dessa behöver därför beaktas tidigt i planeringen.
- Projektet visar behov av fortsatt utveckling bland annat kring fossilt kol i inkommande avloppsvatten, klimatpåverkan från olika slamhantering baserat på slamkvalitet, framtida utveckling av klimatpåverkan från el, material och kemikalier, möjlighet att minska utsläpp från bygg- och investeringsskedet, dagvattensepareringens påverkan på rening och behov av nytt reningsverk, samt kolinlagring i mark när slam läggs på åkermark. Likaså finns behov av att sprida kunskap om metodiken samt göra den mer tillgänglig i VA-sektorn, till exempel genom goda exempel och kunskapsspridning.

6 Behov av fortsatt forskning

6.1 Fossilt kol i inkommande vatten

Fossilt kol i inkommande avloppsvatten utgör en osäker men potentiellt betydelsefull faktor. Det finns indikationer på att delar av de organiska kolflödena i avloppsvatten har fossilt ursprung, vilket kan påverka resultaten i flera typer av analyser – exempelvis vid beräkning av biogasens klimatnytta eller vid kolbalans i slamhantering. Detta är ett område som bör studeras vidare.

6.2 Slamkvalitet och klimatpåverkan vid olika användningsområden

Klimatnytta av åtgärder som innebär förbättrad slamkvalitet behöver studeras vidare. I Kretslopp och vattens fallstudie antas att dagvattenseparering innebär förbättrad slamkvalitet. Förbättrad slamkvalitet öppnar upp för alternativ hantering av slammet. I detta projekt har vi utgått från att mer slam än i referensfallet återförs till åkermark och tillför näringsämnen. I referensfallet används i stället motsvarande mängd slam (med lägre kvalitet) för jordtillverkning. Klimatpåverkan av denna förändring har beräknats med Svenskt Vattens klimatberäkningsverktyg för VA-anläggningar (Svenskt Vatten 2025a). Resultaten visar då att klimatpåverkan ökar. Det beror på att verktyget utgår från att slam till jord ersätter torv med mycket hög klimatpåverkan. Verktyget ger alltså resultatet att det alltid är bättre ur klimatsynpunkt att använda slammet för jordtillverkning i stället för att ersätta konstgödsel på åkermark.

Här finns behov av att fördjupa analysen och t.ex. undersöka om detta är robusta slutsatser även i ett långsiktigt perspektiv. Det är till exempel osäkert om slam får användas för jordförbättring i framtiden och om detta alltså är rätt referens att jämföra med. Det är också osäkert om torv kommer att användas för jordtillverkning i framtiden. En tänkbar utveckling är att slam av god kvalitet i framtiden får gå till åkermark, medan slam som inte lever upp till särskilda kvalitetskrav går till förbränning.

6.3 Framtida utveckling av klimatpåverkan från el, material och kemikalier

Eftersom klimatpåverkan från el förekommer i samtliga fallstudier skulle det vara intressant att studera flera framtida elscenarier. Klimatpåverkan från framtida elanvändning är till exempel avgörande för resultaten i VA SYD:s fallstudie. Denna rapport bygger på ett mycket klimatambitiöst scenario som Profu tagit fram. Scenariot togs fram för några år sedan innan de senaste årens geopolitiska osäkerheter som delvis fört med sig ett minskat fokus på klimat i EU.

På motsvarande sätt finns behov av att bättre förstå hur klimatpåverkan från material och kemikalier kan komma att utvecklas i framtiden. I projektet har vi exempelvis gjort antaganden om successiv förbättring av klimatprestanda för vissa kemikalier. Här finns behov att djupare analysera specifika kemikalier och vilka möjligheter som faktiskt finns att minska utsläppen från dessa.

