



Länstyrelserna



## Markbaserad rening

En förstudie för bedömning av kunskapsläge och utvecklingsbehov





---

# Länstyrelserna

---

Stockholm  
Västra Götaland  
Skåne

## **Markbaserad rening**

**En förstudie för bedömning av kunskapsläge och utvecklingsbehov**

För mer information kontakta:

**Länsstyrelsen i Västra Götalands län**  
**Vattenvårdsenheten**

Tel: 031-60 50 00.

Rapporten ingår i rapportserien för Västra Götalands län

Rapport: 2009:77

ISSN: 1403-168X

Text: Peter Ridderstolpe, WRS Uppsala AB.

Omslagsfoto: WRS Uppsala AB

Färgillustrationer sid 44, 56, 62 och 67: Peter ("Peitor") Nilsson

Text, bilder och beskrivningar tillhör WRS Uppsala AB och Länsstyrelsen Västra Götalands län.

Vid kopiering eller spridning av hela eller delar av rapportern skall upphovsmannen uppges. Bruk av rapportens innehåll i annat syfte än kunskapsspridning är ej tillåtlig annat än efter skriftligt medgivande av WRS. En pdf-version av rapporten kan laddas ner från WRS webbplats [www.wrs.se](http://www.wrs.se)

*Du hittar rapporten på vår webbplats*

*[www.lansstyrelsen.se/vastragotaland](http://www.lansstyrelsen.se/vastragotaland) under Publikationer*

# Förord

---

I regeringsbeslut 42 daterat 2007-06-20, infört som uppdrag 51c i ändring av regleringsbrev för Länsstyrelserna för budgetåret 2007, fick länsstyrelserna i Skåne, Stockholm och Västra Götalands län följande uppdrag: "Länsstyrelserna i Skåne, Stockholms och Västra Götalands län skall i samarbete med intresserade kommuner ta fram metoder och planeringsunderlag för åtgärder för minskad miljöpåverkan på havsmiljön från enskilda avlopp, samt initiera och förstärka sådana åtgärder. Arbetet ska inriktas på områden där behovet av minskad miljöpåverkan från enskilda avlopp är särskilt stort." Uppdraget är en del i regeringens havsmiljösatsning, där 500 miljoner kronor avsatts för åren 2007-2010 att fördelas av Naturvårdsverket, för att förbättra havets ekologiska status, och till arbetet med uppdraget i Västra Götalands län avsattes 2 miljoner kronor. Som huvudprojektledare i Västra Götalands län tillsattes Maria Hübinette. Redovisning av huvuduppdraget gjordes av länsstyrelsen i Stockholms län i maj 2008 genom rapporten "Renare avlopp ger friskare hav. Åtgärder för att minska enskilda avlopps påverkan på havsmiljön".

I oktober 2008 beslutade Naturvårdsverket om ytterligare 1,5 miljoner kronor till Västra Götalands län ur Havsmiljöanslaget för arbete med 14 olika delprojekt om enskilda avlopp. Detta projekt har finansierats med medel från denna senare tilldelning av pengar.

Denna rapport redovisar ett projekt vars syfte har varit att sammanställa och kartlägga kunskapsläget om markbaserad avloppsrening samt ge underlag för behov av fortsatt forskning och utveckling. Huvudansvarig för kunskapsinsamling, analys och skrivarbete har varit Peter Ridderstolpe, WRS Uppsala AB. För WRS har Anneli Söderqvist genomfört interjuver av forskare och andra sakkunniga och Sophie Gunnarsson har bidragit i analys och skrivarbeten. Erkki Santala, Finska Miljöstyrelsen och Anders Yri, Asplan/VIAK har granskat avsnitten om praxis och erfarenheter i olika länder. Ola Palm, JTI och Mats Johansson, Ecoloop/VERNA har varit referenspersoner och bidragit med värdefulla synpunkter på rapportens innehåll och rekommendationer forskning och utveckling.

Slutsatser och framförda åsikter i denna rapport är författarens egna och behöver nödvändigtvis inte sammanfalla med Länsstyrelsen i Västra Götaland.

Karin Pettersson  
Biträdande vattenvårdsdirektör

Länsstyrelsen Västra Götaland

# Innehållsförteckning

---

<b>Sammanfattning .....</b>	<b>5</b>
<b>Bakgrund.....</b>	<b>8</b>
<b>Metod.....</b>	<b>10</b>
<b>Urval.....</b>	<b>10</b>
<b>Intervju .....</b>	<b>11</b>
Frågor till forskare, konsulter och inspektörer .....	11
Frågor för dialog med entreprenörer .....	12
<b>Resultat av kunskapskartläggningen .....</b>	<b>13</b>
<b>Erfarenheter och praxis i olika länder .....</b>	<b>13</b>
Sverige .....	14
Norge.....	17
Finland.....	23
Europa i övrigt .....	25
USA .....	26
<b>Analys av frågeställningar .....</b>	<b>28</b>
Vad menas med markbädd och infiltration? .....	29
Hur länge fungerar en markbädd?.....	34
Vilken livstid bör sättas på markbäddar och infiltration?.....	48
Hur kan reningsfunktionen vidmakthållas och kontrolleras? .....	50
Hur väl fungerar markbaserad teknik enligt miljöbalken?.....	54
<b>Sammanställning av slutsatser.....</b>	<b>57</b>
<b>Regler och praxis i olika länder .....</b>	<b>57</b>
<b>Begreppen markbädd och infiltration .....</b>	<b>58</b>
<b>Biologisk funktion.....</b>	<b>58</b>
<b>Kemisk funktion .....</b>	<b>59</b>
<b>Livstid .....</b>	<b>60</b>
<b>Skötsel och underhåll.....</b>	<b>61</b>
<b>Markbaserade system och Miljöbalken.....</b>	<b>62</b>
<b>Förslag till forskning och utveckling.....</b>	<b>63</b>
<b>Forskning kring grundläggande reningsmekanismer och principer för utformning     och dimensionering .....</b>	<b>65</b>
<b>Redskap för myndighetsutövning .....</b>	<b>66</b>
<b>Information och kompetenshöjning .....</b>	<b>67</b>
<b>Referenser.....</b>	<b>68</b>
<b>Bilaga 1.....</b>	<b>73</b>
<b>Intervjudeltagare .....</b>	<b>73</b>
<b>Deltagare och agenda vid expertmötet i Norge.....</b>	<b>74</b>
<b>Bilaga 2.....</b>	<b>75</b>
<b>Foreløpig Notat – skisse til nordisk samarbeid om mindre avløpsanlegg (&lt;50) .</b>	<b>75</b>

# Sammanfattning

---

Merparten av dagens reningsanläggningar för enskilda avlopp är anlagda med någon form av markbaserad rening. Förnyelsetakten för enskilda avlopp är långsam och markbaserad teknik kommer därför att fortsätta dominera även under överskådlig framtid.

Enskilda avlopp utpekade idag som en stor föroreningskälla vars utsläpp av gödande ämnen till hav och vattendrag måste reduceras. Ett politiskt tryck finns att förbättra enskilda avlopp och under senare år har olika nationella åtgärdsprogram implementerats med varierande fokus, så som kretslopp, klimat och havsmiljö. För att erhålla verkliga förbättringar krävs att satsningar görs mer långsiktigt och med en helhetssyn, där både recipientskydd, smittskydd och kretslopp. Viktigt är också att samhällets satsningar tar hänsyn till praktiska och ekonomiska aspekter, framförallt fastighetsägarnas möjligheter att leva upp till miljökrav och myndighetens möjligheter att tillse att kraven efterlevs.

Markbaserad teknik är enkel och robust och har världen över visat sig fungera väl vad gäller grundläggande skydd för människors hälsa och miljö. Idag märks dock bland representanter för svenska myndigheter en växande osäkerhet kring markbaserad teknik, framförallt med anledning av teknikens potential att faktiskt uppfylla nya allmänna råd för enskilda avlopp. Denna osäkerhet visar att behovet av kunskap, råd och anvisningar samt en enhetlig värdering av befintliga och framtida markbaserade reningssystem är mycket stor.

Syftet med förstudien är att kartlägga befintlig kunskap och att ge underlag dels för uppdatering av riktlinjer för byggande, drift och underhåll av anläggningar, men också för forskning och annan utveckling av markbaserade reningstekniker. Förstudiens ambition har även varit att ta ett första steg för etablering av ett internordiskt samarbete mellan myndigheter, forskare och andra experter verksamma inom området.

Förstudien har genomförts i form av litteraturstudier samt en intervjustudie av ett trettio-tal experter, miljöinspektörer och entreprenörer verksamma inom området i Sverige. Även ett expertmöte hölls, med utvalda experter från Sverige och Norge, vid Universitetet för Miljø- og Biovitenskap i Norge. Vid mötet fördes diskussioner om forsknings- och utvecklingsbehov och möjligheter för internordiskt samarbete för detta.

Förstudien beskriver hur markbaserad rening i Sverige, Finland och Norge samt USA har växt fram för att spegla erfarenheter, lagstiftning och praxis samt politisk debatt och forskning. Större delen av rapporten ägnas åt att belysa kunskapsläget för markbaserad rening, vad gäller reningsfunktion, reningskapacitet, livstid och kontroll. Diskussioner förs också om teknikens

möjligheter att uppfylla miljöbalkens krav och nya allmänna råd för enskilda avlopp.

Viktiga slutsatser som dras i rapporten är:

- Markbaserad rening ger, förutsatt att den är rätt lokaliserad och utförd, ett billigt och mycket bra skydd mot smittspridning, lukt och annan sanitär olägenhet.
- De allra flesta reningsanläggningar för enskilda avlopp som byggts i Sverige är utförda som förstärkta infiltrationer, dvs. som markbäddar med öppen botten, eller som infiltrationer. Där lokalisering och utförande varit korrekt tycks dessa system överlag ha fungerat väl och bidragit till ett gott grundskydd för miljön och människors hälsa. I tätbebyggda områden, där hushåll har egen vattenförsörjning, har avloppsinfiltration dock visat sig vara en riskabel teknik som med stor säkerhet förorenar många brunnar.
- I de fall då igensättning, lukt och dålig rening har förekommit i befintliga anläggningar, har det visat sig bero på att anläggningarna varit felplacerade, felbyggda eller att skötsel och underhåll försumrats. Kunskap om förutsättningar och mekanismer för att uppnå bra reningsfunktion finns dock. De gamla allmänna råden ger bra anvisningar för byggande, dimensionering och skötsel men behöver uppdateras. Ny kunskap och erfarenhet finns som kan innebära att både befintliga och nya typer av markbaserade system kan byggas bättre och säkrare.
- Det är oklart hur markbaserade anläggningar som byggts fungerat för avskiljning av fosfor. Det räkneexempel som presenteras tyder på att avskiljningen av fosfor i befintliga system överskattats. För långsiktig och hög fosforinbindning i mark krävs låg fosforbelastning och stora volymer jord som deltar i inbindningsprocessen. Med den praxis vi använder i Sverige för dimensionering och byggande av markbäddar och infiltrationer kan man knappast räkna med hög och kvarstående fosforrening under anläggningens hela drifttid. Markbaserad rening bör snarare ses som biologiska filter med viss kapacitet för fosforrening.
- Markbaserad rening har i sig liten potential för återvinning av näringsämnen. Om den däremot kombineras med annan teknik för näringsavskiljning kan mycket effektiva och säkra reningssystem erhållas. Källsortering, speciellt svartvattensystem, är särskilt intressant i detta sammanhang då sådana system ger mycket hög miljöprestanda och kan användas för uppgradering av befintliga system och för byggande av nya anläggningar. Även markbaserad teknik kombinerad med förfällning eller efterbehandling med kemisk inbindning i reaktiva filter kan vara intressanta tekniker att utveckla för framtiden.



- Rapporten föreslår att teknikområdet för markbädd och infiltration indelas i sju principiella grupper. Dessa grupper bör vara utgångspunkt för teknisk utformning och dimensionering, men också för bedömning av reningskapacitet, livstid, möjlighet till kontroll, underhåll mm.

Rapporten diskuterar och argumenterar för behovet av forskning och utveckling inom följande tre områden;

**I) Forskning kring grundläggande reningsmekanismer och principer för utformning och dimensionering.**

Här diskuteras behov och forskning för; (1) Klarläggande om mekanismer för fosforinbindning och urlakning i markbaserade anläggningar; (2) Framtagande av nya principer för utformning, dimensionering och beskickning av filteryta; samt (3) Principer för utformning och dimensionering av slamavskiljare.

**II) Redskap för myndighetsutövning.**

Här diskuteras; (1) Teknikvärdering i förhållande till regelverk och ambitioner; (2) Nya "Guidelines" för enskilda avlopp med markbaserad rening; samt (3) Utveckling av checklistor och lathundar med stöd i forskningen.

**III) Information och kompetenshöjning.**

Under denna rubrik diskuteras bland annat specifikt målgruppsinriktade satsningar för att nå ut med den senaste kunskapen om markbaserad rening och utbildningar så som grundutbildning, fortbildning och andra kompetenshöjande insatser.

## Bakgrund

---

Man räknar med att det i Sverige finns 750 000 hushåll med enskilt avlopp och att ungefär 400 000 av dessa hushåll har avlopp med längre gående rening än bara slamavskiljning. Den absoluta merparten av reningsanläggningar i drift är byggda med någon form av markbaserad rening.

Vår svenska situation är ett resultat av målmedvetna satsningar under 70- och 80-talet. Under denna period upparbetades kunskap, regelverk och ekonomi med syfte att bygga effektiv rening i både kommunala och enskilda system. Drivande för utvecklingen var ambitionen att bygga bort orenade utsläpp av luktande och smittfarligt vatten men också viljan att skydda sjöar och vattendrag från övergödning. Inriktningen på infiltration och markbädd, det vill säga markbaserade tekniker, gjordes mot bakgrund av att teknikerna uppfattades som både effektiva och robusta vilket ansågs särskilt viktigt i den lilla skalan.

Under början av 1990-talet ifrågasattes teknikerna med infiltration och markbädd för enskilda avlopp. Man såg risker med mikrobiell påverkan på grundvatten och att teknikerna saknade potential för näringsåtervinning. Många ansåg även att regelverk och praxis var konserverande och hämmande för teknikutveckling.

I den så kallade *RUSA-rapporten* (Palm *et al* 2002) värderades nya tekniklösningar och viktiga argument och förslag framfördes för arbetet med att formulera nya råd. Med införandet Miljöbalken gavs också juridiska skäl till att frånga de allmänna råden för enskilda avlopp från 1980-talet.

De nya *Allmänna råd för enskilda avlopp* som infördes 2006 beskriver att det enskilda fallets skyddsbehov skall vara utgångspunkt för skyddsåtgärder men att grundläggande krav på smittskydd, recipientskydd och kretslopp, samt möjligheter till kontroll alltid skall tillgodoses. Råden ger ingen tydlig vägledning av hur dessa krav i praktiken skall bedömas eller uppnås. Däremot uttrycks en tydlig ambition att avloppsanläggningar skall förses med god fosforrening motsvarande minst 70 % reduktion och kväverening motsvarande minst 50 % vid hög skyddsnivå.

Ungefär samtidigt med införande av de nya allmänna råden för enskilda avlopp påbörjades arbetet med implementering av Vattendirektivet i Sverige. Vattenmyndigheterna karaktäriserar ytvatten och föreslår miljö kvalitetsnormer och åtgärdsprogram. De signaler som hittills getts är att man önskar ambitiösa åtgärder för att minska höga fosfortillstånd i sjöar

och vattendrag. I detta sammanhang har enskilda avlopp pekats ut som en betydande föroreningskälla vars utsläpp av framförallt fosfor bör minska. I ett läge då samhället ställer höga krav på förbättringar av enskilda avlopp samtidigt som nationell vägledning om hur man i praktiken skall åstadkomma detta saknas har stor frustration uppstått. Enskilda fastighetsägare och inspektörer tvingas med osäkert underlag definiera skyddsbehov och bedöma olika teknikers prestanda och lämplighet. För att underlätta sin ärendehantering tar vissa kommuner fram egna policys och riktlinjer vilket i värsta fall leder till att beslut fattas utan legal grund.

Behovet av tydliga riktlinjer och kunskapsbaserad vägledning för fastighetsägare och kommuner om bedömning och förbättring av avloppssituationen i den lilla skalan är i dagsläget således stort.

De markbaserade systemen utgör den absolut dominerande typen av anläggningar i drift och kommer så att förbli under lång tid framåt med nuvarande långsamma förnyelsetakt. Således är det särskilt viktigt att kunskapsläget uppdateras för dessa system. Medan teknik- och kunskapsutveckling av prefabricerad teknik drivs av privata aktörer på marknaden måste samhället ta ansvar för kunskapsutveckling och spridning av information till marknaden om markbaserad rening. Särskilt viktiga frågor att klarlägga är hur kommuner och fastighetsägare skall bedöma och kontrollera reningsfunktion i anläggningar. Angeläget är också att ta fram metoder för att förbättra reningsfunktionen i såväl befintliga, nybyggda och kommande system.

Syftet med detta projekt är att sammanställa och kartlägga dagens kunskap om markbaserade rening, speciellt avseende reningsfunktion, livstid och kontrollerbarhet. Målsättningen är att därigenom lägga grund till fortsatta forsknings- och utvecklingsarbeten för att använda och utveckla markbaserad rening i framtiden på bästa sätt.

Förstudiens syfte är också att initiera en dialog för ett internordiskt samarbete med det gemensamma målet att ta fram nya bedömningsmetoder och riktlinjer för byggande och drift av markbaserad rening.

## Metod

---

En litteratursammanställning ur ett mer tillbakablickande perspektiv genomfördes för att undersöka erfarenheter och praxis kring markbaserad rening i norden, övriga Europa och USA. Parallellt kartlades aktuell vetenskaplig forskning, kunskap och tillgänglig information kring ett antal betydelsefulla och specifika frågeställningar som presenteras nedan. I första hand studerades svensk litteratur men även litteratur från norden, övriga Europa och USA.

Som komplement till litteratursammanställningen genomfördes kvalitativ intervju av ett antal sakkunniga forskare, konsulter och miljöinspektörer inom området. Dessutom genomfördes en mer samtalsbetonad intervjustudie av ett antal gräventreprenörer. Intervjuerna utfördes antingen via personliga möten eller via telefon och förbereddes genom att samtliga respondenter informerades om undersökningen och aktuella frågeställningar. Deras samtycke till studien inhämtades innan undersökningen påbörjades. Intervjudeltagarnas namn, yrke och verksamhetsort redovisas i Bilaga 1. I rapportens löpande text är i förekommande fall muntliga kommentarer och citat refererade till med namn men i övrigt är intervjudeltagarna anonyma.

Avslutningsvis planerades ett konkret möte mellan i sammanhanget relevanta aktörer verksamma i Norge, Finland respektive Sverige. Mötesagendan utgick från samma frågeställningar som använts för litteratur- och intervjustudien. Mötet arrangerades vid Universitetet för Miljö- og Biovitenskap, UMB, i Norge och gick av stapeln den 12-13 februari 2009. Samanlagt deltog åtta aktörer vid mötet. Fullständig deltagarlista samt kortfattad presentation av mötesagendan redovisas i Bilaga 1.

### Urval

De respondenter som deltog i undersökningen utgjordes av sakkunniga och andra aktörer inom området. Totalt 31 personer deltog och representerade sakkunniga från universitet, högskola, institut, myndigheter, konsult- eller entreprenadföretag. Urvalet motiveras av ambitionen att fånga upp tidigare och nu aktiva verksamma forskare och sakkunniga framför allt i Sverige men även i Finland, Norge och USA. De miljöinspektörer och gräventreprenörer som deltog valdes slumpvis ut från förteckningen av i Sverige verksamma inspektörer och entreprenörer som finns tillgänglig på Avloppsguidens hemsida ([www.avloppsguiden.se](http://www.avloppsguiden.se)). Undersökningen ägde rum under vintern 2008/09.

## Intervju

Intervjustudien utfördes som ett arbetsredskap med syftet att samla in ett levande och aktuellt bakgrundsmaterial för orientering av ämnet, verksamma aktörers kunskaper, erfarenheter och tankar kring markbaserad rening. Totalt tretton forskare verksamma vid antingen universitet, högskola eller institut, sex konsulter samt sex miljöinspektörer deltog i den kvalitativa intervjustudien. Dessa yrkesgrupper valdes för att undersöka om det råder skilda uppfattningar kring markbaserad rening och i så fall hur uppfattningarna skiljer sig från varandra. De intervjuade personerna var informerade om syftet till intervjun och att deltagandet var frivilligt. Intervjuerna formades och utfördes enligt metoden för kvalitativ intervju (Jacobsen 1993; Trost 2004) och genomfördes under ostörda förhållanden. I genomsnitt tog en intervju ca 30 minuter att genomföra. Under samtliga intervjuer fördes noggranna anteckningar för att i största möjliga mån bevara och illustrera sakkunnigas personliga tankegångar, formuleringar och spontanitet.

Ett antal frågor som formulerats i förhand ställdes till samtliga respondenter. Frågorna berörde områden så som; definition av markbaserad rening; funktion; kontroll; kunskapsläge och utveckling. Samtalen med gräventreprenörer strukturerades efter frågor mer fokuserade kring praktiskt arbete med och erfarenheter av markbaserad reningsteknik. Samtliga frågor presenteras nedan. I en efterföljande analys av sakkunnigas svar ämnar vi identifiera eventuella återkommande teman och faktorer som sakkunniga tillskriver stor betydelse i sammanhanget. Resultatet presenteras parallellt med den sammanställda litteraturen. Insamlade svar från gräventreprenörer utgör en grund för diskussion kring kopplingen mellan teoretisk och praktisk kunskap och erfarenhet. I anslutning till varje frågeställning sammanfattas författarens personliga reflektioner och kommentarer med bakgrund i sammantagna erfarenheter från litteratur och intervjuer.

### Frågor till forskare, konsulter och inspektörer

Följande frågor har legat till grund för genomförd kartläggning av litteratur och intervjustudie. Frågorna har formulerats på ett medvetet talspråksbetonat sätt för att spegla de frågor som sakkunniga ofta ställs inför. Rapportens resultatpresentation är också strukturerad utifrån frågorna.

- I) Vad menas med markbädd och infiltration?
- II) Hur länge fungerar en markbädd?
- III) Hur kan funktionen bevaras och kontrolleras?
- IV) Hur väl motsvarar markbaserad rening miljöbalkens krav?
- V) Var finns kunskapen och vad driver forskning och utveckling framåt?
- VI) Vilka behov av och idéer till forskning och utveckling finns?

### Frågor för dialog med entreprenörer

Dialogen med gräventreprenörer strukturerades efter följande sex mer praktiskt relaterade samtalsfrågor:

- i) Hur många avlopp anlägger du under ett år?
- ii) Hur många av dessa utgörs av markbaserade system?
- iii) Vilken typ av teknik används och tas de allmänna råden i beaktan?
- iv) Hur tycker du att anläggningarna fungerar?
- v) Har du några idéer hur tekniken skulle kunna förbättras?
- vi) Vad skulle underlätta byggandet av anläggningarna för dig?

# Resultat av kunskapskartläggningen

---

## Erfarenheter och praxis i olika länder

Rening av avloppsvatten i mark emanerar sannolikt från de i världen så vanliga toalettlösningarna med avträden i latringropar. Det är troligt att man på många ställen tidigt upptäckte och tillvaratog markens förmåga att omvandla illaluktande avföring och spillvatten till luktfri jord och rent vatten (USEPA, 2002). Man kan anta att tekniken med slamavskiljning och filtrering av avloppsvatten i mark utvecklades som en följd av ökande vattenmängder då bruket av vattentoalett blev vanligt. Mest utbredd och använd är markbaserad rening i USA och Kanada.

