

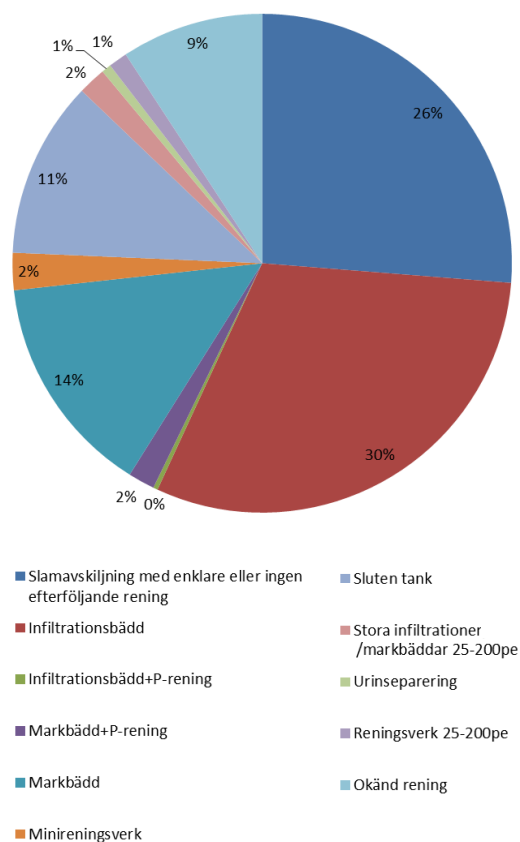


# Små avloppssystem – hur hållbara är de?



Små avloppssystem släpper ut avloppsvattnet lokalt, och därför är det viktigt att systemen uppfyller de krav som finns för utsläpp av organiskt material och näringsämnen och även klarar krav på smittskydd. Ofta fungerar, tyvärr, de små systemen inte som de borde, och när anläggningar ska uppgraderas eller när det ska byggas nya system bör det ske med tanke på hållbarheten. I ett nyligen avslutat projekt har vi arbetat med små avloppssystem i relation till hållbarhetskriterier och olika scenarier. Studien visar att det är viktigt att sätta upp mål och prioriteringar när man ska välja avloppslösning. Vilket som är det mest hållbara alternativet beror på vilka aspekter som prioriteras.

Små avloppssystem förekommer allmänt på landsbygden där det inte har ansetts vara möjligt att införa kommunal avloppsrening. I Sverige finns det mellan 700 000 och 1 miljon små avloppsanläggningar som använder olika reningstekniker (Figur 1). Naturvårdsverket uppskattar att ungefär 20 procent av anläggningarna inte klarar de nationella riktlinjerna för rening. I den aktuella studien har tekniker för små avlopp jämförts med hänsyn till miljömässiga, sociala och ekonomiska kriterier. Avsikten var att i första hand ge en generell överblick över ett antal vanliga små avloppslösningar och deras hållbarhet enligt flera indikatorer. Resultaten kan vägleda fastighetsägare och myndigheter om vilka typer av reningstekniker som är mest hållbara när små avlopp ska byggas eller förnyas.



Figur 1. Fördelning reningsteknik små avloppsanläggningar i Sverige (t.o.m. 200 pe). Källa: SMED Rapport Nr 166 2015.

## Hållbart avloppssystem – vad är det?

Vad är det som gör ett avloppssystem hållbart? Och hur kan vi mäta hållbarheten? Huvudfunktionen hos ett avloppssystem är att omhänderta avloppsvattnet eller avloppsfractioner på ett säkert sätt. För att få en övergripande bild av vad ett hållbart system innebär är det nödvändigt att definiera ett antal hållbarhetsindikatorer. För att ett system ska kunna behandla avloppsvattnet behöver det vara robust eftersom kontroll av små avlopp normalt sker väldigt sällan. Det är också önskvärt att systemet har låg investerings- och driftkostnad och att det är accepterat av användarna. Potentialen att cirkulera växtnäring och återvinna energi är i linje med dagens paradigm för hållbar avloppshantering, och koldioxidutsläpp och energianvändning under tillverkning, installation och användning bör hållas så låga som möjligt.

När väl indikatorerna är definierade är det viktigt att förstå de olika dimensionerna av hållbarhet (social, ekonomisk, teknisk och miljödimension), och även viktigt att göra avvägningar mellan dessa när avloppsteknik ska väljas för ett specifikt sammanhang.

