



CHALMERS



Flexibla och robusta lösningar för avloppsrening

Kandidatarbete inom samhällsbyggnadsteknik

OLUWASEYITAN EMMANUEL ADENIYI, MOHAMMED AWAD, ABDULLAH KARIM
& EMIL LANNERÅS

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
AVDELNINGEN FÖR VATTEN MILJÖ TEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2026

www.chalmers.se

Kandidatarbete ACEX11-VT26-70

Flexibla och robusta lösningar för avloppsrening

Oluwaseyitan Emmanuel Adeniyi

Mohammed Awad

Abdullah Karim

Emil Lannerås

Flexibla och robusta lösningar för avloppsrening

© OLUWASEYITAN EMMANUEL ADENIYI, MOHAMMED AWAD, ABDULLAH
KARIM & EMIL LANNERÅS

Handledare: Oskar Modin, avdelningen för vatten miljö teknik

Examinator: Britt-Marie Wilén, avdelningen för vatten miljö teknik

Kandidatarbete 2026

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för vatten miljö teknik

ACEX11-VT26-70

Chalmers tekniska högskola

SE-41296 Gothenburg

Telephone +46 31 772 1000

Omslagsbild: AI-genererad (OpenAI DALL·E), 2026



CHALMERS

Förord

Arbetet har gett oss möjlighet att fördjupa oss i hur avloppssystemet är uppbyggt och vilka problem och risker som finns. Detta har gett oss en djupare förståelse kring systemet och är viktiga lärdomar som vi kommer bära med oss i våra framtida karriärer inom samhällsbyggnad.

Vi vill ta tillfället i akt att tacka vår handledare Oskar Modin och vår examinator Britt-Marie Wilén som gett oss stöd och vägledning i arbetet. Ett speciellt tack till Oskar som har hjälpt oss med kontakter inom branschen för intervjuer samt ordnade ett studiebesök på Ryaverket i Göteborg.

Utöver vår handledare och examinator vill vi tacka Ann, Maria, David och Gustaf som är experter som valt att ta sin tid och ställa upp på intervju med oss. De har delat med sig av sina långa erfarenheter inom branschen och gett oss viktiga insikter till vårt arbete. Även ett stort tack till Ryaverket och Gryaab som tillät oss att gå på ett studiebesök på reningsverket, som har varit viktigt i vår förståelse hur reningsverk fungerar i praktiken.

Sammanfattning

Utsläpp av orenat avloppsvatten i miljön innebär risker för människors hälsa och skador på ekosystem. Olika typer av tekniska processer används därför för att rena avloppsvatten. Globala problem såsom befolkningsökning, geopolitiska spänningar och klimatförändringar kan dock innebära utmaningar för avloppssystemen.

Denna rapport baseras på en litteraturstudie som undersöker de nuvarande avloppsreningssystemen som vanligtvis används runt om i världen för att fastställa deras anpassningsförmåga och robusthet när det gäller att hantera vissa scenarier. Dessa scenarier inkluderar förändringar i flöde, temperaturen, tillgång till kemikalier och störningar kopplade till infrastrukturen för avloppsrening. Reningsmetoderna är sedimentering, aktivtslamprocessen, MBR-processen, MBBR-processen, AGS-processen, biofiltrering och småskaliga lösningar.

Denna litteraturstudie stöds ytterligare genom intervjuer med branschexperter baserade i Göteborg för att ge en bättre förståelse av ämnet i relation till staden. Intervjuerna visar att det största problemet för avloppsrening i Göteborg är variation i inflödet. Detta beror främst på att inflödet av dagvatten överbelastar systemet. Klimatförändringar och underhållsproblem förvärrar problemet ytterligare, eftersom befintliga ledningsnät inte utformades för att ta hänsyn till sådana stora avvikelser orsakade av klimatförändringar, samtidigt som underhållstakten inte motsvarar denna avvikelse.

Bedömningsmatriser användes för att bedöma de olika avloppsreningsmetoderna i relation till de valda störningsscenarierna, baserat på de intervjuade experternas perspektiv. Resultaten jämfördes sedan med en andra utvärderingsmatris som härleddes från litteraturstudien. Även om vissa skillnader observerades mellan de två bedömningarna, pekade de övergripande slutsatserna i samma riktning, nämligen att mer robusta och flexibla reningsmetoder klarar utmaningar bättre än metoder som är mer beroende av stabila driftförhållande, kemikalier och energi.

Efter en djupare undersökning av ämnet, med stöd av både litteratur och intervjuer med experter, visade sig resultaten vara relevanta och nära kopplade till praktisk erfarenhet. Jämförelsen visade att slutsatserna från litteraturen i stor utsträckning överensstämde med experternas intervjuer från verklig avloppsreningsverksamhet, även om vissa skillnader identifierades. Detta indikerar att utvärderingen ger en realistisk förståelse av hur olika reningsmetoder kan reagera på externa störningar.

Abstract

The discharge of untreated wastewater into the environment poses risks to human health and causes damage to ecosystems. Therefore, different types of technical processes are used to treat wastewater. However, global problems such as population growth, geopolitical tensions, and climate change can create challenges for wastewater systems.

This report is based on a literature study examining the current sewage treatment systems commonly deployed across the world to ascertain their adaptability and robustness when it comes to addressing certain scenarios. These scenarios include a change in sewage influent flow rate, a change in sewage influent temperature, lack of chemicals for sewage treatment, and disturbances related to sewage treatment infrastructure. The methods of treatment are sedimentation, active sludge process, MBR process, MBBR process, AGS process, biofiltration, and small-scale solutions.

This literature study is further supported through interviews with industry experts based in Gothenburg to provide a better understanding of the topic in relation to the city. The interviews indicate that the major issue for sewage treatment in Gothenburg is variation in influent flow rate. This is mainly due to the centralized system being used for both black and graywater treatment, leading to the inflow of stormwater overloading the system. Climate change and maintenance issues further worsen the problem, since existing pipe networks were not designed to consider such large deviations caused by climate change, while the pace of maintenance does not match this deviation.

Evaluation matrices were used to assess the different sewage treatment methods in relation to the selected disturbance scenarios, based on the perspectives of the interviewed experts. The results were then compared with a second evaluation matrix derived from the literature study. While some differences were observed between the two assessments, the overall conclusions pointed in the same direction.

After a deeper investigation of the subject, supported by both literature and interviews with experts, the results were found to be relevant and closely connected to practical experience. The comparison showed that the conclusions from the literature largely corresponded with the experts' interviews from real sewage treatment operations, even though some differences were identified. This indicates that the evaluation provides a realistic understanding of how different treatment methods may respond to external disturbances.

Innehållsförteckning

Förord	4
Sammanfattning	5
Abstract	6
1. Inledning.....	9
1.1 Bakgrund	9
1.2 Syfte	10
1.3 Frågeställningar	10
1.4 Avgränsningar.....	10
2. Litteraturoversikt.....	11
2.1 Reningsprocesser.....	11
2.1.1 Sedimentering.....	11
2.1.1.1 Faser av sedimentering.....	11
2.1.1.2 Konventionella gravitation baserade system.....	12
2.1.1.3 Alternativa och högeffektiva processer	13
2.1.2 Aktivtslamprocessen.....	14
2.1.3 MBR	15
2.1.4 MBBR	16
2.1.5 AGS	17
2.1.6 Biobädd	18
2.1.7 Småskaliga lösningar.....	20
2.2 Yttre påverkan och störningar på avloppsreningsverk	21
2.2.1 Varierande flöden	21
2.2.2 Varierande temperatur	21
2.2.3 Kemikaliebrist	22
2.2.4 Infrastruktur.....	23
3. Metod	24
3.1 Litteraturstudie	24
3.2 Val av reningsprocesser	24
3.3 Val av yttre störningar	24
3.4 Val av vilka behov och kostnader att jämföra	24
3.5 Bedömningsmatris för robusthet	25
3.6 Bedömningsmatris för behov och kostnader	25

3.7 Intervjuer	26
3.8 Intervjufrågor	26
3.9 Studiebesök	27
3.10 Analysmetod.....	27
3.11 Metodkritik.....	27
3.12 Etiska övervägande, intervju	28
3.13 AI användning	28
4. Resultat.....	29
4.1 Bedömningsmatriserna.....	29
4.2 Identifierade driftproblem	30
4.3 Föreslagna lösningar från intervjupersoner på driftproblem.....	31
5. Diskussion	32
5.1 Sedimentering.....	32
5.2 Aktivt slam	32
5.3 MBR	33
5.4 MBBR	33
5.5 AGS	34
5.6 Biobädd	35
5.7 Småskaliga lösningar.....	36
5.8 Jämförande analys mellan litteratur och intervjuer	37
5.9 Samhälleliga och etiska aspekter.....	39
5.9.1 Samhälleliga aspekter.....	39
5.9.2 Ekologisk hållbarhet.....	39
5.9.3 Social hållbarhet.....	39
5.9.4 Säkerhetsaspekt	40
5.9.5 Etiska aspekter.....	40
5.10 Metoddiskussion.....	41
5.11 Förslag på framtida arbeten	42
6. Slutsats	43
Litteraturförteckning	45
Bilagor	49

1. Inledning

I detta kapitel presenteras rapportens bakgrund, syfte, frågeställningar och avgränsningar.

1.1 Bakgrund

I ett hållbart samhälle är tillgång till rent vatten och fungerande avloppsrening en essentiell förutsättning. I takt med att städer har vuxit och befolkningen ökat så har även mängden avloppsvatten från olika områden som industri, hushåll och samhällsverksamheter ökat. Orsaken till detta är att varje invånare producerar en viss mängd avloppsvatten dagligen genom vardagliga aktiviteter som matlagning, hygien och tvätt, vilket innebär att en växande befolkning leder till en ökning av mängden avloppsvatten som sedan kommer att kräva behandling.

Enligt Nordic Investment Bank förväntas Sveriges avloppssystem behöva byggas ut för att kunna hantera avloppsvatten från upp till 1,4 miljoner ytterligare invånare. Detta visar tydligt hur befolkningstillväxten är direkt kopplad till en ökad belastning på avloppsreningssystemen (Nordic Investment Bank, 2017).

Utöver befolkningstillväxt påverkas avloppssystemen även av klimatförändringar. Den globala uppvärmningen innebär att jordens medeltemperatur ökar över tid. Enligt IPCC har mänskliga aktiviteter framför allt genom utsläpp av växthusgaser, orsakat en 1,1 °C ökning av medeltemperaturen under perioden 2011–2020 jämfört med 2011–2020 (IPCC, u.d.). Detta innebär att klimaten i takt med tiden blir alltmer varmare och varmare, vilket kan påverka nederbördsmönster.

Detta kan leda till ökade flöden in till ledningsnät och avloppsreningsverk. När stora mängder regnvatten, dagvatten och dräneringsvatten tillförs i systemet samtidigt kan reningsverken överbelastas. Detta försämrar reningsprocessernas funktion och öka risken för bräddningar, där orenat eller otillräckligt renat avloppsvatten släpps ut i recipienten. SMHI beskriver att skyfall och extrem nederbörd förväntas bli vanligare i ett varmare klimat, vilket gör att V-system behöver anpassas för att hantera större och mer varierande flöden i framtiden (SMHI, n.d.).

Med tanke på hur förorenat avloppsvatten är, kan det leda till allvarliga miljöproblem såsom övergödning av sjöar och hav, spridning av sjukdomsframkallande mikroorganismer i naturen samt försämrad vattenkvalitet i vattendrag och grundvatten om vattnet släpps ut orenat. Ett exempel på konsekvenserna av en ofullständig avloppsrening inträffade efter den kraftiga stormen ”Superstorm Sandy” som drabbade USA år 2012, där Bay Park avloppsreningsverk i New York skadades och stora mängder otillräckligt renat avloppsvatten släpptes ut i Hempstead Bay. Detta resulterade i försämrad vattenkvalitet under en längre period genom exempelvis minskade syre- och salthalt samt ökade nivåer av kväve och bakterier i vattnet, vilket påverkade både ekosystem och vattenkvaliteten negativt (Swanson et al., 2017).

Detta visar tydligt vikten av att ha robusta avloppsreningsverk som är flexibla nog för att kunna hantera oförutsedda händelser och störningar i systemet. Väl fungerande avloppsreningsverk spelar därför en stor roll i att skydda både miljön och människors hälsa.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att undersöka hur olika reningsmetoder påverkas av yttre störningar, samt att bedöma deras behov och kostnader. Rapporten syftar även till att identifiera vanliga driftproblem och belysa vilka lösningar som används eller kan användas för att hantera problemen. Utöver detta avser projektet att belysa de etiska och samhällseliga aspekterna som kan uppstå i samband med avloppsrening under kriser och framtida klimatförändringar.

1.3 Frågeställningar

Huvudfråga:

- Hur kan avloppsreningsverk utformas eller utvecklas för att bli mer flexibla och robusta mot klimatrelaterade förändringar och andra störningar?

Delfrågor:

- Hur kan befintliga reningsverk förbättras för att bli mer flexibla och klara olika typer av störningar?
- Hur påverkas olika reningsprocesser av varierande flöden, temperaturförändringar, kemikaliebrist och brister i infrastrukturen?
- Vilka reningsprocesser är mest flexibla och robusta vid yttre störningar?
- Vilka erfarenheter finns från praktisk drift av reningsverk när det gäller att hantera störningar i avloppsreningen?

1.4 Avgränsningar

Modern avloppshantering står inför en mängd problem, men fokus i denna rapport ligger på dessa fyra yttre störningar:

1. Kemikaliebrist
2. Varierande temperaturer
3. Varierande flöden
4. Infrastruktur

För att lösa dessa problem presenteras sju specifika lösningar som syftar till att skapa ett robust och flexibelt system. Även fyra behov/kostnader kommer att ingå för att göra jämförelsen bredare med de praktiska delarna för att driva avloppsreningsverk.

Motiveringarna till valen av yttre störningar, reningsprocesser och behov/kostnader, beskrivs utförligt i kapitel 3.

2. Litteraturöversikt

I detta kapitel presenteras reningsprocesserna och de yttre störningar på avloppsreningsverket.

2.1 Reningsprocesser

I detta delkapitel presenteras reningsprocesserna sedimentering, aktivt slam, MBR, MBBR, AGS, biobädd och småskaliga lösningar.

2.1.1 Sedimentering

Sedimentering är en av de äldsta och mest centrala processen inom vattenrening. Processen syftar på att separera fasta partiklar från vatten genom att utnyttja skillnaden i densitet mellan partikeln och vattnet (Howe et al., 2012). När vattnet passerar genom en bassäng under lugna hydrauliska förhållanden kan partiklar som är tyngre än vattnet sjunka till botten under inverkan av tyngdkraften (Wilén, 1995).

Enligt Howe et al. (2012) kan partiklar i vatten delas in i mineraliska partiklar (med densitet mellan 2000 och 3000 kg/m³) och organiska partiklar (med densitet mellan 1010 och 1100 kg/m³). Medan de tyngre mineraliska partiklarna sedimenterar relativt lätt kräver de lättare organiska partiklarna ofta längre uppehållstider eller förbehandling i form av kemisk flockulering för att avskiljning ska fungera.

När en partikel sedimenterar verkar tre huvudsakliga krafter på den och de är gravitationskraften, lyftkraften och dragkraften. Enligt Howe et al. (2012) når en partikel snabbt sin terminala sjunkhastighet när dessa krafter är i jämvikt. För sfäriska partiklar under laminära förhållanden beskrivs detta matematiskt genom Stokes lag, där viskositeten och partikelns diameter är de styrande parametrarna. Wilén (1995) poängterar dock att naturliga flockar sällan är perfekta sfärer. Deras natur och porositet innebär att sjunkhastigheten ofta skiljer sig från de ideala modeller som presenteras i klassisk litteratur. Det i sin tur ställer höga krav på den tekniska utformningen av sedimenteringsbassänger.

2.1.1.1 Faser av sedimentering

Inom modern vattenrening kategoriseras sedimentering traditionellt i fyra faser baserat på partikelkoncentration och deras tendens att interagera (Howe et al., 2012); (Suez Water Technologies, n.d.):

- **Typ I (Diskret sedimentering):** Sker i mycket utspädda suspensioner där partiklarna sjunker individuellt med konstant hastighet utan att påverka varandra. Denna typ är vanlig i sandfång och vid försedimentering för att bortföra sand och grövre material (Howe et al., 2012); (Water Environment Federation, 2017)).
- **Typ II (Flockulär sedimentering):** Karaktäriseras av partiklar som klumpar vid kontakt vilket ökar deras massa och därmed deras sjunkhastighet ju djupare de sjunker.

Enligt Suez Water Technologies (n.d.) är detta den primära mekanismen i konventionella sedimenteringsbassänger efter kemisk koagulering och flockulering.

- **Typ III (Hindrad sedimentering):** Vid högre koncentrationer begränsas partiklarnas rörelse av närliggande partiklar. Det gör att de sjunker som en samlad massa med en tydlig gränsyta mot det renade vattnet (Water Environment Federation, 2017). Denna fas är kritisk för bildandet av en stabil slamfilt (Suez Water Technologies, n.d.).
- **Typ IV (Kompressionssedimentering):** Sker vid mycket höga koncentrationer där partiklarna bildar en sammanhängande struktur. Avskiljning sker genom att materialet trycks ned av vikten från ovanliggande lager vilket pressar ut vatten ur porerna (Howe et al., 2012). Detta är den dominerande processen i botten av sedimenteringsbassänger och vid slamförtjockning (Water Environment Federation, 2017).

Genom att kombinera dessa teorier kan ingenjörer optimera geometrin på bassänger och uppehållstiden för att säkerställa att även de svårfällda partiklarna hinner avskiljas innan vattnet lämnar enheten (Suez Water Technologies, n.d.).

2.1.1.2 Konventionella gravitation baserade system

Inom avloppsrening är konventionella gravitation baserade system den vanligaste metoden för att separera suspenderat material genom passiv sedimentering. Processen vilar på principen att partiklar i vattnet sjunker när de vertikala gravitationskrafterna överstiger de uppåtriktade hydrauliska krafterna och vattnets turbulens minimeras (Howe et al., 2012). Systemen dimensioneras främst utifrån ytbelastningsteorin där målet är att maximera uppehållstiden för att tillåta naturlig deposition av partiklar innan vattnet når utloppet (Water Environment Federation, 2017). Exempel på detta är horisontella och cirkulära sedimenteringsbassänger.