I Sverige introducerades tekniken med markbaserad rening genom satsningar som genomfördes under 1970- och 80-talen. I Norge och Finland har utvecklingen i mångt och mycket följt den svenska. I alla de tre länderna är avloppshanteringen med infiltrations- och markbäddsteknik väl utbyggd i den lilla skalan.

I Norge gjordes nationella satsningar för att utveckla ny kunskap på teknikområdet under 90-talet inom det så kallade NAT-programmet (Naturbaserat Avløpsvann Teknik, 1998). I Finland har en del utvecklings- och uppföljningsarbeten genomförts som underlag till den nya förordningen för enskilda avlopp som infördes 2004. I Sverige har projektet Bra Små Avlopp (Hellström och Jonsson, 2003) varit betydelsefullt för kunskap och värdering av reningsteknik i den lilla skalan. Men i stort har mycket små resurser ägnats åt forskning och utveckling på området de senaste 30 åren.

I USA är utvecklingen av markbaserad rening stark. Såväl regelverk, myndighetsutövare och marknad gynnar dessa tekniker och forskning och utveckling inom området är omfattande. I Sverige däremot, liksom i de övriga nordiska länderna, finns en tendens att tilltron till markbaserad rening har avtagit under senare år.

En del av förklaringen till att markbaserad reningsteknik ifrågasätts i de nordiska länderna kan vara nya regelverk och ambitioner från myndigheter med fokus på minskat näringsläckage. En annan förklaring kan vara att kunskap och erfarenhet gått förlorad med den nya generation av inspektörer, teknikleverantörer och konsulter som agerar på marknaden idag. Oavsett förklaring finns all anledning för Sverige att studera och ta lärdom av utvecklingen inom området från våra grannländer, övriga Europa och USA. Nedan följer ett försök att spegla regelverk, praxis och trender samt pågående forskning i de olika länderna.

## Sverige

Sverige tillhör de länder med den mest välutbyggda avloppsförsörjningen i världen. Av Sveriges 750 000 hushåll med enskilt avlopp har mer än hälften avloppsrening motsvarande längre gående rening än slamavskiljning. Ungefär 400 000 enskilda hushåll har avlopp byggda med markbaserad reningsteknik, det vill säga med infiltration eller markbädd. (SNV, 2008:3). Utbyggnaden av avloppsförsörjningen i Sverige, både i den stora och lilla skalan, är ett resultat av stora ansträngningar som genomfördes under 70- och 80- talet (Regeringskansliet, 1998). Under denna tid upparbetades kunskap, regelverk och ekonomi i syfte att bygga effektiv rening i både kommunala och enskilda system. Drivande för utvecklingen var ambitionen att bygga bort orenade utsläpp av luktande och smittfarligt vatten men också viljan att skydda sjöar och vattendrag från övergödning. Inriktningen mot markbaserad rening i den lilla skalan gjordes med bakgrund av att tekniken uppfattades som både effektiv och tillförlitlig. Enkelhet och robusthet var något man ansåg vara särskilt viktigt i den lilla skalan (Nilsson muntl., 2009).

Den kunskap och praxis vi i Sverige använder för anläggande och drift av infiltrationer och markbäddar bygger på Naturvårdsverkets Allmänna Råd för Enskilda Avlopp (AR 87:6; 91: 2). Dessa råd är som bekant numera bortagna och har ersatts med faktablad, men används fortfarande som riktlinjer vid byggande av markbaserade reningsanläggningar i Sverige.

I förarbeten och underlagsrapporter till de gamla råden för enskilda avlopp finns mycket kunskap samlad. En underlagsrapport värd att lyfta fram är *Avloppsvatteninfiltration – Förutsättningar, Funktion och Miljökonsekvenser* (Naturvårdsverket Informerar, 1985). Rapporten arbetades fram som en samnordisk produktion i första hand som stöd åt konsulter och myndigheter och utgör den viktigaste kunskapsbanken för planering, byggande och värdering av markbaserad reningsteknik i Sverige. Tyvärr är rapporten svårtillgänglig och kan inte laddas ned via Internet.

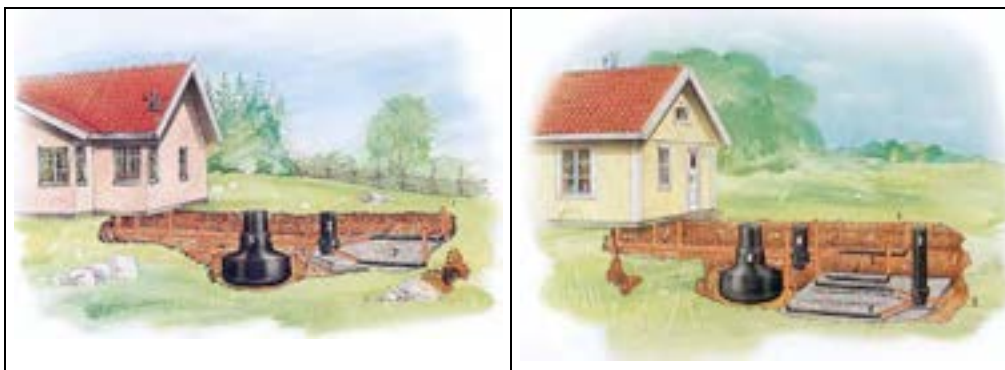
De gamla allmänna råden för enskilda avlopp (AR 87:6) beskriver olika anläggningstyper av markbaserad reningsteknik och ger vägledning för planering, dimensionering och byggande. I råden ges också vägledning till hur olika anläggningar skall skötas samt vilka reningseffekter som var att förväntas.

En typisk svensk markbaserad anläggning är uppbyggd med självfall, trekammarbrunn och spridning av vatten via en fördelningsbrunn och två fördelningsledningar. Råden beskriver fördelar med att bygga behandlingsdelarna som smala diken med naturjord emellan. Trots detta är dock de allra flesta anläggningar i Sverige byggda som en gemensam bädd. Figur 1 är hämtad ur ett svenskt företags produktkatalog för tankar och rördelar och beskriver väl den svenska modellen för markbaserad rening.

Vårt att notera är att de allmänna råden rekommenderar att en markbädd skall byggas med otät botten så att det behandlade vattnet skall kunna



infiltrera till grundvattnet. De flesta markbäddar i Sverige är således byggda som förstärkta infiltrationer. (Läs vidare i avsnittet; Vad menas med markbaserad rening?)



*Figur 1. Den svenska modellen för infiltration och markbädd bygger på självfall samt behandling av vatten i en sammanhängande bädd. Markbädd (till höger) byggs i regel med öppen botten utan tätskikt under uppsamlingslagret. Per definition bör de således betraktas som förstärkta infiltrationer med bräddavlopp. Bilder använda med tillåtelse från IFÖ Ecotrap.*

Under senare år har olika typer av artificiella filtermaterial, så kallade *kompaktfilter*, blivit populära. Tanken med dessa filter är att skapa större yta och bättre syreförsörjning för den biologiska filterprocessen. Vissa produkter, till exempel *InFiltra*, sägs även förbättra reningen genom att jämna ut flöden och sprida ett delvis biologiskt behandlat vatten över underliggande mark. Det svenska företaget FANN VA-teknik har varit särskilt framgångsrik i försäljningen av sina produkter för markbaserad rening. Idag finns många tusen anläggningar byggda med deras infiltrationssystem där *InDrän* är den, bland entreprenörer och miljöinspektörer, mest kända produkten av kompaktfilter.

Under 1990-talet ifrågasattes både regelverk, praxis och teknikuppbyggnad rörande den svenska avloppsförsörjningen. Man ansåg inte systemen hållbara ur kretsloppssynpunkt och många uppfattade regelverk och praxis som konserverande. Framför allt påpekades den bristande potentialen för näringsåtervinning hos infiltrations- och markbäddsteknik. Det kom även några studier av befintliga markbäddars reningsförmåga som visade på mycket varierande resultat (Nordiska Ministerrådet, NORD, 1998; Refsgaard och Etnier, 1998 och Nilsson *et al.*, 1998). Detta ledde till ifrågasättande av den långsiktiga funktionen men även av hur markbaserade anläggningar byggs eftersom det framkom att anläggningar ofta var felbyggda. Problem med förorening av dricksvattenbrunnar speciellt i kustområden, på Öland och Gotland bidrog också till att markbaserad rening, särskilt infiltrationsteknik, ifrågasattes.

De allmänna råden (AR 87:6, 91:2) kritiserades för att försvåra införande av ny teknik, så som till exempel källsortering. Råden var ju i princip byggmanualer för markbaserad rening som styrde planering och tillsyn av avlopp i den lilla skalan och på så sätt hindrade införande av ny teknik. Den traditionella synen att ställa krav i form av teknik började ersättas med synen på att krav måste ställas baserat på funktion. Miljöbalken infördes år 1999 och gav stöd åt uppfattningen att funktion skall vara vägledande för teknikval.

Projektet ”*Bra Små Avlopp*” som startades 1998 av Stockholm Vatten syftade till pröva om nya lösningar för enskilda avlopp minskar utsläpp och risker jämfört med de traditionella teknikerna. I projektet demonstrerades och uppföljdes flera olika anläggningstyper med utgångspunkt från en tekniktävling där höga krav ställdes på anläggningsfunktion avseende hygien, kretsloppspotential, utsläpp, resursförbrukning, användaraspekter mm. Av trettio tävlingsbidrag utvaldes åtta anläggningstyper och tolv anläggningar byggdes på Stockholm Vattens fastighet vid Bornsjön. Anläggningarna bestod av olika typer av minireningsverk, källsorterande system samt anläggningar med kemisk fällning som komplement till befintliga markbäddar. Anläggningarna följdes och utvärderades noga under fyra år.

Den allmänna slutsatsen från projektet var att hos alla de prövade tekniklinjerna finns möjligheten att klara de krav som inledningsvis formulerats för tekniktävlingen. Projektets viktigaste resultat var dock att för- och nackdelar med olika tekniker belystes samt att projektet banade väg för nya idéer och tekniker på marknaden.

Som en följd av den nya lagstiftningen, resultaten från bland annat Bra Små Avlopp och diskussionen som förts under 1990-talet, initierades i början av 2000-talet arbetet på Naturvårdsverket med revidering av de Allmänna Råden. Ett underlag för arbetet var den så kallade RUSA-rapporten, *Robusta Uthålliga Små Avloppssystem: en kunskapssamanställning*, (NV rapport 522:2002). I den värderades nya tekniklösningar och viktiga argument och förslag framfördes inför arbetet med de nya råden. Ett resultat av RUSA-rapporten var bland annat att de tidigare allmänna råden från 1986 och 1991 drogs tillbaka.

År 2006 implementerades nya *Allmänna Råd om små avloppsanordningar för hushållspillvatten* (NVFS 2006:7). Dessa råd lyfter fram det enskilda fallets skyddsbehov som den primära utgångspunkten för skyddsåtgärder. Samt att grundläggande krav på smittskydd, recipientskydd, kretslopp och möjlighet till kontroll alltid skall tillgodoses. Råden ger dock ingen tydlig vägledning för hur dessa krav i praktiken skall bedömas eller uppnås. Däremot uttrycks en tydlig ambition att avloppsanläggningar skall förses med god fosfor- och kväverening motsvarande minst 70 % för fosfor vid normal skyddsnivå, samt 90 % för fosfor och 50 % för kväve vid hög skyddsnivå.

Ungefär samtidigt med införande av *Allmänna Råd om små avloppsanläggningar för hushållsvatten* påbörjades arbetet med implementering av Vattendirektivet (2000/60/EG) i Sverige. I vattendirektivet karaktäriserar vattenmyndigheterna ytvatten och ger förslag till miljökvalitetsnormer och åtgärdsprogram. De signaler som hittills getts är att man kommer föreslå ambitiösa åtgärdsprogram för att begränsa tillförseln av näring till sjöar och vattendrag. I detta sammanhang har de enskilda avloppen pekats ut som en betydande föroreningskälla vars utsläpp av framförallt fosfor bör minska.

Hos kommunerna har de nya allmänna råden tagits emot med blandade känslor. Många inspektörer uttrycker frustration över att råden är svåra att tolka och saknar egentlig legalitet. Dessutom saknar man vägledning för att värdera olika teknikers prestanda i förhållande till de nya rådets kravambitioner och förslag till skyddsnivåer. I brist på officiell vägledning har den privata informationsnoden Avloppsguiden AB blivit ett viktigt samlande forum för kommunerna ([www.avloppsguiden.se](http://www.avloppsguiden.se))

De interjuver som genomförts inom ramen för denna förstudie visar att sedan Bra Små Avlopp avslutades 2003 har inga egentliga forsknings- och utvecklingsinsatser genomförts för att värdera och utveckla markbaserade reningstekniker. Den forskning som idag bedrivs på universitet, högskolor och institut med anknytning till markbaserad rening begränsas i stor sett till KTH, JTI och SLU. Forskningen har ägnats åt att belysa frågor kring fosforinbindning i reaktiva filter vilket också kopplar till kemisk inbindning i mark.

Tillstånd för anläggning och drift ges normalt utan tidsbegränsning varför myndigheterna inte ställer krav på uppföljning eller kontroll. Fastighetsägaren i sin tur är nöjd med anläggningen så länge vattnet försvinner utan problem. Först vid problem så som igensättning, förorenade dricksvattentäkter eller allvarliga klagomål från grannar uppstår anledning att uppmärksamma en redan byggd anläggning. Endast ett fåtal mindre studier för värdering av svenska anläggningar i drift har därför genomförts. Dessa uppföljningar finns sammanställda och värderade i olika litteratursammanställningar och refereras också till i denna rapport i avsnitt längre fram.

## Norge

Ungefär 17 procent av Norges befolkning bor i vad man i Norge kallar spridd bebyggelse och har egen vatten- och avloppsförsörjning. Man räknar med att drygt 40 procent av dessa hushåll är utrustade med avloppstekniska lösningar med längre gående rening än slamavskiljning där merparten, drygt 300 000 stycken, har reningsanläggningar med markbaserad rening (Statistisk sentralbyrå, 2001). Drygt 80 procent av invånarna i Norge är knutna till kommunala avloppsanläggningar. Privata avloppslösningar är

vanligast bland hushåll knutna till små anläggningar, mindre än 50 pe (Yri muntl, 2009).

Under 70- och 80-talet samarbetade Sverige och Norge i flera forskningsarbeten kring naturbaserad rening. Samarbetet omfattade också framtagande av landspecifika råd och riktlinjer för hantering av avloppsvatten från enskild bebyggelse. Resultatet presenterades i den samnordiska rapporten *Avloppsvatteninfiltration - förutsättningar, funktion, miljökonsekvenser* (Nordiska Ministerrådet och Naturvårdsverket, 1985).

Utbyggnaden av de centrala avloppssystemen startade i Norge något senare än i Sverige. Med en bebyggelse utspridd längs branta bergssidor, djupa fjord- och älvdalar är uppsamling och framledning av avloppsvatten besvärlig. Erfarenheterna från det krävande utbyggnadsarbetet visade också att kostnaderna för anläggning och underhåll av ledningssystem, speciellt i perifert liggande områden, blev mycket höga och dessutom ineffektiva. Statens Föreningstillsyn (SFT) lät göra en statusbeskrivning av norska centrala avloppssystem 1991. Då konstaterades att bara en tredjedel av avloppsvattnet når fram till reningsverken, resten läcker ut till grundvatten eller bräddas ut mot sjöar och hav. Man såg också att läckage in i ledningssystem vid regnväder och snösmältning orsakade att reningen i centrala verk blev problematisk och otillräcklig (Hofshagen, 1991).

Som en uppföljning av de problem och brister som SFT lyft fram, skärpte myndigheterna kraven på avloppssektorn i Norge. Man ställde bland annat krav på att kommunerna före år 2000 skulle upprusta avloppen i spridd bebyggelse samt att de centrala systemen måste bli effektivare vad gäller uppsamling och behandling av spillvatten (Refsgaard och Etnier, 1998). En ny föreskrift gavs ut gällande utsläpp från mindre avloppsanläggningar där man stipulerade att kommunerna skulle vara suverän tillsynsmyndighet för de enskilda avloppen (Stortings melding 46, 1988-89; Foreskrift om utslipp fra mindre avlopsanlegg, 2001).

De skärpta kraven stimulerade idéer och debatt för alternativa och mer decentraliserade lösningar för avloppshantering. På initiativ av forskare verksamma på lantbrukshögskolan i Ås etablerades år 1994 en nationell satsning för utveckling och implementering av naturbaserade reningslösningar i Norge, det så kallade NAT programmet (Naturbasert Avloppsteknologi - sammandrag av programmets projekter, 1998). Programmet finansierades av Norska Miljödepartementet tillsammans med industrin, ett antal kommuner samt andra finansiärer för forskning och utveckling och pågick under fyra år. Den samlade ekonomiska insatsen för programmet var ungefär 40 miljoner norska kronor.

NAT-programmet innebar ett stort kunskapslyft för markbaserad avloppsreningsteknik framför allt vad gäller infiltrationer och teknik för spridning av vatten i mer kompakta vertikalfilter. Ny kunskap utvecklades, allt från grundläggande processkunskap, nya produkter i form av tekniska lösningar till stöd för planering, byggande och drift. En viktig del i

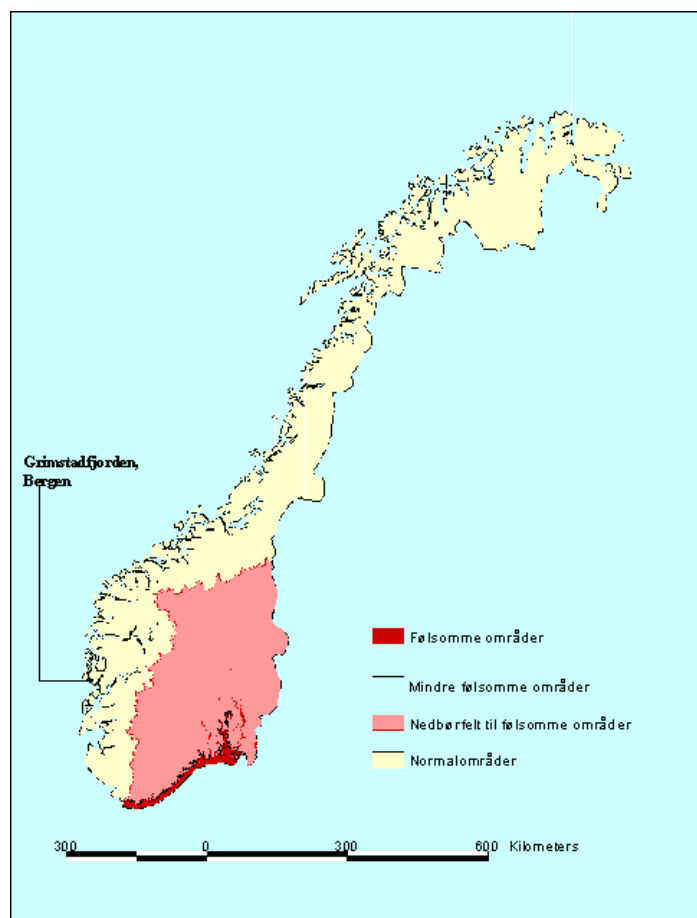
programmet var studier av traditionella metoder med infiltration i drift. Uppföljning av anläggningar i drift genom kontrollerade experiment i laboratoriemiljö har gett kunskap som förbättrar de traditionella systemen och gör dem säkrare.

En ambition i programmet var att ta fram teknik som förutom säkert smitt- och recipientskydd också skulle möjliggöra kretslopp för närsalter. Detta resulterade bland annat i att en ny filterbäddsteknik utvecklades där en kombination av vertikal och horisontell filtrering används. Ett koncept som utvecklades utrustades med så kallade "våtmarksfilter" där den biologiska reningssprocessen drivs genom att förbehandlat avloppsvatten sprayas ut över ett kompakt vertikalfilter, eller förfilter, som i Sverige kallas sprayfilter. Fosforinbindning och hygienisering av vattnet sker därefter i ett kalkbaserat horisontalfilter.

I NAT-programmet belystes också fördelarna med att separera olika avloppsströmmar. Olika toalettssystem och tekniker för hantering av gråvatten studerades med tanke på applikationer både för fritidshus och permanentus. För fritidshus, el. hyttor, utvecklades bland annat prefabricerad teknik baserad på förbehandling i filterpåsar och behandling i slutet sprayfilter. Som alternativ till traditionell vattenburen teknik i tätbebyggelse utformades lösningar baserade på klosettvattnensortering, i Sverige ofta kallad svartvatten- eller klosettvattnensystem, med uppsamling av svartvatten/klosettvatten genom vacuumteknik och behandling av gråvatten i en anlagd våtmark.

År 2001 infördes "*Forskrift om utslipp fra mindre avløpsanlegg – veiledning til kommunene*" (STF-rapport 1741/200). Dessa föreskrifter gav kommunerna ett större och mer självständigt ansvar att genomföra förbättringar för enskilda avlopp. År 2007 gjordes omfattande ändringar i föreskriften. De nya bestämmelserna anger nationella standardkrav för olika delar av Norge. Bestämmelserna innehåller också anvisningar för ansökan om utsläpp, krav på dokumentation av reningseffekt, krav på projekteraren, bestämmelser om lokalisering av utsläppspunkt samt bestämmelser om drift och underhåll (Kap 12, <http://www.lovddata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20051215-1691.html>).

Som framgår av Figur 2 nedan ställs höga krav på reduktion av BOD och fosforrening i landets södra kustområde och dess tillrinningsområden. Även i inlandet ställs höga krav medan områden med utsläpp direkt till västra och norra kustområdet endast har krav på reduktion av suspenderat material.

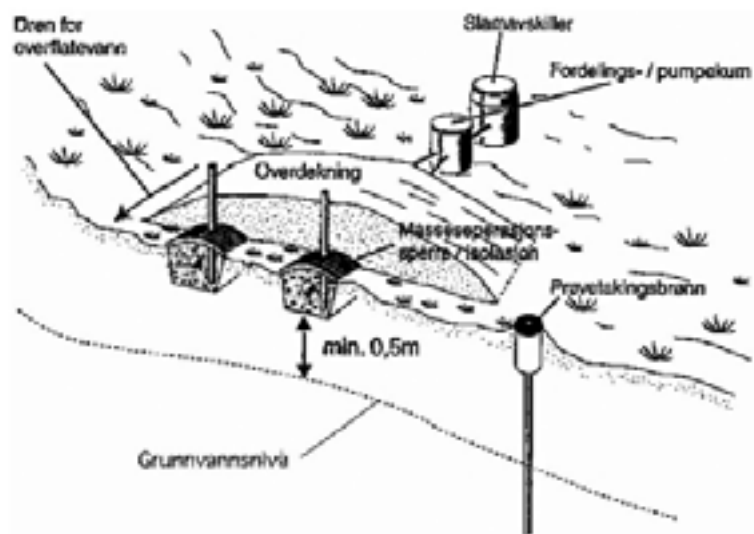


Figur 2. Den nya föreskriften från 2007 innebär att man i vissa områden i Norge ställer höga krav på rening från enskilda avlopp medan man i andra områden har lägre krav. Inom rödmarkerade och gula områden skall anläggningar avskilja 60-90% av fosfor och 70-90% av BOD. I områden med utsläpp direkt till västra och norra kustområdet gäller bara krav på avskiljning av suspenderat material genom mekanisk rening.