## Multikriterieanalys

Multikriterieanalys (MKA) är en värderingsmetod som kan användas när man behöver jämföra flera alternativa lösningar. Samtliga alternativ bedöms efter samma kriterier. Kriterierna kan vara olika viktade och därmed påverka slutresultatet mer eller mindre. Det är också en lämplig metodik när man ska kombinera kvantitativa indikatorer (till exempel kostnader) och kvalitativa indikatorer där bedömningar görs i kategorier (till exempel låg, medel eller hög robusthet).

## Hållbarhetsindikatorer

Tolv olika indikatorer valdes ut för analysen, se tabell 1. Indikatorerna bedömdes därefter för vart och ett av de undersökta avloppsalternativen.

Tabell 1. Summering av hållbarhetsindikatorer. (MH = mycket hög; H = hög; M = medel; L = låg; ML = mycket låg).

| Indikator                                                  | Enhet                               | Metod för utvärdering     | Beskrivning                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rening av näringsämnen (totalkväve, N, och totalfosfor, P) | Procent N<br>Procent P              | Beräkningar av massbalans | Rening av näringsämnena från inkommande avloppsvatten. Är beroende av processer i filter (mark, fosforfälla), fällningsmekanismer eller källsortering.                                                                                                                                                                                             |
| Potential för återföring av näringsämnen (N, P)            | Procent N<br>Procent P              | Beräkningar av massbalans | Potentiell återföring till jordbruksmark av de olika avloppsfractionerna i systemen i förhållande till växtnäringsinnehållet. Potentiella växtnäringskällor var slam från slamavskiljare, sand från markbäddar, filtermaterial från fosforfilter (Polonite®), svartvatten (vatten från toalett) och urin.                                          |
| Växthuspotential                                           | kg CO <sub>2</sub> -ekvivalenter/år | Livscykelanalys           | Växthusgasutsläpp i kg CO <sub>2</sub> -ekvivalenter avgivna under tillverkning av komponenter och material (t.ex. tankar, rör, filtermaterial), deras transport, installation och drift (t.ex. elförbrukning) och underhåll (t.ex. insamling av slam, utbyte av kemikalier och fosforfilter), samt efterbehandling av slam, svartvatten och urin. |
| Kumulativ energianvändning                                 | MJ/år                               | Livscykelanalys           | Primärenergi använd under tillverkning, transport och installation av komponenter och material, under drift och underhåll samt under efterbehandling av de fraktioner som inte behandlas på plats (slam, svartvatten och urin).                                                                                                                    |
| Energiåtervinning                                          | H-M-L                               | Kvalitativ utvärdering    | Möjligheten att få energi i form av biogas från slamavskiljar slammet.                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Investeringskostnad                                        | kr/år                               | Kostnadsanalys            | Investeringen för inköp av olika komponenter och tjänster, med tanke på amorteringstiden och en ränta på 4 procent.                                                                                                                                                                                                                                |
| Drift- och underhållskostnad                               | kr/år                               | Kostnadsanalys            | Den årliga kostnaden för drift och underhåll: insamling och transport av svartvatten, urin och slam från slamavskiljare; elanvändning; inköp av förbrukningsvaror (kemikalier, fosforfilter) och komponenter (byte av pump); övervakning inklusive provtagning och analys av utgående vatten.                                                      |
| Social acceptans                                           | MH-H-M-L-ML                         | Kvalitativ utvärdering    | Användarvänlighet med tanke på bekvämlighet, ansträngning och komplexitet när det gäller driften av systemet.                                                                                                                                                                                                                                      |
| Robusthet                                                  | H-M-L                               | Kvalitativ utvärdering    | Definieras med två underindikatorer, dels risken för tekniska problem som skulle kunna påverka behandlingskapaciteten, dels anpassningsförmågan till flödesvariationer.                                                                                                                                                                            |
| Risk för utsläpp av patogener                              | MH-H-M-L-ML                         | Kvalitativ utvärdering    | Kapacitet att ta bort patogener från avloppsvattnet innan det släpps ut i miljön, baserat på antalet barriärer i systemet.                                                                                                                                                                                                                         |