Horisontella sedimenteringsbassänger.

Horisontella bassänger utformas för att likna ett idealt pluggflöde där vattnet rinner linjärt från inlopp till utlopp. Enligt Howe et al. (2012) är bassängens prestanda primärt en funktion av ytbelastningen vilket definieras som kvoten mellan flödet och den horisontella ytan. En partikel avskiljs om dess vertikala sjunkhastighet är större än eller lika med den terminala sjunkhastigheten. Banan för partikeln i bassängen kan beskrivas som en resultantvektor av den horisontella flödes hastigheten och den vertikala sjunkhastigheten. För att främja hydraulisk stabilitet och minimera kortslutningsströmningar rekommenderas ett högt längd-bredd-förhållande ofta minst 4:1 (Howe et al., 2012).

Cirkulära sedimenteringsbassänger.

Cirkulära bassänger utnyttjar ofta radiellt flöde där vattnet leds in i centrum och rör sig utåt mot sidan. Detta skapar en naturlig hastighetsgradient där flödes hastigheten minskar progressivt vilket gynnar flockulär sedimentering (Typ II) (Suez Water Technologies, n.d.). En utmaning med cirkulära system vid matning i centrum är risken för hydraulisk kortslutning om den uppåtriktade hastigheten överstiger partiklarnas sjunkhastighet (Howe et al., 2012).

Enligt Water Environment Federation (2017) är det viktigt att korrekt utforma överfallsvärn för att säkerställa en jämn distribution.

De konventionella systemen som horisontella och cirkulära sedimenteringsbassänger har en känslighet för temperaturvariationer. Enligt Howe et al. (2012) ökar vattnets viskositet vid låga temperaturer vilket sänker partiklarnas sjunkhastighet och därmed försämrar avskiljningen. Systemen är även begränsade vid hastiga flödesökningar eftersom de dimensioneras för långa uppehållstider och plötsliga toppflöden orsakar slamflykt (Water Environment Federation, 2017). Med tanke på infrastrukturen är den största nackdelen behovet för en stor yta och de höga anläggningskostnaderna för stora betongkonstruktioner. En fördel är dock den enkla och robusta infrastrukturen med få rörliga delar vilket ger en lång teknisk livslängd och lågt underhållsbehov. Den fungerar även vid kemikaliebrist tack vare den stora buffertvolymen.

2.1.1.3 Alternativa och högeffektiva processer

För att möta krav på minskat platsbehov och ökad effektivitet har flera högeffektiva alternativ till konventionell sedimentering utvecklats. Dessa tekniker fokuserar primärt på att optimera hydrauliken genom att förkorta avståndet för sedimentering eller artificiellt öka partiklarnas densitet för att möjliggöra högre ytbelastningar (Howe et al., 2012).

Lamell- och rörsedimentering

Denna process fungerar genom installationen av lutande plattor eller rör i sedimenteringsbassängen. Detta minskar det vertikala sedimenteringsavståndet och gör processen oberoende av bassängens totala djup (Water Environment Federation, 2017). Denna konfiguration separerar klarningszon från slamtömningszon vilket möjliggör en effektivitet motsvarande 2 timmars uppehållstid på endast 15–25 minuter (Howe et al., 2012). Lutningen på 60° är kritisk för att balansera gravitationell avskiljning mot partiklarnas förmåga till självrensning (Suez Water Technologies, n.d.).

Lamellsedimentering erbjuder en robust lösning vid flödesvariationer eftersom den stora effektiva ytan kan hantera högre hydrauliska belastningar än konventionella bassänger (Suez Water Technologies, n.d.). Den största fördelen med infrastrukturen är att tekniken ofta kan installeras i befintliga bassänger för att öka kapaciteten utan att bygga nytt (Water Environment Federation, 2017). En nackdel vid låga temperaturer är risken för försämrad självrensning och igensättning av lamellerna. Vid kemikaliebrist minskar processens verkningsgrad drastiskt eftersom utan kemisk fällning hinner de finare partiklarna inte avskiljas under den korta sträckan mellan lamellplattorna (Howe et al., 2012).

Kontakt sedimentering.

Kontakt sedimentering integrerar kemisk fällning och sedimentering genom att utnyttja principen om "Sludge Contact". Exempel på detta är slamtäcketeknik där vattnet leds genom ett slamtäcke som fungerar som ett naturligt filter där inkommande partiklar adsorberas till

befintliga flockar (Suez Water Technologies, n.d.). Howe et al. (2012) betonar att detta kräver noggrann kontroll av slamtäckets nivå för att undvika slamflykt.

Kontaktsedimentering särskilt slamtäcketeknik är den mest känsliga processen för både temperatur- och flödesförändringar. Ett snabbt temperaturfall eller hastiga flödesökningar stör det känsliga hydrauliska jämviktstillståndet i täcket vilket kan leda till massiv slamflykt (Howe et al., 2012). Dessa system kräver ofta specifika koniska eller specialutformade bassänger för att bibehålla slamtäckets nivå vilket gör dem mindre flexibla för ombyggnad (Suez Water Technologies, n.d.). Vid kemikaliebrist kollapsar processen helt då hela filterfunktionen byggs på kemiskt bildade flockar.

Ballast sedimentering

Exempel på denna process är Actiflo processen vilket representerar den mest intensiva formen av sedimentering genom att använda mikrosand (20–200 µm) som ballast (Suez Water Technologies, n.d.). Genom att använda högmolekylära polymerer binds sanden till flockarna, vilket skapar en blandad enhet med mycket hög densitet. Detta ger ytbelastningar på 35–62 m/h, vilket är upp till 50 gånger högre än den konventionella system (Howe et al., 2012).

Ballast Sedimentering som Actiflo processen har bäst adaptation för temperaturvariationer och extrema flödestoppar genom att artificiellt öka partiklarnas densitet med mikrosand (Howe et al., 2012). Fördelen på infrastruktursidan är det extremt kompakta fotavtrycket vilket möjliggör placering i urbana miljöer eller inomhus där utrymmet är begränsat (Suez Water Technologies, n.d.). Nackdelen är en betydligt mer komplex infrastruktur som kräver avancerade styrsystem, pumpar för sandåterföring och hydrocykloner. Detta betyder ett totalt beroende på både elförsörjning och kemikalier eftersom utan den högmolekylära polymerer förlorar processen omedelbart sin reningsförmåga.

2.1.2 Aktivtslamprocessen

Aktivtslamprocessen är den vanligaste biologiska reningsmetoden för avloppsvatten. Det byggs på principen att mikroorganismer bryter ner organiskt material och näringsämnen under aeroba förhållanden. Processen består primärt av en luftningsbassäng där mikroorganismer är suspenderade i vattnet följt av en eftersedimenteringsbassäng där slammet separeras från det renade vattnet (Howe et al., 2012). En del av det sedimenterade slammet återförs till luftningsbassängen (returslam) för att bibehålla en hög biomassa medan överskottet tas ut från systemet som överskottsslam.

Effektiviteten i aktivtslamprocessen beror på bildandet av stabila flockar. Enligt Wilén (1995) styrs flockbildningen av balansen mellan extracellulära polymera substanser (EPS) och hydraulisk skjuvning i bassängen. En välfungerande flock har goda sedimenteringsegenskaper vilket är avgörande för att eftersedimenteringen ska kunna producera ett klart utloppsvatten. Howe et al. (2012) definierar processen utifrån slamålder (MCRT) och hydraulisk uppehållstid där kontroll av slamålder är det primära verktyget för att styra vilka

mikroorganismer som dominerar. Henze et al. (2008) betonar att modern aktivt slamteknik ofta inkluderar specifika zoner för nitrifikation och denitrifikation (anoxiska zoner) för att möjliggöra biologisk kväverening vilket kräver noggrann kontroll av internrecirkulation och syretillförsel.

Aktivt slam är mycket känslig för temperaturvariationer eftersom mikroorganismernas metabolism är temperaturberoende. Enligt Wilén (1995) minskar den biologiska aktiviteten drastiskt vid låga temperaturer vilket kräver längre slamålder för att bibehålla reningseffektiviteten. Struktur och viskositet av flockarna påverkas vilket kan leda till sämre sedimentering (slamflykt) under vintertiden (Howe et al., 2012). Låga temperaturer kan även leda till förändringar i mikrobiell artsammansättning som gynnar filamentösa organismer vilket försämrar slammets sjunkegenskaper (Henze et al., 2008).

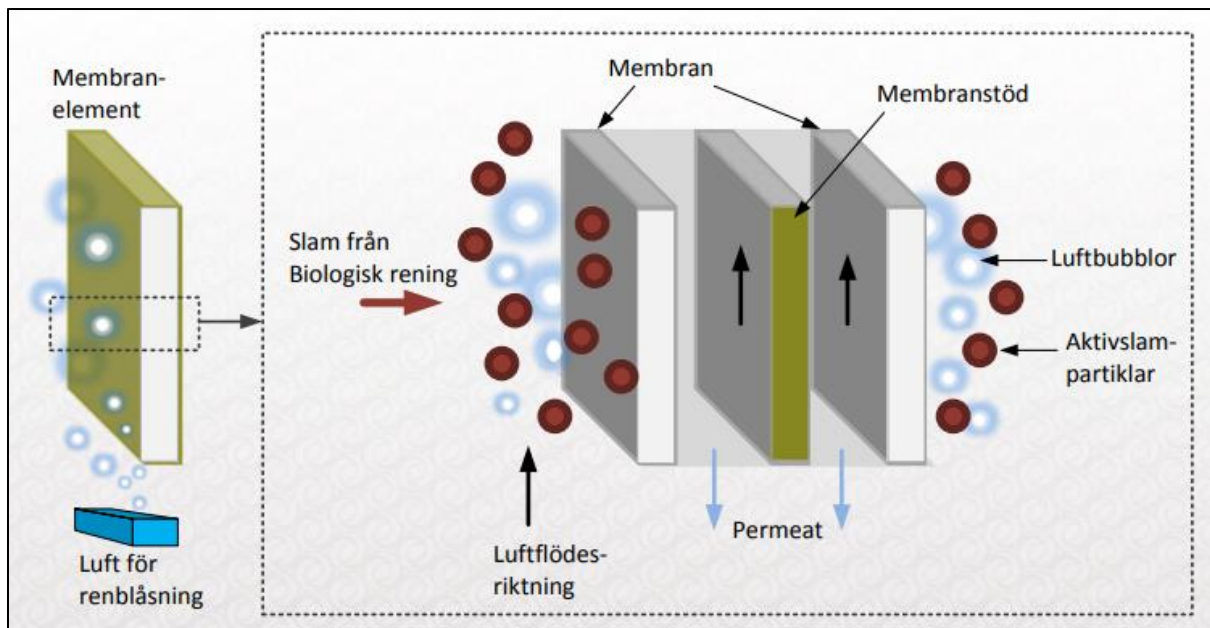
Vid hastiga flödesökningar som till exempel vid kraftiga regn riskerar systemet hydraulisk överbelastning. Om ytbelastningen blir för hög hinner slamflockar inte sedimentera vilket leder till att biomassa sköljs ut ur systemet (Water Environment Federation, 2017). Detta minskar inte bara reningsgraden omedelbart utan kan även skada den biologiska kapaciteten på lång sikt.

Konventionell aktivt slamrening kräver stora volymer och yta för både luftningsbassänger och sedimenteringsbassänger (Suez Water Technologies, n.d.). Det kräver även en stor del maskinutrustning som blåsmaskiner för syresättning vilket gör processen energiintensiv. Henze et al. (2008) påpekar att behovet av avancerade verktyg för att mäta parametrar som löst syre och ammonium ökar komplexiteten i infrastrukturen men är nödvändigt för optimerad drift.

En fördel med aktivt slamprocessen är att den kan fungera med minimalt kemikaliebehov om den är optimerad för biologisk fosforrening. Dock poängterar Water Environment Federation (2017) att kemisk fällning (järn eller aluminiumsalter) ofta används som ett komplement eller säkerhetsåtgärd. Anledning är för att säkerställa låga utloppshalter av fosfor eller för att förbättra sedimenteringen vid problem med slambulkning. Vid total kemikaliebrist kan den organiska nedbrytningen förekomma men risken för höga fosforhalter och sämre separation i slammet ökar (Howe et al., 2012).

2.1.3 MBR

Membranbioreaktor (MBR) är en reningsprocess som kombinerar biologisk rening med membranfiltrering. Processen fungerar i grunden som aktivt slam (se kapitel 2.1.2), men i stället för att slammet ska sedimentera, filtreras vattnet genom ett membranfilter (Samuelsson et al., 2024). Membranen är nedsänkta i den biologiska reaktorn och luftas kontinuerligt underifrån, vilket både förser mikroorganismerna med syre och skapar en rörelse i vattnet som hjälper till att minska att partiklar fastnar direkt på membranet (se Figur 1). Det renade vattnet sugas sedan ut genom membranet medan det aktiva slammet är kvar i reaktorn.



Figur 1: Figur över hur MBR processen fungerar (Samuelsson et al., 2024)

Fördelarna med MBR jämfört med aktivt slam är bland annat att det kräver mindre plats, färre reningssteg och det kan vara en större mängd aktivt slam i reaktorn (Al-Asheh et al., 2021). MBR kräver mindre plats eftersom den inte behöver eftersedimentering, vilket gör att reningsverket kan byggas mer kompakt. Dessutom kan en högre koncentration aktivt slam finnas i reaktorn (8 000–15 000 mg/L jämfört med cirka 5 000 mg/L), vilket bidrar till att reningsgraden blir högre än i konventionella aktivt slamprocesser.

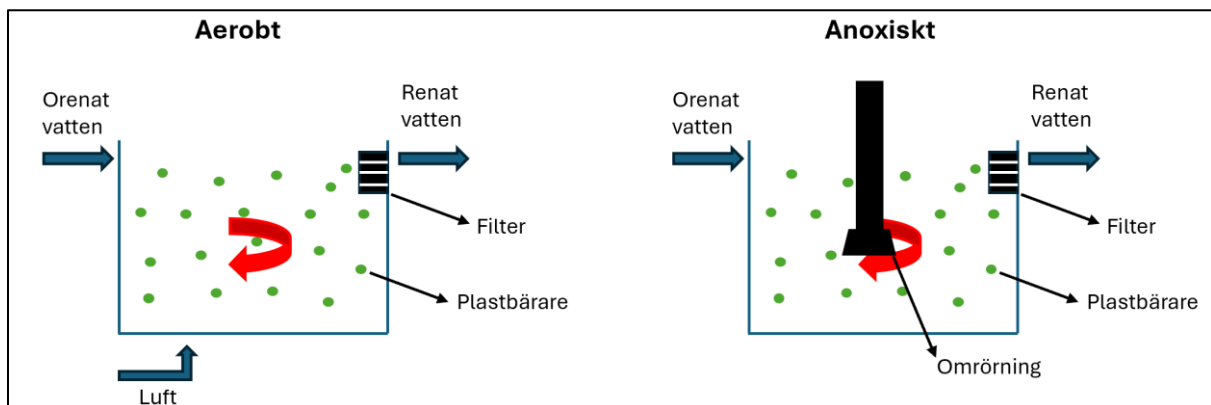
Utmaningarna med MBR är främst kopplade till underhåll, energiförbrukningen och ekonomi (Al-Asheh et al., 2021). Underhållet handlar framför allt om att rengöra och underhålla membranen, som kan täppas igen av partiklar och då krävs det kemikalier för att rengöra membranen. Energiförbrukningen kan också bli dubbelt så hög jämfört med konventionella aktivt slamprocesser. Ytterligare en nackdel är att MBR är en kostsam att bygga och driftkostnaderna är dyra på grund av membran, mycket underhåll och hög energibrukning.

Utöver dessa tre utmaningar är varierande temperatur också ett stort problem som beskrivs mer utförligt i kapitel 2.1.2 om aktivt slamprocesser. Även varierande flöden, särskilt vid låga flöden, kan skapa driftstörningar då slammet inte kan lämnas via sedimentering (Andersson et al., 2023). När slammet blir kvar i processen ökar risken för att flytslam eller att skum byggs upp och det kan då påverka driften och arbetsmiljön.

2.1.4 MBBR

Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) är en biologisk reningsprocess där mikroorganismer växer på plastbärare som hålls suspenderade och rör sig fritt i en luftad eller omrörd reningsbassäng. Processen används för att avlägsna organiskt material (COD/BOD) och kväve ur avloppsvattnet. Plastbärarna har en stor specifik yta som möjliggör en hög biomasstäthet, vilket gör att processen kan uppnå effektiv rening i en relativt liten reaktorvolym (McQuarrie & Boltz, 2011). I artikeln beskrivs även att processen kan drivas aerobt och anoxiskt. Aerobt används för nedbrytning av organiskt material och nitrifikation (se Figur 2). Anoxiskt används

för denitrifikation där nitrat reduceras till kvävgas (se Figur 2). För att förhindra att plastbärarna följer med ut ur reaktorn används silar eller galler som håller de kvar i processen. Det sker vanligtvis en sedimentering efter MBBR reningssteget.



Figur 2: Egen illustration baserad på Barwal & Chaudhary (2014), som förenklat visar hur MBBR processen fungerar aerobt och anoxiskt.

Fördelarna med MBBR-tekniken är exempelvis att anläggningarna är robusta, flexibla och kostnadseffektiva (Barwal & Chaudhary, 2014). Robustheten och flexibiliteten innebär att systemet kan hantera stora och varierande vattenflöden ($10\,000 - 150\,000\text{ m}^3/\text{dag}$) samtidigt som en hög reningsgrad uppnås (upp till 90% av COD och upp till 95% av BOD). Kostnadseffektiviteten beror främst på att både underhållsbehoven och reaktorvolymen är relativt små. Dessa egenskaper gör att MBBR kan stå emot varierande flöden och fortfarande ha en effektiv rening.