Norsk Kommunaltekniks Förening (NKV) och Norsk VA-verksföreningen (NORWAR) har grundat en stiftelse med syfte att informera och vägleda den norska VA-sektorn om aktuell lagstiftning, praxis och normer för tekniska lösningar. Informationen distribueras till abonnenter via VA-miljöblad. Hittills har sex VA-miljöblad utgivits för enskilda avlopp och det arbetas med att få till en uppdatering av dessa blad. I dagsläget ingår drygt 300 kommuner och ca 500 konsulter, entreprenörer, rörläggare och leverantörer som abonnenter. VA-miljöbladen för småskalig avloppsrening bygger delvis på vad man i NAT-programmet funnit vara relevant och bra för norska förhållanden. Följande blad har utgivits rörande planering och utförande av anläggningar i den lilla skalan:

- VA Miljöblad 50 (2000). *Håndtering av Foreskrift om utslipp från mindre avloppsanlegg*. Miljöbladet ger riktlinjer för planering, tolkning av lagkrav, information om olika typer av reningsanläggningar samt principer för utformning och dimensionering av infiltrationsanläggningar.
- VA Miljöblad 48 (2001). *Slamavskiller*. Bladet ger vägledning om riktlinjer för dimensionering av slamavskiljare och utformning av olika typer av infiltrationer.
- VA Miljöblad 49 (2001). *Våtmarksfiltre*. Detaljerade bygganvisningar ges för konceptet med våtmarksfilter som utvecklats i NAT- programmet. Vidare beskrivs vilka reningseffekter man anser att våtmarksfiltret ger.
- VA Miljöblad 59 (2003). *Lukkede infiltrationsanlegg*. Här ges detaljerade riktlinjer för lokalisering och byggnation av upplyft infiltration, så kallad mound. Denna infiltrationsform presenterades i NAT-programmet som särskilt relevant för norska förhållanden. Bladet beskriver också förväntade reningseffekter.
- VA Miljöblad 52 (2001). *Minirensanlegg*
- VA Miljöblad 60 (2003). *Biologiska filtre for gråvann*. Vägledning ges för slamavskiljning, pumpning och utförande av biofilter baserat på den sprayfilterteknik som utvecklades i NAT programmet. Bladet beskriver också förväntade reningseffekter.

Fram till och med 70-talet var det vanligast att endast ha slamavskiljning av avloppsvattnet före utsläpp. Under 70- och 80-talen var traditionell infiltration och markbädd de vanligaste typerna av reningsanläggningar som byggdes. Markbäddar anlades på geografiska lokaler som saknade tillfredställande jordlager för infiltration. På grund av driftsproblem hos markbäddsanläggningarna, i kombination med skärpta utsläppskrav och priskonkurrens övertogs marknaden av minireningsverk på bekostnad av markbäddar under 80-talets slut. I stället för markbädd valde man också att bygga grunda eller upplyfta infiltrationer som ansågs vara mer effektiva och säkra jämfört med markbäddar. I stort sett alla anläggningar byggs numera med infiltrationsytan uppdelad i smala diken, så kallade *grøfter*, till vilka det slamavskiljda vattnet pumpas, se Figur 3. Ofta dimensioneras anläggningarna för låg vattenbelastning motsvarande 6-10 mm/d, med följd att anläggningarna kan bli mycket stora.



Figur 3. I Norge är infiltration en av de vanligaste typerna av rening för enskilda avlopp. Vanligt är att dessa bäddar är byggda som smala och ytligt förlagda diken till vilket slamavskiltat vatten pumpas. Norska dimensioneringsgrunder innebär också att anläggningar normalt belastas med lägre vattengivor än i Sverige.

Denna typ av markbaserad anläggning, här kallad den ”norska modellen” baseras på NAT programmets erfarenheter, har visat sig ge ett stabilt och varaktigt högt miljöskydd samtidigt som driften är förenad med mycket små kostnader (Jensen *et al* 2006, Yri, muntl. 2009).

I och med införda krav på fosforrening för vissa områden i Norge har marknaden för minireningsverk ökat (Jensen, muntl. 2009). Trenden är som i Sverige, att prefabricerade teknik vinner allt större marknad.

Sedan NAT-programmet avslutades 1997 har egentligen inga finansiella medel varit tillgängliga för forskning och utveckling. I likhet med svenska förhållanden drivs i dagsläget teknikutveckling och marknad i första hand genom privata initiativ. Ett försök att kommersialisera opartisk rådgivning och information är via en Internetbaserad tjänst [www.avlop.no](http://www.avlop.no) som BioForsk Jord og miljø i Ås står bakom.

Vid mötet vid universitetet i Ås som hölls inom ramen för denna förstudie deltog sex norska experter på teknikområdet. Under mötet diskuterades forskningsbehov och möjlighet till internordiskt samarbete. Bland angelägna uppgifter sågs behovet av ett internordiskt expertråd med uppgift att testa och värdera både traditionell och ny teknik som stöd för myndighetsutövning. Vidare ansåg experterna i Norge att det skulle vara av stort värde om man gemensamt arbetade fram och uppdaterade råd och riktlinjer för anläggning, drift och kontroll av markbaserade system, se Bilaga 1 och 2.



## Finland

I Finland har ungefär tio procent av befolkning egen vattenförsörjning och ca tjugo procent bor i hushåll med privata avloppssystem. Antalet permanentushåll med eget enskilt avlopp uppgår till runt 300 000. Ungefär hälften av dessa saknar egentlig rening medan resterande hushåll i de flesta fall har anläggningar med infiltration eller markbädd. Även paketreningssystem och slutna tankar för WC-vatten är vanliga.

Finlands tradition för hantering av enskilda avlopp grundlades genom de nordiska forsknings- och utvecklingssamarbeten som drevs under 70- och 80-talet. Finland anpassade mycket av sina krav och riktlinjer till de allmänna råd för enskilda avlopp som arbetades fram i Sverige (Santala, muntl. 2009). Handboken, som vatten- och miljöstyrelsen publicerade år 1990 blev ett viktigt underlag för kommunernas ärendehandläggning. Boken liknar i mångt och mycket de svenska allmänna råden (AR 87:6) och innehåller typritningar och dimensioneringsprinciper och exempel på vanliga och upplyfta infiltrationsanläggningar och markbäddar. (Santala, 1990).

Ett hinder för implementering av handbokens råd och anvisningar var att den då gällande vattenlagen endast krävde slamavskiljning för enskilda avlopp. Om husägaren vid nybygge nöjde sig med enbart slamavskiljning hade kommunen svårt att kräva ett bättre system. För detta krävdes i så fall att myndigheten kunde visa att utsläppen skulle medföra direkta skador i vattendragen.

Behovet att förbättra hanteringen av enskilda avlopp och stärka lagstiftningen fördes fram av både miljödebattörer och tillståndsmyndigheter. Under senare hälften av 1990-talet påbörjades arbeten med framtagande av en helt ny miljövårdslag.

En av drivkrafterna för förändringarna i lagstiftningen var det arbete, som gjordes i samband med målprogrammet för vattenskydd. Efter mångåriga förberedelser och diskussioner infördes år 1998 nya riksomfattande mål för vatten (Miljöministeriet, 1998). Senare publicerades även ett åtgärdsprogram för vattenskydd (Miljöministeriet, 2000). Båda programmen innehåller mål och åtgärdsförslag för minskning av föroreningsbelastning till vattendrag, även gällande spridd bebyggelse. Målen bidrog även till att arbeten inleddes för att studera enskilda avlopps miljöpåverkan med syfte att skärpa lagstiftningen inom området. Samtidigt med målprogrammet pågick även förberedelserna av en helt ny miljövårdslag. Då togs saken med små avloppssystem fram. Miljövårdslagen trädde i kraft år 2000 med några principiella paragrafer gällande enskilda avlopp. En av dem gav miljöministeriet rätten att ge en förordning med närmare definierade krav.

I början av 2000 talet påbörjades arbetet med en ny förordning för enskilda avlopp. Det färdiga förslaget antogs av stadsrådet 2003 och implementerades 1 januari 2004, *Finska avloppsvattenförordningen* - om

*behandling av hushållspillvatten i områden utanför vattenverkens avloppsnät. 542/2003.*

Förordningen anger krav för behandling och bortledning av hushållspillvatten, byggande och underhåll samt krav för hantering av slam. Tydliga anvisningar finns för hur långt avloppsvattnet skall renas och vilka olika tekniklösningar som kan komma i fråga. I §4 sägs att minst 90% BOD<sub>7</sub>, 85% fosfor och 40 % kväve skall reduceras från avloppsvattnet jämfört med utsläpp av obehandlat vatten. Detta gäller som grundkrav för hela Finland. I vissa områden, där särskilda kommunala miljöskyddsbestämmelser finns, kan dock kraven vara något lägre och i andra fall även hårdare.

Förordningen anger inga krav på näringsåtervinning eller hushållning med naturresurser. Ej heller stipuleras särskilda skyddsnivåer eller riktlinjer avseende smittskydd.

För anläggningar i drift före 2004 eller tillståndsgivna men ej anlagda innan förordningen tillämpades, gäller övergångsbestämmelser beskrivna i §12. Där står beskrivet att samtliga anläggningar i drift senast år 2014 skall uppfylla reningskraven angivna i §4. I en bilaga till förordningen beskrivs avslutningsvis system som anses tillämpliga för att uppnå ställda krav. Bilagan preciserar också krav för planering, förundersökning, projektering, byggande och dokumentation samt principer för drift och underhåll av reningsanläggningar.

Som en följd av den nya förordningen initierades ett större forsknings- och utvecklingsprojekt för minskning av näringsbelastning i glesbygd, kallat *RAVINNESAMPO-projektet*. Huvudsyftet med detta projekt var att studera och förbättra reningseffekter i småskaliga reningssystem. Projektet finansierades och genomfördes under 2003 till 2005 i samarbete mellan Finlands miljöcentral, Jord- och skogsbruksministeriet, Teknologiska Utvecklingscentralen, Tammerfors Tekniska Universitet samt en rad större och mindre tillverkare inom branschen.

Projektet omfattade studier av drift- och reningfunktion i totalt drygt sextio små avloppsanläggningar. De flesta var nya anläggningar, fabriksstillverkade eller byggda på plats, men även en del äldre anläggningar ingick i utvärderingen. Av markbaserade system ingick två traditionella markbäddar, två horisontella markbäddar, fyra med särskild fosforadsorberande material och sju markbäddar med efterföljande fosforfälla. Inga anläggningar med infiltration ingick. De flesta anläggningstyperna bedömdes ha potential att klara kraven i den finska förordningen. Utvärderingen konstaterade dock att anläggningarna uppvisade stora variationer i reningseffekt och att många anläggningar inte klarade kraven på fosforavskiljning. Markbäddarnas reningfunktion uppvisade den mest stabila och högsta reduktionen av BOD men bedömdes ha otillräcklig fosforavskiljning i förhållande till förordningens krav (SYKE, Finska Miljöcentralen 2005; Vilpas *et al*, 2007).

Finlands miljöcentral, delvis motsvarigheten till Svenska Naturvårdverket, har enligt förordningen ett visst ansvar för att följa utveckling och resultat av metoder för avloppsvattenhantering som finns på marknaden ([www.miljo.fi/syke](http://www.miljo.fi/syke)).

I samtal som förts med finska aktörer inom ramen för denna förstudie framgår att den nya förordningen initierat en utveckling av nya tekniker. Samtidigt har de nya reglerna mött stort motstånd hos fastighetsägare då man anser tekniker som erbjuds på marknaden som alltför dyra och skötselkrävande. Erkki Santala, som arbetar med uppföljning av förordningen på Finska miljöcentralen, uttrycker själv att kravnivåerna för fosfor- och kväverening kanske blev väl högt satta samtidigt som smittskydd och säkerhet beaktades för lite. En oro finns hos myndigheten att de nya tekniker för fosforavskiljning som nu introduceras är alltför oprövade. Santala uttrycker starkt önskemålet av att påbörja ett internordiskt samarbete för prövning och värdering av både traditionella tekniker och nya tekniker (Santala, muntl 2009).

## Europa i övrigt

Den europeiska kommittén för standardisering (CEN) formulerar dokument med standardiserade regler, råd och definitioner inom en mängd olika ämnesområden. Syftet är att samla alla intressenter inom området kring samma regelverk för att förenkla och öppna marknaden. Den europeiska standarden (EN 12566) tillämpas som nationell standard i samtliga trettio medlemsländer ([www.cen.eu](http://www.cen.eu)).

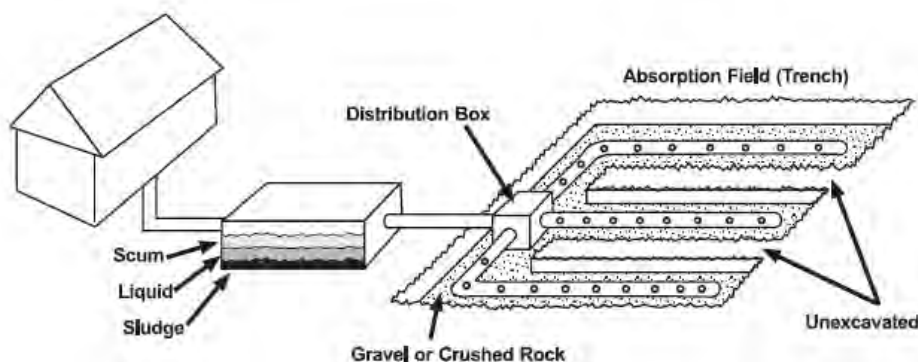
CEN tillhandahåller även tekniska specifikationer (TS) och tekniska rapporter (TR), dokument som mer i detalj informerar om olika alternativ och hur standarden skall implementeras i specifika fall. Standard för avloppsvattenhantering, EN 12566, består i nuläget av sju delar varav del 5-7 vid dags datum fortfarande är under bearbetning. Delarna föreskriver generella krav för typprovning av olika typer av paketreningsverk och markbaserade anläggningar för behandling av avloppsvatten från hushåll omfattande högst 50 pe. De sju delrapporterna är:

- Del 1 Fabrikstillverkade slamavskiljare.
- Del 2 Infiltrationssystem. Infiltration i mark, med normer för infiltrationsanläggningar byggda på plats. Dock saknas specifika reningskrav.
- Del 3 Förtillverkade avloppsanläggningar. Paketavloppsreningsverk.
- Del 4 Slamavskiljare sammansatt på plats av fabrikstillverkade delar, i vilken ledningsstorlek, belastning, vattentäthet, avgränsning och anpassning är specificerat. Standarden omfattar dock inte slamavskiljare för gråvatten.
- Del 5 Markbäddar och rotzonsanläggningar.
- Del 6 Paketavloppsreningsverk efter slamavskiljare
- Del 7 Paketavloppsreningsverk, kompletterande rening.

## USA

USA har en lång och väl utvecklad tradition av markbaserad rening. Ungefär en fjärdedel av USA befolkning renar sitt avloppsvatten med hjälp av infiltration eller markbädd. Mest utbredd är tekniken i de östra och norra delstaterna. På senare år har alltfler hushåll byggts med egen avloppsförsörjning. Bidragande orsaker till detta är dels att erbjudandet av statligt ekonomiskt stöd för byggande av centrala system har upphört. Dels att myndigheter ofta anser lokala lösningar bättre än centrala reningsverk för skydd av miljö och människors hälsa (Siegrist *et al* 2002). Idag förses vart tredje hus i USA med egen avloppsförsörjning och i de allra flesta fall tillämpas markbaserad rening (NOWRA Conference proceeding, 2005).

Den traditionella tekniken för markbaserad rening i USA bygger på slamavskiljning och slamjäsning i stora slamavskiljare och infiltration av avloppsvatten i smala fördelningsdiken, se Figur 4.



Figur 4. Den amerikanska modellen för markbaserad rening inkluderar en slamavskiljning som tillåter långtidslagring och mineralisering av slam samt infiltration i mark där vattnet fördelas genom i smala diken (USEPA 2003).

Den moderna amerikanska modellen för markbaserad rening liknar den som beskrivits ovan för Norge. Tendensen är att anläggningar byggs trycksatta och marknära. En mängd ”hjälp tekniker” har framkommit på marknaden, så som utloppsfiltre för slamavskiljare, system för pumpning och fördelning av vatten. På senare år har artificiella spridningslager blivit mycket populära. Dessa är för entreprenörerna betydligt lättare och billigare att anlägga än grusdiken, och anses även ge bättre spridning av vattnet, större yta för infiltration samt bättre syreförsörjning till biohuden, se Figur 5.



Figur 5 Exempel på artificiella system (gravelles systems) för spridning av vatten i infiltrationsdiken (National Small House Cleaning house, USEPA 2003).

Forskning och utveckling inom området har pågått sedan 50-talet och omfattande forskning avseende grundläggande mekanismer, kontroll, optimering samt prognostisering av reningsprocesser, kopplat till tillämpningar vid planering och projektering skötsel, riskvärdering mm. Forskning initieras och följs på nationell och regional nivå och omsätts i olika typer av råd och riktlinjer att användas för projektörer, entreprenörer och tillståndsmyndigheter. Den senaste uppdateringen av de amerikanska nationella råden 2003 (*Onsite Waste Water Manual*, USEPA 2003) innehåller en gedigen kunskapsammanställning och ger konkreta råd och riktlinjer för alla aktörer på området.

Grundläggande regler kring avloppshantering anges nationellt i USA men varje delstat sätter normalt upp egna utsläppsvillkor liksom egna krav på den teknik som skall användas, underhållas och kontrolleras. För prefabricerad teknik, så som paketreningsverk, krävs att leverantören certifierar sin produkt i varje delstat. I övrigt krävs att aktuella statliga och regionala råd och anvisningar, så kallade *Guide-Lines*, följs.

Ungefär 200 000 markbaserade anläggningar byggs varje år i USA Dessa byggnationer omsätter årligen flera miljarder dollar och utgör en stor marknad. Kring denna marknad har en stor intresseorganisation bildats, National Onsite Wastewater Recycling Association (NOWRA) som samlar entreprenörer, teknikleverantörer, forskare och andra aktörer på marknaden. NOWRA utgör idag en viktig aktör på marknaden, inte bara som lobbyaktör men också för att för att initiera forskning och utveckling samt föra ut kunskap till avnämare. Organisationen arrangerar utbildningar, symposium och årliga nationella konferenser, se vidare <http://www.nowra.org>.

#### *Författarens kommentarer om regler och praxis i olika länder*

- Sverige, Norge och Finland gjorde en omfattande gemensam ansträngning för att förbättra avloppshantering i den lilla skalan under 1970-80 talet. Mycket av tradition vad gäller ambitioner och tekniksyn samt institutionella tillvägagångssätt delar vi därför med våra grannländer.

- Under 80- och 90-talet skedde en kraftig utbyggnad av markbaserad rening i framförallt Sverige men också i Finland och Norge.
- Under 90-talet ifrågasattes regelverk och riktlinjer för teknikval. Bakgrund för detta var observationer av förorenat grundvatten orsakat av felaktig lokalisering eller utförande av anläggningar samt uppfattningen att enbart markbaserad rening inte kunde uppfylla nationella mål om recipientskydd och hushållning. I samtliga länder sågs behov av att ändra regelverk och praxis så att nya tekniker kunde utvecklas på marknaden.
- Under 2000-talet har både Sverige, Finland och Norge valt att ändra sina nationella riktlinjer för enskilda avlopp. Finland och Norge har ändrat sin lagstiftning medan Sverige har valt att endast ge ut nya allmänna råd.
- De Finska och Norska reglerna anger tydliga kravnivåer vad gäller recipientskydd men ej smittskydd och hushållning. I Finland har man förutom krav på funktion valt att i sin lagstiftning beskriva vilka tekniker som bedöms uppfylla uppställda krav. I Norge och Sverige anges enbart krav respektive ambitionsnivåer.
- I de nordiska länderna finns en tendens att prefabricerad reningsteknik vinner marknad framför markbaserad teknik. I USA är däremot tilltron stor för markbaserad reningsteknik och forskning och utveckling på området är stark.
- I de nordiska länderna har sedan 80-talet Norge och Finland genomfört nationella satsningar för att utveckla kunskap och teknik för avloppshantering i den lilla skalan. I Sverige har däremot mycket lite nationella satsningar gjorts.
- Sverige har all anledning att uppdatera och förnya kunskap inom området och bör initiera ett nytt internordiskt samarbete kring markbaserad rening. Ett sådant arbete bör syfta till att uppdatera råd och riktlinjer för planering, byggande, drift och kontroll av markbaserad rening.

### **Analys av frågeställningar**

I detta avsnitt redovisas och analyseras erhållen information från litteratur- och intervjustudien utifrån de centrala frågeställningar som presenterades i metodavsnittet. Den redovisade informationen i analysen baseras främst på vad som framkommit genom litteraturstudien. Analysen omfattar även diskussionen som förts med experter och inspektörer medan de mer samtalsbetonade intervju svaren från entreprenörer inte finns återgivna i större utsträckning i denna text.. I fall då intervjuade personer kunnat komplettera, vinkla eller förtydliga kunskap har detta förts in i texten som citat. De fullständiga intervju svaren finns sparade som arbetsmaterial.

## Vad menas med markbädd och infiltration?

Den inledande frågan som diskuterades med intervjuade personer var hur markbäddar och infiltrationer skiljer sig från annan reningsteknik och från varandra. Inspektörerna hade olika och oklara uppfattningar om teknikerna medan forskare och experter var mer överens med varandra och de vedertagna sätten att definiera teknikerna i litteraturen. Samtidigt framkom vid samtalen att gränserna mellan teknikerna kan vara otydliga, att blandformer mellan infiltration och markbädd i praktiken förekommer ofta, liksom att även markbaserad rening kan vara mer eller mindre uppbyggd på prefabricerad teknik.

Vid intervjuerna framkom också att uppfattningarna om systemgränser, dvs. var anläggningen börjar och slutar, varierade mellan olika personer. Detta är anmärkningsvärt då gemensam uppfattning om var systemet börjar och slutar är nödvändig för att kunna säga något om reningskapacitet och uthållighet.

Detta avsnitt syftar till att klargöra begrepp och systemgränser samt föreslå en praktisk indelning av markbaserad rening i principiella grupper.

Uppdelningen av tekniker i principiella grupper är viktig för att bedöma t.ex. prestanda, tillförlitlighet, behov av platsanpassning och komplettering med annan teknik för att uppnå vissa kravnivåer.

### *Begrepp och systemgränser*

Både markbädd och infiltration bygger på principen att avloppsvatten förbehandlas för att möjliggöra filtrering och rening i mark. En viktig gemensam nämnare för markbäddar och infiltration är att vattenrörelsen är uppifrån och ned och att vattnet rinner genom marken med en i huvudsak omättad strömning. I utländsk litteratur benämns därför markbäddar och infiltrationer ofta under samlingsbegreppet *vertikala jordfilter*, eng. vertical soil filter systems. Vid omättad strömning rinner vattnet hygroskopiskt över partiklarnas ytor samtidigt som mellanrummen mellan partiklarna är fyllda med luft. Processtekniskt är detta en stor skillnad mot om vattnet rinner under mättade förhållanden. Under omättade förhållanden är filtrering av partiklar och syreförsörjning till den biologiska processen långt effektivare än under mättade förhållanden.

