Version 2016-06-29

Informationsblad – Rekommendationer för bergkross som filtermaterial i markbäddar

1 Bakgrund

Detta informationsblad har tagits fram med medel från Havs- och vattenmyndigheten anslaget 1:12 åtgärder för havs- och vattenmiljö. Informationsbladets rekommendationer gäller i första hand för användande av bergkross som filtermaterial i markbäddar för avloppsvattenrening. Rekommendationerna kan även följas när bergkross används som förstärkningslager i infiltrationsanläggningar, observera dock det undantag som tas upp i avsnitt 5 ”Rekommendation – Organiskt material, bakterier och fosfor”.

Innehåll/begräsningar

I bilaga 1 finns bakgrund och förklaring till studien och rekommendationerna samt resonemang kring kväverening, kretslopp och BET-yta. I bilaga 2 redovisas synpunkter på informationsbladet som ett antal entreprenörer och tillverkare har bidragit med, men som inte varit möjliga att utreda inom studien bakom informationsbladet.

1.1 Syfte/mål

Naturgrus är en ändlig resurs som är viktig för vattenförsörjningen. Bland Sveriges miljökvalitetsmål ingår omställning från naturgrus till bergkross där så är möjligt (”Grundvatten av god kvalitet”). Syftet med framtaget informationsblad är att förenkla och kvalitetssäkra användningen av bergkrossmaterial i samband med byggande av markbaserade avloppsanläggningar så att bergkross på ett ändamålsenligt sätt, på sikt, kan ersätta naturgrus.

Målet är att informationsbladet ska redogöra för tekniska rekommendationer vid användning av bergkrossmaterial i markbaserade avloppsanläggningar samt förväntade skillnader jämfört med naturgrusbaserade system. Informationsbladet ska fungera som ett hjälpverktyg som miljöinspektörer kan använda vid rådgivning och tillståndsprövning samt som anvisning för bergmaterialindustrin och de entreprenörer som bygger markbäddar.

1.2 Behov av ytterligare studier

Många av de rekommendationer som tas upp i detta informationsblad behöver utvärderas i fullskala och vidareutvecklas. I bilaga 2 redovisas ett antal synpunkter på hur informationsbladet kan förbättras i framtiden.

1.3 Ordlista

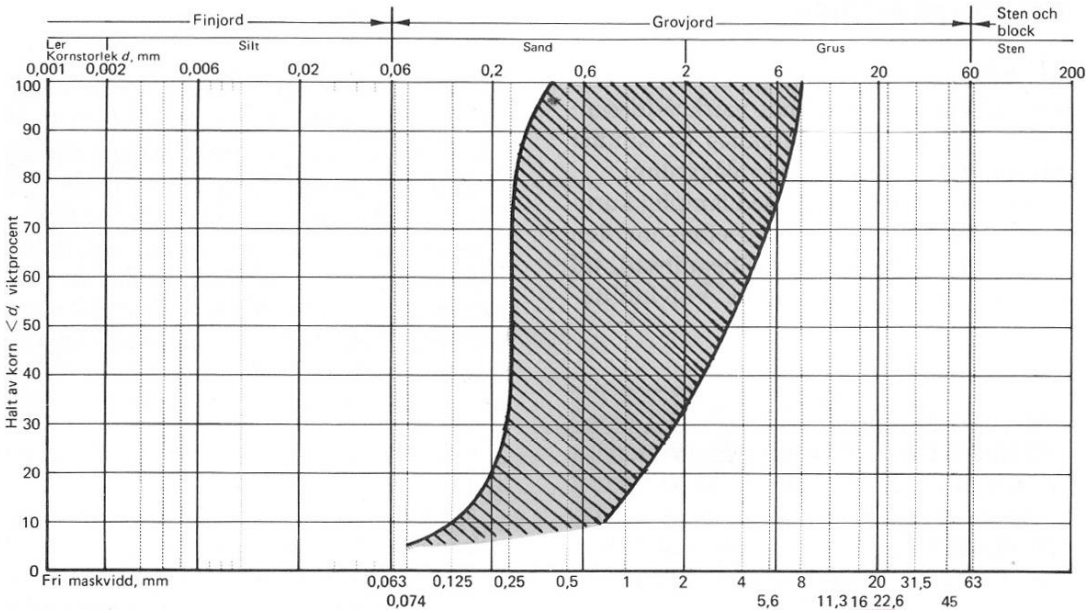
Beteckning	**Beskrivning**
Bergkross	Mineralpartiklar som tagits fram genom krossning av berg.
BET-yta	Specifik yta är ett mått storleken av den sammanlagda ytan hos partiklarna (kornen). BET-analys är en metod för att uppskatta den specifika ytan. Med BET-yta avses den specifika ytan uppskattad genom BET-analys.
Finmaterial	Partiklar som passerar en 0,063 mm-sikt.
Hydraulisk belastning	Ett mått på hur mycket vatten som tillförs en jord/ett filtermaterial (eller annat poröst medium) per tidsenhet. Anges i mm/d eller l/(m^2·d).
Hydraulisk konduktivitet	Hydraulisk konduktivitet är ett mått på hur mycket vatten en jord/ett filtermaterial (eller annat poröst medium) släpper igenom per tidsenhet.
Infiltrationsanläggning	Anläggning där avloppsvatten renas genom marklagret. Grundvattnet är recipient.
Kornstorlekskurva	Kurva som visar hur stor viktprocent av ett material som utgörs av korn upp till en viss kornstorlek.
Markbaserat reningssystem	Anläggning där avloppsvatten renas genom markmaterial (samlingsnamn för markbäddar och infiltrationsanläggningar).
Markbädd	Även kallad filterbädd. Anläggning där avloppsvatten renas genom en begränsad volym av markmaterial. Markbädden ska ha ett väldefinierat utlopp till ytvatten.
Naturgrus	Mineralpartiklar som sorterats och avrundats av naturen. Beteckningen ”naturgrus” innefattar inte bara korngruppen grus utan även andra korngrupper som t.ex. sand och sten.
Porositet	Mått på den volym av materialet som upptas av hålrum.
Tvättning	(Här) Att avlägsna partiklar med mindre diameter än 0,063 mm.
Vattengenomsläpplighet	Mått på hur snabbt ett material släpper igenom vatten.