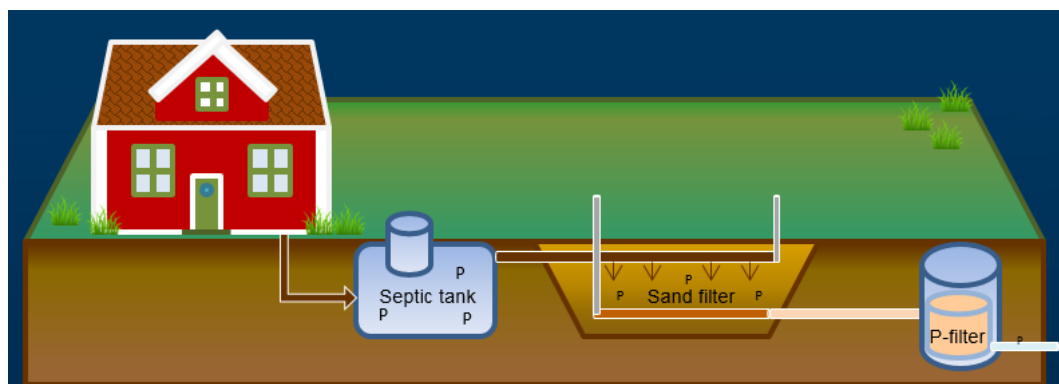
Data för beräkningarna hämtades från vetenskaplig litteratur, publicerade rapporter, nationell statistik, tillgängliga databaser och personlig kommunikation med produktleverantörer.

## Jämförda tekniker

De nio avloppslösningar som jämfördes i studien summeras i tabell 2. Urvalet av alternativen gjordes utifrån litteratur och diskussioner med yrkesutövare.

Tabell 2. Beskrivning av enskilda avloppssystem som jämfördes i studien.

| Typ av system   | Beteckning | Beskrivning av teknik                                                                                                                     |
|-----------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Markbaserade    | A1         | Slamavskiljare med markbädd                                                                                                               |
|                 | A2         | Slamavskiljare med infiltrationsanläggning                                                                                                |
|                 | A3         | Slamavskiljare med markbädd och efterpoleringssteg (Polonite® som fosforfälla).                                                           |
|                 | A4         | Slamavskiljare (kemfällning) med markbädd.                                                                                                |
|                 | A5         | Slamavskiljare (kemfällning) med infiltrationsanläggning                                                                                  |
| Källsorterande  | S1         | Svartvattensystem med sluten tank och ureahygienisering i en centraliserad anläggning; BDT-vatten till slamavskiljare med markbädd.       |
|                 | S2         | Urinsortering (sluten tank, hygienisering i en central anläggning); avföring och BDT-vatten till slamavskiljare med markbädd.             |
| Minireningsverk | P1         | Minireningsverk med sedimenteringssteg, bioreaktorer med luftning och efterpoleringssteg med alkaliskt fosforfilter (Polonite® material). |
|                 | P2         | Minireningsverk med utjämningssteg/processtank med aktivt slam, luftning och kemfällning.                                                 |



Figur 2. Exempel av ett avloppssystem med markbädd och efterpoleringssteg (fosforfälla).

## Viktning av indikatorer

Eftersom inte alla indikatorer är lika viktiga fick en referensgrupp på sex personer sätta individuella vikter på var och en av dem och ett medelvärde beräknades. I referensgruppen fanns representanter från Havs- och vattenmyndigheten, Villaägarna, Lantbrukarnas riksförbund (LRF), Avfall Sverige, Avloppsguiden samt Utvecklingscentrum för vatten i Norrtälje.

## Scenarioanalyser

Fyra olika scenarier togs fram för att kunna värdera avloppssystem i olika sammanhang (Tabell 1). De utformades genom att vikterna som hade getts till indikatorerna ändrades beroende på de specifika målen och förutsättningarna för de olika scenarierna.

### Scenario 0 - basscenario

Scenario 0 var det basscenario som hade de initiala antaganden och de vikter som referensgruppen gett till de olika indikatorerna. Resultaten visade att den mest hållbara lösningen var svart/BDT-vattensorteringssystem (S1). Markbädd (A1) samt markbädd med kemfällning (A4) rankades nästhögst och markbädd med fosforfälla (A3) rankades som tredje bäst. Resultaten från basscenariot förklaras främst av systemens högre robusthet jämfört med t.ex. minireningsverk, och av systemens risk för utsläpp av patogener. Det svartvatten/gråvatten-separerande systemet hade den lägsta risken för patogenutsläpp till recipienterna eftersom avföringen (den fraktion som innehåller mest patogener) lagras i en sluten tank och samlas in och behandlas i en separat anläggning med urea.