Den teoretiska skillnaden mellan markbädd och infiltration är tydlig men i praktiken är gränserna mindre uppenbara. I de gamla allmänna råden för enskilda avlopp (NV 1986) definieras infiltration som: *"Anläggning i mark för behandling och kvittblivning av spillvatten, där detta renas genom perkolations genom naturliga jordlager och avleds diffust till grundvatten"*. Markbädd beskrivs som: *"Anläggning i mark för behandling av spillvatten, där detta renas i sandbädd, uppsamlas och bortleds till en recipient"*. Med

mark menas naturligt material som bygger upp marken på den aktuella platsen, eller material hämtat ur jord- eller bergtäkt från annat håll. Skillnaden mellan mark och annat material är att mark inte kan tillverkas med exakt specifikation.

Vid infiltration behandlas avloppsvattnet i mark som redan finns på platsen medan man i markbädd använder ett tillfört markmaterial som filtermedia i reningsprocessen. Den viktigaste skillnaden är dock att grundvatten utgör recipient vid infiltration, medan markbädden är uppbyggd med ett uppsamlingslager som leder bort vattnet mot en ytvattenrecipient.

I Naturvårdsverkets *Allmänna Råd* (2006:7) beskrivs varianter av infiltration, så som förstärkt infiltration, grundinfiltration, upplyftinfiltration, där tekniken anpassats för att tillmötesgå olika behov. Vanligt är att infiltrationer dessutom byggs med ett så kallat ”förstärkningslager”. Detta görs när infiltrationsförmågan på platsen är otillräcklig och därför måste förstärkas. I de gamla allmänna råden beskrivs att förstärkningslagret byggs av sand men på senare tid har också artificiella förstärkningslager introducerats. Sådana förstärkningslager benämns ibland som artificiella filtermedia eller under samlingsbegreppet kompaktfiler, se nedan.

Som beskrivs i avsnittet om erfarenheter och praxis i olika länder har på senare år prefabricerade spridartekniker, så kallade *gravelless systems*, för ersättning av makadam som spridningslager blivit mycket populärt i USA. I Sverige har andra typer av hjälptekniker t ex de så kallade *kompaktfiltren* blivit populära.

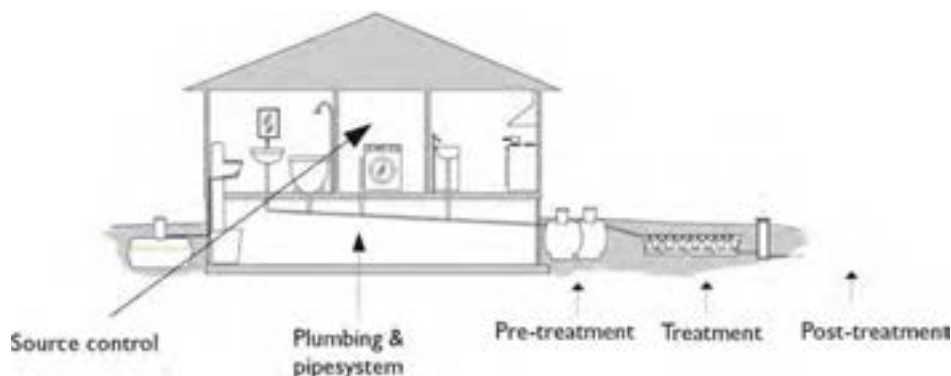
I praktiken anläggs oftast blandformer av markbädd och infiltration. Mycket vanligt är t ex att markbäddar anläggs utan tät botten varför större delen av behandlat vatten perkolerar mot grundvatten. En sådan anläggning kan kallas för *förstärkt infiltration med bräddmöjlighet*.

Både i litteraturen och i vardagslivet är det ibland oklart om begreppen markbädd och infiltration inkluderar en anläggningsdel eller ett helt behandlingssystem. Strikt vetenskapligt bör dock markbädd och infiltration ses som den del i en reningsanläggning som svarar för själva behandlingen, det vill säga den biologiska, och i förekommande fall kemiska behandlingen. Slamavskiljning eller annan metod för att ta bort större partiklar ur vattnet behövs visserligen för att reningen skall fungera, men ingår alltså inte i själva begreppet markbädd och infiltration, se Figur 6.

Gränsen mellan behandling och bortledning definieras ofta som den punkt där provtagning och kontroll av renat vatten är möjlig. Från en markbädd är utsläppspunkten således det vatten som samlas i uppsamlingslagret medan utsläppspunkten för infiltration är den punkt i jordprofilen där vattnet övergår från omättad till mättad strömning. Denna punkt, som kan vara grundvattenytan är inte exakt utan kan variera i en och samma anläggning,



mellan olika år och årstider speciellt om jordlagret är tunt. Den rening av föreringar som sker efter utsläppspunkten kallas för retention.



Figur 6. Ett avloppssystem kan uppdelas i fem delkomponenter, nämligen källorna, ledningssystemet, förbehandlingen, behandlingen och bortledningen. Bilden visar ett källsorterande system med behandling av BDT-vatten i en innesluten markbädd (Ridderstolpe, 2004).


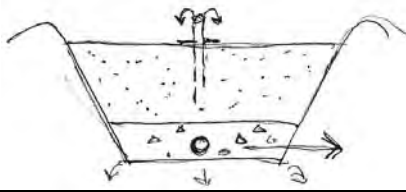
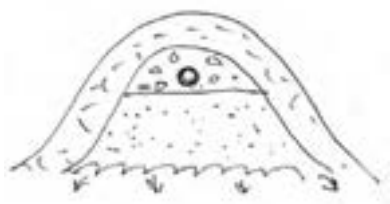
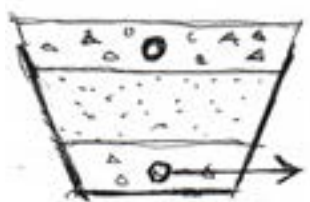
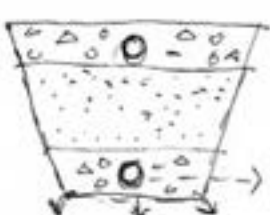
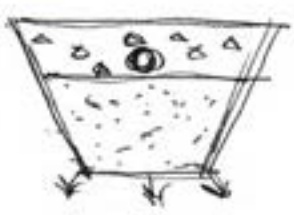

Det är viktigt att tänka på att ett avloppssystem också består av *källorna*, det vill säga de delar som producerar och uppsamlar förorenat avloppsvatten. En viktig skiljelinje går mellan system som blandar klosettavfallet bestående av urin och fekalier, med BDT-vatten bestående av bad-, disk- och tvättvatten, och sådana system som separerar dessa strömmar. Ett avlopp som bara belastas med BDT-vatten är ett, ur smittskydd- och recipientskyddssynpunkt, harmlöst vatten i jämförelse med ett blandat spillvatten där även klosettavfallet ingår. Samtliga källor är dock viktiga att beakta för att säkerställa god miljöprestanda och ekonomi.

#### *Förslag till indelning av markbaserad teknik i principiella grupper*

Som ovan beskrivits har tekniker för infiltration och markbädd utvecklats från helt och hållet naturbaserade och platsbyggda system med självfall till mer tekniskt sofistikerade system, med prefabricerade komponenter och trycksatt beskickning. I denna utveckling har den naturliga marken kommit att bli allt mindre avgörande för lokalisering och behandling. Utvecklingen har drivits så långt att man idag erbjuder lösningar där både den biologiska och kemiska filterprocessen bärs av prefabricerad teknik. Den principiella skillnaden mellan markbaserad rening och minireningsverk är därmed inte längre självklar. I definitionen för markbaserad rening ingår dock att marken fortfarande skall utgöra en väsentlig del i reningsprocessen. Som tidigare nämnts i denna rapport betyder markbaserad rening också att vattnet skall röra sig uppifrån och ned med i huvudsak omättad strömning.

Praktiskt finns egenskaper hos markbaserad rening som skiljer den från mer aktiva reningsprocesser som sker i så kallade minireningsverk. En viktig egenskap är att markbaserad rening är robust, vilket betyder att den är tolerant mot varierande belastningssituationer och variationer i temperatur. Dessutom är reningsprocessen mycket stabil och kräver lite tillsyn och underhåll för att fungera. Rening uppbyggd på mark- och filterteknik är också säker i den mening att felanvändning eller brister i underhåll inte självklart drabbar miljön eller tredjeman. Låt oss säga att fastighetsägaren underlåter att slamtömma eller om anläggningen belastas med mer förorenat vatten än den är dimensionerad för sätter anläggningen dvs. marken igen. Normalt är att detta drabbar fastighetsägaren själv.

För att kunna värdera olika markbaserade tekniker avseende reningskapacitet, uthållighet, behov av anpassning till platsen, skötselbehov, möjlighet till kontroll mm, måste vi skilja på olika typer av anläggningar. I Figur 7 ges ett förslag till hur markbaserad rening idag kan indelas i olika principiella grupper.

-----Trycksatt_-----	<b>7. Sprayfilter</b>		Biologisk rening av spillvatten i naturligt eller artificiellt filtermedia över vilket vattnet sprayas ut.  Recipient: Grund- /ytvatten
	<b>6. Öppen markbädd</b>		Som 3 eller 4, men bädden byggs öppen, dvs. anläggningen läggs ej under mark. Spridarlager och vegetation kan dock förekomma som skydd.
	<b>5. Upphöjd infiltration</b> <i>eng. mound no. jordhaugs-infiltration)</i>		Som 2, men anläggningen byggs normalt ovanför befintlig mark. Rening sker i anlagt sandlager och bortledning sker diffust genom naturligt jordlager. Recipient: Grundvatten
-----Självfäll/eller trycksatta_-----	<b>4. Markbädd med tät botten</b>		Som nr 3, men tätskikt förhindrar diffus avledning till grundvatten.  Recipient: Ytvatten
	<b>3. Markbädd - otät botten</b> Förstärkt infiltration med bräddmöjlighet till ytvatten.		Rening av spillvatten via perkolations genom sandmaterial som förts till platsen. Renat vatten uppsamlas i dränerande skikt före avledning. Recipient: Grund- /ytvatten
	<b>2. Förstärkt infiltration</b>		Som 1, men infiltrationsytan är förstärkt genom påfyllnad av ett sandskikt eller artificiellt filtermedia, sk.kompaktfilter.  Recipient: Grundvatten
	<b>1. Vanlig infiltration</b>		Rening och kvittblivning av spillvatten via perkolations genom marken som finns på platsen.  Recipient: Grundvatten

Figur 7. Förslag till indelning av markbaserad rening, el. vertikala markbaserade filter, i olika grupper.

### *Författarens kommentarer till begreppen markbädd och infiltration*

- Markbäddar och infiltrationer är typer av aeroba vertikalfilter där väsentlig del av reningsprocessen sker i mark, dvs. i sand, grus, morän eller annat naturligt jordmaterial.
- Samtliga tekniker där mark utgör väsentlig del i reningsprocessen och där vattnet renas under omättad strömning benämns i denna förstudie under samlingsnamnet ”Markbaserad reningsteknik”.
- Infiltration innebär per definition en diffus bortledning av behandlat vatten mot grundvatten medan det renade vattnet i en markbädd skall uppsamlas och ledas mot ytvatten. I praktiken läggs oftast markbäddar som förstärkta infiltrationer.
- En utveckling av traditionell markbaserad rening med infiltration och markbädd har skett mot trycksatta system och med olika former av hjälptekniker för spridning och behandling av spillvatten.
- För att värdera prestanda, behov av förundersökningar, drift, underhåll, kontroll mm räcker inte den traditionella indelningen i infiltration och markbädd. Ett förslag till ny indelning med sju principiellt skiljda anläggningstyper av markbaserad rening föreslås.

### Hur länge fungerar en markbädd?

Hur länge fungerar en markbädd eller en infiltration? När tar reningen slut? När bör en anläggning bytas ut eller byggas om? Det är vanliga frågor som miljöinspektörer ställer sig i samband med tillståndsprövning eller tillsyn av enskilda avlopp.

På Avloppsguidens diskussionsforum är inläggen många om hur bra och hur länge markbäddar och infiltrationer fungerar. Inte sällan går uppfattningarna vitt isär mellan olika inspektörer och kommuner. Vid de utförda intervjuerna av miljöinspektörer framkom starka önskemål om nationell och mer evidensbaserad vägledning för bedömning av livstid och funktion i markbaserade system.

Ett skäl till olika uppfattningar om hur bra och hur länge markbaserade reningssystem fungerar är att man inte riktigt förstår och kan skilja på olika typer av funktioner. Det är särskilt viktigt att man skiljer på den *biologiska reningen* och den *kemiska reningen* och att man vet något om hur mekanismerna för dessa reningssystem fungerar. Dessutom kan det vara lämpligt att känna till begreppen *hydraulisk livstid*, *teknisk livstid* samt *ekonomisk livstid*. I utländsk litteratur förekommer dessutom begreppet ”*service life*” som bäst kan översättas till drifttid, det vill säga den praktiska livslängden hos en anläggning beaktat dess belastning, skötsel och underhåll. I avsnittet nedan diskuteras frågeställningen utifrån dessa olika livstidsbegrepp.

### *Biologisk funktion och livstid*

Med biologisk rening i avloppssammanhang menas de reningsprocesser som utförs av levande organismer (Tchobanoglus *et al*, 2002). Den viktigaste biologiska reningsprocessen handlar om att bryta ned organiskt material, i avloppssammanhang även kallat *syreförbrukande ämnen* (BOD). I markbaserad rening utförs denna process framförallt av luftandande bakterier som, precis som människor, äter organiskt material och andas luft. Dessa organismer kallas av mikrobiologer för heterotrofa aeroba organismer och bryter ned energirika organiska molekyler till enkla beståndsdelar, som koldioxid, vatten och mineraliserad växtnäring.

Till den biologiska reningsprocessen hör också omvandling av mineraliserat kväve, dvs. ammonium och nitrat, till kvävgas. Denna process sker i ett antal steg där det första steget, *nitrifikation*, innebär att ammonium omvandlas till nitrat och katalyseras av syrekrävande bakterier. Det efterföljande steget, *denitrifikation*, omvandlar nitrat vidare till kvävgas som avgår till luften. En process som katalyseras av heterotrofa bakterier i syrefria miljöer.

Också hygienisering av avloppsvattnet, det vill säga *avdödning av smittämnen*, hänförs ofta till den biologiska reningsprocessen. Avdödningen beror dels på *predation*, en av de viktigaste mekanismerna bakom hygieniseringen då smittämnen i vattnet äts upp av ciliater och andra små rovdjur. Dels av att de *konkurreras* ut av andra marklevande organismer.

Riskerna med utsläpp av läkemedelsrester och andra organiska och svårnedbrytbara ämnen via avloppsvatten är en fråga som relativt sent uppmärksammas. Hittills har man i litteraturen ansett att riskerna med sådana utsläpp från enskilda avlopp är små. Naturvårdverket skriver i en nyligen publicerad undersökning om läkemedelsrester att spridningen av smittämnen är ett större problem jämfört med risk för spridning av läkemedelsrester via avlopp anslutna till avloppsreningsverk (SNV, 2008). I samma rapport står att läsa att små enskilda avlopp har en högre osäkerhetsfaktor än stora system då belastningen och flödet av läkemedelsrester varierar mycket mer.

Det finns inte många undersökningar om hur läkemedel och organiska svårnedbrytbara ämnen påverkas i markbaserad rening (Siegriest *et al*. 2000). En vanlig uppfattning i USA är dock att decentraliserad markbaserad rening (*eng.* on-site wastewater treatment systems) av avloppsvatten eliminerar riskerna med organiska giftämnen bättre än reningsverk (NOWRA, 2005).

### *Förutsättningar för god biologisk filtrering*

Den biologiska reningsprocessen i markbäddar och infiltrationer är väl studerad och beskriven i litteraturen. En bra och pedagogiskt genomarbetad beskrivning om hur de biologiska reningsprocesserna fungerar i

markbaserad rening ges i underlagsrapporten till de gamla svenska råden (von Brömsen *et al* 1985). En uppdatering av kunskapsläget finns i Siegriest *et al* (2000). Här diskuteras mekanismer och kritiska parametrar för processerna och vad man kan förvänta vad gäller reningsgrad och uthållighet. I arbetet diskuteras även kunskapsluckor och behov av forskning och utveckling. I följande textavsnitt om biologisk funktion har ovanstående referenser använts som utgångspunkt, om ej annat uppges.

I markbäddar och infiltrationer liksom i artificiella vertikalfilter bärs den biologiska processen upp av mikroorganismer som lever på jordpartiklarnas respektive filtermediets ytor. Marken, eller filtret, kan liknas vid en mekanisk/biologisk reaktor som filtrerar och avskiljer föroreningar ur vattnet och därefter omvandlar dem till harmlösa restprodukter i form vatten, koldioxid och kvävgas eller till restämnen som kan fastläggas i efterföljande kemiska rening.

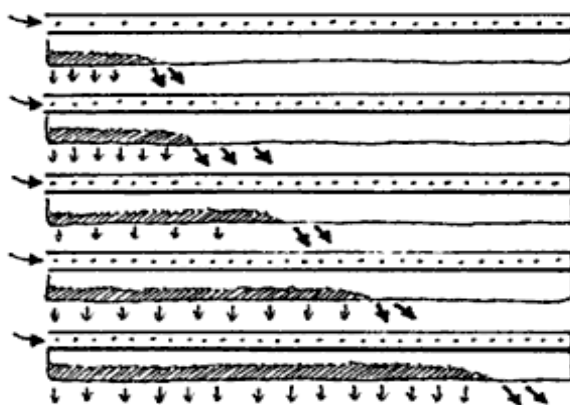
Med avloppsvattnet tillförs energi, dvs. mat och näring, till markens mikroorganismer. En snabb tillväxt av organismerna sker och markens porsystem börjar tätas med ett lager av mikroorganismer. Tillväxten av organismlagret, eller *biohuden* som den också kallas (*eng. clogging zone*), är mycket viktig för den biologiska reningsfunktionen. I en väl fungerande anläggning med balanserad belastning uppstår snart en jämvikt mellan antalet nyproducerade och döda bakterier. I detta tillstånd som styrs av mängden näring och syretillgång bryts i stort sett allt organsikt material ned. Biologiskt slam ska således inte behöva spolats bort eller avlägsnas på annat sätt i en fungerande anläggning. En viss ackumulering av organiskt material i form av svärnedbrytbara humusämnen är påvisad, men det påverkar inte markens genomsläpplighet annat än på mycket lång sikt.

Igenslamning av markens porsystem vid tillförseln av avloppsvatten gör att bäddens hydrauliska kapacitet förändras. Vid kontinuerlig belastning av infiltrationer och markbäddar sjunker den hydrauliska kapaciteten under den första tiden motsvarande månader upp till ett år. Därefter planar den ut och stabiliseras på en betydligt lägre nivå än den ursprungliga. Markens långsiktiga hydrauliska kapacitet vid belastning kallas i litteraturen för *Long Term Adsorption Capacity (LTAC)* och utgör grunden för hur vatten- och föroreningsbelastningen ska dimensioneras. Det har visat sig att den stabila hydrauliska kapaciteten, *steady state*, som uppnås brukar ligga runt 15-25 mm/dygn oavsett sand- eller moränjordens ursprungliga hydrauliska egenskaper.

Igenslamningslagret är normalt begränsad till den översta delen av markprofilen. I denna zon, som vanligtvis uppgår till någon eller några decimeter är markens porer till större delen igensatta. Syrebrist råder och anaeroba bakterier skapar en slemmig biohud. Utfällningar av järnsulfid ger biohuden svart till svartgråaktig färg. Längre ner i profilen är

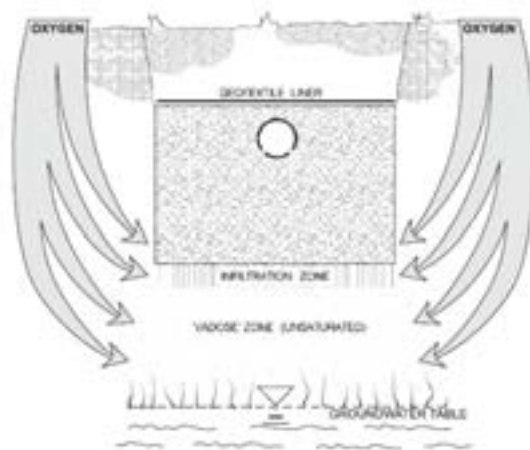
syreförsörjningen bättre, samtidigt som den organiska belastningen är mindre varför biohuden ljusnar och försvinner snart för ögat. I denna övergångszon mellan igensatt och icke igensatt mark/filter sker huvuddelen av den biologiska reningsprocessen.

Förtätningen av marken som följd av den mikrobiella aktiviteten är en viktig förutsättning för att vattnet skall spridas över hela filterytan och för att den biologiska reningen skall fungera. I underlagsrapporten för de gamla allmänna råden påpekas till exempel att dämt vatten i spridarlagret inte betyder att bäddens funktion upphört. Tvärtom visar detta snarare att vattnet sprids över hela filterytan. Man menar också att den biologiska reningsprocessen kan fungera väl trots dämning i spridarlagret. Förutsatt att den igensatta zonen är begränsad i djupled så att zoner med mättad strömning inte når grundvatten (von Brömssen *et al.* 1985).



Figur 8. Principen för så kallad *progressive clogging* innebär att vatten sprids över filterytan och skapar goda förutsättningar för omättad strömning (Khan *et al.* 2007).

I ny amerikansk litteratur beskrivs hur processen med igentätning nyttjas för spridning av vatten och för att säkerställa omättat flöde i smala diken. Figur 8 är hämtad från ”*The septic Systems Owners Manual*” (Khan *et al.* 2007) och beskriver hur botten successivt tätas med biofilm vid avloppsbelastning för att till slut dämna hela bottenytan. Under inledningen av denna igensättningsprocess, kallad *progressiv clogging*, sker en snabb infiltration/perkolation av vatten i grova porer genom mättad strömning i övergången mot områden som inte hunnit sätta igen. Med tiden, när hela bottenytan är igensatt, sker infiltration i dikesväggarna. Igentätningzonen i väggarna bildar en, i horisontal led, jämn kant som i höjdd led balanserar mot belastningen.



Figur 9. En markbädd utformad som smala diken ger möjlighet till god syreförsörjning till biohuden (USEPA, 2000).

Utformningen av bädden har således stor betydelse för den biologiska filtreringen. En bädd uppdelad i flera smala diken, se Figur 9, har bättre förutsättningar att fungera väl än en anläggning utformad som en stor sammanhängande bädd. Förutom att en stor mantelyta för biofilm erhålls med smala diken fås en god syreförsörjning från kringliggande mark. Därmed motverkas risken att nedträngande anaeroba zoner utvecklas och risken för genombrott till grundvatten minskar. För att säkerställa filtrering genom omättad mark är det naturligtvis också viktigt att vid lokalisering och placering av en anläggning se till att tillräckligt avstånd erhålls mot berg och grundvatten.

I jämförelse med den kemiska reningsfunktionen är de biologiska processerna inte lika nära kopplade till markens kemiska och fysikaliska egenskaper och avloppsbelastningens storlek. På grund av detta är den biologiska reningsfunktionen betydligt lättare att prognostisera än den kemiska inbindningen av fosfor.