2 Introduktion – kornstorleksfördelning och vattengenomsläpplighet

Som riktlinjer för byggande och drift av markbaserade reningssystem används än idag Naturvårdsverkets gamla, numera upphävda, allmänna råd om små avlopp som kom ut 1987 – *Små avloppsanläggningar – Hushållsspillvatten från högst 5 hushåll. Naturvårdsverkets Allmänna Råd 87:6 (Naturvårdsverket 1987).* När Naturvårdsverkets allmänna råd togs fram var naturgrus det dominerande materialet. I oktober 2002 drog Naturvårdsverket in dessa råd, men det tekniska innehållet gäller fortfarande och nypublicerades 2003 som Naturvårdsverkets faktablad 8147. Ytterligare information om de allmänna råden finns i bilaga 1, informationsruta 1.

I Naturvårdsverkets faktablad 8147 finns rekommenderade gränser för markbäddssand (figur A). Rekommendationen baseras på att naturgrus används som filtermaterial i markbäddar. De rekommenderade gränserna bygger på att materialet ska släppa igenom vatten tillräckligt fort samtidigt som reningseffektiviteten ska vara tillräckligt bra. Stor andel av grövre fraktioner är en bidragande orsak till att vatten släpps igenom snabbare medan stor andel av finare fraktioner bidrar till högre reningseffektivitet. Tills vidare bör de rekommenderade kornstorleksgränserna för naturgrus gälla även för bergkrossmaterial, men på sikt bör gränser som är särskilt anpassade för markbäddar med bergkrossmaterial tas fram. Ett exempel på problem som kornstorleksgränserna i figur A inte tar hänsyn till är att 0/8-sorteringar av bergkross alltid har en viss (om än mindre) andel korn över 8 mm (överkorn). Vi (författarna av informationsbladet) anser att några få procents överkorn är tillåtet i filtermaterial i markbäddar. Dessutom anser vi att det hade varit bättre om den vänstra kurvan i figur A hade nått 100 % vid kornstorlek 1 mm snarare än vid ca 0,4 mm som den gör enligt figur A. Detta eftersom vi bedömer det som sannolikt att ett material som inte innehåller några korn större än 0,4 mm inte kommer att fungera som filtermaterial i markbäddar.

Att följa rekommenderade gränser i figur A är särskilt viktigt vad gäller andelen av de finare kornstorlekarna i bergkrossmaterialet. Enligt figur A ska korn av storlek 0,1 mm och mindre högst utgöra 10 % av materialets vikt. Tre av fem undersökta bergkrossmaterial i studien bakom informationsbladet hade för stor andel korn av mindre storlekar än 0,125 mm, se figur 2 i bilaga 1. Detta bör undvikas eftersom en för stor andel av de finare kornen kan leda till att bädden sätts igen och att avloppsvattnet inte kan rinna igenom ordentligt.



Figur A. Rekommenderade gränser för markbäddssand (Naturvårdsverket, 1987).

Kornstorleksfördelningen säger dock inte allt om filtermaterialets funktion. Ett bergkrossmaterial kan ha en annan vattengenomsläpplighet än naturgrus även om de två materialen har liknande kornstorlekskurva. Vi rekommenderar därför att bergkrossproducenter kompletterar kornstorleksfördelning med mått på vattengenomsläpplighet hos aktuellt bergkrossmaterial som avses användas i markbäddar.

2.1 Rekommendation för naturgrus som filtermaterial

Författarnas rekommendation är att figur A ska fortsätta vara den gällande rekommendationen för naturgrus som används som filtermaterial i markbäddar med följande undantag:

- Några få procents överkorn, det vill säga korn med storlek över 8 mm, är tillåtet men halten ska inte överstiga 10 % och bör helst inte överstiga 3 %.
- Figur A tillåter material där den största storleken är ca 0,4 mm. Författarna rekommenderar att filtermaterial ska ha en kornkurva som uppnår 100 % vid som högst 1 mm.