Problemen med MBBR hänger främst ihop med kvävereningen när det inkommande vattnet är kallt (Malovanyy et al., 2024). Vid låga temperaturer minskar reaktionshastigheten, slamproduktionen ökar och sedimenteringsegenskaperna försämras, vilket påverkar nitrifikationen mycket. Det kalla inkommande vattnet är vanligtvis smältvatten eller dagvatten, som ofta innehåller högre syrehalter vilket påverkar den anoxiska denitrifikationen negativt. Varierande temperaturer i det inkommande vattnet kan därför leda till driftstörningar.

2.1.5 AGS

Aerobt granulärt slam, eller Aerobic Granular Sludge (AGS), är en relativt ny metod inom biologisk avloppsrening som har fått ökad uppmärksamhet under de senaste åren. Tekniken har utvecklats som ett alternativ till den traditionella aktivtslamprocessen och anses vara en lovande lösning för framtidens reningsverk, särskilt med tanke på behovet av mer robusta och flexibla system (Ekholm, 2023).

Den största skillnaden mellan AGS och konventionell aktivtslamprocess är hur mikroorganismerna är organiserade. I traditionella system förekommer mikroorganismer som löst slam i form av flockar i vattnet. I AGS växer i stället mikroorganismerna tillsammans i små, kompakta granuler. Dessa granuler är ofta sfäriska och består av tätt packade mikroorganismer som bildar en tredimensionell struktur (Rosa-Masegosa et al., 2021). Denna struktur gör att granulerna får mycket goda sedimentationsegenskaper jämfört med traditionellt slam.

En viktig egenskap hos AGS är att flera reningsprocesser kan ske samtidigt i samma granulat. Eftersom granulerna har en kompakt struktur kan olika zoner bildas inuti dem, där vissa delar är syrerika och andra syrefattiga. Detta gör att nedbrytning av organiskt material samt avskiljning av kväve och fosfor kan ske i samma reaktor (Rosa-Masegosa et al., 2021). Detta skiljer sig från traditionella system där flera olika bassänger ofta behövs för olika steg i reningen.

Forskning från Chalmers visar att AGS kan uppnå en effektiv rening av organiskt material, kväve och fosfor, samtidigt som processen kan vara mer kompakt än traditionella (Ekholm, 2023). I studier där AGS jämförts med konventionellt aktivt slam har båda systemen kunnat uppnå gott reningskrav, men AGS har haft fördelar i form av lägre energianvändning och mindre behov av yta. Detta gör tekniken särskilt intressant i områden där plats är begränsad eller där man vill minska energiförbrukningen.

En annan viktig aspekt med AGS är att slammet sedimenterar snabbt. Granulerna är större och mer kompakta än flockar i aktivt slam, vilket gör att de sjunker snabbare i vattnet. Detta leder till att separeringen mellan vatten och slam kan ske snabbare och mer effektivt, vilket möjliggör mer kompakta anläggningar och kortare processtider ((Ekholm, 2023); (Liu, 2024)). Den höga slamkoncentrationen i reaktorn bidrar även till en mer stabil process.

När det gäller robusthet visar studier att AGS kan vara mer motståndskraftigt mot variationer i belastning och miljöförhållanden jämfört med traditionella system. Den granulära strukturen gör att mikroorganismerna skyddas bättre, vilket kan bidra till att processen kan klara av förändringar i till exempel temperatur, belastning och pH (Liu, 2024). Samtidigt visar forskning att faktorer som temperatur, inflöde och sammanställning av avloppsvattnet fortfarande påverkar processen och måste beaktas vid drift (Ekholm et al., 2022).

Trots sina fördelar finns det också utmaningar med AGS. En viktig aspekt att påpeka är uppstarten av processen, där granulerna ska bildas. Detta kan ta tid och kräver rätt driftförhållanden, såsom rätt belastning och styrning av slamuttag (Ekholm et al., 2022). Dessutom är tekniken fortfarande ny, vilket innebär att det existerar färre långtidsstudier jämfört med mer etablerade metoder.

2.1.6 Biobädd

En biobädd inom avloppsrening, ofta kallad biofilter eller trickling filter, är en biologisk reningsprocess där mikroorganismer används för att bryta ner organiskt material i avloppsvatten. Processen bygger på att avloppsvattnet fördelas över ett bäddmaterial, exempelvis sten eller plast där en biofilm av mikroorganismer växer. När vattnet rinner genom materialet bryter mikroorganismerna ner organiska ämnen och reducerar föroreningar i vattnet. Denna typ av biobädd används främst i avloppsreningsverk som en del av den biologiska reningen och är känd för sin relativt enkla konstruktion och stabila drift (Rezai & Allahkarami, 2021).

Biobäddens funktion inom avloppsrening bygger främst på biologisk nedbrytning i en biofilm. När avloppsvattnet tillförs i systemet fördelas det över ett bäddmaterial och rinner genom bädden samtidigt som det kommer i kontakt med mikroorganismerna på ytan.

Mikroorganismernas roll är att bryta ner organiska ämnen och reducerar därmed föroreningar i vattnet. Processen sker under aeroba förhållanden, vilket innebär att syre är viktigt för att medbrytningen ska fungera effektivt. Bärarmaterialets funktion är att ge en stor yta där biofilmen kan växa och utföra reningen (Parker, 1999).

Biobäddar är viktiga inom avloppsrening eftersom de kan bidra till en stabil biologisk rening av avloppsvatten. Systemet bygger på att mikroorganismer växer som en biofilm på ett bärarmaterial och bryter ner organiskt material i vattnet. En fördel med biobäddar är att de kan vara relativt driftsäkra och i vissa fall mindre energikrävande än mer intensiva biologiska processer. Parker (1999) lyfter även att biobäddar inte nödvändigtvis är mindre tillförlitliga än aktivslamprocesser, utan att deras funktion beror på rätt utformning, drift och val av bärarmaterial.

När det gäller effektivitet visar Randall & Sullivan (1997) att biobäddar i form av trickling filter, kan uppnå tydliga reningsresultat vid behandling av organiskt belastat avloppsvatten. I en pilotstudie för industriellt avloppsvatten ökade COD-reduktionen när den organiska belastningen ökade, för att sedan nå en maximal reningskapacitet vid högre belastning. Studien visade att den maximala COD-reduktion uppnås vid en viss optimal belastning, vilket ger en tydlig bild av biobäddens reningskapacitet (Randall & Sullivan, 1997). I en annan del av studien där trickling filter användes för livsmedelsindustriellt avloppsvatten, uppnåddes dessutom BOD-reduktioner på cirka 82–92%. Detta visar att biobäddar kan vara effektiva för att minska organiskt material i avloppsvatten, särskilt när systemet är rätt dimensionerat och belastningen hålls inom processens kapacitet.

Biobäddar medför flera positiva konsekvenser såsom minskning av utsläpp av skadliga ämnen, förbättrar vattenkvaliteten och kan bidra till mer cirkulära system där avfall omvandlas till återanvändbara resurser. Ny forskning visar även att biobäddar kan integreras med andra tekniker, som exempelvis mikrobiella bränsleceller vilket skapar en kombination av vattenrening och energiproduktion (Gunes & Ayol, 2026). Även om denna teknik fortfarande befinner sig i utvecklingsstadiet visar den på potentialen att i framtiden kunna återvinna energi från avloppsvatten och sedan bidra till mer energieffektiva reningsprocesser.

Det finns dock även begränsningar i systemet där effektiviteten exempelvis kan påverkas av faktorer som temperatur, fuktighet och typen av föroreningar. Temperaturen påverkar mikroorganismernas aktivitet, fuktigheten har en effekt på grund av att mikroorganismer kräver en lagom fuktig miljö där för hög fuktighet kan leda till syrebrist för mikroorganismerna, typen av föroreningar har också en stor betydelse då vissa ämnen är svårare att bryta ner. Även om biobäddar används i fullskalig avloppsrening kräver nyare utvecklingar, exempelvis integrering med mikrobiella bränsleceller mer forskning för att kunna bedömas i större skala (Gunes & Ayol, 2026) .

Studierna visar alltså att biobäddar är en hållbar teknik för vattenrening där den trots vissa begränsningar kan ha stor potential att utvecklas vidare och spela en viktig roll i miljövänliga vattenreningar. Dess förmåga att kunna kombinera adsorption och biologisk nedbrytning gör dem effektiva för att eliminera föroreningar och andra giftiga ämnen. Detta gör biobäddar väldigt användbar som ett komplement i reningsverk, där de kan bidra till att förbättra

reningen av svårnedbrytbara ämnen. Nyare forskning visar även att tekniken kan utvecklas vidare genom kombination med andra lösningar, exempelvis mikrobiella bränsleceller. Detta kan i framtiden bidra till mer cirkulära och energieffektiva reningsprocesser.

2.1.7 Småskaliga lösningar

Småskaliga avloppslösningar är ett viktigt komplement till stora centrala reningsverk. Enligt Kunskapscentrum Små Avlopp (2011), kan enskilda avloppsanläggningar anpassas efter lokala förutsättningar, vilket gör de mer flexibla än stora system. Detta är viktigt för robustheten, eftersom mindre system kan fungera som alternativ om större reningsverk slutar fungera, till exempel vid kriser eller driftstörningar.

En enkel lösning för avloppshantering är en septiktank. I en sådan tank samlas avloppsvattnet upp och genomgår endast en begränsad behandling där främst fasta partiklar skiljs av från vätskan. Denna typ av system är mest lämplig i situationer där belastningen är låg, exempelvis fritidsbostäder som inte används året runt (Biovac, n.d.). Detta är eftersom mängden avloppsvatten då är begränsad och behovet av tömning minskar.

I permanentboende med flera användare kan däremot systemet vara utmanande både praktiskt och ekonomiskt. Eftersom tanken fylls snabbare krävs fler kontroller och återkommande slamtömningar, vilket kan leda till ökade kostnader över tid. Septiktankar är dessutom mest anpassade för toalettavlopp, vilket gör att det kan vara nödvändigt att hantera olika typer av avloppsvatten separat för att systemet ska fungera effektivt. Så beslutet att använda sig av en septiktank bör därför baseras på fastighetens användning och förutsättningar (Biovac, n.d.).

Ett mer avancerat alternativ är minireningsverk. Dessa beskrivs som små och kompletta reningssystem med mekanisk, biologisk och i vissa fall kemisk rening. De kan uppnå hög reningsgrad och passar därför där miljökraven är höga, men de kräver däremot mer skötsel och tillsyn än enklare system (Kunskapscentrum Små Avlopp, 2011).

Ett annat exempel på en småskalig och platsanpassad lösning är den typ av biobädd som används för att minska spridning av bekämpningsmedel från jordbruket. Till skillnad från biobäddar i avloppsreningsverk handlar detta om ett enklare biologiskt reningssystem där förorenat vatten passerar genom en blandning av exempelvis halm, jord och kompost. Blandningen skapar goda förutsättningar för mikroorganismer som kan bryta ner föroreningar, särskilt pesticider, innan de sprids vidare till mark och vatten. Systemet utvecklades ursprungligen i Sverige som en enkel och kostnadseffektiv metod för att minska miljöpåverkan från jordbruket (Castillo & Torstensson, 2007).

Biobäddens funktion är en kombination av fysikaliska och biologiska processer. När förorenat vatten tillförs i systemet passerar det genom materialet i bädden. Först binds föroreningarna till organiskt material genom adsorption, vilket förhindrar att de sprids vidare i miljön. Därefter bryts ämnena ner av mikroorganismer av främst svampar och bakterier, som producerar enzymer kapabla till att bryta ner giftiga kemikalier (Castillo & Torstensson, 2007).

Varför biobäddar är viktiga är framför allt eftersom de bidrar till en hållbar och lågkostnadsbaserad lösning för att minska miljöföroreningar. De kräver lite energi och

samtidigt kan byggas av lättillgängliga resurser. Dessutom har senare forskning visat att tekniken kan användas för behandling av mer komplexa avloppsvatten. Detta visar hur stor användningspotentialen är, vilket visar hur viktigt användning av biobädd kan vara (Kinigopoulou et al., 2021).

Utöver vattenburna småskaliga system finns även lösningar där avfallet hanteras utan att spolas bort med vatten. Exempel på sådana lösningar är torrtoaletter eller dass, där avfallet komposteras i stället för att spolas bort med vatten. Kunskapscentrum Små Avlopp (2011) menar att dessa system minskar både vattenanvändningen och belastningen på avloppssystemet, vilket gör de resurssnåla och robusta, särskilt i områden utan kommunalt avlopp.

2.2 Yttre påverkan och störningar på avloppsreningsverk

I detta delkapitel kommer yttre störningar att presenteras. Den yttre påverkan som tas upp är varierande flöden, varierande temperaturer, kemikaliebrist och påverkan på infrastruktur.

2.2.1 Varierande flöden

Klimatförändringar förväntas leda till mer intensiva och frekventa nederbörd, vilket innebär att variationerna i inflödet till avloppsreningsverk kommer att öka över tid (Stańczyk et al., 2023). Avloppsreningsverk påverkas ständigt av variationer i inflödet, både i form av vattenmängd och föroreningshalten. Dessa variationer uppstår bland annat vid nederbörd och snösmältning, vilket kan leda till ökade flöden och därmed påverka reningsprocessernas effektivitet (Svenskt Vatten, n.d.).

Vid kraftiga regn kan stora mängder dag och dräneringsvatten tillföras in till avloppssystemet, vilket leder till höga flöden med lägre koncentration av föroreningar. Studier visar att inflödet till reningsverk kan öka med upp till 20%, samtidigt som tillskottsvatten kan bidra upp till 30% av det totala inflödet (Stańczyk et al., 2023). Detta kan orsaka hydraulisk överbelastning i reningsverket, vilket i sin tur försämrar sedimentation och biologiska processer. Om flödena blir för höga finns även risk att vatten passerar reningsstegen för snabbt, vilket minskar reningseffektiviteten och kan leda till utsläpp av orenat vatten, där delvis behandlat avloppsvatten kan möjligtvis släppas ut till recipienter (Stańczyk et al., 2023).

Samtidigt kan låga flöden och höga koncentrationer av föroreningar påverka ett reningsverk genom exempelvis ökad belastning på biologiska reningssteg, risk för syrebrist samt störningar för mikroorganismerna.

Variationer i väderförhållanden gör dessutom drift av avloppsreningsverk mer komplex eftersom operatörer behöver fatta olika typer av beslut under oförutsedda förhållanden (Stańczyk et al., 2023). Dessa variationer ställer därför höga krav på att reningsverk utformas och drivs på ett sätt som är både flexibelt och robust för att kunna hantera förändrade förhållanden utan att ha en effekt på reningsresultatet.

2.2.2 Varierande temperatur

Temperatur är en viktig faktor som påverkar hur effektivt ett avloppsreningsverk fungerar. Många av de biologiska processerna i reningsverk styrs av mikroorganismer vars aktivitet är

starkt beroende av temperaturen i avloppsvattnet. När temperaturen förändras, påverkas mikroorganismernas tillväxt och metabolism, vilket i sin tur påverkar hur snabbt och effektivt föroreningar kan brytas ned (Malovanyy et al., 2024).

En av de mest temperaturkänsliga processerna i biologisk avloppsrening är nitrifikation, där ammonium omvandlas till nitrat genom nitrifierande bakterier. Denna process är viktig för att minska kväveutsläpp till recipienter. Nitrifikation fungerar bäst vid relativt höga temperaturer och har enligt studier en optimal temperatur omkring 25–40 °C, medan processer kan fortsätta ner till ungefär 4 °C men då med betydligt lägre aktivitet (Malovanyy et al., 2024). När temperaturen sjunker minskar bakteriernas tillväxt och reaktionshastigheten i processen, vilket kan leda till sämre kväverening.

Resultat från pilotförsök vid Hammarby Sjöstadverket visar också hur kväverenningsprocesser påverkas av temperaturförändringar. När temperaturen sänktes från cirka 19 °C till 13 °C minskade kvävereduktionen tydligt, och vid temperaturer runt 10 °C blev processen instabil (Svenskt Vatten, 2016).

Temperaturen på inkommande avloppsvatten påverkas bland annat av klimat, årstid och transporten i ledningsnätet. Studier visar att temperaturen i avloppsvatten från byggnader ofta ligger mellan 18 °C till 25 °C, men att temperaturen kan sjunka innan vattnet når reningsverket beroende på värmeförluster i ledningssystemet (Arnell et al., 2021).

2.2.3 Kemikaliebrist

Kemikalier är en viktig del i avloppsreningsverkens processer, framför allt inom den kemiska reningen. Kemikaliebrist kan därför leda till att reningsverken inte kan rena avloppsvattnet tillräckligt, vilket i sin tur kan leda till utsläpp av orenat vatten i naturen som har stor miljöpåverkan på sjöar och mark (Havs- och vattenmyndigheten, 2021).

Under 2023 uppstod det brist på saltsyra i Sverige, en kemikalie som används vid tillverkningen av fällningskemikalier som används i reningsprocesser (Naturvårdsverket, 2025). Bristen berodde främst på lågkonjunkturen och det osäkra omvärldsläget, vilket påverkade Sveriges möjlighet att rena avloppsvattnet. Många av de kemikalierna som är viktiga för avloppsrening produceras inte i Sverige utan behöver importeras från andra länder, vilket gör reningsverken beroende av att de globala leveranskedjorna fungerar som de ska (Naturvårdsverket, n.d.).

Vid brister av kemikalier kommer dricksvattenproduktionen och de stora reningsverken att prioriteras att få tillgång till kemikalierna (Havs- och vattenmyndigheten, 2021). Därför är det viktigt att det finns en plan för varje reningsverk för att kunna rena vattnet utan vissa kemikalier, vilket sker i samråd med tillsynsmyndigheten på kommunen. Om de mindre reningsverken inte har tillgång till kemikalier eller har en plan för att hantera en kemikaliebrist, kan det leda till stora utsläpp lokalt i mindre städer eller kommuner.

Sammanfattningsvis visar detta på att reningsverken är väldigt känsliga mot störningar i kemikalietillgången. Därför är det viktigt att undersöka vidare hur reningsprocesserna kan göras mer robusta utifrån ett kemikaliebristperspektiv.