#### *Biologisk reningskapacitet och livstid*

Från kolonnförsök i laboratorier och uppföljningar av anläggningar i drift finns en stor mängd erfarenhet samlad som belyser markbäddars och infiltrationers biologiska reningskapacitet och uthållighet. Dessa erfarenheter visar att den biologiska reningsfunktionen generellt är hög och stabil och dessutom varaktig vid behandling av avloppsvatten i markbaserade anläggningar.

Flera författare beskriver ett omvänt samband mellan biologisk reningseffekt och hydraulisk kapacitet. Man har också klarlagt att hög biologisk reningseffekt kvarstår i gamla bäddar så länge vattnet fortfarande



passerar en omättad zon. Under förutsättning att LTAC (*Long Term Adsorption Capacity*) inte överskrids i en korrekt anlagd bädd, dvs. att bädden inte sätter igen, finns således ingen anledning att säga att den biologiska funktionen upphört. Biologisk livstid och hydraulisk livstid kan därför sägas vara synonyma begrepp (Siegrist *et al* 2000).

Mekanismerna för biologisk rening är väl klarlagda och ett mycket stort antal undersökningar bekräftar att en hög reduktion av BOD och smittämnen liksom en hög nitrifikation kan förväntas i markbaserade reningssystem. Toleransen för ojämnheter i belastningen är stor och beroendet av markens kemiska och fysikaliska egenskaper är mindre än för den kemiska processen, som nämnts tidigare. Rätt lokaliserad, uppbyggd och belastad bör man enligt litteraturen kunna räkna med en stabil reduktion av syreförbrukande ämnen runt 90-99%, hög nitrifikation samt en reduktion av smittämnen runt två till tre tiopotenser, se Tabell 1.

Tabell 1. Biologisk reningseffekt vid markbaserad avloppsvatten rening (data från AR 87:6).

	Reduceringsgrad (%)
Syreförbrukande ämnen, BOD	90 - 99
Kväve	25 – 30 (varav 40–90% via nitrifikation)
Bakterier och smittämnen	95 - 99

Den uppfattning som kan utläsas av litteraturen är att anläggningar vars reningseffekt uppvisar dålig rening eller där processen havererat oftast brukar hänga samman med felaktigheter i lokalisering, utformning och/eller belastning.

Uppfattningen att den biologiska reningen i princip är mycket god i markbäddar och infiltrationer delas också av intervjuade experter. Många påpekar dock att anläggningar i praktiken ofta placerats och byggs på fel sätt.

Flera intervjudeltagare ansåg att infiltration är en riskabel teknik som kan medföra förorening av grundvatten. Lena Maxe, SGU, påpekar att Sveriges hydrogeologi allmänt är sådan att tillräckligt vertikalt skyddsavstånd till grundvatten är svårt att uppnå. SGUs mätprogram av grundvattennivåer visar att flertalet observationspunkter i morän (>85%) någon gång under mätperioden har haft grundvattennivåer som varit 1 m från markytan eller mindre. Detta innebär stor risk för att brunnar nedströms avloppsinfiltrationer förorenas. Enligt Maxe uppvisar 46% av brunnarna mikrobiell påverkan enligt resultat från undersökningar som SGU har

sammanställt. Av dessa bedöms ungefär en tredjedel vara avloppspåverkade. Bo Olofsson, KTH, anser att i tätbebyggda områden där hushåll har egna brunnar lämpar sig infiltration dåligt på grund av risken för förorening av dricksvattnet. Speciellt känsligt är södra Svealands kustområde och Västkusten där jordlagren är tunna och heterogena, påpekar Olofsson.

Även andra intervjuade sakkunniga ansåg att infiltration är en riskabel teknik vad gäller grundvattenförorening. Under mötet som arrangerades i Norge delades uppfattningen av deltagarna att det bör arbetas fram bättre riktlinjer för hur förundersökningar och riskanalyser ska gå till, liksom uppdatering av bygganvisningar så att infiltrationsanläggningar i framtiden görs säkrare.

I övrigt påpekar många sakkunniga att tekniken att infiltrera blandat hushållsavlopp är tveksamt just med tanke på svårigheten att kontrollera processen samt att näringsämnen ej kan återvinnas.

#### *Författarens kommentarer om biologisk funktion*

- Markbaserad rening ger, förutsatt att de är rätt placerade, byggda och belastade, en hög stabil och varaktig biologisk rening, dvs. reduktion av organiskt material och smittämnen kombinerat med en hög nitrifikation.
- Fördelar med markbaserad rening framför mer artificiella reningstekniker är att de är robusta och enkla att sköta, samtidigt som de ger ett varaktigt skydd mot uppkomst av lukt, spridning av smittämnen samt uppkomst av syrebrist i recipient.
- Kritiska faktorer och mekanismer för biologisk rening i markbäddar och infiltrationer har klarlagts genom forskning. Till skillnad från kemiska reningsprocesser är den biologiska reningen mindre komplex och ej lika beroende av platsspecifika egenskaper samt belastning över tid. Förväntad reningseffekt avseende BOD, smittämnen och kväve kan således prognostiseras med stor säkerhet.
- Olämplig lokalisering, utformning och utförande är de vanligaste orsakerna bakom nedsatt eller upphörd biologisk reningsfunktion.
- Risk för grundvattenkontaminering vid infiltration förekommer. Sakkunniga är eniga om att infiltration kan vara effektivt men samtidigt riskabelt. Infiltration bör endast användas på platser där tillfredställande avstånd till grundvatten kan säkerställas.
- Förutsatt att en anläggning är rätt lokaliserad och utformad bibehålls i regel den biologiska reningsfunktionen oförändrad så länge bädden släpper igenom vatten. Detta gäller i synnerhet sektionerade anläggningar, dvs. bäddar som uppdelas i smala diken.

- Sektionering i smala diken med naturmark emellan ger säkrare och bättre biologisk reningsprocess jämfört med om anläggningen utförs som en sammanhängande bädd. Detta beror på att vattnet sprids jämnare, att biohuden ges stor mantelarea, att vattnet filtreras i flera mikrobiellt aktiva zoner i dikenas väggar och god syreförsörjning fås.
- Grunt anlagda bäddar är att föredra framför djupt anlagda bäddar då syreförsörjningen är bättre närmare markytan och avståndet till grundvattnet är längre i grunda bäddar.
- Utvecklingstrenden i USA och Norge går mot; mer ytligt förlagda bäddar, sektionering av bäddar i smala diken samt pumpbeskickning.

### *Kemisk funktion*

Med kemisk funktion avses i detta sammanhang fastläggning av fosfor. Fosfor i avloppsvatten förekommer i olika former och reagerar på olika sätt i marken, beroende på faktorer som biologisk aktivitet, pH, redoxpotential, jordens kornstorlek- och mineralsammansättning. Dessutom är jordvolymen, dvs. sammanlagd effektiv partikelyta, som det fosforinnehållande vattnet kommer i kontakt med, av stor betydelse. Fastläggningen av fosfor har också koncentration och tidsberoende samband. Allt detta sammantaget gör den kemiska reningsfunktionen i mark komplex och svår att prognostisera.

Omfattande forskning har ägnats åt att utreda fosfors kinetik i mark och markbaserade reningssystem. Den kunskap som lade grund för de gamla allmänna råden byggde på litteraturstudier och försök genomförda av framför allt Peter Nilsson, då verksam vid Lunds Tekniska Högskola. Denna kunskapsbank är fortfarande relevant och finns dokumenterad i von Brömssen *et al.* (1985) samt i Peter Nilssons avhandling, *Infiltration of Wastewater- an Applied Study on Treatment of Wastewater by Soil Infiltration* (1990).

Bra svenska sammanställningar av kunskapsläget genomförda under senare är examensarbetet *Kvantifiering av kväve- och fosforbelastning från enskilda avlopp*, av Birgitta Liss vid SLU (2003). Samt Naturvårdverkets rapport *Åtgärder för att minska fosforutsläpp från befintliga enskilda avlopp* (Malmen *et al* 2004). I dessa rapporter refereras både till studier som belyser mekanismer för fastläggning av fosfor men också studier som genomförts för beskrivning av reningseffekter för anläggningar i drift.

De flesta studier för kvantifiering av fosforfastläggning i anläggningar i drift, har genomförts som så kallade *black-boxstudier*. Dessa studier går ut på att jämföra halten fosfor som går in i anläggningen med halten som går ut ur anläggningen. En sammanställning av sådana studier redovisas i RUSA-rapporten (Palm *et al.* 2002). Efter år 2002 har resultat av fosforreduktion i markbädd och infiltration baserat på black box metoder rapporterats i bland

annat Liss (2003), Finska förordningen (2003), Jenssen *et al* (NAT 2004), Norin *et al.* (2005), och Vilpas *et al.*(Ravinnesampo 2005) samt av Valonia kontoret i Åbo Finland sammanställda av FANN-VA (2009). Mer sällan har kvantifiering av reningsfunktionen hos anläggningar i drift genomförts med hjälp av massbalansstudier. Vid massbalansstudier bedöms uppmätt avskiljning av fosfor genom att jämföra halt, eller uppskattad mängd, in och ut med vad som faktiskt fastlagts i bädden.

En nyligen genomförd studie av JTI och KTH, *Fosfor i infiltrationsbäddar – fastläggning, rörlighet och bedömningsmetoder* (Eveborn *et al.* 2009) visar att mätningar enligt *black-box metoden* kan överskatta fosforreduktionen avsevärt. Studien ifrågasätter också en hel del av gängse uppfattning om markbäddars och infiltrationers kapacitet och uthållighet för fastläggning av fosfor. I följande avsnitt beskrivs kortfattat viktiga mekanismer för fosforfastläggning, och vad man i litteraturen funnit angående markbäddars och infiltrationers kapacitet för fosforrening. Beskrivningen bygger i första hand på von Brömssen *et al.* (1985), USEPA (2003), Liss (2003) samt Eveborn *et al.* (2009). För utförligare beskrivning hänvisas således till dessa arbeten.

### *Mekanismer*

Fosforinbindning sker genom fysikaliska, biologiska och kemiska reaktioner. Den fysikaliska reaktionen omfattar mekanisk filtrering av fosfor som förekommer i partikulär form. Den biologiska mekanismen för fosforinbindning handlar om bakteriers och andra mikroorganismers upptag av löst fosfor för uppbyggnad av cellbiomassa. Det biologiska upptaget av fosfor kan temporärt vara betydande, till exempel i samband med att en anläggning tas i drift vid nybyggnad eller efter en period utan belastning. För långsiktig fastläggning av fosfor har dock biologiskt upptag mindre betydelse. Förklaringen ligger i att det normalt inträder en jämvikt mellan upptag av fosfor i växande biomassa och frigörelse av fosfor från döda celler. För långsiktig fastläggning anses i stället de kemiska mekanismerna vara viktigast. Även om de fysikaliska och biologiska processerna i sig inte svarar för långsiktig inbindning av fosfor, är de sannolikt mycket viktiga för effektivisering av kemiska inbindningsprocesser, till exempel genom vittring och bildning av metallhydroxid- och humuskomplex.

I litteraturen beskrivs den kemiska inbindningsprocessen som två skilda reaktioner; *adsorption* och *utfällning*. Till adsorptionsreaktionen ingår processer för jonbyte som innebär att fosfatjoner fäster sig löst, och ofta temporärt, till positivt laddade partikelytor. Den mest omtalade processen för snabb adsorption av fosfor i mark är den som sker till olika hydroxider eller oxider av i första hand järn och aluminium. Sådana oxider och hydroxider är vanliga i mark och nybildas ständigt genom vittring. Vid adsorptionen komplexbinds fosfatjonen till metallatomen och ersätts med en eller två ytgrupper som då går i lösning. Ju starkare positiva dragningskrafter som metall(hydr)oxiderna har, desto effektivare sker

adsorptionen. Lågt pH i markvätskan gynnar således inbindning av fosfor i de flesta marker. Komplexbundet fosfor binds relativt hårt till markpartiklarna.

Nästa steg i fastläggningen sker genom så kallad utfällning. Denna reaktion sker om markvätskan är mättad på något av de mineral som innehåller fosfor. I sådana fall finns förutsättningar för övergång till mineralets fasta fas, vilket betyder att mineralet fälls ut. Utfällningen innebär att fosfor undandras markvätskan och byggs in i mer eller mindre svårlösta mineraler. I sur miljö bildas fosforrika mineral framförallt med järn och aluminium och i basisk miljö med kalcium.

I litteraturen beskrivs ofta utfällningsprocessen av fosfor som en stegvis process där alltmer komplexa och svårlösliga mineralformer bildas. På detta sätt har man förklarat iakttagelser av att långsiktig, verklig, inbindning av fosfor i mark är betydligt större än uppmätt momentan inbindning av fosfor, som uppmäts och beräknats via traditionella *skakförsök*. Den gängse uppfattningen är att beräkningen av sorptionskapacitet genom skakförsök normalt underskattar jordens verkliga inbindningskapacitet. Således anges i de gamla svenska råden (von Brömsen *et al.* 1985) och i amerikanska Guide-Lines (USEPA, 2003) att den verkliga inbindningskapaciteten är två till fem gånger högre än vad som momentant kan bindas in i marken. Att kapaciteten är större än uppmätt har tolkas som en effekt av att en tidsberoende och stegvis inbindning av fosfor i allt mer svårvittrade mineraler förekommer.

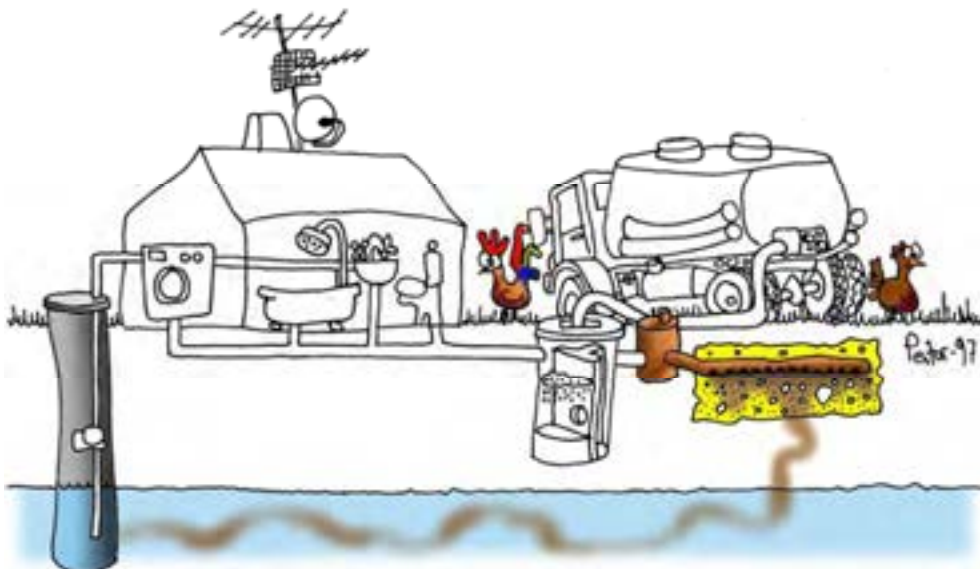
Eveborn *et al.* (2009) ifrågasätter teorin om en långsam inbindning av svårlösliga kristallina föreningar. De menar att stöd för att detta verkligen sker inte har kunnat påvisas. Man påpekar samtidigt att även utfällning av mineraler är en jämviktsprocess där fasta former parallellt kan övergå till lösta salter som kan läcka ut ur bäddar. Regenerering av fosforinbindning, som uppmärksammats när en bädd får långtidsvila, skulle således kunna förklaras genom fosforläckage snarare än genom omlagring till hårdare kristallina föreningar.

Oavsett om teorin om en långsam och irreversibel fosforinbindning är sann eller inte, är forskningen överens om att markens kapacitet för att binda fosfor är ändlig. Fastläggningens kapaciteten i mark varierar men uppgår i storleksordningen 100 g P/ton i t ex ovittrad kiselsandkross, till upp mot 1000 g P /ton i kraftigt vittrad sur eller basisk jord. I en sammanställning av experimentella sorptionsstudier finner man värden på inbindningskapacitet för sand mellan 130 till 440 g P/ton (Cucarella och Renman, 2009). Med utgångspunkt från dessa uppgifter finns möjligheten att uppskatta en anläggnings uthållighet för fosforering för en viss situation eller plats. En idé för hur en sådan beräkning skulle kunna gå till presenteras i räkneexemplet nedan.

Forskningen tycks vara överens om att fosforinbindningen är betydligt mer effektiv i omättad mark än mättad mark. Det är också klarlagt att mark som är utsatt för jordmånsbildande processer har högre inbindningskapacitet än mer opåverkad jord. Högre inbindningskapacitet kan således förväntas i högre jordlager än i djupare liggande jordlager. Likaså har finkorniga och uniformt uppbyggda jordar större kapacitet än grövre jordar med heterogen uppbyggnad.

Av stor betydelse är volymen av jord som kan tjänstgöra som filter för fosforinbindning. I teorin tänker man sig ofta att hela jordvolymen i den omättade zonen deltar i filterprocessen. I praktiken är detta dock sällan fallet. I de flesta fall, speciellt i moräner, är det troligare att endast delar av marken deltar i reningen.

Som diskuterats tidigare sätts systemgränsen vid infiltration i nivå med underliggande grundvatten. Man kan ofta räkna med en fortsatt fosforinbindning, eller retention, i den mättade markprofilen. Hur betydelsefull denna inbindning är omdiskuteras dock. I kalkrik och väl syresatt mark är den sannolikt betydande, men i syrefattigare mark uppbyggd av silikatmineraler är den sannolikt betydligt mindre. Enligt Eveborn (2009) visar dock forskning genomförd av Robertsson (2008) att fastläggning av fosfor i grundvatten är minimal.



### *Kapacitet och uthållighet*

Som diskuterats ovan är mekanismerna för fosforfastläggning komplexa och delvis outredda. Fastläggningen påverkas av en mängd faktorer som gör det svårt att på förhand bedöma dess omfattning och uthållighet på en given plats. Resultat från uppföljningar av anläggningar i drift visar också på stora variationer i fosforavskiljning (RUSA-rapporten och ovan angivna referenser).

Trots att fosforfastläggning teoretiskt sett rimligen bör variera mycket från anläggning till anläggning och att observationer från black-boxstudier och mätningar från anläggningar visar på att stora haltvariationer förekommer, anses reduktionen av fosfor i markbäddar och infiltrationer generellt vara god. I Tabell 2 presenteras en sammanställning av slutsatser och bedömningar som gjorts i olika litteratursammanställningar.

*Tabell 2. Bedömd fosforreduktion vid markbaserad rening redovisade i olika litteratursammanställningar.*

	Infiltration	Markbädd	Kommentar
von Brömssen <i>et al</i> 1985 NV (87:6)	60-80% i omättad zon. Om omättad zon inkluderas, än högre reduktion.	25-80% beroende på ålder 0- 20 år	Baserat på amerikanska erfarenheter samt studier utförda av Peter Nilsson.
USEPA 2002	0-100%		Beroende främst på ålder, jordvolym och avstånd till grundvatten
VA miljö blad	99,9%		Upphöjd och lågbelastad infiltration (Lukkede infiltrasjoner)
Jenssen <i>et al.</i> 2006 (NAT)	> 95%	< 50% efter 10 år	Infiltrationer i Norge dimensioneras för betydligt lägre belastning än i Sverige.
RUSA 2003	25-100%	C:a 50%	Baserat på flera källor från Sverige, Norge och USA
Malmén <i>et al.</i> 2004	C:a 50%	C:a 50%	Långsiktig inbindning i väl byggda anläggningar bedömd från litteratursammanställning
Avloppsguiden	25-100%	25-80%	

Black-boxstudier av anläggningar i drift, det vill säga fosforhalt i ingående vatten jämfört med halt i utgående vatten, medför stora metodologiska svårigheterna att erhålla representativa värden på reningsgrad. Speciellt i sammanhang där belastningssituationen varierar mycket och där utspädning och läckage av vatten är svår att kontrollera.

Ett bra sätt att bedöma reningseffekt i markbaserade system är sannolikt att uppskatta och jämföra mängden fosfor som tillförs under en viss tid med

information om vad jorden på platsen teoretiskt kan binda in. Att göra massbalanser är bra komplement till black-boxstudier och ger sannolikt en mer rättvisande bild om långsiktig reningskapacitet i en viss anläggning.

Som framgår av räkneexemplet nedan är det uppenbart att storleken på anläggningen, dvs. den jordvolym som deltar i reningen, belastningen och total mängd tillförd fosfor är avgörande faktorer som påverkar graden av fosforavskiljning. Eftersom jordvolymen som aktivt deltar i processen och belastningsstorleken i parktiken varierar mycket från anläggning till anläggning är det logiskt att vänta att man vid black-boxstudier uppmäter mycket varierande reningsrad.

Reningseffekterna framräknade i exemplet nedan indikerar även att med ett blandat avloppsvatten kan en betydande grad av fosforavskiljning, motsvarande t ex normal skyddsnivå, egentligen bara förväntas i anläggningar som utformas med lågt dimensionerande vattenbelastning. (Lägre dimensionering än svensk praxis).

Omvänt kan hög fosforering i bädden förväntas i en anläggning som endast belastas med BDT-vatten, även med anläggningstyper dimensionerade för hög vattenbelastning.

Av räkneexemplet indikeras slutligen att skillnader mellan infiltration och markbädd knappast är av betydelse för graden av fosforavskiljning. Betydligt viktigare är belastningen och den jordvolym som deltar i inbindningsprocessen.

#### *Räkneexempel: Förväntad fosforavskiljning i infiltration och markbädd*

Detta räkneexempel illustrerar hur mycket av den fosfor som tillförs en anläggning som kan förväntas avskiljas i olika typer av markbaserade reningsanläggningar. Som utgångspunkt för beräkningen gäller belastningsförutsättningar för ett normalt hushåll och anläggningstyper som byggs enligt praxis. Vidare antas att jorden har normal till medelhög kapacitet för fosforinbindning samt att anläggningarna används i 25 år.

Följande förutsättningar gäller:

- Anläggning belastas kontinuerligt med blandat spillvatten (  $KL + BDT$  – vatten) under 25 år (ekonomisk livslängd)
- Ett normalhushåll med: 2,4 personer med 16 timmars vistelsegrad.
- Specifik fosforbelastning: 0,7 kg/år
- Fosforbelastning från hushållet: 1,2 kg P/år
- Vattenbelastning för dimensionering: 750 l/dygn (medelflöde maxvecka)
- Jordens inbindningskapacitet: 300 g P/ton (typ vittrad natursand)



- Den omättade markzonen under fördelningslagret är 1 m och hela volymen deltar i filtreringen

- Jorden har en specifikt vikt på: 1,8 kg

- Markbädd resp. infiltration utformas och dimensioneras enligt standard.

Tabell 3. Förväntad fosforavskiljningskapacitet i fyra olika markbaserade anläggningar beräknat enligt räkneexemplet ovan. Med samma förutsättningar vad gäller belastning, flöde, inbindningskapacitet etc. resulterar prediktionen i en fosforavskiljning som varierar mellan 10-100%.