6.4 Dagvattensepareringens konsekvenser för rening och byggnation av nytt reningsverk

I Kretslopp och vattens fallstudie gjordes antagandet att ett nytt reningsverk ändå skulle behöva byggas under åtgärdens hundraåriga livslängd. Detta antagande skulle behöva analyseras vidare då det sannolikt kan ha stor inverkan på resultaten. Dagvattenseparering kan mycket väl innebära att det nya reningsverket inte behöver dimensioneras på samma sätt. Dessutom finns behov att studera hur drift vid höga flöden (på grund av tillskottsvatten) påverkar utsläpp av växthusgaser från reningsverket.

6.5 Kolinlagring i mark och osäkerheter kring långsiktig kolstabilitet

Kolinlagring är en central komponent i klimatbedömningar av slamhantering, men dagens kunskap om hur stor andel av kolet som faktiskt binds in långsiktigt i mark är begränsad. De faktorer som används i nuvarande version av Svenskt Vattens verktyg skiljer sig från tidigare versioner och bygger på antaganden som är förknippade med betydande osäkerheter, både för avvattnat/torkat slam och för slambiol. Resultaten i fallstudien visar att skillnader i antagna inbindningsnivåer kan påverka rangordningen mellan olika behandlingsalternativ.

6.6 Utvecklad pedagogik, verktyg samt visualisering av resultat

Framåtblickande konsekvensanalys är relativt komplext eftersom det omfattar en vid systemgräns och behov av att blicka framåt i tiden. Det finns därför behov av att vidareutveckla checklistor, verktyg och liknande för att förenkla användningen av metodiken. Ett första utkast till checklista finns i Bilaga B.

Kommunikationen av resultat är viktig. Flera fallstudier visar att klimatberäkningar behöver kompletteras med pedagogiska sätt att visa vad som driver resultaten – till exempel genom att visualisera hur tillförda och undvikna utsläpp ökar respektive minskar över tid, visa kostnad per undviket ton CO₂-ekv eller relatera resultat till totala utsläpp i verksamheten.

Referenser

- Avfall Sverige (2023). *Nytt klimatverktyg för avfallstransporter*. <https://www.avfallsverige.se/aktuellt/nyheter/nytt-klimatverktyg-for-avfallstransporter/> [2026-01-30].
- Bengtsson S. och Samuelsson O. (2024). *Övervakning och underhåll av luftarsystem*. SVU-rapport 2024-12. Stockholm: Svenskt Vatten Utveckling.
- EBA (2024). *EBA Statistical Report 2024 unveiled: key market trends from the biogas and biomethane industries in Europe, webinarium* [Intervju, 2024-12-04].
- EBA (2025). *EBA Roadmap towards 2040: Biogases as substantial source of circular and affordable energy for Europe*, European Biogas Association, maj 2025.
- Eurostat (2025). *Natural gas supply statistics*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Natural_gas_supply_statistics [2025-10-21].
- Fredriksson O., Arvidsson D., Lorick D., Kjerstadius H. och Murto M. (2025). *Termofil rötning – en inventering. En genomgång av hur termofila rötningsanläggningar presterar och påverkar klimatet*. SVU-rapport 2026-5. Stockholm: Svenskt Vatten.
- GHGP (2004). *The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard. Revised Edition*. Washington, DC: World Resources Institute (WRI) and World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).
- GHGP (2005). *The GHG Protocol for Project Accounting*. Washington, DC: World Resources Institute (WRI) and World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).
- GHGP (2014). *GHG Protocol Policy and Action Standard: An Accounting and Reporting Standard for Estimating the Greenhouse Gas Effects of Policies and Actions*. Washington, DC: World Resources Institute (WRI).
- GHGP (2018). *Estimating and Reporting the Comparative Emissions Impacts of Products*. Washington, DC: World Resources Institute (WRI).
- Gustafsson M., Ek L., Hellman J., Henriksson A. och Lazic A. (2025). *Slambiol – marknadspotential, kolkrediter och affärsmodell*. SVU-rapport 2025-7. Stockholm: Svenskt Vatten.
- Profu (2025a). *Klimatbokslut för Halmstad Energi och Miljö år 2024*, Stockholm: Profu.
- Profu (2025b). *Klimatbokslut för Mälarenergi år 2024*, Stockholm: Profu.
- Profu (2026). *Klimatbokslut*. <https://profu.se/articles/klimatbokslut> [2026-01-30]
- Svenskt Vatten (2025a). *Klimatberäkningsverktyg för VA-anläggningar. Användarmanual*. Version 4. Stockholm: Svenskt Vatten. <https://www.svensktvatten.se/vara-sakomraden/klimat-och-hallbarhet/klimatneutral-va/>
- Svenskt Vatten (2025b). *Klimatberäkning för ledningsprojekt VA. En vägledning*. Version 1. Stockholm: Svenskt Vatten. <https://www.svensktvatten.se/vara-sakomraden/klimat-och-hallbarhet/klimatneutral-va/>
- Trafikverket (2026). *Välkommen till Trafikverkets modell Klimatkalkyl!* <https://klimatkalkyl.trafikverket.se/> [2026-01-30]
- Voulgaridis T., Wollin P., Trinh Y., Ramstedt S., Gäfvert L., Bodin A., Gärdeklint H., Wallberg J. och Lubera J. (2025). *Klimatpraktika för ledningsnätsprojekt inom VA. En vägledning om hur VA-organisationer kan minimera utsläpp i ledningsnätsprojekt till störst nytta*. SVU-rapport 2025-4. Stockholm: Svenskt Vatten.