2.2.4 Infrastruktur

Infrastruktur för avloppsrening utgör ryggraden i det urbana sanitetsystemet och är en förutsättning för både folkhälsa och ekologisk hållbarhet. Det är inte enbart reningsverket i sig som är avgörande, utan hela det integrerade systemet av rörledningar, pumpstationer och digitala kontrollsystem som möjliggör transport och behandling av spillvatten. När denna infrastruktur brister antingen genom avsaknad eller destruktions, uppstår omedelbara hot mot både människa och miljö.

Infrastrukturen börjar vid källan. Ett väl utbyggt ledningsnät krävs för att separera spillvatten från dagvatten. En kritisk teknisk utmaning är att minimera läckage in i systemet som belastar reningsverken i onödan. Enligt rörledningsteknikens principer måste systemet vara dimensionerat för att hantera flödestoppar för att undvika bräddning, det vill säga att orenat avloppsvatten släpps direkt ut i recipienten vid hög belastning (Svensson et al., 2016).

Inom själva reningsverket delas infrastrukturen upp i mekaniska, kemiska och biologiska steg. Den mekaniska reningen tar bort fasta föremål, medan den kemiska reningen avlägsnar fosfor för att motverka övergödning. Den biologiska reningen utnyttjar mikroorganismer i stora bassänger för att bryta ner organiskt material och kväve, vilket behöver energikrävande infrastruktur för syresättning.

I regioner som helt saknar infrastruktur kollapsar barriären mellan mänskliga patogener och miljön. Utan rörledningsnät och centraliserade verk tvingas befolkningen ofta förlita sig på osäkra metoder som latriner eller direktutsläpp i vattendrag. Detta leder till spridning av vattenburna sjukdomar som kolera och tyfoidfeber. Enligt Mara (2003) har bristen på fysisk infrastruktur en direkt korrelation till högt barn mortalitet i låginkomstländer. Här fungerar infrastrukturen inte bara som en teknisk lösning, utan som en livsavgörande sanitär barriär.

När befintlig infrastruktur förstörs genom naturkatastrofer eller krig blir resultatet akuta kriser. Vid exempelvis jordbävningar kan underjordiska rörledningar knäckas vilket leder till att avloppsvatten kontaminerar grundvattnet. Under pågående konflikter som till exempel i Ukraina, har avsiktliga eller oavsiktliga skador på elnät och pumpstationer lett till att miljontals kubikmeter orenat avloppsvatten runnit ut i flodsystem vilket hotar både biologisk mångfald och dricksvattenförsörjning långt utanför konfliktzonen (OECD, 2022).

Modern forskning betonar infrastrukturens roll i den cirkulära ekonomin, där spillvatten ses som en resurs för biogas och näringsämnen. Vid återuppbyggnad av förstörd infrastruktur eller uppbyggnad av ny infrastruktur diskuteras ofta valet mellan decentraliserade system och stora centrala nätverk (Capodaglio, 2017). Infrastrukturen är därmed inte statisk eftersom dess närvaro och funktionalitet avgör ett samhälles förmåga att motstå kriser och skydda sitt ekosystem.

3. Metod

I detta kapitel beskrivs de metoderna som använts i studien. Syftet med metodvalen är att kunna analysera och jämföra olika reningsmetoders robusthet och flexibilitet, utifrån teoretiska och praktiska erfarenheter. Även en bedömningsmatris för behov och kostnader har inkluderats för att ge ytterligare ett perspektiv i analysen. Arbetet bygger på en kombination av litteraturstudie, två bedömningsmatriser, intervjuer samt ett studiebesök.

3.1 Litteraturstudie

Arbetet genomförs huvudsakligen som en litteraturbaserad studie. Information samlas in genom läsning av akademiska rapporter, vetenskapliga artiklar och faktasökning på internet, där källkritik tillämpas genom att relevans, trovärdighet och aktualiteten bedöms.

Litteraturen används för att skapa en grundläggande förståelse för tekniker, lösningar och utmaningar inom avloppsrening. Metoden är vald eftersom projektets syfte är att undersöka hur reningsverk kan göras mer flexibla och robusta inför framtida utmaningar, så som klimatförändringar och kriser.

Metoden passar studien eftersom målet inte är att genomföra egna experiment eller beräkningar, utan att analysera och jämföra befintliga lösningar.

3.2 Val av reningsprocesser

De reningsprocesserna som behandlas i studien är sedimentering, aktivt slam, MBR, MBBR, AGS, biobädd och småskaliga lösningar. Dessa reningsmetoder valdes att ha med i studien eftersom det är en kombination av konventionella och moderna tekniker. De konventionella är främst sedimentering och aktivt slam, som används på många reningsverk idag, medan MBR, MBBR och AGS är nyare och modernare tekniker.

Genom att analysera de sju olika reningsmetoder som har olika egenskaper, ges en bred överblick över de tekniska lösningarna som används idag och kan användas i framtiden. Sju metoder bedöms tillräckligt omfattande och hanterbart för studiens syfte.

3.3 Val av yttre störningar

De yttre störningarna som ingår i studien är varierande temperaturer, varierande flöden, kemikaliebrist samt påverkan på infrastruktur. Dessa fyra störningar har valts eftersom de är relevanta för avloppsrening och kan påverka både driften och reningsförmåga. De är dessutom relativt vanligt förekommande och bedöms med stor sannolikhet fortsatt vara en störning på reningsprocesserna i framtiden. Fyra yttre störningar anses vara tillräckligt omfattande för att göra en utförlig analys av hur de påverkar reningsprocesserna.

3.4 Val av vilka behov och kostnader att jämföra

De behoven som kommer analyseras är energibehov, ytbehov, underhållsbehov samt totala kostnaderna för att driva processerna. Samtliga behov/kostnader uttrycks i per renad mängd vatten för att det ska vara en rättvis och jämförbar analys mellan processerna. Kostnaderna inkluderar både driftkostnaderna och initialkostnaderna för att bygga anläggningen. Dessa

fyra aspekter har valt eftersom de är centrala och viktiga delar att analysera och jämföra. De är dessutom viktiga att inkludera då de påverkar både de praktiska och ekonomiska förutsättningarna för en anläggning.

3.5 Bedömningsmatris för robusthet

För att utvärdera hur resilienta de olika reningsmetoderna är mot yttre påverkan kommer en bedömningsmatris att användas, se Tabell 1. Matrisen fungerar som ett centralt verktyg i analysen och gör det möjligt att på ett strukturerat sätt jämföra reningsmetoderna/behandlingsmetoderna.

Matrisen bygger på en femgradig skala där:

- 1 (grön), innebär liten påverkan på reningsförmågan
- 5 (röd), innebär stor påverkan på reningsförmågan

Varje reningsmetod bedöms mot de olika störningarna och tilldelas ett värde beroende på hur känslig den anses vara. Bedömningen är relativ och är en jämförelse mellan de olika behandlingsmetoderna. Resultatet sammanställs i matrisen, vilket ger en överskådlig bild av vilka metoder som är mer eller mindre robusta gentemot dessa störningar.

Tabell 1: Exempel på hur bedömningsmatrisen kan se ut, med de olika reningsprocesser och yttre påverkan.

Behandlingsmetod	Varierande flöde	Varierande temperatur	Kemikaliebrist	Störningar på infrastruktur
Sedimentering	1	2	3	5
Aktivslam				
MBR				
MBBR				
AGS				
Biobädd				
Småskaliga lösningar				

3.6 Bedömningsmatris för behov och kostnader

För att utvärdera vilka behov och kostnader de olika reningsprocesserna kräver för att fungera, används ytterligare en bedömningsmatris, se Tabell 2. Matrisen fungerar som ytterligare ett centralt verktyg för att kunna göra en jämförelse mellan reningsmetoderna/behandlingsmetoderna med avseende på behoven samt kostnaderna för att processerna ska fungera.

Matrisen bygger på en femgradig skala där:

- 1 (grön), innebär litet behov/kostnad
- 5 (röd), innebär stort behov/kostnad

Varje reningsmetod bedöms med avseende på behov/kostnader. Bedömningen är relativ och är en jämförelse mellan de olika behandlingsmetoderna. Slutligen sammanställs resultatet i en bedömningsmatris för att få en mer överskådlig bild över skillnaderna.

Tabell 2: Exempel på hur bedömningsmatrisen kan se ut, med de olika reningsprocesser och behoven/kostnaderna som de behöver för att fungera.

Behandlingsmetod	Energibehov	Ytbehov (storlek på process)	Underhållsbehov	Kostnader
Sedimentering	1	2	3	5
Aktivslam				
MBR				
MBBR				
AGS				
Biobädd				
Småskaliga lösningar				

3.7 Intervjuer

För att utveckla rapporten genomförs intervjuer med personer som har kunskap och erfarenhet inom vatten- och avloppshantering. Intervjuerna bidrar med praktiska perspektiv och ger en bättre bild av hur olika lösningar fungerar i verkligheten.

Intervjuerna är semistrukturerade, vilket innebär att de genomförs med förberedda frågor, men med möjlighet att ställa följdfrågor och låta samtalet utvecklas. Personerna kommer även att fylla i två bedömningsmatriser (Tabell 1 och Tabell 2), som senare sammanställs i en gemensam tabell med det beräknade medelvärdet och som sedan avrundas till närmsta heltal.

Urvalet av intervjupersoner har gjorts utifrån deras erfarenhet inom avloppsrening, med fokus på personer med insyn i drift av reningsverk. Intervjuerna genomförs antingen på distans eller på plats som varar i en timme. De spelas in, sammanfattas och återges i sin helhet i bilagorna.

Chalmers AI portal kommer att användas som verktyg för transkription och sammanfattning av intervjuerna.

3.8 Intervjufrågor

De frågor som kommer att ingå i intervjuerna är följande:

Introduktionsfrågor:

- Namn, efternamn?
- Vad är din roll i arbetet?
- Vad har du för uppgifter?
- Hur länge har du jobbat där?
- Tidigare arbetslivserfarenheter?

Största utmaningarna:

- Vilka utmaningar har du stött på i driften av reningsverket?
- Vilka är det största problemen du har stött på kopplat till driften?
- Exempel på situationer där systemet satts på prov?

- Hittade ni några lösningar till problemet, i så fall vilka processer funkade bäst/sämst för att lösa utmaningen?
- Vad lärde ni er av situationen? Tips?
- Finns det något ni hade gjort annorlunda i efterhand?

Bedömningsmatriserna:

- Hur bedömer du hur de yttre störningarna påverkan på reningsprocesserna, utgå från Tabell 1 och kapitel 3.5.
- Hur bedömer du de behoven och kostnaderna som behövs för att reningsprocesserna ska fungera, utgå från Tabell 2 och kapitel 3.6.
- Beskriv kort varför du bedömer det som du gör.

3.9 Studiebesök

Utöver intervjuer och faktainsamling genomförs ett studiebesök på avloppsreningsverket Ryaverket i Göteborg för att få en tydligare bild hur anläggningarna är uppbyggda och drivs i praktiken. Syftet är att observera hur arbetet med exempelvis redundans, reservsystem och möjligheter för framtida utbyggnad ser ut på avloppsreningsverket. Studiebesöken fungerar som ett komplement till litteraturstudien och intervjuerna, men utgör inte en central del av arbetet utan används främst för den egna förståelsen.

3.10 Analysmetod

Analysen i arbetet bygger på en kombination av litteraturstudien, intervjuerna och bedömningsmatriserna. Litteraturen används som grund för att förstå hur olika reningsmetoder fungerar och vilka egenskaper de har, medan intervjuerna bidrar med praktiska erfarenheter om hur det fungerar i verkligheten. Bedömningsmatriserna används som ett verktyg för att sammanställa och jämföra resultatet på ett överskådligt sätt.

Genom att kombinera både litteraturen och intervjuerna går det att få en bra helhetsbild av hur robusta de olika metoderna är mot olika typer av störningar och vilka behov/kostnader som krävs.

3.11 Metodkritik

Det finns vissa begränsningar med metoden som är viktiga att lyfta. Bedömningsmatrisen baseras till viss del på egna tolkningar av litteraturen och intervjuerna, vilket innebär att resultaten inte är helt objektiva.

Antalet intervjuer är dessutom begränsat till fyra personer, vilket gör att resultatet inte nödvändigtvis kan generaliseras till alla reningsverk. Samtidigt ger de värdefulla insikter som stärker studien, även om intervjupersonerna har olika erfarenheter och kan därför resonera på olika sätt.

Utöver dessa begränsningar, har studien också avgränsats till fyra olika yttre störningar, fyra behov/kostnader och sju reningsprocesser. Dessa val av begränsningar genomfördes för att hålla arbetet inom en rimlig omfattning. Det betyder att inte alla tänkbara yttre störningar eller reningsprocesser behandlas, vilket kan påverka hur heltäckande resultatet blir.

Trots dessa begränsningar bidrar metoden med en samlad bild av hur olika reningsmetoder påverkas av yttre störningar, även om resultatet bör tolkas med viss försiktighet.

3.12 Etiska övervägande, intervju

Intervjuerna genomförs frivilligt och deltagarna informeras om studiens syfte samt hur deras svar kommer att användas. Alla intervjupersoner ges möjlighet att vara anonyma och kan när som helst avbryta sitt deltagande. Inga känsliga personuppgifter samlas in och materialet används enbart för detta kandidatarbete. Sammanfattningarna har skickats till alla intervjupersonerna och de har fått möjligheten till små korrigeringar eller förtydliganden och har godkänt att sammanfattningarna får användas i projektet.

3.13 AI användning

Chalmers AI portal har använts för att sammanfatta intervjuerna. Efter sammanfattningen av AI, har den läst igenom och dubbelkollats så att det är relevant och rätt information. AI har även använts för att generera figurer och bilder i projektet. Dessa verktyg har godkänts av handledare att användas i arbetet.

4. Resultat

I detta kapitel kommer resultatet av arbetet att presenteras. Bedömningsmatriserna, driftproblemen och lösningarna på störningarna kommer att presenteras. Intervjuernas fullständiga sammanfattningar återges i bilagorna 1–4. Resultaten kommer att diskuteras vidare i kapitel 5.

4.1 Bedömningsmatriserna

Bedömningsmatriserna utifrån litteraturen och intervjuerna kommer att presenteras i detta delkapitel. Tillsammans ger dessa matriser en bild av hur olika reningsprocesser påverkas av yttre störningar samt vilka behov och kostnader som är kopplade till dem. Även spridningen i parentes (min-max) för intervjupersonernas åsikter redovisas i Tabell 5 och Tabell 6 för att kunna se skillnaderna mellan intervjupersonernas åsikter. Minsta värdet står först i parentesen följt av det största, dessa värden är framplockade genom att identifiera det minsta respektive största värdet från alla fyra intervjuer. Alla ifyllda bedömningsmatriser av intervjupersonerna återges i bilagorna 1–4.

Tabell 3: Ifylld bedömningsmatris utifrån litteraturen för reningsprocesser och yttre störningar.

Behandlingsmetod	Varierande flöde	Varierande temperatur	Kemikaliebrist	Störningar på infrastruktur
Sedimentering	4	2	3	5
Aktivslam	3	5	3	4
MBR	4	5	4	5
MBBR	2	4	2	4
AGS	3	4	3	4
Biobädd	4	4	1	4
Småskaliga lösningar	4	3	2	2

Tabell 4: Ifylld bedömningsmatris utifrån litteraturen för reningsprocesser och behov/kostnader.

Behandlingsmetod	Energibehov	Ytbehov (storlek på process)	Underhållsbehov	Kostnader
Sedimentering	2	5	1	5
Aktivslam	5	4	4	5
MBR	5	1	5	5
MBBR	2	2	3	3
AGS	3	1	4	4
Biobädd	2	2	3	1
Småskaliga lösningar	2	1	3	3

Tabell 5: Ifylld bedömningsmatris utifrån medelvärde, samt spridningen (min-max) av intervjuerna för reningsprocesser och yttre störningar.

Behandlingsmetod	Varierande flöde	Varierande temperatur	Kemikaliebrist	Störningar på infrastruktur
Sedimentering	4 (4-5)	2 (1-2)	2 (1-3)	3 (1-5)
Aktivslam	3 (3-4)	5 (4-5)	3 (1-3)	4 (2-5)
MBR	4 (3-5)	4 (4-5)	5 (3-5)	4 (3-5)
MBBR	3 (2-3)	3 (2-5)	3 (1-4)	4 (3-5)
AGS	3 (3-4)	4 (3-5)	2 (1-3)	4 (2-5)
Biobädd	2 (1-3)	3 (2-5)	1 (1-1)	4 (2-5)
Småskaliga lösningar	3 (1-4)	3 (1-5)	2 (1-3)	4 (3-4)

Tabell 6: Ifylld bedömningsmatris utifrån medelvärde, samt spridningen (min-max) av intervjuerna för reningsprocesser och behov/kostnader.

Behandlingsmetod	Energibehov	Ytbehov (storlek på process)	Underhållsbehov	Kostnader
Sedimentering	2 (1-2)	5 (4-5)	2 (1-2)	2 (1-3)
Aktivslam	3 (2-4)	4 (4-5)	3 (2-3)	3 (2-4)
MBR	5 (4-5)	2 (1-2)	4 (4-5)	4 (3-5)
MBBR	4 (3-4)	3 (2-4)	3 (3-3)	3 (3-4)
AGS	3 (1-4)	3 (2-4)	3 (1-3)	3 (1-3)
Biobädd	3 (3-4)	3 (3-3)	3 (2-3)	3 (2-3)
Småskaliga lösningar	4 (3-4)	4 (3-5)	4 (3-4)	5 (4-5)

4.2 Identifierade driftproblem

Experter beskrev att höga flöden är det vanligaste störningen på driften. Höga flöden uppstår främst vid mycket nederbörd eller vid snösmältning. De lyfte att inläckage i ledningsnätet på grund av dåligt underhåll bidrar till de ökade mängderna vatten in till reningsverken. Även användningen av kombinerat avloppsvattenledning, där avloppsvatten och dagvatten leds i samma rör bidrar till att flödena ökar. Sammantaget bidrar detta till att reningsverken behöver hantera stora mängder vatten, vilket skapar både kostnads- och flödes problem.

Ett annat driftproblem som togs upp handlade om nitrifikation och denitrifikation i kallt vatten. När det inkommande vattnet är kallare, leder det till att partiklarna inte sjunker och flockulerar lika effektivt. Bakterier som krävs för nitrifikation och denitrifikation är också känsliga för temperaturvariation och kallt vatten ger upphov till längre uppehållstider för avloppsvattnet. Vid högt flöde är detta problem ännu värre eftersom stegen där recirkulering av nitrifierat vatten sker blir omöjligt på grund av mängden vatten i systemet.