Typ av anläggning	Dimensionerad belastning (mm/dygn)	Yta/jordvolym (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	Jord-vikt (ton)	Tillförd fosfor (kg)	Fastlagd fosfor (kg)	Avskiljning av fosfor (%)
Förstärkt markbädd (InDrän el. InFiltra)	140	5,4	10	30	3	<b>10</b>
Traditionell markbädd enl. svensk praxis	60	13	23	30	7	<b>23</b>
Infiltration enl. svensk praxis	30	25	45	30	13,5	<b>45</b>
Infiltration upphöjd, lågbelastad enl. norsk praxis	6	125	225	30	> 30	<b>100</b>

Räkneexemplet förutsätter att hela jordvolymen i den omättade zonen deltar i processer för fosforinbindning. I praktiken är det förmodligen sällan på det sättet. Det vanliga är snarare att vatten perkolerar genom marken i vissa preferentiella zoner, mellan vilka mark finns som inte deltar i reningen. Att denna typ av strömning är vanlig i moräner har visats av Bengt Espeby (1989) i doktorsavhandlingen "Water flow in a forested till slope: field studies and physically based modelling". Som jämförelse kan också nämnas pulsläckage av fosfor från åkermark i samband med kraftigt regn, speciellt i lerjordar med kraftig sprickbildning genom vilka vattnet kan rinna igenom snabbt (Djodjic, 2001). Även i markbäddar är sannolikt filtreringen genom sanden inte helt jämn. Vid uppgrävning av ett antal gamla markbäddar i projektet *Bra Små Avlopp* observerades bland annat att sanden var påverkad

av vittring och utfällning i vissa delar, medan andra delar av bädden var till synes helt opåverkad (AB Styrhytten Gunnar Axelsson, muntl 2009).

#### *Författarens slutsatser om kemisk funktion*

- Fosforinbindningen är komplex och påverkas av en mängd faktorer vilket gör den svår att prognostisera.
- Mekanismerna för fosforinbindning är inte helt klarlagda. Det förefaller oklart huruvida och i vilken utsträckning långsam inlagring av fosfor till irreversibla kristallina former sker. Inbindningskapacitet i mark är dock alltid begränsad.
- Effektiv inbindning av fosfor i mark förutsätter att den biologiska reningsprocessen fungerar väl och att vattnet fördelas jämt över infiltrationsytan så att vattnet rinner i omättad strömning genom så stor jordvolym som möjligt.
- Långsiktig reningseffekt i infiltration och markbädd är i första hand avhängig mängden fosfor som tillförs anläggningen samt volymen omättad jord genom vilken avloppsvatten perkolerar.
- Mindre betydelsefullt i sammanhanget är huruvida anläggningen är en markbädd eller infiltration.
- Förstudien visar att det finns anledning att kritiskt värdera gängse uppfattningar om reningsgrad vid markbaserad rening. Uppfattningen om infiltrationers och markbäddars kapacitet att binda in fosfor kan vara överdriven.
- Det presenterade räkneexemplet visar att en långsiktig hög grad av fosforinbindning knappast kan förväntas i markbäddar och infiltrationer byggda enligt svensk praxis.
- Det finns ett stort behov att ytterligare klarlägga mekanismerna kring fosforinbindning, speciellt på lång sikt, i mark som belastas med avloppsvatten. Det är också angeläget att med hjälp av t ex massbalansstudier klarlägga hur effektivt inbindningen av fosfor i infiltrationer och markbäddar fungerar i praktiken. Sådan forskning bör ligga till grund för förslag om och hur fosforavskiljning i såväl befintliga som nya anläggningar kan förbättras.

#### **Vilken livstid bör sättas på markbäddar och infiltration?**

Som diskuterats ovan kan den biologiska reningsfunktionen fungera under mycket lång tid medan den kemiska har en begränsad livslängd. Den biologiska processen är intimt förknippad med igenslamningsskiktets utveckling. I en rätt anlagd och belastad bädd kan således en god avskiljning

av BOD och smittämnen förväntas så länge vatten fortfarande rinner genom bädden, det vill säga så länge den hydrauliska funktionen upprätthålls.

Den hydrauliska funktionen är i sin tur avhängig graden av igenslamning av filterytan som sker till följd av den biomassa som utvecklas när näringsrikt vatten tillförs jorden. På sikt tätas också marken av ackumulation av icke nedbrytbara ämnen.

Den kemiska reningsprocessen är, som diskuterats ovan, beroende av att den biologiska processen fungerar väl samt att det biologiskt reade vattnet ges möjlighet att filtreras genom omättad jord. I praktiken varierar fosforeringen mycket från plats till plats och från bädd till bädd. I motsats till den biologiska reningen så avtar alltid fosforeringen med tiden eftersom marken har en begränsad inbindningskapacitet.

En redovisning av studier av markbäddars och infiltrationers långsiktiga hydrauliska/biologiska kapacitet finns redovisad i Siegriest *et al.* (2000). Där nämns bland annat att man i Norge inte funnit någon infiltrationsanläggning som satt igen då belastningen legat under 25 mm/dygn. I samband med uppföljningen av många tusen anläggningar i USA befanns att den hydrauliska funktionen kvarstod i de allra flesta fall fortfarande efter 30 år (Hill and Frink, 1984).

Sambandet mellan biologisk och hydraulisk funktion gäller i första hand anläggningar utförda som smala diken i enlighet med amerikansk praxis. I anläggningar enligt svensk praxis, med filterytan utformad som en sammanhängande bädd, är risken för ojämn belastning och dålig syreförsörjning större. Detta innebär risk för genombrott då kloggade zoner tränger ned i underliggande grundvatten.

Rotinträngning, frostsprängning, vittring och erosion är mekanismer som kan innebära försämring i bäddens hydraulik. På sikt finns alltså anledning att tro att ojämnheter uppstår i bädden och att vattnet kommer att perkolera alltmer i preferentiella strömmar genom bädden. I vilken mån en sådan negativ utveckling av bäddens hydraulik verkligen äger rum och hur stor betydelse den har är dessvärre inte särskilt väl studerad. I amerikansk litteratur används begreppet *service life* som närmast kan översättas med praktisk livstid. I markbaserade system i USA uppges den praktiska livstiden variera från elva till mer än trettio år (Siegriest *et al.*, 2000).

Begreppet *ekonomisk livstid* används för att beräkna avskrivningen av investerat kapital. Den ekonomiska livstiden avser alltså den tid som genomförd investering skall räcka. För beräkning av avskrivning av kapital vid investering i reningsanläggningar är det brukligt att skilja på maskinell utrustning respektive ledningar, brunnar och andra markanläggningar. Avskrivningstider för maskinell utrustning brukar sättas mellan 10-15 år. Att jämföras med markanläggningar, så som ledningar och brunnar i mark, som brukar ges en ekonomisk livstid på 40 till 50 år. Medan livslängden hos

markanläggningar avser funktion i termer av teknisk hållbarhet, avser livslängden för markbaserade reningssystem reningsskapaciteten, vilken kan upphöra långt före den tekniska konstruktionen.

En markbaserad anläggning är en dyr investering och bör rimligen byggas för lång drifttid. Det förefaller rimligt att avskryva kapital på en period runt 20-30 år. Detta motsvarar en ålder som de flesta bäddar klarar vad gäller biologisk hydraulisk funktion. För att upprätthålla hög fosforreduktion (>70%) under en sådan lång period krävs endera kompletterande teknik i form av källsortering eller kemisk fällning etc., eller mycket stora och lågbelastade bäddar. Carl Etner (muntl. 2009) anger att man i USA använder 20 år som ekonomisk livstid för *Onsite treatment systems*, system som motsvarar svenska markbaserade system.

#### *Författarens kommentarer om livstid*

- En markbaserad rening har flera funktioner vilka alla har olika livstid. Den biologiska funktionen med reduktion av syreförbrukande ämnen, smittämnen och kväve är hög och ofta oberoende av tid. Kemisk funktion, el. fastläggning av fosfor, avtar med tiden. Den hydrauliska livstiden dvs. kvittblivning av vatten, avtar mycket långsamt.
- Den biologiska funktionen kan förutsättas vara hög och stabil så länge den hydrauliska kapaciteten upprätthålls.
- Den hydrauliska livstiden brukar vid normal belastning sträcka sig över 20 år men kan också sträcka sig betydligt längre.
- En markbaserad anläggning är dyr i investering och bör rimligen byggas för lång drifttid. En avskrivningstid för kapital på mellan 20-30 år förefaller rimlig.
- En avskrivningstid på 20-30 år innebär att anläggningar byggda enligt praxis i de allra flesta fall kommer ge hög och stabil biologisk rening under hela den ekonomiska livstiden.
- För bibehållen hög kemisk funktion under en ekonomisk livstid på 20-30 år krävs kompletterande teknik för fosforavskiljning eller mycket stora lågbelastade bäddar.

Hur kan reningfunktionen vidmakthållas och kontrolleras?

#### *Skötsel och underhåll*

En viktig fördel med markbaserad rening framför till exempel reningsverk är att behovet av skötsel och underhåll är litet. I de gamla allmänna råden understryks att det för anläggningens funktion och livslängd är viktigt att sköta den noggrant och att inspektera den med jämna mellanrum. Råden

beskriver vikten av att slamavskiljaren regelbundet töms på slam och att det i samband med slamtömning utförs en felsökningskontroll av anläggningen.

I råden anges vanliga fel och problem liksom tänkbara orsaker och sätt för att avhjälpa problemen. Några vanliga fel och förslag till åtgärder som nämns är presenteras i Tabell 4.

*Tabell 4. Vanligt förekommande fel med förslag till åtgärder (AR 87:6).*

<b>Fel och/eller problem</b>	<b>Åtgärdsförslag</b>
Om lukt uppstår vid slamavskiljaren -	- Åtgärda ventilationen
Om mycket flytslam samlas i slamavskiljaren -	- Tillämpa slamtömning med tätare intervall
Om vattenståndet är lågt i slamavskiljaren -	- Slamavskiljaren läcker antagligen och måste tätas
Om påväxt förekommer i fördelningsbrunnen -	- Rengör genom spolning
Om belastning av spridarledningarna är ojämn -	- Justera överfallet
Om vatten står i spridarledningen -	- Kan accepteras en kortare tid. Men långvarigt, högt vattenstånd tyder på igensättning och kräver felsökning och åtgärder.
Om utgående vatten från markbädden är grumligt, färgat eller illaluktande -	- Den biologiska reningen fungerar dåligt: Felsökning och åtgärder krävs.

Råden beskriver vanliga orsaker till igensättning av en bädd och vad som kan göras för att åtgärda detta. Vanligaste orsaken till stopp är att spridarrören har satts igen. Detta kan ofta tämligen enkelt åtgärdas med spolning. I större anläggningar rekommenderas att spolning av fördelningsrör ska ingå rutinmässigt som underhållsåtgärd. Om spolning inte avhjälper problemet sitter orsaken till igensättningen längre ned i anläggningen. Vanligt är att bädden överbelastats med följd att porer täppes till av slam och biohud. Porerna kan vanligen öppnas upp igen om belastningen kan minskas alt. genom att ta bädden helt ur drift en period.

I markbäddar förekommer att utloppsledningar sätter igen, med dämning eller dålig ventilation som följd. Detta är funktionsfel som i regel enkelt kan åtgärdas. I markbäddar byggda under en period på 80-talet frästes ofta ett skikt med aluminiumhydroxid in i sanden för att gynna fosforfastläggning.

En åtgärd som dock inte rekommenderas längre då det visat sig bidra till igensättning av många bäddar.

I de Norska VA/Miljöbladen framhålls att infiltrationer generellt kräver liten tillsyn och underhåll. Dock föreslås, i linje med de gamla svenska råden, att besiktning i samband med slamtömning skall ske. För större anläggningar skall dokumentation om anläggningen samt driftinstruktioner finnas. I instruktionerna skall klart framgå när, hur och av vem kontroll ska utföras.

I amerikanska *Guide-Lines* förs omfattande diskussioner kring behoven av kontroll och skötsel av anläggningar och metoder för att myndigheter skall kunna göra dem mer effektiva. Olika delstater har framarbetat sina rutiner för kontroll och inspektion. För nya anläggningar finns alltid krav på noggrann dokumentation, relationsritningar och tekniska beskrivningar.

Vad gäller slamtömning är det intressant att notera att i USA byggs anläggningar för långa slamtömningsintervall för att minska transporter och kostnader. Normalt är att anläggningar ges tillstånd för slamtömningsintervall på mellan tre till sju år (USEPA, 2003).

### *Provtagning och mätning*

Varken de gamla svenska råden eller andra nationella råd som studerats i denna förstudie rekommenderar provtagning av vatten, flödesmätning eller andra former av mätningar som en del i den normala (egen-) kontrollen. Provtagning av vatten för att klarlägga reningsfunktionen är alltid mycket svår i små reningsanläggningar, eftersom variationer i flöden och halter är stora. I markbaserade system är de metodologiska svårigheterna speciellt stora. Bland annat på grund av svårigheten att bedöma läckagemängden in och ut, och tidsfördröjningar mellan inkommande och utgående vatten. Provtagning av vatten från infiltrationer är mycket svårt och kan knappast ses som en kontrollåtgärd i normalsituationen.

Uppfattningen hos intervjuade experter med erfarenhet av provtagning av markbaserade anläggningar är att reningseffekter inte låter sig studeras som en del i en rutinemässig kontroll. I specialfall, t ex i samband med uppmärksammade driftsproblem eller vid ny tillståndsprövning kan provtagning av utgående vatten göras. Syftet med provtagningen bör då vara att validera den biologiska reningsprocessens funktion, dvs. om den fungerar eller inte, snarare än att verifiera reningseffekten.

Under intervjun med experter från Sverige och Norge diskuterades indirekta metoder att värdera funktion hos infiltrationer och markbäddar. Många pekade på att inspektion av vatten och vattennivåer (jämför ovan) i samband med t ex slamtömning ger bra upplysningar och borde användas oftare i praktiken. Flera sakkunniga tyckte att denna typ av besiktning borde ingå i uppdraget för slamtömning. Miljöinspektörer påpekade att befintliga anläggningar ofta är svåra att inspektera och efterlyste att det i nya

anläggningar byggs in bra möjligheter till kontroll, t ex för observation och mätning av vattenytor eller för upphämtning av vatten för stickkontroll.

Andra metoder för indirekt kontroll av reningsfunktion skulle kunna vara att med geoelektriska metoder studera vattnets horisontella och vertikala utbredning i bädden. Teknik för detta finns framtagen men är relativt komplicerad och kan än så länge knappast ses som en metod för rutinmässig kontroll av små anläggningar (Olofsson, KTH och Bloem, BioForsk, munt. 2009).

#### *Författarens kommentarer om skötsel och underhåll*

- Kontroll av markbaserade reningsanläggningar bör inriktas på skötsel och underhåll och återkommande besiktning av i första hand anläggningens hydrauliska funktion med kontroll av vattennivå i slamavskiljaren, fördelningsledning, uppsamlingsledning mm.
- Inspektion av äldre anläggningar är ofta svår då observationsbrunnar, luftningsrör mm är svåråtkomliga eller saknas. I nya anläggningar är det viktigt att bra observations- och provtagningsmöjligheter byggs.
- Provtagning och analys av utgående vatten skall i första hand motiveras föra att validera anläggningens biologiska reningsfunktion. Provtagning för verifiering av reningsgrad är dyra och kräver omfattande program för provtagning, analys och flödesmätning. Kontroll av reningsgrad genom vattenprovtagning rekommenderas således inte annat än i forskningssammanhang.
- Representativa värden på utgående vatten från både markbäddar och infiltrationer är svåra att erhålla. Det är vanligt att utspädning tolkas som en reningseffekt. En indikator (eng *tracer*) t ex klorid, som påvisar utspädning bör alltid ingå bland analyserna. Andelen nitratkväve i förhållande till totalkväve ger en bra indikation på bäddens biologiska funktion.
- Enligt Miljöbalken är det fastighetsägaren själv som skall ansvara för egenkontroll, vilket innebär skötsel, besiktning och underhåll mm. Fastighetsägaren är dock i de flesta fall varken intresserad eller motiverad för detta och saknar ofta eller brister i kompetens för att utföra egenkontrollen. En praktisk lösning på problemet kan vara att någon annan branschkundig, t ex slamentreprenören, ges uppgiften att utföra besiktning i samband med tömning av slam.
- Metodik för kontroll av markbaserad rening bör framarbetas. Anvisningar bör tas fram för olika anläggningstyper och för olika typer av kontroll, så som återkommande kontroll vid slamtömning och kontroll som bör göras efter längre tids användning, exempelvis efter 15-20 års drifttid.

## Hur väl fungerar markbaserad teknik enligt miljöbalken?

Formellt gäller att en avloppsanläggning, oavsett storlek, skall uppfylla de krav som ställs i miljöbalken (MB) samt i förordningar och föreskrifter givna med stöd av miljöbalken. Balkens övergripande målsättning är att främja en hållbar utveckling (1 kap §1) och styr tillämpningen av balkens hänsynsregler. Dessa hänsynsregler finns i 2 kap och beskriver viktiga principer som skall gälla för avloppshantering och annan miljöfarlig verksamhet. Centrala paragrafer för avloppshantering är ”att så långt som möjligt skydda människors hälsa och miljön” (2 kap §3) samt ”att hushålla och återvinna naturresurser” (2 kap §5). Vad som exakt menas med detta framgår inte av lagen utan måste prövas i varje enskilt fall. Som ett grundläggande krav stipuleras i alla fall att en avloppsanläggning måste ha ”längre gående rening än slamavskiljning” (9 kap §7).

En viktig princip enligt balken är ”principen om den omvända bevisbördan” (2 kap §1) vilken innebär att verksamhetsutövaren (VU), som för enskilda avlopp normalt är fastighetsägaren, har både rätt och skyldighet att föreslå skyddsåtgärder och typ av avloppslösning. Denna paragraf ålägger också VU att driva sin anläggning på så sätt att bästa skydd för miljö och människors hälsa uppnås.

Den så kallade avvägningsprincipen (2 kap §7) är också viktig i sammanhanget då denna paragraf anger att skyddsåtgärder ”inte skall vara ekonomiskt orimliga”. Betydelsen av ovan nämnda paragraf liksom den om omvänd bevisbördan för en enskild verksamhetsutövare har diskuterats mycket. Allmänt kan sägas att mindre krav rimligen bör ställas på enskilda verksamhetsutövare än på kommersiella (Christensen, muntl 2009).

De nya *Allmänna råd för enskilda avlopp* (NFS 2006:7) som NV nyligen antagit är ett försök att ange ambitionsnivåer för rening och principer för planering, byggande och drift av enskilda avloppsanläggningar. Dessa råd används i dag ofta som utgångspunkt för kommunernas myndighetsutövning men de saknar juridisk status. Bland ambitioner och principer angivna i råden ses följande tre som nya och särskilt viktiga:

1. Tydliga angivelser finns om önskvärd procentuell avskiljning av syreförbrukande ämnen och näringsämnen. I normalfallet (gäller för hela Sverige) bör minst 70% av fosfor kunna avskiljas med avloppsanläggningen (Miljöskydd D).
2. Tydliga nivåer anges inte för smittskydd och kretslopp. Däremot diskuteras åtgärder för att minimera risk för lukt och spridning av smittämnen. Dessutom beskrivs att avloppsanordningar bör möjliggöra återvinning av näring (Hälsoskydd A samt Miljöskydd E och F).
3. Avloppsanläggningens funktion skall enkelt kunna kontrolleras och funktionen skall upprätthållas under hela anläggningens livstid (Grundkrav C och E).



De allmänna råden ger egentligen ingen vägledning om vilka avloppsreningstekniker som kan användas för att uppfylla angivna ambitioner på miljöskydd och kretslopp. Det nämns dock som kommentar till reduktionskraven, *”att enbart markbädd bör inte anses klara normal skyddsnivå”*. Råden nämner också i en kommentar på sidan fem att *”infiltration bör anses uppfylla kraven på normal skyddsnivå för miljöskydd”* men att den kanske inte klarar övriga kriterier vad gäller smittskydd, kretslopp och kontroll.

Det kan således konstateras att det svenska regelverket liksom de allmänna råden främst innehåller kringstyftet och ambitioner kring miljöskydd och hushållning för enskilda avlopp. Dessvärre finns mycket lite vägledning i dokumenten om hur dessa ambitioner skall kunna uppnås i praktiken.

Bland inspektörer upplevs denna situation, med höga nationella ambitioner men utan vägledning vad gäller bedömning av olika tekniker, synnerligen frustrerande. Enskilda inspektörer lämnas att göra sina egna tolkningar liksom kommunerna som har sina egna riktlinjer och policys. Vid prövning av tillståndsärenden söker oerfarna miljöinspektörer råd från andra mer erfarna kollegor. Men resultatet blir som en av de intervjuade inspektörerna uttryckte det, *”Det känns osäkert och det är mycket tyckande. Det känns som man tar fram sina egna lösningar mer eller mindre direkt ur luften”*.

På sätt och vis kan man säga att det med dagens situation råder rättslöshet då varken kommuner eller fastighetsägare kan bedöma hur man på lämpligt sätt, praktiskt och tekniskt, ska svara upp mot nationella mål och ambitioner. För fastighetsägare som skall betala för skyddsåtgärderna, dvs. reningsanläggningarna, är detta naturligtvis ytterst otillfredsställande.

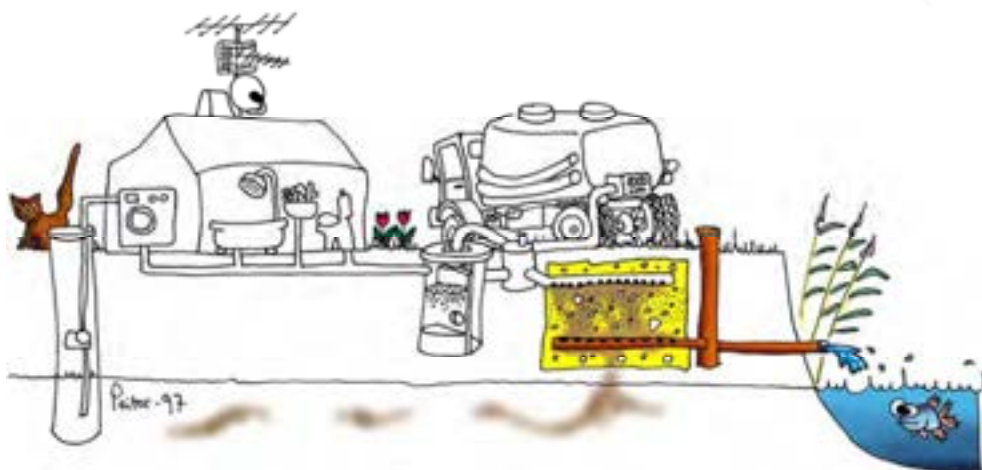
Finland och Norge upplever idag en liknande situation som i Sverige. Finlands förordning nämner visserligen några konkreta system som skall användas för behandling av avloppsvatten. Dessa beskrivningar är dock mycket allmänt hållna och ger ingen vägledning om hur väl olika typer av system och tekniker svarar upp mot förordningens krav.

I Norge finns heller ingen nationell vägledning om vilka tekniker som svarar upp mot den nya föreskriften. En viss officiell vägledning kan dock erhållas genom VA/Miljöblad.

En idé som diskuterats som en viktig del i denna förstudie, är att etablera ett internordiskt expertråd med uppgift att vägleda myndigheter i hur olika tekniker skall värderas i förhållande till nationella kravregler och ambitioner. Med ett sådant expertråd kan råd och riktlinjer arbetas fram och uppdateras med evidensbaserad kunskap som grund. Allsidiga och välgrundade förslag för myndighetsutövare, teknikleverantörer och entreprenörer kan dessutom ges av expertrådet.