3 Rekommendationer – kornstorlekskurva och vattengenomsläpplighet

På sikt är syftet med rekommendationerna att:

- Bergmaterialindustrin ska använda dem för att deklarera kornstorlekskurva och vattengenomsläpplighet hos materialet.
- Miljöinspektörer ska kunna använda dem vid rådgivning och tillståndsgivning.
- Markentreprenörer ska kunna använda dem som anvisningar.

3.1 Rekommendationer för bergmaterialindustrin

För varje parti av bergkrossmaterial:

1. Tvätta materialet (om det innehåller partiklar med kornstorlek 0,063 mm eller mindre). Information om tvättning finns i avsnitt 3.4.

2. Ta fram **kornstorlekskurva** för bergkrossmaterialet. Prov tas ut enligt standarden SS-EN 932-1 för att få ett prov som är representativt för det aktuella bergkrosspartiet. Analys av kornstorlekskurva sker enligt SS-EN 933-1 eller motsvarande metod.

   Kontrollera att bergkrossmaterialet uppfyller rekommendationen i avsnitt 2.1 (det vill säga samma rekommendation som för naturgruset).

   - Om *nej*, materialet bör ej användas i markbäddar. Man kan testa att justera materialet, t.ex. genom inblandning av andra sorteringar. Ta därefter fram en ny kornstorlekskurva och jämför mot rekommendationen i avsnitt 2.1.

3. Gör **vattengenomsläpplighetsmätning** av bergkrossmaterialet. Prov tas ut enligt standarden SS-EN 932-1. Vattengenomsläppligheten mäts upprepade gånger genom permeametertest i rör enligt avsnitt 3.5.1.

   Kontrollera att vattengenomsläppligheten ligger inom önskade gränser.

   - Om *ja*, bergkrosset kan anses vara OK att använda med avseende på kornstorlekskurva och vattengenomsläpplighet.

4. Deklarera bergkrossmaterialet enligt följande:

   - Ange om bergkrossmaterialet är tvättat och vilken metod som använts för tvättningen.
   - Ange om kornkurvan ligger inom kornstorleksgränserna och vilka metoder som använts för uttag av prov resp. för ta fram kornstorlekskurva.
   - Ange medelvärdet från vattengenomsläpplighetsmätningarna och det största respektive minsta värdet som mätts upp.
   - Ange om medelvärdet på vattengenomsläppligheteten ligger inom rekommenderade gränser, vilken metod som använts för mätning av vattengenomsläpplighet och antal gånger som mätningarna har upprepats.

3.2 Rekommendationer för markentreprenörer

För varje parti av bergkrossmaterial som tas emot:

1. Kontrollera att bergkrossmaterialet är deklarerat hos bergkrossproducenten enligt avsnitt 3.1, punkt 4.
    a. Om nej, se till att kornstorlekskurva tas fram enligt avsnitt 3.1, punkt 2 och att vattengenomsläpplighetsmätning utförs enligt avsnitt 3.1, punkt 3.
2. Bergkrossmaterialet kan användas som filtermaterial till markbäddar om det uppfyller rekommendationerna för kornstorlekskurva och vattengenomsläpplighet (och är tvättat om ursprungsmaterialet innehåller finmaterial, d.v.s. partiklar av kornstorlek mindre än 0,063 mm).

3.3 Rekommendationer för miljöinspektörer

Vid rådgivning:

- Rekommendera att varje parti bergkrossmaterial ska:
    a) ha en kornstorlekskurva som uppfyller rekommendationen i avsnitt 2.1 (det vill säga samma rekommendation som för naturgruset)
    b) ha en vattengenomsläpplighet som ligger inom rekommenderade gränser enligt nedan
    c) vara tvättat om ursprungmaterialet innehåller finmaterial (partiklar med kornstorlek mindre än 0,063 mm).
- Att det i första hand är bergtäkterna som ska deklarera bergkrossmaterialet. Markentreprenörer har dock ansvar för att de använder ett filtermaterial som är deklarerat eller att själva se till att mätning av kornstorlekskurva och vattengenomsläpplighet utförs.

Vid tillståndsgivning:

- Ställ som villkor att ett bergkrossmaterial som väljs som filtermaterial ska:
    a) ha en kornstorlekskurva som uppfyller rekommendationen i avsnitt 2.1 (det vill säga samma rekommendation som för naturgruset)
    b) ha en vattengenomsläpplighet som ligger inom rekommenderade gränser enligt nedan
    c) vara tvättat om ursprungmaterialet innehåller finmaterial (partiklar med kornstorlek mindre än 0,063 mm).