### Scenario 1 – områden med normal skyddsnivå och lite jordbruk

Scenario 1 representerade glesbygdsområden med normal skyddsnivå, och lite jordbruk med mycket liten potential för återföring av växtnäring. Indikatorerna *rening av näringsämnen* och *potential för återföring av näringsämnen* fick den lägsta vikten, medan vikterna för övriga indikatorer sattes enligt referensgruppens bedömning.

Systemen med markbädd med och utan kemfällning (A1 och A4) visades vara mest hållbara för Scenario 1. Svartvattensystemet (S1) och infiltrationsanläggningen (A2) delade andraplaceringen. Resultaten visar att enkla konventionella system vara tillräckligt bra för att implementeras när reduktion och återanvändning av näringsämnen inte är en prioritet. De konventionella systemen A1 och A2 bedömdes ha en mycket hög social acceptans på grund av sin bekvämlighet och låga komplexitet. Systemen ansågs också vara mycket robusta eftersom de är enkla och oftast fungerar bra om de är rätt konstruerade och belastas rätt; den största risken är igensättning av filtermaterial. Det faktum att det bara finns en barriär för avskiljning av patogener för de markbaserade systemen, nämligen infiltration, gör att risken för patogenutsläpp är större än när det finns poeringssteg inkluderade. Trots att indikatorerna som var kopplade till näringsämnen rankades lägst i detta scenario faller svartvattensystemet (S1) väl ut i jämförelsen. En orsak till detta är den låga risken för spridning av patogener.

### Scenario 2 – områden med hög skyddsnivå och tillgänglig jordbruksmark

Scenario 2 representerade områden med hög skyddsnivå, större befolkningstäthet och förekomst av jordbruksmark där näringsämnen från små avloppsanläggningar skulle kunna återanvändas. Indikatorerna *rening av näringsämnen* och *potential för återföring av näringsämnen* fick de högsta vikterna i detta scenario, medan vikterna behölls oförändrade för resten av indikatorerna. Alternativen A1 (endast markbädd) och A2 (endast infiltrationsanläggning) togs bort från analysen eftersom de bedömdes ha den lägsta reningen avseende fosfor (40 procent) och kväve (30–35 procent) vilket inte långsiktigt uppfyller de riktlinjer som finns för rening av näringsämnen.

De två källsorterande alternativen visade vara de bästa alternativen för Scenario 2. Detta eftersom de sorterande systemen erhöll de bästa resultaten indikatorerna som berörde rening av näringsämnen och potential för återföring då större delen av näringsämnena finns i avföring

och urin (90 procent av kvävet och 80 procent av fosfor). Dessutom ger urinsortering (i likhet med system S2) fastighetsägaren möjlighet att minska energianvändning, utsläpp och kostnader vid insamling och lagring lokalt, ett alternativ som inte finns för de andra lösningarna. Dessutom är urin i sig ett renare gödningsmedel än svartvatten och slam, med avsevärt lägre kadmiuminnehåll.

Den känslighetsanalys som gjordes i studien visade att om kostnaden för behandling av svartvatten inkluderas i fastighetsägarens årskostnad, påverkade det inte den goda rankingen för systemet S1. Om en kommunal avgift (till exempel 500 kronor) infördes för behandling eller antog att svartvattnet inte hygieniserades med urea utan istället transporterades till ett centralt avloppsreningsverk påverkades inte resultatet. Det här visar att det finns en ekonomisk marginal om det införs avgifter från lokala myndigheter eller VA-organisationer, och att källsortering kan väljas proaktivt även om den kommunala infrastrukturen för ureahygienisering ännu inte finns på plats. Andra behandlingsalternativ som till exempel anaerob rötning kan också övervägas om syftet är att öka energiåtervinningen i form av biogas och

minska utsläppen. Våtkompostering av svartvatten, en tredje hygieniseringslösning, kräver å sin sida energitillskott för omrörning, luftning och temperaturhöjning, och drift- och underhållskostnaderna kan bli dubbelt så stora som lösningar med ureabehandling.