### *Författarens slutsatser om markbaserade system och miljöbalken*

- Miljöbalken och de nya allmänna råden anger vad som skall uppnås med skyddsåtgärder så som skydd för miljön, människors hälsa samt resurshushållning, men mycket litet om hur dessa mål i praktiken skall nås.
- Situationen där enskilda myndigheter och fastighetsägare saknar nationell vägledning i fråga om bedömning av olika tekniker i förhållande till lagstiftningens ambitioner är mycket otillfredsställande.
- I ett läge då kommuner driver på fastighetsägare att göra förbättringar utan att tekniska möjligheter för detta är genomlyst, är risken för felinvesteringar uppenbar. Fastighetsägare riskerar investera i åtgärder som kan visa sig både kostsamma och miljömässigt ineffektiva.
- Ett internordiskt expertråd bör etableras för att ge evidensbaserad och allsidig vägledning om hur olika tekniker kan användas för att uppfylla aktuella regelverk. Ett sådant expertråd bör värdera olika tekniker i förhållande till reningsfunktion och praktiska juridiska konsekvenser. Värderingen skall därefter utgöra underlag för framtagande av råd och riktlinjer samt för att identifiera behov av forskning och utveckling.
- Med tanke på den miljömässiga aspekten men kanske i ännu högre grad den ekonomiska aspekten (miljardinvesteringar förutses för upprustning och nybyggnad i avloppsrening för enskilda hushåll) är frågan av stor dignitet. Ett samhällsfinansierat internordiskt expertråd som kan vägleda till god miljöanpassning och kostnadseffektivitet är i detta sammanhang en väl motiverad investering.



# Sammanställning av slutsatser

---

## Regler och praxis i olika länder

- Sverige, Norge och Finland gjordes en omfattande gemensam ansträngning för att förbättra avloppshanteringen i den lilla skalan under 1970- och 80-talen. Mycket av tradition vad gäller ambitioner och tekniksyn, samt institutionella tillvägagångssätt delar vi därför med våra grannländer.
- Efter implementering av nationella råd för enskilda avlopp på 1980-talet skedde en kraftig utbyggnad av markbaserad rening framförallt i Sverige, men också i Finland och Norge.
- Under 90-talet ifrågasattes regelverk och riktlinjer för teknikval. Bakgrund för detta var observationer av förorenat grundvatten orsakat av felaktig lokalisering och/eller utförande av anläggningar samt uppfattningen att enbart markbaserad rening inte kunde uppfylla nationella mål om recipientskydd och hushållning, dvs kretslopp. I samtliga länder sågs behov av att ändra regelverk och praxis så att nya tekniker kunde utvecklas på marknaden.
- Under 2000-talet har både Sverige, Finland och Norge valt att ändra sina nationella riktlinjer för enskilda avlopp. Finland och Norge har ändrat sin lagstiftning medan Sverige har valt att endast ge ut nya allmänna råd.
- De Finska och Norska reglerna anger tydliga kravnivåer vad gäller recipientskydd men ej gällande smittskydd och hushållning. I Finland har man förutom krav på funktion valt att i sin lagstiftning beskriva vilka tekniker som bedöms uppfylla uppställda krav. I Norge och Sverige anges enbart krav respektive ambitionsnivåer.
- I de nordiska länderna finns en tendens till misstro mot markbaserad rening och som en följd växer prefabricerad reningsteknik i omfattning. I USA är däremot tilltron stor till markbaserad reningsteknik och forskning och utveckling på området är omfattande.
- I de nordiska länderna har Norge och Finland under de senaste 10 - 15 åren genomfört nationella satsningar för att utveckla kunskap och teknik för avloppshantering i den lilla skalan. I Sverige har kunskapsläget vad gäller markbaserad rening i stort sett inte förändrats sedan satsningen under 1970- och 80-talen.
- Sverige har all anledning att initiera ett nytt internordiskt samarbete kring markbaserad rening. Ett sådant arbete bör syfta till att uppdatera råd och riktlinjer för planering, byggande, drift och kontroll av små avlopp med markbaserad rening.

## Begreppen markbädd och infiltration

- Markbäddar och infiltrationer är en typ av aeroba vertikalfilter där reningsprocessen sker i mark, dvs. i sand och grusmaterial.
- Samtliga tekniker där mark utgör väsentlig del i reningsprocessen benämns i denna förstudie med samlingsnamnet *Markbaserad teknik*.
- Infiltration innebär per definition en diffus bortledning av behandlat vatten mot grundvatten, medan det renade vattnet i markbädd skall uppsamlas och ledas mot ytvatten. I praktiken läggs oftast markbäddar som förstärkta infiltrationer.
- En utveckling av traditionell markbaserad rening har skett där de naturgivna förutsättningarna på platsen ges mindre betydelse tack vare olika former av hjälptekniker, såsom artificiella systemfilter för spridning, filter som bärare av biohud och system med tryckbeskickning.
- Det saknas idag en från nationella myndigheter kommunicerad nomenklatur vad gäller markbaserad rening. Detta medför att det råder en begreppsförvirring både bland myndigheter och bransch angående vad som avses med olika typer av tekniklösningar och deras funktion/prestanda.
- Den traditionella indelningen av markbaserad rening i infiltrationer och markbädd är idag överspelad. Ett förslag till ny indelning med sju principiellt skiljda anläggningstyper av markbaserad rening föreslås. Detta behövs för att kunna bedöma prestanda, behov av förundersökningar, drift, underhåll och kontroll för olika systemlösningar där markbaserad rening ingår.

## Biologisk funktion

- Markbaserad rening ger, förutsatt att den är rätt placerad, anlagd och belastad, en hög, stabil och varaktig reduktion av organiskt material, smittämnen kombinerat med hög nitrifikation av kväve. Tekniken är enkel, billig och effektiv avseende skydd mot lukt, spridning av smittämnen samt uppkomst av syrebrist i recipient.
- En viktig fördel med markbaserad teknik framför mer prefabricerade reningstekniker är att den är robust, dvs. den är tolerant mot variationer i flöden, föroreningsbelastning och temperatur samtidigt som den kräver lite skötsel.
- Kritiska faktorer och mekanismer fungerande biologisk rening i markbäddar och infiltrationer har klarlagts genom forskning. Till skillnad från kemiska reningsprocesser är den biologiska reningen mindre komplex och i mindre grad beroende av platsspecifika egenskaper samt belastning över tid. Förväntad reningseffekt avseende

BOD, smittämnen och kväve kan således prognostiseras med stor säkerhet.

- Olämplig lokalisering, utformning och utförande är de vanligaste orsakerna bakom nedsatt eller upphörd biologisk reningsfunktion.
- Risk för grundvattenkontaminering vid infiltration förekommer. Intervjuade sakkunniga är eniga om att infiltration kan vara effektivt men samtidigt riskabelt. Infiltration bör endast användas på platser där tillfredställande avstånd till grundvatten kan säkerställas.
- Förutsatt att anläggningen är rätt lokaliserad och utformad bibehålls i regel den biologiska reningsfunktionen oförändrad så länge bädden släpper igenom vatten. Detta gäller i synnerhet sektionerade anläggningar dvs. bäddar som uppdelas i smala diken.
- Sektionering av anläggningar i smala diken med naturmark emellan en ger säkrare och bättre biologisk reningsprocess i jämförelse med om anläggningen utförs som en sammanhängande bädd. Detta beror på att vattnet sprids jämnare, att biohuden ges stor mantelarea, att vattnet filtreras i mikrobiellt aktiva zoner i dikenas väggar och att god syreförsörjning erhålles.
- Grunt anlagda bäddar är att föredra framför djupt anlagda bäddar då syreförsörjningen är bättre närmare markytan och avståndet till grundvattnet är större.
- Utvecklingstrenden i USA och Norge går mot bäddar som är mer ytligt förlagda, sektionerade i smala diken samt mot pumpbeskickning.

### **Kemisk funktion**

- Fosforinbindning är en komplex process och påverkas av en mängd faktorer med följderna att den är svår att prognostisera.
- Mekanismerna för fosforinbindning är inte helt klarlagda. Således förefaller det oklart huruvida och i vilken utsträckning långsam inlagring av fosfor till irreversibla kristallina former sker. Inbindningskapaciteten i mark är dock alltid begränsad.
- Effektiv inbindning av fosfor i mark förutsätter att den biologiska reningsprocessen fungerar bra och att vattnet fördelas jämt över infiltrationsytan så att vattnet kan rinna i omättad strömning genom en så stor jordvolym som möjligt.
- Långsiktig reningseffekt i infiltration och markbädd är i första hand avhängig den mängd fosfor som tillförs anläggningen samt volymen omättad jord genom vilken avloppsvattnet perkolerar.

- Mindre betydelsefullt i sammanhanget är huruvida anläggningen är en markbädd eller infiltration.
- Förstudien visar att det finns anledning att kritiskt värdera gängse uppfattningar om reningsgrad för fosfor vid markbaserad rening. Flertalet uppföljningar av anläggningar i drift baseras på mätningar i in- och utgående vatten, där variationer i föroreningsmängder och ovidkommande vatten kan vara svåra att kontrollera.
- Massbalansstudier, där inbunden fosfor i marken uppmäts och jämförs med tillförd fosfor, kan ge ett bra underlag för bedömning av infiltrationers och markbäddars faktiska kapacitet att inbinda fosfor.
- Det presenterade räkneexemplet som bygger på massbalanser visar att en långsiktig högre grad av fosforinbindning knappast kan förväntas i markbäddar och infiltrationer byggda enligt svensk praxis.
- Det finns ett stort behov att ytterligare klarlägga långsiktiga mekanismer kring fosforinbindning i mark som belastas med avloppsvatten. Det är också angeläget att med t ex massbalansstudier klarlägga hur effektivt inbindningen av fosfor i olika typer av bäddar fungerar i praktiken. Sådan forskning bör ligga till grund för förslag om och hur fosforavskiljning i såväl befintliga som nya anläggningar kan förbättras.

## Livstid

- En markbaserad rening har flera funktioner vilka alla har olika livstid. Reduktion av syreförbrukande ämnen, smittämnen och kväve, det vill säga den biologiska funktionen, är ofta hög oberoende av tiden. Fastläggning av fosfor, den kemiska funktionen, avtar med tiden. Kvittblivning av vatten, den hydrauliska funktionen, avtar mycket långsamt.
- Den biologiska funktionen kan förutsättas vara hög och stabil så länge den hydrauliska kapaciteten upprätthålls.
- Den hydrauliska livstiden brukar vid normal belastning sträcka sig över 20 år men kan också vara mer än det dubbla.
- En markbaserad anläggning är dyr i investering och bör rimligen byggas för lång driftstid. En avskrivningstid för kapital på mellan 20-30 år förefaller rimlig.
- Vid en ekonomisk livstid mellan 20-30 år kan anläggningar byggda enligt praxis bedömas ha hög och stabil biologisk rening under hela denna period. Däremot bör man räkna med en reducerad fosforinbindning.

- För varaktig och hög fosforinbindning, t ex. 70% reduktion, krävs vanligtvis att markbaserade anläggningar kompletteras med annan teknik för fosforavskiljning. Alternativt kan de byggas som mycket stora och lågbelastade bäddar.

### Skötsel och underhåll

- Kontroll av markbaserade reningsanläggningar bör inriktas på skötsel och underhåll och återkommande besiktning av i första hand anläggningens hydrauliska funktion med kontroll av vattennivå i slamavskiljaren, fördelningsledning, uppsamlingsledning mm.
- Inspektion av äldre anläggningar är ofta svår då observationsbrunnar, luftningsrör mm är svåråtkomliga eller saknas. I nya anläggningar är det viktigt att bra observations- och provtagningsmöjligheter byggs.
- Provtagning och analys av utgående vatten skall i första hand motiveras för att validera anläggningens biologiska reningsfunktion. Provtagning för verifiering av reningsgrad är dyr och kräver omfattande program för provtagning, analys och flödesmätning. Kontroll av reningsgrad genom vattenprovtagning rekommenderas således inte annat än i forskningssammanhang.
- Representativa värden på utgående vatten från både markbäddar och infiltrationer är svåra att erhålla. Det är vanligt att utspädning tolkas som en reningseffekt. En indikator (eng. *tracer*) som t ex klorin, som påvisar utspädning bör alltid ingå bland analyserna. Andelen nitratkväve i förhållande till totalkväve ger en bra indikation på bäddens biologiska funktion.
- Enligt Miljöbalken är det fastighetsägaren själv som skall ansvara för egenkontroll, vilket betyder skötsel, besiktning, underhåll mm. Fastighetsägaren är dock i de flesta fall varken intresserad eller motiverad för detta och saknar ofta, eller brister i kompetens för att utföra egenkontrollen. En praktisk lösning på problemet kan vara att någon annan branschkundig, t ex slamentreprenören, ges uppgiften att utföra besiktning i samband med slamtömning.
- Metodik för bedömning och kontroll av markbaserade reningsanläggningar bör arbetas fram. Även enkla anvisningar och tumregler för besiktning av befintliga anläggningar, för beslut om åtgärder etc. behövs. Anvisningar bör gälla olika typer av besiktningar och åtgärdsomöjligheter vid återkommande kontroll vid slamtömning liksom efter längre tids drift (>15 år).

## Markbaserade system och Miljöbalken

- Miljöbalken och de nya allmänna råden anger vad som skall uppnås med skyddsåtgärder så som skydd för miljön, människors hälsa samt resurshushållning, men mycket litet anges om hur dessa mål i praktiken skall nås. Nationell vägledning behövs för att ge myndigheter och fastighetsägare stöd i beslut om system- och teknikval. Dagens osäkra läge skapar frustration hos myndigheten och gör fastighetsägaren utlämnad till en omogen marknad.
- I ett läge då kommuner driver på fastighetsägare att göra förbättringar samtidigt som vägledning saknas om hur sådana förbättringar kan genomföras praktiskt och ekonomiskt är risken för felinvesteringar uppenbar.
- Ett internordiskt expertråd bör etableras för att ge evidensbaserad och allsidig vägledning om hur olika tekniker kan användas för att uppfylla aktuella regelverk. Ett sådant expertråd bör värdera olika tekniker i förhållande till reningsfunktion och praktiska juridiska konsekvenser. Värderingen skall därefter utgöra underlag för framtagande av råd och riktlinjer samt för att identifiera behov av forskning och utveckling.





## Förslag till forskning och utveckling

---

Den absoluta merparten av reningsanläggningar vi idag har i drift är byggda med markbaserad reningsteknik. Med den långsamma ny- och ombyggnadstakt som äger rum kommer därför markbaserad rening under överskådlig tid finnas kvar även i framtiden. Politiska ambitioner oavsett om det handlar om att förbättra smittskydd, recipientskydd eller för att skapa kretslopp måste därför förhålla sig till detta. Det faktum att markbaserad rening är den teknik som kommer att fortsätta att dominera i Sverige under lång tid har varit en viktig utgångspunkt för den genomförda förstudien.

Markbaserad rening är en väl beprövad teknik och hundratusentals anläggningar i drift har bidragit till att skapa ett gott grundskydd för människor och miljön. Enkelheten, robustheten och den säkra biologiska reningsfunktionen är egenskaper som gjort markbaserad rening populär. Dessa egenskaper gör att markbaserad rening bör ha en given plats i framtiden.

Förstudien har analyserat sådana frågeställningar som myndigheter, forskare och andra aktörer ofta ställer kring markbaserad rening. Tanken har varit dels att försöka förklara och reda ut begrepp. Dels att redovisa hur forskningen bedömer teknikernas kapacitet för rening och vilka förbättringspotentialer som kan finnas. Syftet har varit att därigenom ge ett underlag för beslut om satsning på forskning och utveckling.

Egna slutsatser som ligger till grund för de förslag till forskning och utveckling som framförs i detta avsnitt, sammanfattas i följande punkter:

- Markbaserad rening ger, förutsatt att den är rätt lokaliserad och utförd, ett billigt och mycket bra skydd mot smittspridning, lukt och annan sanitär olägenhet.
- De allra flesta reningsanläggningar för enskilda avlopp som byggts i Sverige är utförda som förstärkta infiltrationer, dvs. som markbäddar med öppen botten, eller som infiltrationer. Där lokalisering och utförande varit korrekt verkar dessa system överlag ha fungerat väl och bidragit till ett gott grundskydd för miljön och människors hälsa. I tätbebyggda områden där hushåll har egen vattenförsörjning har avloppsinfiltation dock visat sig vara en riskabel teknik som med stor säkerhet förorenar många brunnar.
- I de fall då igensättning, lukt och dålig rening har förekommit i befintliga anläggningar, har det visat sig bero på att anläggningarna varit felplacerade, felbyggda eller att skötsel och underhåll försumrats. Kunskap om förutsättningar och mekanismer för att

uppnå bra reningsfunktion finns dock. De gamla allmänna råden ger bra anvisningar för byggande, dimensionering och skötsel men behöver uppdateras. Ny kunskap och erfarenhet finns som kan innebära att både befintliga och nya typer av markbaserade system kan byggas bättre och säkrare.

- Det är oklart hur markbaserade anläggningar som byggts fungerat för avskiljning av fosfor. Det räkneexempel som presenteras i förstudien tyder på att avskiljningen av fosfor i befintliga system överskattats. För långsiktig och hög fosforinbindning i mark krävs låg fosforbelastning och stora volymer jord som deltar i inbindningsprocessen. Med den praxis vi använder i Sverige för dimensionering och byggande av markbäddar och infiltrationer kan man knappast räkna med hög och kvarstående fosforrening under anläggningens hela drifttid. Istället bör markbaserad rening ses som biologiska filter med viss kapacitet för fosforrening.
- Markbaserad rening har i sig liten potential för återvinning av näringsämnen. Om den däremot kombineras med annan teknik för näringsavskiljning kan mycket effektiva och säkra reningssystem erhållas. Källsortering, speciellt svartvattensystem, är särskilt intressant i detta sammanhang då sådana system ger mycket hög miljöprestanda och kan användas för uppgradering av befintliga system och för byggande av nya anläggningar. Även markbaserad teknik kombinerad med förfällning eller efterbehandling med kemisk inbindning i reaktiva filter kan vara intressanta tekniker att utveckla för framtiden.
- Fastighetsägaren vill vara bekymmersfri och har inte möjlighet att överblicka marknad och regelverk. Det är myndighetens ansvar att säkerställa att anläggningar byggs så att den funktion som eftersträvas verkligen kan uppnås.
- Marknadskrafter driver teknikutveckling. Ett tydligt regelverk och tydliga redskap för myndighetsutövning behövs för att styra marknaden. Privata aktörer kommer sköta utvecklingen av prefabricerade tekniker. Forskning och Utveckling av markbaserad rening kräver däremot offentlig finansiering då den anläggs med lokala, icke prefabricerade material och därmed inte går att sälja som en färdig produkt.
- Med tanke på de miljardinvesteringar som årligen förutses satsas för upprustning och nybyggnad av avloppsrening för enskilda hushåll kan kostnaderna för ett internordiskt expertråd, som kan vägleda till god miljöanpassning och kostnadseffektivitet, enkelt motiveras.

Följande tre områden för fortsatt forskning och utveckling har identifierats:

## **Forskning kring grundläggande reningsmekanismer och principer för utformning och dimensionering**

Klarläggande om mekanismer för fosforinbindning och urlakning i markbaserade anläggningar

Syftet med denna forskning bör vara att den kunskap som erhålls i förlängningen kan omsättas till säkrare antaganden för den långsiktiga reningsfunktionen i olika typer av markbaserad rening. Det vill säga hur de kan predikteras och kontrolleras. Vidare bör forskning ta fram kunskapsunderlag för att nyttja och bedöma retention av fosfor. Sådan forskning kan t ex användas för att ta fram och förbättra modeller för belastningsberäkningar till recipienter, men också för att framarbeta enkla tumregler för lokalisering, dimensionering och utformning av bortledningssystem samt för klassificering av retentionsgrad.

Exempel på frågor att klarlägga är:

- I vilken utsträckning förekommer mekanismer för långsiktig fosforinbindning?
- Är processerna irreversibla?
- Hur stor är risken för fosforutlakning?

Kunskap för att förbättra bedömning och nyttjande av fosforretentionen bör också tas fram. Exempel på frågor att utreda i detta sammanhang är:

- När, var och hur sker mekanismer för retention, och hur effektiv är den?
- Hur kan retention vid bortledning bedömas som underlag för planering och tillståndsgivning?

**Principer för utformning, dimensionering samt beskickning av filteryta**

Forskning behövs för att sammanställa ny kunskap som kan komplettera de gamla svenska anvisningarna för infiltration och markbäddar och utveckla kunskap om hur markbaserad rening lämpligen ska användas i framtiden. Detta ska ge underlag till nya råd och riktlinjer om lokalisering, utformning, dimensionering, beskickning. I detta sammanhang bör även beaktas hur olika kompletterande tekniker för exempelvis spridning av vatten och näringsavskiljning påverkar anläggningens totala funktion och prestanda.

## Principer för utformning och dimensionering av slamavskiljare

En kritisk komponent vid markbaserad rening är slamavskiljarens funktion. Utformning, dimensionering av slamavskiljaren påverkar inte bara processfunktionen utan också behov av slamtömning. En förlängning av slamtömningsintervallet är av intresse både för att minska kostnader för verksamhetsutövaren men också miljöpåverkan vid transport av slam. Frågeställningar bör beaktas både för slamavskiljare för blandat avloppsvatten men också för enbart BDT-vatten samt för kemiskt förbehandlat avloppsvatten.

## Redskap för myndighetsutövning

### Teknikvärdering i förhållande till regelverk och ambitioner

Dagens situation med ett samhälle som ställer höga krav på att minska utsläpp och öka kapacitet för resurshushållning för enskilda avlopp, men inte ger vägledning till hur detta praktiskt skall åstadkommas är förkastlig. En generell värdering av teknik i förhållande till regelverk och ambitioner och tydliga rekommendationer för hur teknik skall bedömas och användas, måste tas fram som stöd för myndigheter och verksamhetsutövare. För värdering av markbaserad rening kan de sju principiella grupperna som föreslås i förstudien användas som utgångspunkt och indelning. Ett konkret förslag är att ett internordiskt expertråd etableras med uppgift att värdera befintlig och ny teknik på marknaden som underlag för nationella råd och riktlinjer.

### Nya "Guide-lines" för enskilda avlopp med markbaserad rening

De tidigare allmänna råden används idag som huvudsakliga riktlinjer för byggande av markbaserad rening. Då dessa råd bygger på 25-30 år gammal kunskap behöver de nationella riktlinjerna uppdateras. Förstudien ger flera exempel på ny kunskap och erfarenhet som bör delges den svenska marknaden. Lämpligen arbetas nya svenska riktlinjer fram i ett internordiskt samarbete där exempelvis de norska VA/miljöbladen kan användas som förlagor.