3.4 Tvättning

Med tvättning menas här att avlägsna partiklar med mindre diameter än 0,063 mm. Avskiljning kan t.ex. ske genom vindsiktning eller våtklassering. Partiklar som passerar en 0,063 mm-sikt räknas definitionsmässigt som finmaterial enligt standarden SS-EN 12620. Finmaterial kan ibland ”fästa” vid de större partiklarna och vara svårt att tvätta bort. Problemet är större för vissa typer av bergarter, t.ex. om de innehåller mycket kalk/lermineral. Problemet ökar också med lagringtiden efter krossning. Att tvätta bergkrossmaterialet så fort som möjligt efter krossning (inom de närmaste veckorna) gör att en större andel finmaterial kan tvättas bort på ett enklare sätt.

Även hos naturgrus kan dock finmaterial fästa vid de större partiklarna.

3.5 Beräkning av vattengenomsläpplighet

Det finns olika metoder för att beräkna vattengenomsläpplighet. I bilaga 3 redovisas en utvärdering av några olika metoder samt en motivering till de metoder som rekommenderas.

3.5.1 Permeametertest i rör

För att bedöma/deklarera vattengenomsläppligheten i varje parti bergkross rekommenderas att permeametertest i rör utförs.

Permeametertesten ska i första hand utföras enligt den metod som finns beskriven i CEN/TR 12566-2, avsnitt C.2.2 (Small tube test). Resultatet från mätningen stäms av med figur C.3 i samma avsnitt för att bergkrossmaterialet håller sig inom rekommenderade gränser. Utför minst två tester per 500 ton med delprov uttagna från partiet enligt SS-EN 932-1.

Permeametertesten kan i andra hand utföras enligt den metod som finns beskriven i CEN/TR 12566-2, avsnitt C.2.3 (Sand Test). Resultatet av mätningen stäms av med tabell C.5 i samma avsnitt för att avgöra om bergkrossmaterialet håller sig inom rekommenderade gränser. Utför minst två tester per 500 ton med delprov uttagna från partiet enligt SS-EN 932-1.

3.5.2 Fältmätningsmetod till utredningar/forskningsprojekt

Det vore också intressant att fånga upp hur bergkrossmaterialets packning i den faktiska anläggningen påverkar vattengenomsläppligheten. För detta behövs en tillförlitlig fältmetod som kan användas av sakkunniga vid utredning och inom forskningsprojekt. Ett exempel på test som kan användas är infiltrometertest med dubbelring vilket finns beskrivet i bilaga 4.

4 Rekommendation – packningsgrad och porositet

Porositetsegenskaperna hos bergkrossmaterial bedöms inte vara ett problem så länge man följer rekommendationerna i Naturvårdsverkets faktablad 8147 för hur materialet packas. I Naturvårdsverkets faktablad 8147 finns angivet:

”*Innan sanden läggs ut märks nivån ut dit sanden ska fyllas. Ett ca 30 cm tjock sandlager läggs ut, genomvattnas ordentligt och packas försiktigt. Samma procedur upprepas ytterligare ett par gånger. Sandlagret ska vara minst 80 cm tjockt. För att få ytan plan krävs avvägning. Inga fordon får köra över den.”*

”Packas försiktigt” ska bland annat tolkas som att sandlagret inte ska köras över med fordon och att man inte ska använda en vibrationsplatta på sandlagret.

5 Rekommendation – Organiskt material, bakterier och fosfor

Enligt Naturvårdsverkets allmänna råd NFS 2006:7 behöver markbäddar vara urinavlastade eller fosforavlastade på annat sätt för att uppnå reduktionskraven för fosfor för normal miljöskyddsnivå. För markbäddar med bergkrossmaterial som filtermaterial rekommenderas liksom för naturgrus att komplettera markbädden med ytterligare fosforinbindning (t.ex. en fosforfälla eller kemisk fällning i slamavskiljaren).

Observera att rekommendationen om ytterligare fosforavlastning/urinavlastning enligt NFS 2006:7 gäller för markbäddar (markbaserad anläggning med tät botten) och inte för infiltrationsanläggningar (markbaserad anläggning med genomsläpplig botten, avloppsvattnet fortsätter infiltrera till grundvattnet).

Reningen av organiskt material och bakterier i bergkrossmaterial anses vara jämförbar med reningen i naturgrus. Inga särskilda åtgärder krävs.

Resonemang kring kväve hittas i bilaga 1 under rubriken ”Resonemang kring kväverening”.

6 Rekommendation – utlakning av ämnen

Miljöinspektörer och markentreprenörer bör ha kännedom om en täkt/ett område förknippas med innehåll av skadliga ämnen (t.ex. svavel, arsenik, bly, kadmium, kobolt, koppar, krom, kvicksilver, molybden, nickel, vanadin och zink) som är bundna till sulfider/sulfater, oxider eller annat som kan tyda på ökad risk för utlakning.

Observera att utlakning av ämnen beror på den mineralogiska sammansättningen hos den bergart som ingår i materialet. Såväl hos bergkross som hos naturgrus kan det vara stor variation på vilken typ av mineralogi som ingår. Man kan därför inte säga att lakning av farliga ämnen generellt sett skulle vara ett större eller mindre problem för bergkross än för naturgrus. Rekommendationen om kännedom om bakgrundshalter hos en täkt/ett område borde gälla för såväl naturgrus som bergkross.