### **Scenario 3 – energiåtervinning och klimatförändringsfrågor blir viktiga**

Scenario 3 representerade en förändring i den politiska strategin, med högre krav på energiåtervinning och med särskilt fokus på att begränsa klimatpåverkan. Indikatorerna *energiåtervinning* och *global uppvärmingspotential* fick de högsta vikterna, medan vikterna behölls oförändrade för resten av indikatorerna.

Lösningar med markbaserade system och kemfällning (A4 och A5) visade de bästa resultaten under Scenario 3, utifrån antagandet att en större volym insamlat slam teoretiskt sett ger större biogasproduktion och medelhög växthuspotential. Markbädd (A1) var den näst bästa lösningen. Indikatorn energiåtervinning bedömdes dock endast kvalitativt och bör tolkas med viss försiktighet. En mer exakt kvantitativ energibalans skulle vara mer lämplig för en framtida analys.

Tabell 3. Sammanfattning av resultaten från scenarioanalysen.

|             | Beskrivning                                                                                                       | Hållbarhetsrankning av lösningar            |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Basscenario | Initiala antaganden och vikter från referensgruppen                                                               | S1 > A1, A4 > A3 > A2 > A5 > S2 > P2 > P1   |
| Scenario 1  | Glesbygdsområden med normal skyddsnivå, och lite jordbruk med mycket liten potential för återföring av växtnäring | A1, A4 > A2, S1 > A5 > A3 > S2 > P2 > P1    |
| Scenario 2  | Områden med hög skyddsnivå, större befolkningstäthet och förekomst av jordbruksmark                               | S1 > S2 > A4 > A5 > A3, P2 > P1 >> (A1, A2) |
| Scenario 3  | Högre krav på energiåtervinning och med särskilt fokus på att begränsa klimatpåverkan                             | A4, A5 > A1 > A3, P2 > A2 > S1 > S2 > P1    |

## Marksystem med poleringssteg och minireningsverk

Markbaserade lösningar med poleringssteg (A3, A4 och A5) använder alkaliska filtermaterial eller flytande kemikalier. De kan erhålla hög fosforrening (90 procent) och innebär bättre alternativ när det är viktigt med fosforrening. De viktigaste skillnaderna mellan de båda poleringsstegen har att göra med potential att återvinna fosfor, växthuspotential och robusthet. Alkaliska filter kan återanvändas på jordbruksmark även om det ännu inte är praxis i Sverige; det saknas lagliga och institutionella ramar för insamling och återanvändning av filtermaterial. Lösningen med markbädd och alkalisk fosforfälla (A3) skulle förbättra sina resultat om det fanns ett fullt fungerande system för insamling och återanvändning av filtermaterialet.

Det finns också skillnader i kvaliteten hos de återvinningsbara fraktionerna. I systemen med kemisk fällning kan man hitta både förorenande metaller och fosfor i slammet eftersom metallerna är bundna till partiklar, vilket gör slammet mindre attraktivt med tanke på återföring. De låga metallkoncentrationer som ackumuleras i det alkaliska filtermaterialet begränsar troligen inte materialets användning som gödselmedel. Produktionen av alkaliska filter ger däremot högre koldioxidutsläpp än produktionen av kemiska fällningsmedel.

I känslighetsanalysen testades en minskning från tre till två års livslängd för filtermaterialet Polo-

nite®. Det resulterade i en ökning av drift- och underhållskostnader, växthuspotential och energianvändning. Mindre behov av underhåll gör dock att Polonite® är bekvämare för brukarna och lite mer robust än kemisk fällning. Med Polonite® räcker det att byta fosforfilter med 2–3 års intervall; vid kemisk fällning av fosfor behöver doseringsutrustningen fyllas på ofta.

De två olika utvärderade minireningsverken P1 och P2 fungerade ungefär på samma sätt och hade ett bättre utfall än markbaserade system när rening av växtnäringsämnen var av hög vikt. De två minireningsverken erhöll de lägsta poängen i hållbarhetsrankingen eftersom de bedömdes ha låg robusthet samt på grund av de höga investerings- drift- och underhållskostnaderna jämfört med de andra lösningarna. Rening av näringsämnen och patogener bedömdes vara desamma för minireningsverken som för markbaserade system med poleringssteg.