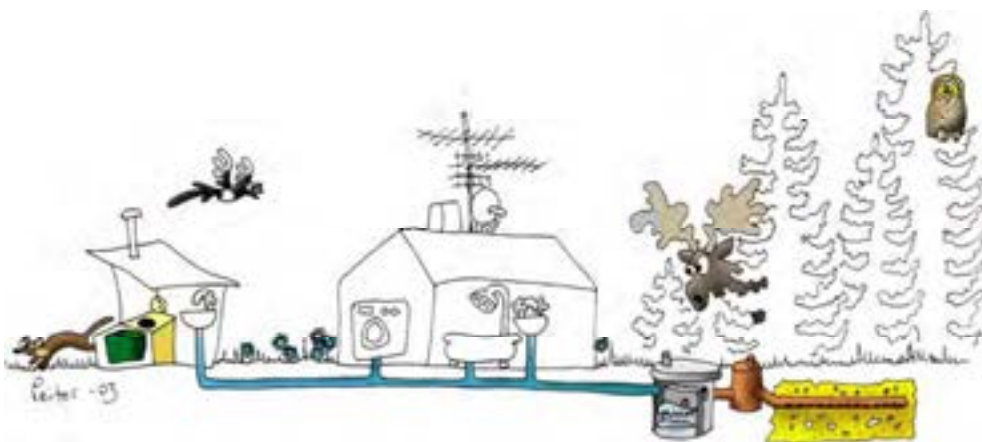
Utveckling av checklistor och lathundar med stöd i forskningen  
Utöver råd och riktlinjer för byggande, drift och kontroll mm, behöver myndigheter också annat stöd för sin myndighetsutövning. Exempel på checklistor eller lathundar som bör framarbetas är:

- Formulering av villkor för tillstånd till markbaserade avloppsanläggningar vid olika skyddsnivåer/lokala planeringssituationer
- Förslag till kundavtal med entreprenör och/eller teknikleverantör. (Jmf med avtal som nu utvecklas för prefabricerade tekniklösningar som minireningsverk.)

### Information och kompetenshöjning

Att ta fram ytterligare kunskap är viktigt men minst lika viktigt är att denna kunskap också kommer branschen och myndigheterna till godo. Aktiviteter behövs för att delge myndigheter, entreprenörer, teknikleverantörer och fastighetsägare etablerad kunskap och erfarenheter. Det nyligen startade *Kunskapscentrum Små Avlopp* bör ges uppgift att starta upp processer för detta. Exempel på aktiviteter är:

- Specifikt målgruppsinriktade satsningar för att nå ut med den senaste kunskapen om markbaserad rening.
- Utbildningar så som grundutbildning, fortbildning och kompetenshöjande insatser. Dessa satsningar bör riktas mot miljöinspektörer, konsulter, projektörer, entreprenörer samt företag som arbetar med, eller kan tänkas arbeta med, kontroll och uppföljning av små avloppsanläggningar.



## Referenser

---

- Aaltonen J och Andersson P (1995). Långsiktig reningskapacitet hos markbäddar och infiltrationsanläggningar. Rapport, Inst. för anläggning och miljö, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.
- Cucarella V and Renman G (2009). Phosphorus sorption capacity of filter materials used for on-site wastewater treatment determined in batch experiments – a comparative study. *Journal of Environmental Quality* 38, p.381-392.
- Djordjic F (2001). Displacement of phosphorus in structured soils. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences.
- Espeby B (1989). Water flow in a forested till slope - field studies and physically based modeling. Doktorsavhandling, KTH, Stockholm.
- Eveborn D (2003). Småskalig rening av avloppsvatten med Plonite®-filter – Undersökning av filtrets fastläggningsmekanismer för fosfor och utvärdering av fullskaleförsök. TRITA-LWR Master Thesis LWR-EX-03-26. KTH.
- Eveborn D, Gustafsson J P och Holm C (2009). Fosfor i infiltrationsbäddar – fastläggning, rörlighet och bedömningsmetoder. Rapport Nr 2009-07, Svenskt Vatten.
- FANN VA-teknik AB (2009). Reningsresultat från markbäddar. Valoniakontoret, Åbo.
- Finnesand T og Dalaker Tuseth G (2001). Forskrift om utslipp fra mindre avløpsanlegg. Veiledning til kommunene. Statens forurensningstilsyn Rapport 1741/200.
- Finska avloppsvattenförordningen (2003). Författning 542/2003. Helsingfors, Finland.
- Hellström, D och Jonsson L (2003). Bra Små Avlopp – Utvärdering av 15 enskilda avloppsanläggningar. Rapport Nr 15. Stockholm Vatten AB.
- Hill DE and Frink CR (1980). Septic System Lengevity Increased by Improved Design. Connecticut Agr. Exp. Station Bull., 747.
- Hofshagen, (1991). Kommunala utslipp i Norge. Statu 1.1, SFT- rapport nr 91:08.
- Jacobsen JK (1993). Intervju. Konsten att lyssna och fråga. Studentlitteratur, Lund.
- Jenssen P D, Heistad A (2000). Naturbaserte renseløsninger – forelesningsnotat. Småskala avløpsteknologi ITF/SEVU, Norges Landbrukshøgskole.

Jenssen P D (2002). Design and performance of ecological sanitation systems in Norway. Department of Agricultural Engineering, Agricultural University of Norway. EcoSanRes.

Jenssen P D, Jonasson S A och Heistad A (2006). Naturbasert rensing av avløpsvan - En kunnskapssammenstilling med hovedvekt på norske erfaringer. VA-Forsk rapport Nr 2006-20. Svenskt Vatten AB, Stockholm.

Johansson M, Lennartsson M, af Petersens E, Ridderstolpe P, Wijkman J (2002). Småskalig avloppsrening- en eksempelsamling. ISBN 91-540-5869-4, FORMAS, Stockholm.

Khan, A B and Jones J (2007). The Septic Systems Owners' Manual.

Shelter Publications, Inc. California. Liss B (2003). Kvantifiering av kväve- och fosforbelastning från enskilda avlopp. Examensarbete. Institutionen för geovetenskaper, Uppsala Universitet. UPTEC W 03 033. ISSN 1401-5765.

Malmén L, Book Emilsson K och Palm O (2004). Åtgärder för att minska fosforutsläppen från befintliga enskilda avlopp. Rapport 5427. Naturvårdsverket, Stockholm.

Miljöbalk (1998:808). Svensk författningssamling. 1 kap §1; 2 kap §1, §3, §5, §7; 9 kap §7

Miljöministeriet (1998). Målen för skydd av vattnen fram till år 2005. Miljön i Finland, 226.

Miljöministeriet (2000). Åtgärdsprogram för skydd av vattnen fram till år 2005. Miljön i Finland, 402.

Miljöministeriet (2007). Riktlinjer för vattenskydd fram till år 2015. Statsrådets principbeslut. Miljön i Finland, 10.

NAT (1998). Naturbasert Avløpsteknologi 1994-1997, sammendrag av programmets prosjekter, Jordforsk, Ås.

Naturvårdsverket (1987). Små avloppsanläggningar – hushållspillvatten från högst 5 hushåll. Naturvårdsverkets Allmänna råd 87:6. Naturvårdsverket, Stockholm.

Naturvårdsverket (1991) SN-AR 91:2. Rening av hushållspillvatten - Infiltrationsanläggningar och markbäddar för fler än 25 personer. Miljölagar, Naturvårdsverket.

Naturvårdsverket (2006). Allmänna råd om små avloppsanordningar för hushållspillvatten. NFS 2006:7. ISSN 1403-8234. Naturvårdsverket, Stockholm.

Naturvårdsverket (2008). Avloppsreningsverkens förmåga att ta hand om läkemedelsrester och andra farliga ämnen. Redovisning av regeringsuppdrag. Naturvårdsverket Rapport 5794.

- Naturvårdsverket (2008). Små avloppsanläggningar: Handbok till allmänna råd. Handbok 2008:3. ISBN 978-91-620-0153-7. Naturvårdsverket, Stockholm.
- Nilsson P (1990). Infiltration of wastewater – an applied study on treatment of wastewater by soil infiltration. Rapport No 1002, Department of environmental engineering, University of Lund, Sweden.
- Nilsson P, Nyberg F, Karlsson M (1998). Markbäddars funktion – Kontroll och utvärdering av markbäddar. Naturvårdsverkets rapport 4895, Naturvårdsverkets förlag, Stockholm.
- Norin E, Bellander F och Johansson L(2005). Uppföljning av funktionen hos öppna filterbäddar. VA-Forsk Nr 2005-16, Svenskt Vatten.
- NOWRA (2005). NOWRA's 14th Annual Conference: Onsite Is Here To Stay. Conference proceeding.
- Palm O, Malmén L, och Jönsson H (2002). Robusta uthålliga små avlopp - En kunskapssamanställning. RUSA-Rapport 5224 Naturvårdsverket, Stockholm.
- Palm O (2005). Konsekvensanalys. Nya allmänna råd om enskilda avlopp. Institutet för Jordbruks- och miljöteknik på uppdrag av Naturvårdsverket.
- Refsgaard K og Etnier C (1998). Naturbaserte avløpsløsninger i spredt bebyggelse – økonomisk og miljømessige vurderinger for kommune, husholning og gårdsbruk. NILF-Rapport 1998:4, Oslo.
- Regeringskansliet (1998). Water and wastewater treatment: the Swedish experience. Naturvårdsverket & Regeringskansliet, Stockholm.
- Ridderstolpe P (2004). Introduction to greywater management. EcoSanRes Report Series, 2004:4. Stockholm, Sweden.
- Robertsson WD (2008). Irreversible phosphorus sorption in septic system plumes? Ground Water, 46(1), p 51-60.
- Santala E (1990). Pienet jäteveden maapuhdistamot Avloppsvattenbehandling i mark – små anläggningar. Vatten- och miljöförvaltningens publikationer, serie B:1.
- SIS-CEN/TR 12566-2 (2006). Tekniska rapporter. EU-Standard.
- Siegrist R L, Tyler E J and Jenssen P D (2000). Design and Performance of Onsite Wastewater Soil Adsorption Systems. 1001446 USEPA.
- SMED (2006). Utsläpp av fosfor från enskilda avlopp. Rapport Nr 4 2006. Svenska MiljöemissionsData. Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, Norrköping.
- SFT-rapport (1991). Kommunale utslipp i Norge. Status pr 1/1, Rapport 91/08. Statens forurensningstilsyn, Oslo.



Tchobanoglous G, Burton FL (ed) and Stensel HD (2003). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse / Metcalf & Eddy Inc. (4th edition). McGraw-Hill Science Engineering.

Trost J (2004). Kvalitativa intervjuer. Tredje upplagan. Studentlitteratur, Lund.

USEPA (2002). Onsite Wastewater Treatment Systems Manual. EPA/625/R-00/008, United States Environmental Protection Agency.

USEPA (2003). Voluntary National Guidelines for Management of Onsite and Clustered (Decentralized) Wastewater Treatment Systems. EPA / 832-B-03-001.

Vattendirektivet (2000). Europaparlamentets och rådets direktiv 2000/60/EG om upprättande av en ram för gemenskapens åtgärder på vattenpolitikens område, L. 327/1. Europeiska gemenskapernas officiella tidning.

VA Miljöblad 50 (2000). Håntering av Foreskrift om utslipp från mindre avloppsanlegg.

VA Miljöblad 48 (2001). Slamavskiller.

VA Miljöblad 49 (2001). Våtmarksfiltre.

VA Miljöblad 59 (2003). Lukkede infiltrationsanlegg.

VA Miljöblad 60 (2003). Biologiska filtre for gråvann.

Vilpas R, Kujala-Räty K, Laaksonen T ja Santala E (2005). Haja-asutuksen ravinnekuormituksen vähentäminen – Ravinnesampo-projektet. Suomen ympäristö. SYKE Finska Miljöcentralen.

Vilpas R and Santala E (2007). Comparison of the nutrient removal efficiency of onsite wastewater treatment systems: applications of conventional sand filters and sequencing batch reactors. Water Science & Technology, 55:7, p 109-117.

von Brömsen U (1985). Avloppsvatten – Infiltration – Förutsättningar, funktion, miljökonsekvenser – en nordisk samrapport. Naturvårdsverket informerar. Naturvårdsverket och Nordiska ministerrådet.

*Internetsidor:*

European Committee for Standardization  
[www.cen.eu/cenorm/homepage.htm](http://www.cen.eu/cenorm/homepage.htm)

Finska förordningen. Statens FÖRFATTNINGSDATA – FINLEX®.  
[www.finlex.fi/sv/laki/alkup/2003/20030542](http://www.finlex.fi/sv/laki/alkup/2003/20030542)

Finlands Miljöcentral SYKE. Svenskspråkig sida.  
[www.ymparisto.fi/default.asp?node=566&lan=sv](http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=566&lan=sv)

National Onsite Wastewater Recycling Association NOWRA, USA

[www.nowra.org](http://www.nowra.org)

Nationell kunskapsbank om enskilda avlopp, Sverige.

[www.avloppsguiden.se](http://www.avloppsguiden.se)

Nationell kunskapsbank om mindre avloppsanläggningar (<50 pe), Norge.

[www.avlop.no](http://www.avlop.no)

Lagdata, Norge.

[www.lovdata.no](http://www.lovdata.no)

Statistisk sentralbyrå, Norge.

[www.ssb.no](http://www.ssb.no)

Svensk författningssamling, SFS, Miljöbalken.

[www.riksdagen.se/webbnav/index.aspx?nid=3911&bet=1998:808](http://www.riksdagen.se/webbnav/index.aspx?nid=3911&bet=1998:808)

US Environmental Protection Agency USEPA, Septic systems, USA.

<http://cfpub.epa.gov/owm/septic/index.cfm>

*Muntliga referenser:*

Axelsson Gunnar, Styrhytten AB, Sverige

Bloem Esther BioForsk, Norge

Christenssen Jonas, Ekologen Miljöjuridik, Sverige

Etnier Carl, Stone Environmental Inc, USA

Jenssen Petter D, Institutt for plante- og miljøvitenskap, UMB, Norge

Maxe Lena, SGU, Sverige

Nilsson Peter, VA-teknik & Vattenvård, Sverige

Olofsson Bo, KTH, Sverige

Santala Erkki, Ymparisto, Statens miljöförvaltning, Finland

Yri Anders W, Asplan Viak, Norge

# Bilaga 1

---

## **Intervjudeltagare**

Samtliga deltagare i intervjuundersökningen redovisas nedan. För att åskådliggöra fördelningen av intervjudeltagarnas yrkesverksamhet har de grupperats som representant från I) universitet, högskola eller institut; II) konsultföretag, III) inspektör vid myndighet eller slutligen som IV) gräventreprenör.

### **I) Universitet, högskola eller institut**

Bo Olofsson, Mark- och vattenteknik, KTH (endast angående kontroll av markbäddar)

David Eveborn, Ekosystemteknik, KTH och JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

Daniel Hellström, Svenskt Vatten

Erkki Santala, Miljöcentralen, Finland (endast angående regelverk, forskning och utveckling i Finland)

Gunno Renman, Ekosystemteknik, KTH

Göran Risberg, Hydrogeologi, SGU

Jon Petter Gustavsson, Ekosystemteknik, KTH

Jörgen Hanaeus, Samhällsbyggnad, Luleå Tekniska Universitet, LTU

Lars Hylander, Geocentrum, Uppsala Universitet

Lena Maxe, SGU

Lennart Qvarnström, (pensionerad), Stockholm Vatten/Bra Små Avlopp

Mikael Pell, Institutionen för Mikrobiologi, SLU

Ola Palm, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

### **II) Konsultföretag**

Carl Etnier, Stone Environment, Vermont, USA

Ewa Holmqvist Sundman, GeoMarkservice

Hans Finndin, Roslagens Mark- & VA-utredning

Mats Johansson, Verna

Lina Nyberg, FANN-VA

Peter Nilsson, VA-teknik & Vattenvård AB, Brösarp

### **III) Myndighet**

Douglas Lindström, Håbo kommun

Fredrik Werling, Strömstads kommun

Ingemar Bergbom, Habo/Mullsjö kommun

Linnea Broström, Hammarö kommun

Mona Frisk, Vänersborgs kommun

Sven-Olof Lindström, Sandvikens kommun

#### **IV) Gräventreprenörer för dialog kring markbaserade tekniker**

Berne Josefsson, Skäggenäs Gräv & Schakt, Rockneby  
Björn Vesterberg, Björns Grävtjänst, Umeå  
Christer Carlson, Bröderna Carlsons Entreprenad AB, Stenungsund  
Gunnar Axelson, Styrhytten, Södertälje  
Rolf Larsson, Solberga schakt & Planering, Lilla Edet  
Tomas Karlsson, Tomas Grävare AB, Uddevalla

#### **Deltagare och agenda vid expertmötet i Norge**

Syftet med mötet var att diskutera och inspirera till ett första steg för etablering av ett Internordiskt nätverk för forskning om och utveckling av markbaserad rening.

#### **Deltagarlista:**

Petter D. Jensen, Professor, Institutt for plante- og miljøvitenskap  
Trond Mæhlum, Forskningsjef BioForsk Jord og Miljø, Ås  
Guro Randem Hensel, BioForsk, Ås  
Anders W Yri, Asplan VIAK  
Arve Heistad, Førsteamanuensis, Institutt for matematiske realfag og teknologi. Universitetet, Norge  
Peter Ridderstolpe, WRS Uppsala  
Peter Nilsson, VA-Teknik & Vattenvård  
Anneli Söderqvist, WRS Uppsala

#### **Agenda:**

Följande punkter redovisar i korthet vilka frågeställningar och ämnesområden som diskuterades under mötet:

- Teknikområdets relevans i framtiden.
- Föreliggande studies syfte, metod och ambition.
- Markbäddar och infiltration – koncept och avgränsningar.
- Var finns kunskapen? Vad driver den? Vilken riktning? Jämförelse av erfarenheter från våra nordiska länder.
- Bedömning och värdering av tekniken.
- Möjlighet att uppfylla regelverk och miljömål.
- Tillgänglighet på marknaden.
- Underhåll, kontroll och livslängd.
- Behov av forskning och utveckling.
- Idéer till internordiskt samarbete.

## Bilaga 2

---

Dato: 29/9-2009  
Skrevet av: Anders W. Yri og Guro Hensel



### **Foreløpig Notat – skisse til nordisk samarbeid om mindre avløpsanlegg (<50)**

#### **Utarbeidelse av nye normer og bestemmelser for avløpsanlegg**

Bioforsk, UMB og Asplan Viak ønsker å delta i et felles Nordisk prosjekt, hvor det arbeides med nye normer for hvordan ulike typer mindre avløpsanlegg skal utformes/prosjekteres, driftes og kontrolleres. I Norge vil dette innebære at gjeldende normer, som er "VA-miljø-blader", vil bli revidert eller eventuelt erstattet.

Av typer mindre avløpsanlegg som det er aktuelle å utarbeide nye normer/bestemmelser for, er infiltrasjonsanlegg, filterbedanlegg (konstruert våtmark), minirensanlegg, sandfilter (markbædd) og løsninger med kildeseparering/kretsløpsteknologi.

Asplan Viak ønsker først og fremst å være med på revidering av gjeldende normer, og har i utgangspunktet ikke planer om å være med på større FoU-prosjekter som gjelder for eksempel utvikling av nye renseløsninger.

#### **Aktuelt for infiltrasjonsanlegg**

Dagens norske standard for infiltrasjonsanlegg er fra 2003 (VA-miljøblad 59). Normen beskriver krav til funksjon, grunnundersøkelse, hvordan infiltrasjonsanlegg skal bygges opp, samt gir beskrivelse av behov for drift og vedlikehold.

Aktuelle oppdateringer av normen er:

- Vurdere kravene til dokumentasjon og metode for grunnundersøkelse – tilpasset ny forurensingsforskrift og sammenligne med normer i Sverige og Finland. (Danmark?)
- Innføre bestemmelser om metoder for forbehandling av avløpsvann for infiltrasjon (in-dren, ”infiltrasjonskammer” , biomoduler med mer)
- Andre tilpassninger til ny forurensningsforskrift?
- Krav til drift, tilsyn og kontroll av anlegg.
- Noe om levetid, minimum avstand til grunnvann, arealbelastning, krav til isolasjon/overdekning, veiledning i fht. avstand til drikkevann (?)
- Formulere noe om krav til prosjekterende og utførende
- Krav til maks bredde i infiltrasjonsbassenger (ikke oppgitt i norm)
- Gi bestemmelser også for hyttebelastning og gråvann!!

Vurdere behov for eget miljøblad for jordhauginfiltrasjonsanlegg. Dette for å synliggjøre løsningen bedre. Et aktuelt alternativ til miniRA, men ikke alle har kompetanse til å gjøre en vurdering i fht. jordhauganlegg. Tror det i mange tilfeller velges et miniRA der jordhaug kunne vært et alternativ!

### **Aktuelt for filterbedanlegg**

- Dagens norske standard for filterbedanlegg er fra 2001 (VA-miljøblad 49).
- Aktuelle oppdateringer av normen er:
- Åpning for kompakte filterbedanlegg?
- Utvide spesifikke krav til bygging av anlegg, f. eks krav til bunnduk,
- Revidere krav til filtrematerialer, krav til dokumentasjon, leverandørs ansvar for filtermatr.?
- Revidere krav til belastning i forfilter
- Beskrivelse av system for optimal dosering i forfilter (tidsstyring og eller resirkulering)
- Krav til prosjekterende og utførende
- Krav til drift, vedlikehold og kontroll
- Krav til resipient (pga høy pH i utløp)

### **Aktuelt for minirenseanlegg**

VA/Miljø-Blad nr 52 (fra 2001) er under revidering i fht. NS-EN 12566-3. Krav til dokumentasjon iht. forurensningsforskrift og EU-standard må fremkomme her.

Behov for drift og vedlikehold/service ut fra resultater fra Cowi- og Bioforsk-rapporter.

Vi bør vel i dette prosjektet ha som mål at aktuelle poster for miniRA kommer inn i dette reviderte miljøbladet!

Hva med minirenseanlegg for hytter? Krav til dokumentasjon – utarbeide standard for uttesting? - bør jo diskutere om dette skal inn i VA/Miljø-bladet som er under revisjon. Det er jo et aktuelt tema!

### **Aktuelt for sandfilteranlegg (Markbädd)**

Ikke VA-miljøblad i dag. Bør utarbeides et eget. Normer for både for gråvann og for hyttebelastning.

Beskrivelser av filtre og krav til dokumentasjon for fosforbindingskap i filter.

### **Aktuelt for prefabrikkerte gråvannrensseanlegg (BDT-renseanlegg)**

Oppgradering av eksisterende VA/Miljø-blad (nr. 60 fra 2003) Ny norm for uttesting ved UMB/Bioforsk.

Norm for uttesting av gråvannrensseanlegg for helårsboliger..?

### **Forslag til FoU prosjekter**

FoU prosjekter kan være viktige bidrag i arbeidet for å utforme/revidere dagens normer for mindre avløpsanlegg.

Muntlige forslag fra Arve Heistad:

- Retningslinjer for bestemmelse av sikkerhetsavstand mellom utslipp og brønner (risikovurdering vs smittespredning).
- Levetid for inf.anlegg (og jordauganlegg) – ref. Trond's mail.

### **Mulige finansieringskilder**

SFT (Statens Forurensningstilsyn)

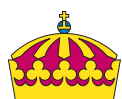
Vannområdeutvalget for Morsa ("Morsa-kommunene")

Norsk Vann, NKF (Norsk Kommunalteknisk Forening)

Naturvårdsverket i Sverige

SYKE i Finland

Nordisk ministerråd.



---

# Länstyrelserna

---

Stockholm  
Västra Götaland  
Skåne

*För mer information kontakta:*

*Länstyrelsen i Västra Götalands län, vattenvårdsenheten*

*Tel: 031-60 50 00.*

*Du hittar rapporten på vår webbplats:*

*[www.lansstyrelsen.se/vastragotaland](http://www.lansstyrelsen.se/vastragotaland) under Publikationer*

*Rapport: 2009:77 (rapportserien för Länstyrelsen Västra Götalands län)*

*ISSN: 1403-168X*