Idag saknas framtagna gränsvärden för arsenik, bly, kadmium, kobolt, koppar, krom, kvicksilver, molybden, nickel, vanadin och zink. Läs mer om detta i bilaga 1, informationsruta 10.

Vidare läsning

Laak, R. Subsurface Soil System. In *Wastewater Engineering Design for Unsewered Areas*; Technomic Publishing Company: Lancaster, PA, USA, 1986.

Naturvårdsverkets faktablad 8147, 2003, Naturvårdsverket Fakta.

Naturvårdsverket, 1987, Små avloppsanläggningar – Hushållsspillvatten från högst 5 hushåll. Naturvårdsverkets Allmänna Råd 87:6.

NFS 2006:7 – Naturvårdsverkets allmänna råd [till 2 och 26 kap. miljöbalken och 12-14 och 19 §§ förordningen (1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd] om små avloppsanordningar för hushållsspillvatten.

SIS-CEN/TR 12566-2:2006, Avlopp – Reningsanläggning upp till 50 PT – Del 2: Infiltration i mark, Teknisk rapport, European Committee for Standarization.

SS-EN 12620+A1:2008 Ballast för betong. Svensk Standard. SIS, Swedish Standards Institute.

SS-EN 932-1 Ballast – Generella metoder – Del 1: Metoder för provtagning. Svensk Standard. SIS, Swedish Standards Institute.

SS-EN 933-1 Ballast – Geometriska egenskaper – Del 1: Bestämning av kornstorleksfördelning – Siktning. Svensk Standard. SIS, Swedish Standards Institute.

De rapporter som legat till grund för informationsbladet hittas i referenslistan i bilaga 1.

Bilaga 1. Studien bakom ”Informationsblad – Rekommendationer för bergkross som filtermaterial i markbäddar”

Bakgrund till framtaget informationsblad

Detta informationsblad har tagits fram av Elin Elmefors och Emelie Ljung, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik med hjälp av Björn Schouenborg, Lovise Casserstedt och Magnus Döse, CBI Betonginstitutet; Peter Nilsson, VA-Teknik & Vattenvård; Sven Wallman, NCC Construction Sverige AB samt Mattias Göransson, SGU (Sveriges Geologiska Undersökning). Informationsbladet har tagits fram med medel från Havs- och vattenmyndigheten 1:12-anslaget Åtgärder för havs- och vattenmiljö.

Ett utkast på framtaget informationsblad inkl. bilaga 1 har granskats av ett antal markentreprenörer och bergmaterialleverantörer. En del av deras synpunkter var inte möjliga att arbeta in i den nuvarande versionen av informationsbladet, men finns beskrivna i bilaga 2 för att understryka behovet av kommande studier.

Innehållsförteckning till bilaga 1

Bilaga 1. Studien bakom ”Informationsblad – Rekommendationer för bergkross som filtermaterial i markbäddar” 10
Bakgrund till framtaget informationsblad 10
Innehållsförteckning till bilaga 1 10
Syfte/mål 11
Material och analyser 11
Kornstorleksfördelning och vattengenomsläpplighet 12
Metoder för att påverka kornstorleksfördelning och vattengenomsläpplighet 16
Beräkning av vattengenomsläpplighet 19
Packning och porositet 21
BET-yta 23
Tidigare genomförda kolonnförsök – reningseffekt av totalfosfor, organiskt material och bakterier 24
Organiskt material och bakterier 24
Fosfor 27
Resonemang kring kväverening 29
Kemisk sammansättning – totalanalys och laktester 29
Analysresultat för genomförda totalanalyser 31
Analysresultat för genomförda laktester 31
Jämförelse med andra länder 34
Referenser 35

Syfte/mål

Naturgrus är en ändlig resurs som är viktig för vattenförsörjningen. Bland Sveriges miljökvalitetsmål ingår omställning från naturgrus till bergkross där så är möjligt (”Grundvatten av god kvalitet”). Syftet med framtaget informationsblad är att förenkla och kvalitetssäkra användningen av bergkrossmaterial i samband med byggande av markbaserade avloppsanläggningar så att bergkross på ett ändamålsenligt sätt på sikt kan ersätta naturgrus.

Målet är att informationsbladet ska redogöra för tekniska krav vid användning av bergkrossmaterial i markbaserade avloppsanläggningar samt förväntade funktionsskillnader jämfört med naturgrusbaserade system. Informationsbladet ska fungera som ett verktyg som miljöinspektörer kan använda vid rådgivning och tillståndsgivning samt som anvisning för markentreprenörer och bergmaterialindustrin.