Weidema B., Pizzol M., Schmidt J. & Thoma G. (2018). Attributional or consequential Life Cycle Assessment: A matter of social responsibility. *Journal of Cleaner Production*, Volym 174, pp. 305-314.

Wernet G., Bauer C., Steubing B., Reinhard J., Moreno-Ruiz E., Weidema B. (2016). The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(9), p. pp.1218–1230.

Bilagor

Bilaga A Exempel på standarder och litteratur inom miljövärdering

Metodikerna som beskrivs i denna rapport bygger på etablerade principer inom livscykelanalys (konsekvens-LCA) och befintlig metodik för framåtblickande klimatberäkningar. Nedan anges exempel på standarder och litteratur som beskriver metoden.

Standarder:

- ISO 14040:2006 – *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*
- ISO 14044:2006 – *Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*
- *Corporate Carbon and Climate Accounting*, Springer International Publishing Switzerland 2015, S. Schaltegger et al. (eds.), DOI 10.1007/978-3-319-27718-9_5, 2015
- *GHG Protocol Standard on Quantifying and Avoided Emissions - Summary of online survey results*, The Greenhouse Gas Protocol, <http://www.ghgprotocol.org>, March 2014.
- *The GHG Protocol for Project Accounting*. Washington, DC: World Resources Institute (WRI) and World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), 2005.
- *GHG Protocol Policy and Action Standard: An Accounting and Reporting Standard for Estimating the Greenhouse Gas Effects of Policies and Actions*. Washington, DC: World Resources Institute (WRI), 2014
- *Estimating and Reporting the Comparative Emissions Impacts of Products*. Greenhouse Gas Protocol, Washington, DC: World Resources Institute (WRI), 2018.

Övriga rapporter och vetenskapliga artiklar:

- Nordenstam L. Attributional or consequential assessments in a cyclic greenhouse gas management process – Comparison of guidance on use and production of electricity and district heating, *Journal of Cleaner Production*, volume 317, 2021.
- Weidema B., Pizzol M., Schmidt J., Thoma G. Attributional or consequential Life Cycle Assessment: A matter of social responsibility, *Journal of Cleaner Production*, volume 174, 2018.
- Erlandsson M., Ekvall T., Lindfors L.-G., Jelse K. Robust LCA: *Typologi över LCA-metodik – Två kompletterande systemsyner*, IVL Rapport B 2122, 2014.
- Ekvall T., Gode J., Sköldbberg H. *Miljöbedömning av energi – några metodfrågor och begrepp*. Nepp rapport, mars 2020
- Profu, 2025. *Klimatbokslut Fördjupning – Fördjupad beskrivning av metoden, avgränsningar och antaganden för Profus klimatbokslut*, mars 2025.