Ytterligare ett driftproblem är levande organismer i anläggningarna. Gustav Ernst nämnde att han är varit med om en situation där snäckor bodde i biobädden på reningsverket. Dessa snäckor upptäcktes då kväveringen försämrades och de hittade dessa snäckor i biobädden som påverkade kväveringen negativt.

4.3 Föreslagna lösningar från intervjupersoner på driftproblem

Lösningarna som intervjupersonerna diskuterade var främst kopplat till att ledningssystemet behöver förbättras och utvecklas. Ledningsnätet behöver renoveras eller förnyas, för att minska inläckage av dagvatten. Det kombinerade avloppssystemet är också ett system som behöver fasas ut och bytas ut mot ett separat system där dagvatten och avloppsvatten inte blandas. Om dessa två lösningar implementeras leder det till minskade flöden till reningsverken och minskar problemet med varierande flöden.

Ytterligare en lösning till höga flöden är bräddningsbassänger som fungerar genom att man snabbt kan ställa om vissa bassänger till högflödesrening. Stora mängder fällningskemikalier tillsätts i bassängerna och vattnet leds igenom där och sedan släpps ut. Det är ingen perfekt metod som renar vattnet helt, men vattnet genomgår någon typ av rening innan det släpps ut i naturen. Denna lösning finns på många reningsverk som en nödlösning om det är väldigt stora flöden.

Problemen kopplade till nitrifikation och denitrifikation är att det inkommande vattnet är kallt, eftersom dagvattnet och smältvatten har en låg temperatur. Om systemet är separat och det är mindre inläckage, kommer det inkommande vattnet inte ha så stora variationer i temperatur.

Lösningen på Gustaf Ernst problem var att dränka biobädden med vatten på våren, för att snäckorna ska dö och kan spolas bort. Detta är något som har blivit ett rutinmässigt jobb som utförs varje år för att det inte ska inträffa igen.

5. Diskussion

I detta kapitel kommer resultatet att diskuteras och jämföras mellan intervjuerna och litteraturen. Även de etiska och samhällsliga aspekterna, förslag på framtida arbeten samt metoddiskussion kommer också att ingå i diskussionen.

5.1 Sedimentering

Sedimentering betraktas som den äldsta och mest utforskade metoden för rening av avloppsvatten. Efter årtionden av forskning och uppgraderingar av den teknik som utför denna metod står det klart att detta är den bästa metoden när det gäller avloppsrening för en stor befolkning till en rimlig driftskostnad. Det största problemet är behovet av ett stort område som ligger långt ifrån bostadsområdena när man bygger reningsverket. Detta beror främst på att stora bassänger behövs för processen vilket innebär att städer behöver planera en zon för detta. Det är också relaterat till lukten som kan göra det svårt för boende att leva i närheten av reningsverket.

När det gäller temperaturvariationer är kallare temperaturer vanligtvis huvudproblemet med denna process. Detta beror på att kallare vatten har högre viskositet, vilket påverkar partiklarnas sedimentering. Den högre viskositeten saktar ner partiklarnas hastighet, och i en situation där prioriteten är snabbhet är detta negativt. Även om detta är ett problem med sedimentering, är det inte lika betydande jämfört med andra reningsmetoder.

Flödesvariationer, särskilt höga flöden, är ett stort problem när det gäller sedimentering. Denna process kräver att avloppsvattnet spenderar lång tid i sedimenteringsbassänger och ett konstant flöde gör det lättare att hantera detta problem. Högre flöden innebär att avloppsvattnet inte tillbringar lika mycket tid i dessa bassänger, vilket försvagar reningens effektivitet.

Sammanfattningsvis är fördelarna med sedimentering anledningen till att denna metod utgör ryggraden i avloppsrening över hela världen. Även om installationskostnaden är hög är driftskostnaden lägre jämfört med andra metoder. Detta är också relaterat till underhållet som är lägre på grund av det låga antalet rörliga delar och maskiner som krävs för att systemet ska fungera. I moderna avloppsreningsverk används denna metod inte ensam utan i kombination med andra reningsmetoder. Anledningen till detta är den ökade förståelsen för de föroreningar som finns i avloppsvatten och dessa föroreningars komplexitet. Det mesta av det suspenderade materialet avlägsnas genom sedimentering, men det finns fortfarande ett behov av att avlägsna organiskt material från vattnet.

5.2 Aktivt slam

Aktivtslamprocessen ses som den vanligaste biologiska reningsmetoden och används vanligtvis i kombination med sedimentering. Det kräver också stora ytor och avstånd från bostadsområden. Utöver detta har den enorma energibehov för att driva det betydande antal maskiner som krävs för att metoden ska fungera. Det stora antalet maskiner ökar underhålls- och driftskostnaderna, vilket gör metoden till en stor belastning för en budget.

När det gäller temperaturvariationer är kallare temperaturer ett stort problem. Även om hög viskositet påverkar metoden är huvudproblemet förändringen i mikrobiell artsammansättning vilket leder till ett överskott av filamentösa bakterier. Filamentösa bakterier kan vara gynnsamma när de fungerar som den strukturella ryggraden för aggregering av partiklar till flockar. Ett överskott av dessa bakterier kan ha motsatt effekt eftersom det leder till en horisontell tillväxt som trycker partiklarna ifrån varandra, vilket leder till att slammet flyter på toppen av tanken.

Flödesvariationer, specifikt höga flöden, kan leda till hydraulisk överbelastning. Höga flöden leder till att partiklar inte hinner sedimentera och därmed rinner ut ur systemet. Det gör det omöjligt för metoden att effektivt avlägsna de partiklar som bör avlägsnas.

Sammanfattningsvis är fördelen med denna metod dess förmåga att hantera organiskt material i avloppsvatten. Den är också återvinningsbar eftersom slammet som erhålls i slutet av varje cykel återförs till systemet. Denna förmåga till återvinning syns även i de biprodukter som erhålls från processen. Dessa biprodukter inkluderar biogas och gödningsmedel, vilket ytterligare ökar dess betydelse för samhället. Biogasen kan användas för att driva avloppsreningsverket och gödningsmedlet säljs till lantbrukare.

5.3 MBR

MBR beskrivs i litteraturen som en yteffektiv process med hög reningsförmåga och som kan ha stor mängd aktivt slam i reaktorerna. Problemen med metoden är att den är kostsam att bygga och driva, kräver mycket underhåll och har hög energiförbrukning. Detta bekräftades i intervjuerna där MBR återkommande beskrevs som en process som behöver kontinuerlig luftning, fungerande pumpar och ett kontinuerligt underhållsarbete med främst reningörning av membranen.

När det gäller yttre störningar beskrivs MBR som att det är mer känsligt för kemikaliebrist än konventionella aktivt slamprocesser. Både i intervjuerna och litteraturen har MBR och aktivt slam ungefär samma behov av kemikalier kopplat till reningen, dock blir MBR mer känsligt då det krävs mycket kemikalier för att rena membranen. Även varierande flöden påverkar MBR mycket då slammet inte kan lämna processen genom sedimentering, och kan då leda till slamflyting och skum byggs upp på vattenytan. Varierande temperatur påverkar slammet på samma sätt som för andra biologiska reningsprocesser.

Sammanfattningsvis kan MBR fungera som ett komplement för att byta ut de konventionella aktivt slamprocesserna, då de kan rena stora mängder vatten med hög kvalitet och kräver mindre yta på reningsverken. Något att ha i åtanke är att det är kostsamt, kräver mycket underhåll och kräver mycket energi som kan påverkas mycket under en störning på energisystemet.

5.4 MBBR

MBBR beskrivs i litteraturen och intervjuerna som en robust, flexibel och kostnadseffektiv reningsprocess. Litteraturen beskriver att processen klarar att rena stora och varierande flöden,

samtidigt som en hög reningsgrad av BOD och COD kan uppnås, utan så mycket underhåll. Detta är något som stämmer överens med intervjupersonernas kunskap om MBBR.

Den största störningen som både litteraturen och intervjuerna pekar på är varierande temperaturer, speciellt vid kallt vatten. Kallt vatten försämrar både nitrifikationen och denitrifikationen, vilket påverkar effektiviteten av kväverening negativt.

Utifrån kemikaliebrist och varierande flöden visar litteraturen och intervjuerna på att MBBR inte så påverkad av dessa eftersom det inte krävs så mycket kemikalier för att reningen ska fungera och att processen kan rena stora och varierande mängder vatten. Däremot är processen beroende av luftning och/eller omrörning, vilket gör att störningar i energisystemet påverkar driften.

Sammanfattningsvis visar både litteraturen och intervjuerna att MBBR en bra metod för att rena vattnet från BOD, COD och kväve, samtidigt som det krävs relativt små reaktorvolymmer och som inte kräver så mycket underhåll. Problemen med MBBR är att det krävs energi för att systemet ska fungera samt att kallt vatten påverkar effektiviteten av kvävereningen negativt.

5.5 AGS

Aerob granulärt slam (AGS) visas i litteraturen som en lovande utveckling inom biologisk avloppsrening, särskilt i jämförelse med den traditionella aktivt slamprocessen. En av de största fördelarna är att flera reningssteg kan ske samtidigt i samma reaktor, vilket gör processen mer kompakt och minskar behovet av stora anläggningar. Detta kan vara en stor fördel i områden där det är begränsat med utrymme eller där man vill minska energiförbrukningen. Samtidigt visar litteraturen att AGS inte alltid är en enkel ersättning till befintliga system. Processen är beroende av stabila driftförhållanden och faktorer som temperatur, belastning, och avloppsvattnets innehåll påverkar hur bra reningen fungerar. Även om systemet kan vara robust i många fall krävs det fortfarande noggrann styrning och kontroll.

En annan viktig fördel är att slammet i AGS sedimenterar snabbare än i traditionella system. Detta gör att separationen mellan vatten och slam blir mer effektiv, vilket leder till bättre reningsresultat och kortare processtider. Samtidigt medför tekniken vissa utmaningar, särskilt vid uppstarten då granulerna ska bildas. Detta kan ta tid och kräver rätt förutsättningar.

Utifrån intervjuerna visas det att de kunniga inom detta område ser både fördelar och utmaningar med AGS. Resultaten från intervjuerna stämmer till stor del överens med vår egen bedömning, vilket gör att resultaten känns mer trovärdiga. Framför allt framkommer det att AGS är ett kompakt effektivt system men att processen samtidigt är känslig för vissa yttre störningar.

Både intervjuerna och litteraturen visar att varierande temperatur och störningar på infrastrukturen kan påverka processen till stor del. Eftersom AGS bygger på biologiska processer krävs relativt stabila driftförhållanden för att reningen ska fungera bra. Varierande flöden uppfattas som något lättare att hantera, även om stora förändringar fortfarande kan påverka systemet negativt.

AGS lyfts fram som en lovande teknik eftersom systemet kräver mindre yta än många traditionella reningsmetoder och samtidigt kan ge effektiv rening. Detta ses som en stor fördel, särskilt där utrymmen är begränsat. Samtidigt krävs noggrann styrning och regelbundet underhåll för att processen ska fungera stabilt, vilket gör att både drift och kostnader fortfarande är viktiga faktorer att ta hänsyn till.

Eftersom AGS är en relativt ny teknik finns det fortfarande begränsad kunskap om hur systemen fungerar på lång sikt. Det gör att det finns vissa osäkerheter kring drift och underhåll jämfört med mer etablerade metoder. Däremot visar litteraturen och resultaten på intervjuerna att AGS har stor potential och flera tydliga fördelar men att tekniken fortfarande kräver vidare utveckling och erfarenhet innan den kan ersätta traditionella system fullt ut.

5.6 Biobädd

Biobädd är en enkel men samtidigt effektiv metod för att rena förorenat vatten. Det som gör tekniken intressant är att den inte bara fångar upp föroreningar i materialet, utan också bryter ner dem med hjälp av mikroorganismer.

En tydlig fördel som lyfts i flera studier är att biobäddar i form av trickling filters är relativt billiga och inte kräver särskilt mycket energi. Avloppsvattnet sprids över ett filtermaterial där mikroorganismer växer som en biofilm och bryter ner föroreningar. Tekniken kan därför vara mindre krävande i drift jämfört med mer avancerade biologiska processer. Samtidigt påverkas reningen av faktorer som temperatur, belastningsvariationer och hur jämnt vattnet fördelas över bädden. Därför kan trickling filters vara ett relevant alternativ, men deras funktion beror på rätt dimensionering och stabila driftförhållanden.

Däremot är biobäddar inte en perfekt lösning i alla situationer eftersom nackdelar existerar. Hur bra de fungerar verkar bero på flera olika faktorer, till exempel temperatur och fuktighet. Detta innebär att resultatet kan variera och att tekniken inte alltid ger samma effekt under olika förhållanden. Därför är det viktigt att inte se biobäddar som en generell lösning, utan snarare som ett system med stor potential men också vissa begränsningar.

Det är även viktigt att vara försiktig när resultat från labb eller pilotskaliga studier används för att bedöma hur väl trickling filters fungerar i större reningssystem. I mindre skala kan förhållanden som flöde, temperatur och belastning ofta kontrolleras bättre än i verklig drift. I fullskaliga avloppsreningsverk påverkas processen däremot av större variationer i inflöde, organisk belastning och klimatförhållanden, vilket kan påverka reningseffektiviteten. Därför bör positiva resultat från mindre studier ses som vägledande, men inte automatiskt överföras direkt till långvarig drift i större och mer komplexa system.

Sammantaget ger litteraturen ändå en positiv bild av biobäddar. Det ser ut och vara en hållbar teknik för framtiden, särskilt som komplement till andra reningsmetoder. Styrkan ligger i att det förenar naturliga processer med relativt hög reningseffektivitet på ett sätt som både är enkelt och hållbart. Därför kan biobäddar ses som en intressant del av framtidens miljövänliga vattenrening, även om det fortfarande behövs mer kunskap om hur tekniken fungerar i större skala.

På intervjuerna uppfattades biobäddar som en relativt robust reningsteknik jämfört med flera andra biologiska processer. Till skillnad från exempelvis aktivt slam och MBR som beskrivs som känsliga för varierande flöden och kräver hög energianvändning, lyfts biobäddar fram som mindre känsliga för störningar och med lägre behov av både energi och kemikalier. Detta gör dem funktionella och effektiva ur ett driftsperspektiv, speciellt i situationer där stabilitet är viktigt.

Det visar sig att biobäddar även påverkas av yttre faktorer som temperatur och biologiska störningar. Exemplet från Ryaverket där biofilmen påverkades av organismer som snäckor och sniglar, visar att driften inte är helt problemfri och att regelbundet underhåll krävs för att upprätthålla funktionen.

Biobäddar kan därför utifrån intervjuerna ses som en robust och relativt driftsäker teknik, men inte som en lösning utan behov av tillsyn. Deras styrka ligger framför allt i kombinationen av enkel drift och motståndskraft mot vissa typer av störningar.

5.7 Småskaliga lösningar

Småskaliga avloppslösningar visar sig vara ett viktigt komplement till större reningssystem, särskilt i områden där lokala förutsättningar gör storskaliga lösningar mindre lämpliga. Deras främsta styrka ligger i att de kan anpassas efter platsens behov, vilket ger en större flexibilitet än vad stora, standardiserade system ofta kan erbjuda. Detta gör dem särskilt intressanta ur ett robusthetsperspektiv eftersom mindre system i vissa fall kan fungera även när större anläggningar drabbas av störningar.

Å andra sidan måste valet av småskaliga lösningar anpassas efter hur fastigheten används. En septiktank kan till exempel vara tillräcklig i fritidsbostäder där belastningen är låg, medan det i permanentboende ofta blir mindre praktisk eftersom behovet av tömning ökar. På så sätt blir det tydligt att en enkel lösning inte alltid är den mest hållbara i längden.

Minireningsverk uppfattas som ett mer avancerat alternativ med bättre reningsförmåga, vilket gör dem lämpliga där miljökraven är högre. Den högre tekniska nivån innebär dock också att systemet kräver mer kontroll. Fördelen med hög reningsgrad måste därför vägas mot behovet av drift och underhåll. Även torrtoaletter och liknande lösningar har sina styrkor, framförallt genom att de minskar vattenanvändningen och avlastar avloppssystemet. Deras lämplighet beror dock på användarnas behov.

Det som framträder tydligast är därför att småskaliga avloppslösningar inte bör bedömas som bra eller dåliga i sig, utan utifrån de omständigheter där de ska användas. Deras potential är stor, men den praktiska funktionen påverkas av faktorer som tekniska, sociala och ekonomiska. Därför blir det viktigt att se småskaliga lösningar som platsanpassade alternativ, där rätt system på rätt plats är avgörande för att uppnå en fungerande och långsiktigt hållbar avloppshantering.

Småskaliga avloppslösningar framstår vara robusta enligt intervjuerna eftersom de är lokala och inte alltid påverkas på samma sätt som stora centrala reningsverk. Ann lyfter exempelvis att de kan vara mindre känsliga för flödesvariationer eftersom belastningen är mer avgränsad

till ett mindre område. Det gör att småskaliga lösningar kan vara funktionella i områden där kommunalt avlopp saknas eller där lokala förutsättningar kräver en mer platsanpassad lösning.

Småskaliga system har dock även sina nackdelar, där exempelvis strömavbrott kan leda till att många enheter i ett område samtidigt påverkas, vilket gör dem sårbara om det saknas reservlösningar. Dessutom kräver vissa system tillsyn och återkommande underhåll för att fungera som de ska.

Småskaliga avloppslösningar kan därför ses som flexibla och användbara, men inte helt problemfria. Utifrån intervjuerna kan deras lämplighet bero framför allt på platsens förutsättningar, driftsäkerhet och hur väl underhåller organiseras.