På grund av sin komplexitet har minireningsverk ofta lägre prestanda än tillverkarna anger, och svårigheter att hantera variationer i belastningen eller avloppsvattens fysikalisk-kemiska tillstånd. Tack vare att systemen har sensorer och larmsystem kan de anses vara robusta och pålitliga när de installeras och sköts på rätt sätt. I känslighetsanalysen ökade prestanda hos de två minireningsverken när deras robusthet bedömdes vara högre än i basscenariot. Minireningsverk kan även installeras i områden där berggrund, jordar eller varierande grundvat-



Figur 3. Exempel på en fosforfälla (vänster) och ett småskaligt reningsverk med kemisk fällning och luftning (höger).

tennivåer begränsar användningen av marksystem, eller där marktillgången är begränsad, vilket är till minireningsverkens fördel.

## Slutsatser och reflektioner

Studien visade att det är viktigt att sätta upp mål och prioriteringar när man ska välja avloppslösning, eftersom scenarioanalysen visade att lösningarnas lämplighet beror på vilka aspekter som prioriteras.

När det krävs rening av fosfor och kväve på grund av känsliga recipienter är avloppssystem med separation av svartvatten (S1) eller urin (S2) de mest hållbara alternativen. Svartvatten-systemet är även det mest hållbara alternativet i basscenariot (med de ursprungliga vikterna från referensgruppen). Detta beror på dess robusthet och kapacitet att hantera patogener och att återvinna näringsämnen. Likväl behöver ytterligare infrastruktur införas för att underlätta användningen av avloppsprodukterna från källsorterande system.

Konventionella markbaserade system utan poleringssteg uppfyller vanligen inte de svenska riktlinjerna för fosforreduktion. I den här studien överträffade dock konventionella markbaserade system de andra alternativen som uppfyllde fosforrekommendationerna i basscenariot, vilket visar vikten av att sätta upp tydliga mål och krav i en beslutsprocess. Trots sin enkelhet och förutsatta robusthet är markbaserade system inte den bästa lösningen när rening och återvinning av näringsämnen är viktiga.

Ytterligare poleringssteg till markbaserade system eller minireningsverk, till exempel kemikaliedosering eller alkaliska filter som Polonite®, ger ofta en tillräcklig reduktion av fosfor. Kvaliteten på de två olika fraktionernas näringsinnehåll (slam och filtermaterial) kan dock variera. Beroende på syfte, endast rening eller rening och näringsåtervinning, kan man välja reningsmetod i enlighet med detta.

Minireningsverk hade ofta sämre (*robusthet*, *kostnad*) eller samma (t.ex. *rening av näringsämnen* eller *risk för utsläpp av patogener*) prestanda som fler av de andra alternativen. Minireningsverken har potential att vara robusta system när de anläggs, drivs och underhålls

på rätt sätt, men de har tendens att få driftstörningar som hindrar deras reningskapacitet när det gäller avskiljning av näringsämnen och patogener. De kan vara en lämplig lösning i områden med högt miljöskydd där källsorterande system är inte ett alternativ samt där berggrund, jordar eller varierande grundvattennivåer begränsar användningen av marksystem.

Vilket system är mest hållbart var? Systemens hållbarhet kommer i någon utsträckning att bero på beslutsfattarnas prioriteringar, lokala förhållanden och de regleringar som finns. Det metodologiska ramverk som presenteras i denna studie skulle kunna användas för att öka systemtänkandet kring hållbarhet och stödja beslutsprocesserna som gäller små avloppssystem.

## Vidare läsning

Vidal, B., Hedström, A., Barraud, S., Kärrman, E. och Herrmann, I., 2019. Assessing the sustainability of on-site sanitation systems using multi-criteria analysis. *Environmental Science: Water Research & Technology*. 2019, 5, 1599-1615. <https://doi.org/10.1039/C9EW00425D>

Vidal, B. On-site sanitation systems – An integrated assessment of treatment efficiency and sustainability. Licentiatavhandling, 2018. Luleå tekniska universitet. <http://tu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1258227>



**Brenda Vidal**

Doktorand  
[brenda.vidal@ltu.se](mailto:brenda.vidal@ltu.se)



**Inga Herrmann**

Biträdande universitetslektor  
[inga.herrmann@ltu.se](mailto:inga.herrmann@ltu.se)



**Annelie Hedström**

Biträdande professor  
[annelie.hedstrom@ltu.se](mailto:annelie.hedstrom@ltu.se)