Bilaga B Checklista för framåtblickande konsekvensanalys i VA-sektorn

Denna checklista är ett praktiskt stöd för VA-organisationer som vill tillämpa framåtblickande konsekvensanalys (systemperspektiv) som beslutsunderlag för åtgärder.

1. Om analysen

- Är syftet med analysen tydligt formulerat (t.ex. om syftet är att ta fram beslutsunderlag för investering eller förändring av drift)?
- Är det motiverat varför framåtblickande konsekvensanalys används (t.ex. att det är åtgärders klimatpåverkan under hela livslängden som ska utvärderas)?
- Är referensfallet tydligt beskrivet och realistiskt?
- Är åtgärden/åtgärdsalternativen tydligt definierade (teknik, dimensionering, lokalisering)?
- Är både investerings- och driftskede inkluderade?
- Är livslängd och genomförandetidpunkt angivna?
- Omfattar systemgränsen direkta och indirekta utsläpp samt effekter i omgivande system?
- Är analysperioden definierad (t.ex. tänkt startår för åtgärden samt rimlig livslängd)?

2. Beräkningsförutsättningar

- Är förändringar i energianvändning (el, värme, bränslen) kvantifierade?
- Är förändringar i material- och kemikalieanvändning inkluderade?
- Är transporter och förändringar i processutsläpp (metan, lustgas m.m.) beaktade?
- Är relevanta utsläppsfaktorer (LCI-data) identifierade och dokumenterade?
- Har framtida utveckling av utsläppsfaktorer beaktats?
- Är centrala tekniska och systemrelaterade antaganden dokumenterade?
- Vilka parametrar bedöms osäkra och är lämpliga för känslighetsanalys?

3. Resultat

- Är tillförda utsläpp (investering + drift) beräknade?
- Är undvikna utsläpp i omgivande system beräknade?
- Är nettoförändringen i klimatpåverkan tydligt redovisad?
- Redovisas resultat över hela livslängden och/eller per år?
- Är det tydligt vilka poster som dominerar resultatet? Har känslighetsanalyser gjorts för de viktigaste osäkra posterna?

4. Diskussion

- Är resultaten satta i relation till osäkerheter och antaganden?
- Identifieras det vilka parametrar som har störst påverkan på utfallet?
- Framgår det tydligt vilka utsläpp som ökar eller minskar inom den egna verksamheten jämfört med i omgivande samhälle?
- Diskuteras eventuella mållkonflikter (t.ex. klimat vs. andra miljömål, kostnad)?
- Diskuteras hur resultaten kan förändras vid annan systemutveckling (t.ex. olika utveckling av framtida elsystem eller teknikutveckling som kan påverka kemikaliers klimatprestanda)?

5. Slutsatser

- Är det tydligt om åtgärden netto ger en minskning eller ökning av utsläpp över hela livslängden?

-
- Framgår det när i tiden klimatnyttan uppstår (kort sikt vs. lång sikt)?
 - Är det tydligt vilka resultat som är robusta respektive osäkra?
 - Är slutsatserna direkt kopplade till analysens resultat?

6. Rekommendationer

- Vilka rekommendationer om åtgärder kan utläsas ur resultaten?
- Har möjliga förbättringar av åtgärden identifierats (t.ex. materialval, teknikval, minskade investeringsutsläpp)?
- Har behov av fortsatt analys eller datainsamling identifierats?
- Har analysen kopplats till kostnad, genomförbarhet eller andra beslutsfaktorer vid behov?

Svenskt Vatten

UTVECKLING

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB

POSTADRESS BOX 14057, 167 14 Bromma

BESÖKSADRESS Gustavslundsvägen 12, 167 51 Bromma

TELEFON 08-506 002 00

E-MAIL svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se