5.8 Jämförande analys mellan litteratur och intervjuer

Litteraturen och intervjuerna gav samma helhetssyn på sedimentering. Detta är att sedimentering är ryggraden för de flesta reningssystem som används i världen. Den tar en stor yta med tanke på själva bebyggelsen men även skyddsområden runt för att undvika samhällrelaterade problem som obehaglig lukt. Varierande flöde är ett svårt problem att hantera med denna process eftersom den kräver långa uppehållstider för att ge bästa resultat. Metoden kan också hantera störningar som varierande temperatur och kemikaliebrist på ett acceptabelt sätt eftersom det är en fysisk process och är inte beroende på kemikalier. Varierande temperatur kan leda till en variation på uppehållstiden men det kommer inte stoppa processen medan kemikalier behövs inte för process förutom i specifika situationer där det finns ett problem med flockulering.

Skillnaden mellan litteraturen och intervjuerna presenteras i tanken kring störning på infrastruktur. Litteraturen gav perspektiven att störning på infrastruktur är mycket betydande för hela processen. Om det finns ett problem med en sedimenterings bassäng är det omöjlig att använda den bassäng vilket leder till att orenade vatten lämna systemen. Intervjuerna gav en mer detaljerad insyn på hur systemen faktiskt fungerar och nyckelordet är redundans. För att kunna utnyttja sedimentering till högsta nivån krävs det ett stort antal sedimenteringsbassänger. Detta ökar förmågan att hantera ett problem med en eller flera bassänger även om det ökar stressen på systemen. En annan viktig punkt är att målet med ett reningsverk är att den ska vara överdimensionerad för den områden den betjänar. Ett exempel på detta är i Göteborg med Ryaverket där anläggningen expanderas. Denna överdimensionering betyder att det finns ett mellanrum vid problem med flera bassänger.

Ytterligare en skillnad presenteras i åsikterna kring kostnad. Litteraturen gav perspektiven att den uppbyggnadskostnaden är en betydande faktor för systemet vilket påverkade dess värde i bedömningsmatrisen. Intervjuerna visade att denna tankegång är ganska enkel och att kostnaden för både uppbyggnaden och driften för sedimentering kan anses vara lågt i jämförelse med de andra processer. Anledning för detta är hur komplexa de andra system är jämfört med sedimentering. Denna enkelhet är en till fördel för sedimentering när det gäller flexibilitet och robusthet.

Litteraturen och intervjuerna kom till samma slutsats när det gäller aktivt slam. De stödjer faktumet att det är den vanligaste biologiska reningsprocess som används i världen. Systemet används vanligtvis med sedimentering vilket betyder att ytbehovet är hög. Precis som alla biologiska reningsprocesser har aktivt slam svårigheter med varierande temperatur men ger en acceptabelt resultat vid varierande flöde och kemikaliebrist.

Skillnaden mellan litteraturen och intervjuerna förekommer vid energibehovet. Litteraturen gav perspektiven att antalet maskiner som används betyder att energikravet kommer att öka betydligt. Intervjuerna visade dock att även om antalet maskiner ökar och energibehovet ökar, denna ökning kan inte jämföras med energibehovet för ett system som MBR.

En till skillnad märks när det gäller kostnader. På grund av relationen mellan sedimentering och aktivt slam var tanken att kostnaden skulle också vara samma. Intervjuerna visade dock att kostnader kommer vara lite högre än vid sedimentering och detta är på grund av högre driftkostnad beroende på de specifika maskiner som behövs. Det kommer ändå vara mindre än kostnaden för MBR eftersom det använder inte lika komplexa maskiner vilket betyder mindre driftkostnad och underhållsbehov.

Gällande MBR så skiljer sig litteraturen och intervjuerna inte så mycket mellan varandra. Båda har liknande uppfattning om vilka fördelar och nackdelar som metoden har och det skiljer inte så mycket mellan bedömningsmatriserna. Även för MBBR så skiljer sig litteraturen och intervjuerna inte så mycket mellan varandra. Båda beskriver de fördelar och nackdelar på liknande sätt och det är inga stora skillnader i bedömningsmatriserna.

Resultaten från litteraturen och intervjuerna pekar i stort sett åt samma håll när det gäller AGS. Båda beskriver tekniken som effektiv och kompakt, med tydliga fördelar som minskat ytbehov och möjlighet att kombinera flera reningssteg i samma process. Samtidigt framgår det från båda att AGS är känsligt för vissa driftförhållanden, särskilt temperaturförändringar och störningar i infrastrukturen. Detta visar att systemet kräver relativt stabila förhållanden för att fungera bra.

Litteraturen och intervjuerna ger en ganska liknande bild av biobäddar. I litteraturen beskrivs biobäddar som en biologisk reningsteknik där mikroorganismer i en biofilm bryter ner organiskt material i avloppsvattnet. Intervjuerna bekräftar detta, men lyfter framför allt fram att tekniken är relativt robust jämfört med flera andra biologiska processer.

En skillnad är att litteraturen fokuserar mer på reningskapacitet, belastning och teknisk funktion, medan intervjuerna ger ett mer praktiskt perspektiv på drift, störningar och underhåll. Annars visar både litteratur och intervjuer att biobäddar kan fungera som ett stabilt komplement i avloppsrening, men att deras prestanda fortfarande påverkas av faktorer som temperatur och belastning.

För småskaliga lösningar handlar det inte främst om en specifik reningsprocess, utan om flera olika lösningar som kan användas beroende på platsens behov. Litteraturen visar att septiktankar, minireningsverk, torrtoaletter och enklare biologiska system kan vara användbara i områden där kommunalt avlopp saknas eller där belastning är låg.

Intervjuerna fokuserar däremot mer på den praktiska aspekten på robusthet. Där lyfts småskaliga lösningar fram som lokala system som kan vara mindre känsliga för flödesvariationer, men samtidigt mer sårbara vid exempelvis strömavbrott om många enheter påverkas samtidigt. Det gör att småskaliga lösningar inte bara bör bedömas utifrån reningsförmåga, utan även utifrån drift, tillsyn och hur anpassad systemet är för området. Ytterligare en sak att ha i åtanke är att det enbart var två av fyra intervjupersoner som valde att fylla i bedömningsmatrisen för småskaliga lösningar.

5.9 Samhälleliga och etiska aspekter

I detta delkapitel kommer de samhälleliga och etiska aspekterna med avloppsreningen att presenteras och diskuteras.

5.9.1 Samhälleliga aspekter

I detta delkapitel presenteras och diskuteras de samhälleliga aspekterna av avloppsrening. Fokuset kommer att vara på hur systemet påverkar vår gemensamma miljö och människors vardagliga trygghet. Avloppsrening är en grundpelare för ett fungerande samhälle där balansen mellan teknik, natur och social välfärd provas dagligen.

5.9.2 Ekologisk hållbarhet

Den ekologiska hållbarheten avser samhällets förmåga att förvalta jordens resurser på ett ansvarsfullt sätt som inte resulterar i skadlig förbrukning. En kritisk sårbarhet i detta system är bräddning vilket innebär att orenat avloppsvatten avleds direkt till vattendrag när reningsverkens kapacitet överskrids. Utsläpp av orenat vatten orsakar höga halter av kväve och fosfor vilket accelererar eutrofiering. För att motverka detta styrs verksamheten av strikta utsläppsdirektiv som EU:s avloppsdirektiv och Miljöbalken i Europa respektive Sverige. En underdimensionerad infrastruktur skapar en systemisk miljöskuld som belastar kommande generationer och påverkar den ekologiska hållbarheten. Brister i hanteringen av föroreningar när det händer försvagar ekosystemens förmåga till återhämtning vilket leder till en ökad känslighet för ytterligare miljörelaterade problem. Målet är att tvinga kommuner att kontinuerligt uppgradera sin reningsteknik för att uppnå en god ekologisk status.

5.9.3 Social hållbarhet

Social hållbarhet omfattar ett samhälles kapacitet att bemöta grundläggande mänskliga behov och bevara en robust infrastruktur för allmän välfärd. Inom denna struktur framstår avloppssystemet som en fundamental del av den sociala infrastrukturen. En fungerande avloppsrening system är det urbana sanitetsystemets ryggrad och spelar den avgörande rollen för att förhindra sjukdomsspridning. När tekniska problem inträffar och befolkning förlorar möjligheten att använda dessa tjänster uppstår omedelbara risker för folkhälsan och den personliga värdigheten. Att denna samhällsservice fungerar utan avbrott är centralt för medborgarnas förtroende för offentliga institutioner. Återkommande brister som källaröversvämningar eller systemstörningar leder till förlorad tillit i landets institutioner.

5.9.4 Säkerhetsaspekt

Säkerhetsaspekten inom avloppsrening handlar om att skydda människor och miljö från de risker som kan uppstå om avloppsvatten inte tas om hand och renas på ett tillräckligt sätt. Enligt Naturvårdsverket kan avloppsvatten innehålla föroreningar och sjukdomsspridande mikroorganismer som kan påverka både miljö och människors hälsa negativt. Dessutom använder reningsprocessen kemikalier och energi, vilket innebär att det finns ytterligare risker kopplade till drift av reningsverket.

En viktig del av säkerheten är arbetsmiljön för personalen. De som arbetar i anläggningarna kan exponeras för bakterier, virus och mikroorganismer som finns i avloppsvattnet (Folkhälsomyndigheten, 2025). För att minska dessa risker krävs användning av skyddsutrustning, tydliga arbetsrutiner samt kompetens. Det finns även krav på korrekt användning av kemikalier som fällningskemikalier och desinfektionsmedel för att undvika olyckor och hälsorisker (Arbetsmiljöverket, 2026).

Säkerhetsaspekten handlar också om att skydda anläggningen mot yttre hot, såsom sabotage. Om avloppsreningen störs kan förorenat vatten släppas vidare till sjöar och vattendrag där fiskar och andra djur lever, vilket kan skada deras ekosystem. Sådana störningar kan också påverka människor negativt, eftersom vattnet är en viktig resurs för samhället och kan även kopplas till dricksvatten. Om farliga ämnen sprids kan konsekvenserna bli allvarliga. Därför behövs god säkerhet runt anläggningen med en begränsad åtkomst med hjälp av exempelvis grindar och stängsel.

Med detta sagt kan många av de säkerhetsproblem som identifieras förebyggas genom ett systematiskt och långsiktigt säkerhetsarbete. Enligt svenskt vatten (n.d.) bör säkerhetsarbetet inom VA-sektorn integreras i verksamhetens ordinarie kvalitetsarbete och inkludera risk och sårbarhetsanalyser, tydlig ansvarsfördelning och utbildning. Genom ett sådant förebyggande arbete kan sårbarheter minskas och verksamhetens förmåga att hantera både vardagliga störningar och mer allvarliga händelser stärkas.

5.9.5 Etiska aspekter

Det finns etiska aspekterna kopplat till robust och flexibel avloppsrening. En del handlar om att det är en etisk skyldighet att skydda natur och människor från negativ påverkan av bristande rening. En annan del är kopplat till rättvisan om hur resurserna ska fördelas för att kunna rena avloppsvattnet.

En etisk skyldighet att skydda natur och människor från negativ påverkan av bristande avloppsrening grundas i principen om att dagens samhälle inte får orsaka skador för framtida generationers hälsa eller ekosystemens funktion. Otillräcklig rening kan leda till utsläpp av näringsämnen, läkemedelsrester och andra föroreningar som bidrar till övergödning, ekologisk obalans och risker för människors hälsa.

Ur ett etiskt perspektiv innebär detta att verksamhetsutövare och beslutsfattare har ett ansvar att tillämpa försiktighetsprincipen och säkerställa att avloppssystem inte skadar vattenmiljöer eller sprider skadliga ämnen. Detta kopplar även till miljöbalkens mål om en hållbar utveckling där nuvarande och kommande generationer ska garanteras en god hälsosam miljö.

Rättvisan kopplat till avloppsrening handlar främst om hur resurser ska fördelas för att förebygga och hantera störningar på reningsprocesserna. Som i kapitel 2.2.3, om kemikaliebrist, där de stora avloppsreningsverken prioriterade före de små om det uppstår en brist. Det innebär att invånare i olika kommuner eller städer inte alltid har samma nivå av skydd och säkerhet gentemot utsläpp av orenat avloppsvatten. Därför blir det viktigt att resurserna fördelas på ett jämlikt sätt och att de mindre reningsverken får hjälp med deras egen beredskap, så att alla får tillgång till hållbar och robust rening, oavsett vart man bor.

5.10 Metoddiskussion

I detta delkapitel kommer metodens svagheter och styrkor att diskuteras och hur det påverkar hur resultatet bör tolkas.

Bedömningsmatrisen har varit ett centralt verktyg för att jämföra reningsprocessernas robusthet. Matrisen bygger delvis på egna tolkningar av litteraturen så är den inte helt objektiv. Bedömningen med graderingen 1–5 i bedömningsmatrisen har sina brister då det är en relativt liten skala och bedömningen är en egen uppskattning utifrån litteraturen. Bedömningsmatrisen jämförs dock med intervjupersonernas bedömning för att verifiera utifrån ett praktiskt och erfarenhetsmässigt perspektiv att informationen är korrekt och har tolkats på rätt sätt.

En annan begränsning är antalet intervjuer som genomfördes i studien. Eftersom endast fyra personer intervjuades kan deras perspektiv inte generaliseras till alla reningsverk. Intervjuerna har dock tillfört värdefulla insikter om hur de praktiska driftförhållandena ser ut och hur de yttre störningarna hanteras i verkligheten.

Ytterligare en begränsning med intervjuerna är att samtliga deltagare har jobbat större delen av sina karriärer i Göteborg. Detta påverkar resultatet genom att deras perspektiv och tankar om driften och vilka problem som kan uppstå är kopplade till främst Ryaverket i Göteborg. Detta påverkar generaliserbarheten till andra reningsverk på andra ställen i Sverige eller världen.

Studien har även begränsats till enbart fyra yttre störningar, fyra behov/kostnader och sju reningsprocesser. Dessa avgränsningar var nödvändiga för att arbetet ska hålla sig inom en rimlig omfattning. Det är viktigt att tänka på att det finns flera störningar, behov/kostnader och reningsprocesser som inte har analyserats, vilket är en begränsning i vår metod och påverkar hur heltäckande slutsatsen anses vara.

En annan aspekt är att reningsprocesserna har bedömts och analyserats var för sig, när de i praktiken oftast används i kombination med andra reningsprocesser. Om en störning uppstår inom ett system där processerna är beroende av varandra, kommer den störningen påverka hela systemet negativt. Denna komplexitet är svår att bedöma med hjälp av en matrisbaserad metod och är därför en begränsning med arbetet.

Trots dessa begränsningar ger metoden en samlad och jämförbar bild av hur olika reningsprocesser påverkas av yttre störningar och hur stora behov/kostnader de kräver för att fungera. Resultatet bör tolkas med viss försiktighet, men ger ändå ett relevant underlag för att

diskutera robustheten och sårbarheterna med dagens och framtidens avloppsreningssystem. Metoden har därmed varit tillräcklig för studiens syfte, även om med fler intervjuer kunde ha stärkt resultatets generaliserbarhet.

5.11 Förslag på framtida arbeten

Arbetet som presenteras i denna rapport fokuserar på att ge en helhetssyn på de vanligaste störningar ett avloppsreningsverk kan stötta på och hur olika behandlingsmetoder klarar dem. Fokuset var på Göteborg eftersom experterna som var tillgänglig hade sin expertis ifrån staden. Det ger en grund för framtida arbete relaterad till vilka störningar är viktigt för andra städer och län i Sverige och vilken behandlingsmetod anpassa bäst till dem.

En annan riktning skulle vara att titta på en global nivå. Störningar som anses som viktigt för länder i södra delen av världen kan vara annorlunda från de i norra delen. Detta inkluderar stora städer som New York, Tokyo och Shanghai i jämförelse med mindre städer. Hur ska dessa städer och länder prioritera dessa störningar och vilka behandlingsmetoder kommer dem använda för att se till att det är flexibelt och robust. Målet är då att se hur det är nu för att kunna underlätta för framtida stora städer så att det blir lättare att bygga ett system från början. Det är också för att underlätta för andra länder som just nu har ingen eller ett dåligt avloppssystem att välja rätt behandlingsmetod för dem.

En till förslag är vilka behandlingsmetoder prioriteras baserad på naturkatastrofer. I situationer som jordbävning, tsunami, tornador och översvämning är valet av behandlingsmetod viktigt för att bibehålla bra avloppsrening när dessa situationer förekommer. Med tanke på klimatförändring och hur dessa katastrofer förvärras med tiden kan detta bli viktigt för flera länder.

Ytterligare ett förslag är att göra en analys på hur Ukraina har lyckats rena sitt avloppsvatten i ett fullskaligt krig med Ryssland. Det skulle vara ett intressant och viktigt arbete för att få insikt i hur de praktiskt har löst problemen i en krissituation. En annan vinkel på arbetet kan vara att undersöka hur de har prioriterat och fördelat sina resurser mellan olika städer, beroende på risker och vilka städer man prioriterar. Detta skulle kunna vara ett arbete som bidrar till Sveriges civilförsvar.

6. Slutsats

Syftet med denna rapport är att undersöka de vanligaste avlopprensingsprocesserna för att avgöra hur robusta och flexibla de är när det gäller hantering av några vanliga störningar som påverkar ett avloppsreningsverk. Dessa störningar inkluderar varierande flöde, varierande temperatur, kemikaliebrist och störning på infrastruktur. Metoden som har använts för att undersöka detta är en litteraturstudie och intervjuer med industri experter. Litteraturstudien har använts för att förstå vad de vanligaste avloppsreningssystemen i världen är och hur de fungerar. Den gav också ett perspektiv på hur dessa system påverkas av de störningarna rapporten fokuserade på. Denna förståelse stöds ytterligare genom intervjuer med industri experter där deras erfarenhet gav en djupare förståelse av hur dessa system faktiskt fungerar.

För att få en visuell överblick av perspektiven har två bedömningsmatriser använts. En av dessa matriser är baserad på hur de avloppsreningsprocesserna hantera de fyra störningar presenterade och den andra är baserad på hur de avlopprensingsprocesserna hanterar fyra nyckelbehov för varje avloppsreningsverk. Dessa nyckelbehov är energibehov, ytbehov, underhållsbehov och kostnader. Anledningen bakom valet av dessa behov är för att få en förståelse för de praktiska och ekonomiska förutsättningarna på en anläggning.