Material och analyser

Presenterade slutsatser och data i bilaga 1 bygger i huvudsak på analys av kornstorlekfördelning, vattengenomsläpplighet, porositet, utlakningshalter, totalhalter samt kornform och BET-yta hos bergkrossmaterial från fem olika täkter. Ett referensmaterial har tagits från varje täkt, i form av sortering 0/8 hos fyra av täkterna och av sortering 0/12 hos den femte täkten. Från tre av de fem täkterna har även justerade material studerats. Totalt har således åtta sorteringar studerats (Tabell 1). Naturgruset (Natur), samt två sorteringar av krossat berg (T1-ref, T1-just), har även ingått i en tidigare studie genomförd av JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik[1]. Genom praktiska kolonnförsök beskickades det tidigare obelastade, och otvättade, filtermaterialet med avloppsvatten under 24 veckor. Resultat från kolonnförsöken (reningseffekt av totalfosfor, organiskt material och bakterier) kompletterar analyser genomförda i studien bakom informationsbladet.

[1] Elmefors & Ljung (2013) *Markbäddars uppstartstid och påverkan på bäddens funktion vid användning av krossat berg – Uppstartsfas*. JTI-rapport 2013, Kretslopp & Avfall nr 48. JTI – Institutet for jordbruks- och miljöteknik.

Tabell 1. De undersökta materialen, ett naturgrus och fem olika bergkrossmaterial (totalt åtta bergkrossorteringar). Ett material representeras även av en storleksjusterad sortering, och två material representeras även av sorteringar krossade m.h.a. kross-metoden VSI.

Material - benämning	**Bergart /ingående material**	**Kommentar**
Natur	Bergart med 90 % granit	Naturgrus 0/8
T1-ref T1-just	Grå, till grå-mörk, gnejsig tonalit (enligt uppskattning)	Bergkross 0/8 Det finns risk för att materialet från täkten T1 är heterogent med avseende på bergartssammansättning. Det går därför inte att dra för hårda slutsatser mellan bergartssammansättningen och övriga egenskaper som mäts i studien (lakinnehåll etc.) hos materialet. T1-just är en vanlig 0/8-sortering med inblandning av annan sortering.
T2-ref	Hyperitdiabas	Bergkross 0/8
T3-ref	Gnejsig granit	Bergkross 0/8
T4-ref T4-VSI	Gnejsig granit	Bergkross 0/8 T4-VSI har tagits fram m.h.a. krossmetoden VSI[a].
T5-ref T5-VSI	Gnejsig gra-nodiorit	Bergkross 0/12 (T5-ref) Bergkross 0/8 (T5-VSI) T5-ref har en stor andel korn över 8 mm, ca 30 % av materialets vikt. T5-VSI har tagits fram m.h.a. krossmetoden VSI[a].

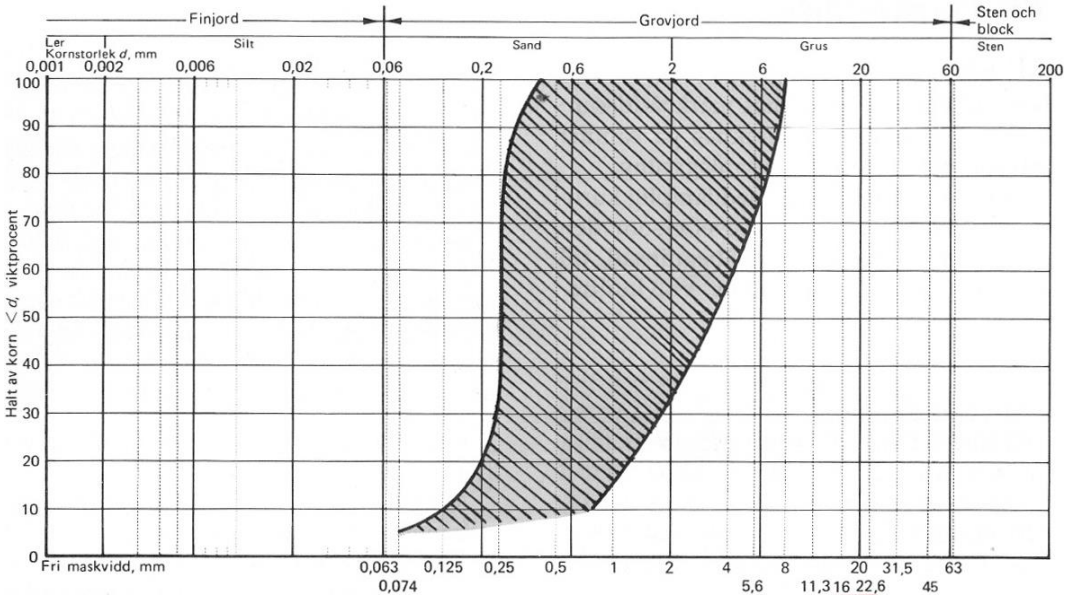
[a] VSI (Vertikal Shaft Impactor) är en krossmetod där flisiga bergkrosspartiklar slås sönder till en mera kubisk form. Se ytterligare information om VSI-krossning i Informationsruta 3.