Utifrån bedömningsmatrisen är den bästa reningsprocessen vid störningar relaterade till varierande temperatur, sedimentering. Anledning bakom detta är vad de olika processer faktiskt renar. Sedimentering är en mekanisk reningsprocess vilket betyder att den beror på de fysiska egenskaperna partiklarna i vattnet. De andra reningsprocesserna är biologiska vilket innebär att de fokuserar på organiska material och näringsämnen i vattnet. Detta ökar deras känslighet för temperaturskillnad i jämförelse med sedimentering.

Den bästa reningsprocessen som hanterar störningar relaterade till kemikaliebrist är biobädd. En biobädd använder mikroorganismer för att rengöra vattnet vilket betyder att inga kemikalier behövs. Reningsprocesser som aktivt slam och sedimentering använder kemikalier för att lösa problem som slambulkning eller hantera fosforrening medan MBR är beroende av kemikalier för att rengöra membranen.

En bra lösning vid störning på infrastruktur är sedimentering. Sedimentering har redundans inbyggt i systemet vilket gör det lättare att hantera vid ett problem. Det är också mindre beroende av flera komplexa maskiner och utrustningar för att fungera i jämförelse med de andra processer. Detta är samma för elförbrukning vilket kan anses vara lågt i jämförelse med de andra processer. Kombinationen av dessa faktorer leder till att sedimentering kan leverera ett acceptabelt resultat jämfört med de andra processer där en störning på infrastruktur leder till systemhaveri.

Reningsprocessen som rekommenderas vid störningar relaterade till varierande flöde är MBBR. Det är en biologisk process där mikroorganismer läggs i plastbärare som sedan rör sig runt i vattnet. Det betyder att mikroorganismerna inte kommer lämna bassängen. Processen fungerar bättre när det finns mer föroreningar för mikroorganismerna att konsumera och detta betyder ju mer föroreningar i vattnet desto snabbare blir processen. Det skiljer sig från andra processer som aktivt slam där risken för slamflykt vid högre flöde är hög.

De nyckelbehov varje avloppsreningsverk kräver är en viktig faktor när det gäller flexibilitet och robusthet. Ett exempel på detta är MBR processen som enligt experterna ger bästa resultatet när det gäller rening men också anses som den dyraste att bygga och underhålla. Energi och underhållsbehovet är högt men ytbehovet är lågt. I situationer där markanvändning är prioritet är denna process mest lämplig, annars kan den anses som för dyrt jämfört med de andra processer.

Det märks även vid valet av processen för det nya Ryaverket i Göteborg där markanvändning är en viktig faktor. Platsen som valdes för bebyggelsen är begränsade vilket minskade valet, men till slut valdes AGS process för anläggningen. Precis som MBR kräver AGS liten plats men den tydliga skillnaden är energieffektiviteten. Det är också möjligt att koppla AGS till den befintlig anläggning i stället för att bygga ett självständigt system som MBR. Förutom detta är varierande flöde ett stort problem för staden vilket betyder att MBR inte kommer att fungera lika bra för staden. Detta samspel mellan de problemen som ska lösas och behov som ska prioriteras är vad experterna använder för att bestämma vilket system som fungerar för att en stad ska bli robust och flexibel.

Sammanfattningsvis visar resultaten att robusthet och flexibilitet inte enbart handlar om att välja en enskild process, utan om hur hela anläggningen byggs upp och drivs. Reningsverk behöver processer som klarar av yttre störningar så som variationer i flöden och temperatur, samtidigt som de utformas på ett sådant sätt att redundans och enkla driftlösningar finns tillgängliga om något fallerar. Valet av teknik måste även anpassas till lokala förutsättningar så som markyta, ekonomi och vilka störningar som är vanligast förekommande. Det är ett samspel mellan alla dessa faktorer som avgör hur väl ett reningsverk kan hantera framtida störningar.

Litteraturförteckning

- Al-Asheh, S., Bagheri, M., & Aidan, A. (2021, 06 10). Membrane bioreactor for wastewater treatment: A review,. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4, p. 100109. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100109>
- Andersson, S. L., Andersson, S., & Baresel, C. (2023). *MBR-tekniken - utmaningar och möjligheter för svenska avloppsreningsverk*. SVU-rapport 2023-8. Svenskt vatten. <https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/wp-content/uploads/2023/08/svu-rapport-2023-08.pdf>
- Arbetsmiljöverket. (2026, 04 13). *Kemiska risker i arbetsmiljön*. av.se. <https://www.av.se/halsa-och-sakerhet/kemiska-risker/>
- Arnell, M., Saagi, R., Wärff, C., Ahlström, M., & Jeppsson, U. (2021). *Värmeåtervinning ur avloppsvatten*. SVU-rapport 2021-26. Svenskt Vatten AB. <https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/wp-content/uploads/2022/04/svu-rapport-2021-26.pdf>
- Barwal, A., & Chaudhary, R. (2014). To study the performance of biocarriers in moving bed biofilm reactor (MBBR) technology and kinetics of biofilm for retrofitting the existing aerobic treatment systems: a review. *Rev Environ Sci Biotechnol*, 13, pp. 285-299. <https://doi.org/10.1007/s11157-014-9333-7>
- Biovac. (n.d.). *Septitank*. Biovac.se. <https://biovac.se/olika-avlopp/septitank>
- Capodaglio, A. G. (2017). Integrated, decentralized wastewater management for resource recovery in rural and peri-urban areas. *Resources*, 6(2), p. 22. <https://doi.org/10.3390/resources6020022>
- Castillo, M. d., & Torstensson, L. (2007). Effect of Biobed Composition, Moisture, and Temperature on the Degradation of Pesticides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(14), pp. 5725–5733. <https://doi.org/10.1021/jf0707637>
- Ekholm, J. (2023). *Application of aerobic granular sludge for municipal wastewater treatment: Process performance and microbial community dynamics under fluctuating conditions*. Chalmers University of Technology. <https://research.chalmers.se/publication/535720>
- Ekholm, J., Persson, F., de Blois, M., Modin, O., Pronk, M., van Loosdrecht, M. C., Suarez, C., Gustavsson, D. J., & Wilén, B.-M. (2022). Full-scale aerobic granular sludge for municipal wastewater treatment – granule formation, microbial succession, and process performance. *Environmental Science: Water Research and*, 8(12), pp. 3138–3154. <https://doi.org/10.1039/D2EW00653G>
- Folkhälsomyndigheten. (2025, 10 15). *Avloppsbaserad övervakning av smittämnen*. folkhalsomyndigheten.se. <https://www.folkhalsomyndigheten.se/vara-amnesomraden/smittsamma-sjukdomar/overvakning-av-smittsamma-sjukdomar/avloppsbaserad-overvakning-av-smittamnen/>

- Gunes, S., & Ayol, A. (2026). From agricultural waste to renewable energy: Integration of soil-based microbial fuel cells in biobed systems for Sustainable Treatment of olive oil mill wastewater. *International Journal of Hydrogen Energy*, 206, p. 153324. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.153324>
- Havs- och vattenmyndigheten. (2021, 12 21). *Vid eventuell brist på kemikalier*. havochvatten.se. <https://www.havochvatten.se/avlopp-och-dricksvatten/sma-avloppsanlaggningar/vid-eventuell-brist-pa-kemikalier.html>
- Henze, M., van Loosdrecht, M. C., Ekama, G. A., & Brdjanovic, D. (2008). *Biological wastewater treatment: Principles, modelling and design*. IWA Publishing. <https://app.knovel.com/kn/resources/kt00UA30I1/kpBWTPMD04/pdf?b-toc-cid=kpBWTPMD04&b-toc-root-slug=biological-wastewater&b-toc-title=Biological%20Wastewater%20Treatment%20-%20Principles%2C%20Modelling%20and%20Design&b-toc-url-slug=wastewater-treatment&kpr>
- Howe, K. J., Hand, D. W., Crittenden, J. C., Trussell, R. R., & Tchobanoglous, G. (2012). *Principles of water treatment*. John Wiley & Sons. <https://app.knovel.com/kn/resources/kt00CR45S3/kpPWT00004/pdf?b-toc-cid=kpPWT00004&b-toc-root-slug=principles-water-treatment&b-toc-title=Principles%20of%20Water%20Treatment&b-toc-url-slug=introduction&kpromoter=federation>
- IPCC. (u.d.). *AR6 Synthesis Report: Summary for Policymakers – Headline Statements*. ipcc.ch. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/resources/spm-headline-statements/>
- Kinigopoulou, V., Hatzigiannakis, E., Guitonas, A., Oikonomou, E. K., & Samaras, P. (2021). Utilization of biobed for the efficient treatment of olive oil mill wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 223, pp. 167-179. <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.27123>
- Kunskapscentrum Små Avlopp. (2011). *Enskilt avlopp: Vilken teknik passar dina förutsättningar?* JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik; Avloppsguiden. <https://www.havochvatten.se/download/18.71167ff51432c127b371c1c/1708678415834/broschyr-kcsa-teknikval-enskilda-avlopp.pdf>
- Liu, Y.-Q. (2024). Environmental protection through aerobic granular sludge process. *Processes*, 12(2), p. 243. <https://doi.org/10.3390/pr12020243>
- Malovanyy, A., Kanders, L., Karlsson, L., Björk, A., Tuveesson, M., Almqvist, L., Bülund, M., Höglund, P., Wennerberg, P., Gómez Monsalve, M., Sirgut, R., Ødegaard, H., & Robertsson, E. (2024). *Kväverening vid kallt vatten med MBBR-tekniken*. SVU-rapport 2024-13. Svenskt vatten. <https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/wp-content/uploads/2024/12/2024-13-SVU-rapport-Kvaverening-vid-kallt-vatten-med-MBBR-tekniken-1.pdf>

- Mara, D. D. (2003). Water, sanitation and hygiene for the health of developing nations. *Public Health*, 117(6), pp. 452-456. [https://doi.org/10.1016/S0033-3506\(03\)00143-4](https://doi.org/10.1016/S0033-3506(03)00143-4)
- McQuarrie, J., & Boltz, J. (2011). Moving Bed Biofilm Reactor Technology: Process Applications, Design, and Performance. *Water Environment Research*, 83, pp. 560-575. <https://doi.org/10.2175/106143010X12851009156286>
- Naturvårdsverket. (2025, 07 04). *Stöd för tillsyn av avloppsreningsverk vid eventuell kemikaliebrist*. naturvardsverket.se. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/avlopp/stod-for-tillsyn-av-avloppsreningsverk-vid-eventuell-kemikaliebrist/>
- Naturvårdsverket. (n.d.). *Arbete för stärkt beredskap för rening av avloppsvatten*. naturvardsverket.se. <https://www.naturvardsverket.se/innehall/pagaende/avlopp2/aktuellt/arbete-for-starkt-beredskap-inom-avloppsrening/>
- Nordic Investment Bank. (2017, 05 08). *Sweden is growing and so is the need for wastewater treatment*. nib.int. <https://www.nib.int/articles/sweden-is-growing-and-so-is-the-need-for-wastewater-treatment>
- OECD. (2022). *Environmental impacts of the war in Ukraine and prospects for a green reconstruction*. OECD Policy Responses on the Impacts of the War in Ukraine. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9e86d691-en>
- Parker, D. S. (1999). Trickling Filter Mythology. *Journal of Environmental Engineering*, 125(7), p. 618. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1999\)125:7\(618\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1999)125:7(618))
- Randall, A. A., & Sullivan, J. M. (1997). Industrial pretreatment: Trickling filter performance and design. *Journal of Environmental Engineering*, 123(11), s. 1072. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1997\)123:11\(1072\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1997)123:11(1072))
- Rezai, B., & Allahkarami, E. (2021). Wastewater treatment processes—Techniques, technologies, challenges faced, and alternative solutions. In R. R. Karri, G. Ravindran, & M. H. Dehghani (Eds.), *Soft computing techniques in solid waste and wastewater management* (pp. 35–53). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824463-0.00004-5>
- Rosa-Masegosa, A., Muñoz-Palazon, B., Gonzalez-Martinez, A., Fenice, M., Gorrasi, S., & Gonzalez-Lopez, J. (2021). New advances in aerobic granular sludge technology using continuous flow reactors: Engineering and microbiological aspects. *Water*, 13(13), p. 1792. <https://doi.org/10.3390/w13131792>
- Samuelsson, O., Royen, H., Ottosson, E., Baresel, C., Westling, K., Bergström, R., Bengtsson, L., Yang, J., Andersson, S., Björk, A., Dahlén, N., Laurell, C., Lindblom, E., & Grundestam, J. (2024). *Pilotförsök med membranbioreaktor för avloppsvattenrening*. IVL Rapport B2215. IVL Svenska Miljöinstitutet AB. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1552451/FULLTEXT01.pdf>

SMHI. (n.d.). *Skyfall och hagel*. smhi.se.

<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/skyfall-och-hagel>

Stańczyk, J., Burszta-Adamiak, E., Kajewska-Szkudlarek, J., Kurkiewicz, R., & Przerwa, A. (2023). Intelligent sewage discharge control in a wastewater treatment plant during rainfall periods. *Urban Water Journal*, 20(3), pp. 380-393.

<https://doi.org/10.1080/1573062X.2023.2169170>

Suez Water Technologies. (n.d.). *sludge contact clarification*. suzewaterhandbook.com.

<https://www.suezwaterhandbook.com/Water-and-generalities/Fundamental-physical-chemical-engineering-processes-applicable-to-water-treatment/Sedimentation/sludge-contact-clarification>

Svenskt Vatten. (2016, 04 11). *Ny SVU-rapport: Användning av Anammox för en förbättrad kväveavskiljning vid avloppsverk (avlopp och miljö)*. mynewsdesk.com.

<https://www.mynewsdesk.com/se/svenskt-vatten/news/ny-svu-rapport-anvaendning-av-anammox-foer-en-foerbaettrad-kvaeveavskiljning-vid-avloppsverk-avlopp-och-miljoe-138655>

Svenskt Vatten. (n.d.). *Avloppsfakta*. svensktvatten.se. <https://www.svensktvatten.se/om-oss/verksamhet-och-strategi/fakta-om-vatten/avloppsfakta/>

Svenskt Vatten. (n.d.). *Säkerhetsarbete inom VA*. svensktvatten.se.

<https://www.svensktvatten.se/vara-sakomraden/sakerhet-och-beredskap/sakerhetsarbete-inom-va/>

Svensson, G., Ljunggren, O., & Bäckman, H. (2016). *Avledning av dag-, drän- och spillvatten: Funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utformning av allmänna avloppssystem. Del 1 – Policy och funktionskrav för samhällets avvattnings*. P110. Stockholm: Svenskt Vatten.

https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/wp-content/uploads/2025/08/P110_del1_web_low_0220.pdf

Swanson, R. L., Wilson, R., Brownawell, B., & Willig, K. (2017). Environmental consequences of the flooding of the Bay Park Sewage Treatment Plant during Superstorm Sandy. *Marine Pollution Bulletin*, 121(1-2), pp. 120-134.

<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.05.034>

Water Environment Federation. (2017). *Liquid stream fundamentals: Sedimentation*. Water Environment Federation. https://www.wef.org/globalassets/assets-wef/direct-download-library/public/03---resources/wsec-2017-fs-022-liquid-stream-fundamentals--clarification-sedimentation_final.pdf

Wilén, B.-M. (1995). *Effect of Different Parameters on Settling Properties*. Chalmers university of technology.

https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/184942/local_184942.pdf

Bilagor

Bilaga 1: Sammanfattning av intervju med Ann Mattsson, 16 april 2026 08:30-09:30, teams:

Ann Mattsson är processspecialist på konsult- och entreprenadföretaget Envidan, där hon har arbetat i snart tre år. Hon är även adjungerad professor på Chalmers tillsammans med Oskar Modin. Hennes roll innebär att arbeta med optimering och design av reningsverk samt utvecklingsfrågor inom avloppsvattenrening. Innan hon började på Envidan arbetade Ann på Gryaab, som renar avloppsvatten i Göteborgsregionen, där hon var anställd från slutet av 1980-talet. Under sin tid på Gryaab var hon med och designade de flesta av bassängerna som finns där idag, genom kontinuerliga utbyggnader för kväveavskiljning och förbättrad fosforrening under åren 1997, 2005, 2010 och 2016.

Den största utmaningen Ann har stött på i driften av reningsverk är flödesvariationerna. Dessa variationer, som främst orsakas av nederbörd, inläckage och hur ledningsnätet är konstruerat, påverkar både designen och driften av reningsverken. Under stora delar av året är flödena rimliga, men vid kraftiga regn blir de extremt höga, vilket är både kostsamt och utmanande för säkerheten och styrningen av processerna. Flödesvariationerna försvårar också optimeringen av kemikaliedosering och luftning. Ett konkret exempel på hur systemet sätts på prov är vid kväveavskiljning, där man behöver recirkulera nitrifierat vatten från slutet till början av anläggningen. Vid höga flöden kan man inte recirkulera lika mycket vatten, vilket automatiskt begränsar kväveavskiljningen. Vid extremt höga flöden, som vid snösmältning kombinerat med regn, kan tunnelnätet bli fullt, vilket kräver att man pumpar ut orenat avloppsvatten innan reningsverket för att undvika att vatten tränger in i folks källare. Detta kräver snabb kommunikation med kommunerna och innebär extra arbetstimmar för driftpersonalen som måste vara på plats dygnet runt.

Ann förklarar att det finns både kortsiktiga och långsiktiga lösningar på flödesproblematiken. De kortsiktiga lösningarna handlar om bra styrning av reningsverket och att använda tunnarnas kapacitet för att jämna ut flödesvariationer under kortare regn. De långsiktiga lösningarna innebär att förbättra ledningsnätet och bygga bort kombinerade system där dagvatten och avloppsvatten blandas. I Göteborg har man till exempel kopplat bort sjöar som tidigare var anslutna till ledningsnätet, vilket gjort stor skillnad. Problemet är att det tar lång tid att renovera ledningsnät, historiskt har utbytestakten varit omkring 400 år, vilket är alldeles för lite. Ann betonar att det är viktigt med tydlig kommunikation med politiker och skattebetalare för att få förståelse för behovet av investeringar i ledningsnät.