Kornstorleksfördelning och vattengenomsläpplighet

I Naturvårdsverkets faktablad 8147 finns rekommenderade gränser för kornstorlekskurvan hos markbäddssand (det grå fältet i figur 1). Mer information om Naturvårdsverkets faktablad 8147 finns i informationsruta 1. Gränserna har tagits fram med hänsyn till att materialet ska släppa igenom vatten tillräckligt fort samtidigt som reningseffektiviteten ska vara tillräckligt bra. Stor andel av grövre fraktioner är en bidragande orsak till att vatten släpps igenom snabbare medan stor andel av finare fraktioner bidrar till högre reningseffektivitet.

Bland de material som ingått i studien ligger de flesta kornstorlekskurvorna huvudsakligen inom Naturvårdsverkets faktablad 8147 rekommenderande gränser (se figur 2). Naturgruset (Natur) som har använts i studien har en mindre andel av de finare kornstorlekarna upp till 0,125 mm och en större andel av kornstorlekar mellan 0,25 och 1 mm jämfört med bergkrossmaterialen. Tre av de fem bergkrossmaterialen har en större andel av fraktionerna upp till 0,125 mm än rekommenderat. En större andel finmaterial kan bidra till att materialet sätts igen och att vattengenomsläppligheten blir för dålig.

Enligt figur 1 ska korn av storlek 0,1 mm och mindre högst utgöra 10 % av materialets vikt. Ett vanligt krav i andra länder, bland annat Frankrike, är att korn av storlek 0,2 mm och mindre högst ska utgöra 10 % av materialets vikt (Liénard m.fl., 2001). Det kan därmed noteras Sverige ställer lägre krav än en del andra länder.



Figur 1. Rekommenderade gränser för markbäddssand (Naturvårdsverket, 1987).

Informationsruta 1. Naturvårdsverkets allmänna råd 87:6.

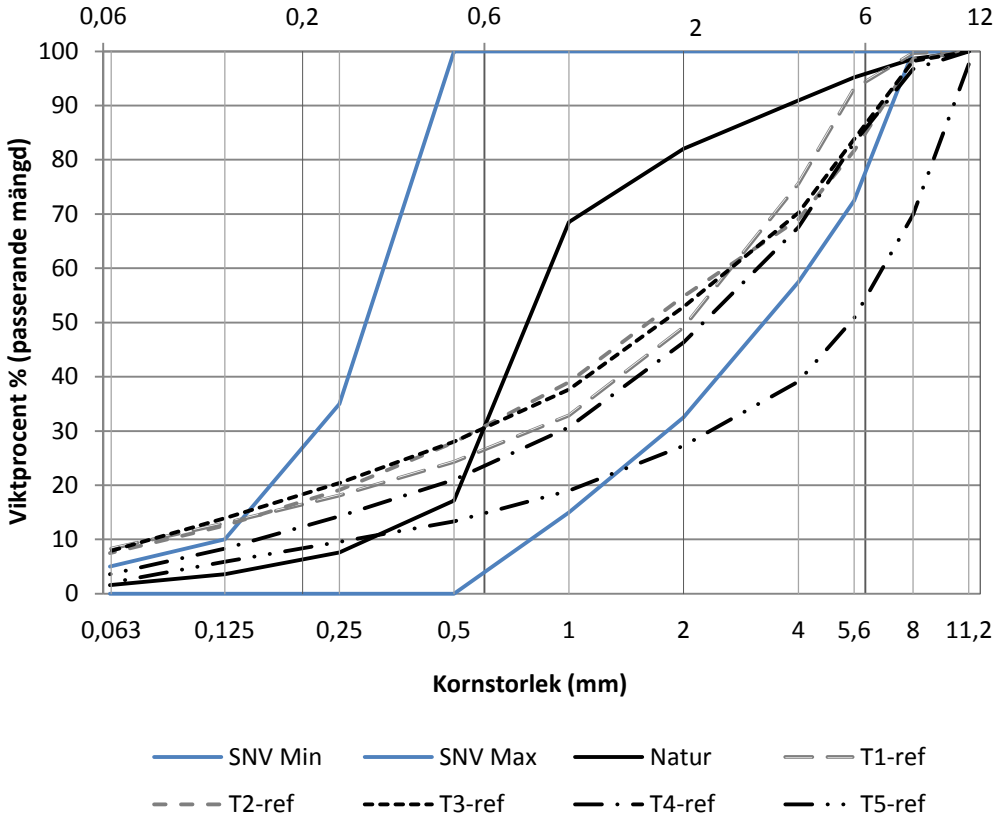
Naturvårdsverket gav år 1987 (SNV AR 87:6) ut allmänna råd för små avloppsanläggningar[1]. Råden innehöll tekniska beskrivningar och rekommendationer om de typer av infiltrationsanläggningar, markbäddar och minireningsverk som var aktuella då råden skrevs. När SNV AR 87:6 togs fram var naturgrus det dominerande materialet.

I oktober 2002 drog Naturvårdsverket in SNV AR 87:6, men det tekniska innehållet gäller fortfarande och nypublicerades 2003 som Naturvårdsverkets faktablad 8147. Naturvårdsverkets faktablad 8147 innehåller bl.a. information om hur markbaserade reningsanläggningar ska utformas, dimensioneras och beskickas (rekommenderad belastning är 50 l/m^2 och dygn).