En annan viktig lärdom från Anns erfarenhet är att det tar lång tid att förändra både ledningsnät och tänkesätt i kommuner. Hon har arbetat med att ta fram reningsprocesser som är robusta mot flödesvariationer genom att införa ny teknik, men påpekar att man inte bara kan fokusera på att hantera höga flöden, eftersom det kan leda till högre kemikalie- och elförbrukning. De långsiktiga lösningarna ger effekt för all framtid, medan de snabba lösningarna endast löser problemet för stunden. Ann lyfter också fram vikten av att reningsverk är robusta mot strömavbrott, exempelvis genom att använda biogas för att producera el som kan pumpa avloppsvatten, vilket är särskilt viktigt i områden med risk för

strömavbrott. Kompetensförsörjning är ytterligare en viktig faktor för att kunna driva komplexa processer.

Gällande bedömningsmatrisen för hur yttre störningar påverkar reningsprocesserna bedömde Ann att sedimentering är mycket känslig för varierande flöden men mindre känslig för temperaturvariationer. Fosforrening är extremt känslig för kemikaliebrist. Aktivt slam och MBR är båda känsliga för varierande flöden, medan MBBR och biobäddar är mer robusta. MBR är särskilt energikrävande och känslig för störningar i infrastrukturen, medan biobäddar är minst känsliga. Småskaliga lösningar bedömdes vara mindre känsliga för flödesvariationer eftersom de är lokala, men kan vara sårbara vid strömavbrott då alla enheter i ett område påverkas samtidigt. Ann valde att lägga till en till behandlingsmetod ”fosforrening” i bedömningsmatrisen för yttre störningars påverkan på reningsmetoden.

Den andra bedömningsmatrisen om energibehov, ytbehov, underhåll och kostnader skickades till Ann för vidare bedömning då intervjun tog slut på tid. Hon påpekade att det är viktigt att relatera kostnaderna till samma reningsresultat för att göra en rättvis jämförelse mellan olika tekniker. Se Tabell 7 och Tabell 8 för att se de sammanställda bedömningsmatriserna.

Tabell 7: Ifylld bedömningsmatris av Ann Mattsson för reningsprocesser och yttre störningar.

Behandlingsmetod	Variert flöde	Variert temperatur	Kemikaliebrist	Störningar på infrastruktur
Sedimentering	4	2	1	1
Fosfor rening	4	2	5	2
Aktivslam	4	4	1	3
MBR	5	4	3	4
MBBR	2	2	1	3,5
AGS	3	3	1	3
Biobädd	2	2	1	2
Småskaliga lösningar	1	1	1	3

Tabell 8: Ifylld bedömningsmatris av Ann Mattsson för reningsprocesser och behov/kostnader.

Behandlingsmetod	Energi	Ytbehov (storlek på process)	Underhållsbehov	Kostnader	Reningsresultat
Sedimentering	1	4	2	3	3
Aktivslam	3	4	3	3	2
MBR	5	2	4	4	1
MBBR	4	2	3	3	3
AGS	3	3	3	3	2
Biobädd	3	3	2	2	3
Småskaliga lösningar	4	5	4	5	1

Bilaga 2: Sammanfattning av intervju med Maria Neth, 16 april 2026 10:00-11:00, teams:

Intervjun genomfördes med Maria Neth, som är industridoktorand och anställd på Gryab, det avloppsreningsverk som driver avloppsreningen för Göteborgsregionen. Hon är även kopplad till Chalmers genom sitt doktorandarbete. Innan hon började doktorera arbetade Maria som processingenjör på Gryab, där hon var mer involverad i den dagliga driften och processerna. Hon har arbetat på Gryab i snart 18 år och har dessförinnan erfarenhet från industriella reningsverk genom kortare anställningar och sommarjobb.

När det gäller de största utmaningarna i driften av reningsverket framhöll Maria att det varierande flödet är en av de mest betydande utmaningarna. Reningsverket i Göteborg innehåller många olika processer som kräver att man har god kontroll över dem, och det finns ett fullt automatiserat styrsystem med många larm. Utmaningarna kan variera från att en mätare visar fel till att mikroorganismerna inte mår bra och därmed inte renar som de ska. Det stora problemet är att flödet kan variera enormt, allt från 3 kubikmeter per sekund till 12 kubikmeter per sekund, beroende på hur mycket inläckage och dagvatten som kommer in i systemet. Detta beror på hur ledningsnätet är byggt, och det är mycket utmanande att få systemet att fungera vid både låga och höga flöden.

Maria gav ett konkret exempel på en situation där systemet sattes på prov. Det handlade om tillfällen när en av de fyra inloppspumparna slutade fungera under perioder med mycket vatten. Normalt går en eller två pumpar, men vid höga flöden måste tre pumpar fungera. När en pump slutar fungera, antingen på grund av tekniska problem eller för att fast material fastnar, stiger nivån i tunnelsystemet mycket snabbt, vilket kan leda till översvämningar om man inte kan pumpa ut vattnet någon annanstans. Det finns dock förberedda strategier i flera steg för att hantera sådana situationer, inklusive redundans i pumparna och möjligheten att pumpa ut vatten direkt i Göta älv vid extrema situationer. Dessa strategier kallas högflödesstrategier och har utarbetats i förväg eftersom situationen är så allvarlig.

Angående lösningar och lärdomar betonade Maria att man redan har tänkt igenom dessa kritiska situationer och har strategier på plats. Det finns fyra pumpar just för att säkerställa redundans, och det finns punkter i avloppsledningsnätet där man kan avleda vatten direkt till Göta älv när det blir för mycket. Även om det regnar mycket och länge kan systemet hantera situationen genom kontinuerlig pumpning och eventuell avledning av delvis orenat vatten. Det är sällan det blir ett akut tillstånd, men det kräver att man är beredd och har fungerande utrustning.

När det gäller bedömningsmatriserna diskuterades hur olika reningsprocesser påverkas av yttre störningar som varierande flöde, temperatur, kemikaliebrist och störningar på infrastruktur. Sedimentering är känslig för varierande flöde eftersom processen bygger på att det ska finnas tid för fast material att sjunka till botten. Temperatur påverkar inte sedimentering så mycket, men kemikaliebrist kan vara viktig om man använder fällning. Infrastrukturen, inklusive utrustning som skrapor och pumpar, är kritisk för att sedimenteringen ska fungera.

För biologiska processer som aktivt slam, MBBR, MBR, AGS och biobäddar är temperatur en viktigare faktor, särskilt för nitrifikation som är mer temperaturkänslig än denitrifikation. Alla biologiska processer går långsammare vid lägre temperaturer. Kemikaliebrist påverkar olika processer olika mycket, MBR kräver mycket kemikalier för rengöring, medan biobäddar kan fungera helt utan. Varierande flöde är också en utmaning för de flesta processer, och det är viktigt att hålla sig inom designflödet för att processerna ska fungera optimalt.

Gällande behov och kostnader diskuterades energibehov, ytbehov, underhållsbehov och kostnader. Inpumpning av vatten kräver mycket energi, särskilt när vattnet måste lyftas högt. Luftning i aktivt slam och MBBR är också mycket energikrävande och utgör en stor andel av energiförbrukningen på ett reningsverk. MBR kräver både mycket luftning och kemikalier, vilket gör den dyr i drift trots att den är kompakt och ger bra reningsresultat. Sedimentering är relativt billig i drift men kräver stora ytor och mycket betong, vilket gör den dyr att bygga. MBBR och biobäddar är mer kompakta än aktivt slam, vilket är en fördel när det gäller ytbehov.

Maria betonade att det är svårt att sätta exakta siffror på bedömningarna eftersom det beror på många faktorer, men hon gav en övergripande bild av hur olika processer förhåller sig till varandra. Se Tabell 9 och Tabell 10 för att se de sammanställda bedömningsmatriserna.

Tabell 9: Ifylld bedömningsmatris av Maria Neth för reningsprocesser och yttre störningar.

Behandlingsmetod	Varierande flöde	Varierande temperatur	Kemikaliebrist	Störningar på infrastruktur
Sedimentering	4	1	2	5
Aktivslam	3	4	3	5
MBR	4	4	5	5
MBBR	3	4	3	5
AGS	4	4	3	5
Biobädd	3	4	1	5
Småskaliga lösningar				

Tabell 10: Ifylld bedömningsmatris av Maria Neth för reningsprocesser och behov/kostnader.

Behandlingsmetod	Energibehov	Ytbehov (storlek på process)	Underhållsbehov	Kostnader
Sedimentering	2	5	2	2
Aktivslam	4	5	2	4
MBR	4	2	4	5
MBBR	4	2	3	3
AGS	4	4	3	3
Biobädd	4	3	3	3
Småskaliga lösningar				

Bilaga 3: Sammanfattning av intervju med David I'Ons, 17 april 2026 13:30-14:30, teams:

David I'Ons är civilingenjör inom vattenteknik med examen från 1996 och har över 30 års erfarenhet inom VA-branschen. Han inledde sin yrkeskarriär i Storbritannien, där han arbetade som processingenjör och konsult inom vatten- och avloppsrening under fyra år, innan han flyttade till Sverige. Sedan dess har han haft en lång och sammanhängande karriär inom både kommunala VA-organisationer, konsultverksamhet och på Ryaverket, med huvudsakligt fokus på avloppsvattenrening, slamhantering och biogasproduktion.

Under sin karriär har David haft flera olika roller, bland annat som processingenjör, projektledare, utvecklingsingenjör, gruppchef och enhetschef. De senaste sex–sju åren har han haft chefsroller med ansvar för personal, budget och strategisk utveckling, både inom kommunal verksamhet, konsultorganisation och nu vid RISE. Parallellt har han kontinuerligt arbetat nära den tekniska kärnverksamheten i form av utredningar, investeringsanalyser och strategiska vägval.

David beskriver sig som särskilt driven av analytiskt arbete, där han får möjlighet att fördjupa sig i tekniska utredningar, beräkningar och systemanalyser. Samtidigt trivs han väl i chefsrollen och ser ledarskapet som ett sätt att möjliggöra samarbete, utveckling och välgrundade beslut i komplexa organisationer. Han betonar att hans chefsroll vuxit fram successivt utifrån verksamhetens behov och hans egna erfarenheter, snarare än som ett uttalat karriärmål från början.

En central del av Davids arbete har varit att hantera de strategiska och tekniska utmaningar som är förknippade med drift och utveckling av stora avloppsreningsverk. Han lyfter särskilt komplexiteten i att dimensionera och planera anläggningar för framtida krav, där befolkningsutveckling, klimatförändringar, nya reningskrav och organisatoriska mål måste vägas samman. I Göteborgsfallet, där han arbetat under lång tid, innebär detta stora variationer i både hydraulisk belastning, föroreningshalter och temperatur.

David har stor erfarenhet av att analysera hur olika reningsprocesser påverkas av variationer i flöde, belastning, temperatur och yttre störningar. Han betonar vikten av robusta processlösningar som klarar ett brett spektrum av driftförhållanden över året, snarare än att optimera för extrema situationer. Ett återkommande angreppssätt i hans arbete är att skapa flexibilitet genom redundans, möjlighet att koppla in eller ur processteg samt att använda processer som kan anpassas med kemikaliedosering eller driftsätt beroende på aktuella förutsättningar.

Som konkret exempel lyfter David erfarenheter från Ryaverket, där försedimenteringen byggdes om för att möjliggöra höglödesrening vid stora tillrinningar. Genom att använda delar av anläggningen för hydrauliskt avlastande rening kunde huvudprocesserna skyddas samtidigt som utsläppen hölls på en acceptabel nivå. Erfarenheten illustrerar hans syn på att det inte är samhällsekonomiskt rimligt att dimensionera hela anläggningar för extrema flödestoppar som bara inträffar ett fåtal dagar per år.

I sitt arbete har David även jämfört olika processtekniker utifrån robusthet, energibehov, ytbehov, underhåll och känslighet för störningar. Han bedömer till exempel att membranbioreaktorer har hög reningspotential och liten ytåtgång men också höga energi- och underhållsbehov, samt beroenden av kemikalier och membranbyten. Samtidigt ser han en långsiktig utvecklingspotential inom membrantekniken, både vad gäller kostnadseffektivitet och möjligheten att selektivt avskilja specifika föroreningar. Se Tabell 11 och Tabell 12 Tabell 12 för att se de sammanställda bedömningsmatriserna.

I sitt nuvarande arbete arbetar David strategiskt med helhetsperspektivet på VA-systemet, han framhåller betydelsen av att betrakta vatten- och avloppssystemet som ett sammanhängande system, där rätt åtgärd på rätt plats kan ge störst nytta både tekniskt, ekonomiskt och miljömässigt.

Tabell 11: Ifylld bedömningsmatris av David I'Ons för reningsprocesser och yttre störningar.

Behandlingsmetod	Varierande flöde	Varierande temperatur	Kemikaliebrist	Störningar på infrastruktur
Sedimentering	4	2	3	5
Aktivslam	3	5	3	5
MBR	4	5	5	5
MBBR	3	5	4	5
AGS	3	5	2	4
Biobädd	3	5	1	5
Småskaliga lösningar	4	5	3	4

Tabell 12: Ifylld bedömningsmatris av David I'Ons för reningsprocesser och behov/kostnader.

Behandlingsmetod	Energibehov	Ytbehov (storlek på process)	Underhållsbehov	Kostnader
Sedimentering	2	5	2	2
Aktivslam	3	4	3	3
MBR	5	2	5	5
MBBR	4	4	3	4
AGS	3	3	3	3
Biobädd	3	3	3	3
Småskaliga lösningar	3	3	3	4

Bilaga 4: Sammanfattning av intervju med Gustaf Ernst, 23 april 2026 10:30-11:30, teams:

Intervjun genomfördes med Gustaf Ernst, som arbetar på Ryaverket (Gryaab AB) i Göteborg. Han har tjänsten som projektledare men fungerar för närvarande som processansvarig i projektet "Nya Rya". Gustaf har en bakgrund som processingenjör och har arbetat på Gryaab sedan 2011, totalt cirka 15 år, dock i olika roller. Hans tidigare erfarenheter inom industrin är begränsade till sommarjobb, vilket innebär att Gryaab utgör hans huvudsakliga yrkesmässiga erfarenhet.

När det gäller de största utmaningarna i driften av reningsverket beskriver Gustaf att den grundläggande svårigheten är att råvaran, alltså avloppsvattnet, aldrig är densamma. Vattnet varierar kraftigt i halt, mängd och temperatur beroende på tid på dygnet, årstid och väderförhållanden. Särskilt problematiskt är det stora inflödet av vatten vid regn på grund av läckage i systemet. Ett konkret exempel på ett stort problem som Gustaf arbetade mycket med under sin tid som processingenjör var igensättningar i slammledningar. Beläggningar bildades på insidan av rören när slam pumpades, vilket gjorde att rörets diameter krympte successivt och kapaciteten minskades drastiskt. Ledningarna var cirka 150 meter långa med många böjar, vilket gjorde rengöring komplicerad.

Lösningen som Gustaf och hans team utvecklade var att pumpa färdigrötat slam från rötkastrarna baklänges genom ledningarna. Detta slam var varmt (35–37°C) och hade en annan karaktär som gjorde det mindre benäget att sätta igen. Genom att kontinuerligt cirkulera detta slam kunde de hålla ledningarna rena utan att behöva öppna dem eller använda mekaniska metoder. Idag använder anläggningen en så kallad "polly-pigg", som är en plugg av polyuretan som trycks genom röret och mekaniskt skrapar bort beläggningar.

Ett annat intressant problem som Gustaf beskriver inträffade på Ryaverket där snäckor och sniglar bosatte sig i biofiltret och åt upp den biofilm som skulle utföra kvävereningen. Detta upptäcktes när kapaciteten på nitrifikationssteget försämrades, men orsaken var inte omedelbart uppenbar. Lösningen blev att periodiskt fylla biobädden med vatten för att dränka dessa djur, vilket återställde kapaciteten efter ungefär en vecka när biofilmen kunde byggas upp igen. Detta har sedan blivit en årlig rutin som genomförs på våren.

Gustaf betonar att reningsverk generellt kräver mycket underhåll och att man måste ha redundans i systemet eftersom avloppsvattnet rinner kontinuerligt. Ryaverket har därför många parallella linjer, som exempelvis 12 försedimenteringsbassänger och 24 eftersedimenteringsbassänger, vilket gör det möjligt att stänga av enskilda enheter för underhåll utan att påverka den totala kapaciteten nämnvärt. Endast vid vissa kritiska underhållsarbeten måste hela anläggningen stängas av under korta perioder.

Angående bedömningsmatriserna diskuterade Gustaf hur olika yttre störningar påverkar olika reningsprocesser. Han framhöll att sedimentering är mycket känslig för varierande flöde men robust mot infrastrukturproblem tack vare det stora antalet bassänger. Temperatur påverkar framför allt de biologiska processerna, där aktivt slam och MBR är mest känsliga. Gustaf bedömde att AGS är den mest energieffektiva tekniken, medan MBR drar mest energi. När det

gäller ytbehov är MBR överlägset mest kompakt, medan aktivt slam kräver mest utrymme. Kostnads- och underhållsmässigt bedömde Gustaf att AGS är mest fördelaktig, vilket var en viktig faktor i beslutet att bygga en AGS-anläggning på Ryaverket. Se Tabell 13 och Tabell 14 för att se de sammanställda bedömningsmatriserna.

Tabell 13: Ifylld bedömningsmatris av Gustaf Ernst för reningsprocesser och yttre störningar.

Behandlingsmetod	Varierande flöde	Varierande temperatur	Kemikaliebrist	Störningar på infrastruktur
Sedimentering	5	2	1	1
Aktivslam	3	5	3	2
MBR	3	4	5	3
MBBR	2	2	3	3
AGS	3	3	2	2
Biobädd	1	2	1	2
Småskaliga lösningar				

Tabell 14: Ifylld bedömningsmatris av Gustaf Ernst för reningsprocesser och behov/kostnader.

Behandlingsmetod	Energibehov	Ytbehov (storlek på process)	Underhållsbehov	Kostnader
Sedimentering	1	4	1	1
Aktivslam	2	4	2	2
MBR	4	1	4	3
MBBR	3	3	3	3
AGS	1	2	1	1
Biobädd	3	3	3	3
Småskaliga lösningar				