[1] Naturvårdsverkets nya allmänna råd om små avloppsanordningar trädde i kraft under 2006 (NFS 2006:7). I NFS 2006:7 ligger betoningen på anläggningarnas funktion istället för deras konstruktion som i de tidigare allmänna råden (SNV AR 87:6).

Bergkrossmaterialet T5-ref, som är ett 0/12-material, ligger utanför rekommenderade gränser i Naturvårdsverkets faktablad 8147 (kurvan ”SNV max” i figur 2) vilket i detta fall beror på att materialet innehållet en mycket stor andel korn över 8 mm. De rekommenderade kravgränserna för naturgrus enligt figur 1 förutsätter att kornstorlekar över 8 mm (överkorn) inte ska finnas hos 0/8-material. En för stor andel överkorn hos filtermaterial i markbäddar skulle kunna leda till att vatten rinner igenom bädden så snabbt att avloppsvatten inte hinner renas ordentligt. I praktiken är det dock så att bergkrossmaterial av sortering 0/8 alltid har en mindre andel korn över 8 mm. I andra produktsammanhang finns standarder med krav på andelen överkorn. I SS-EN 12620 Ballast för betong rekommenderas t.ex. för 0/8-material att andelen material som passerar en 8 mm-sikt åtminstone ska ligga över 90 % av viktprocent. Det behövs dock ytterligare studier kring vilka kornstorleksgränser som ska gälla för bergkross i markbäddar och hur hårda krav på överkorn som behöver ställas i just det sammanhanget. Tills vidare rekommenderas dock att kravgränserna för naturgrus, enligt figur 1, följs även för bergkross men att några få procents överkorn är tillåtet i filtermaterial i markbäddar. Dessutom anser vi att det hade varit bättre om den vänstra kurvan i figur 1 hade nått 100 % vid kornstorlek 1 mm snarare än vid ca 0,4 mm som den gör enligt figur 1. Detta eftersom vi bedö-

mer det som sannolikt att ett material som inte innehåller några korn större än 0,4 mm inte kommer att fungera som filtermaterial i markbäddar.



Figur 2. Kornstorlekskurva för naturgrus och de fem referensmaterialen. Rekommenderade kravgränser för markbäddssand från Naturvårdsverkets faktablad 8147 har markerats ungefärligt med blå linjer.

Inom studien mättes vattengenomsläpplighet hos alla material enligt beskrivning i informationsruta 2. Tiden, i minuter, som det tog för vattnet att rinna igenom naturgrus och alla bergkrossmaterial som tillverkats på vanligt sätt redovisas i figur 3.

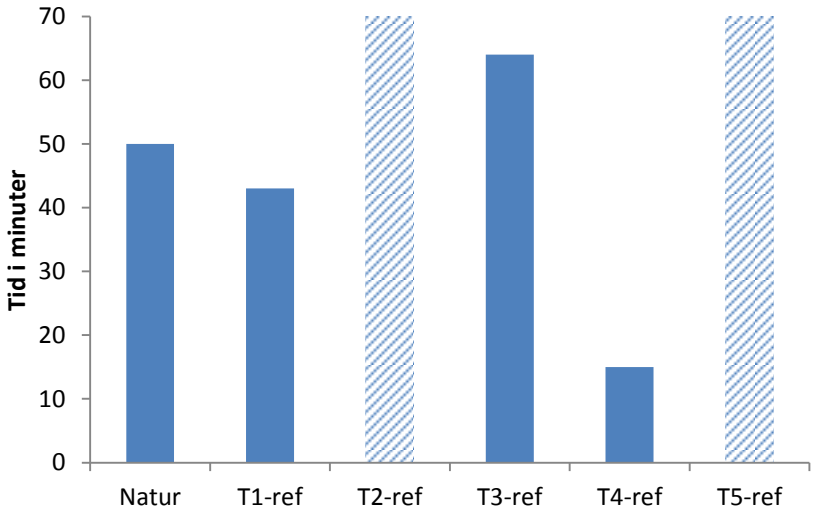
Informationsruta 2. Metod som användes för vattengenomsläpplighetsmätning under studien.

Uppställning:

- Ett vanligt avloppsrör i plast med innerdiametern 10 cm står vertikalt uppställt på en sikt som tillåter vatten att rinna igenom. Sikten är tillräckligt fin för att förhindra annat material att ta sig igenom.
- Provet som ska testas fylls upp i röret till 40 cm höjd.
- Provet vattenmättas, d.v.s. vatten får rinna igenom materialet tills det att allt material är blött.

Genomförande:

- När provet är vattenmättat kan provningen börja.
- Tio liter vatten får passera det vattenmättade provet under tidtagning. Detta upprepas tre gånger.
- Medelvärdet av tiden för de tre mätningarna beräknas.



Figur 3. Vattengenomsläpplighet i minuter för naturgrus och de fem referensmaterialen. Vattnet rann igenom T2-ref och T5-ref så pass långsamt att mätningarna fick avslutas innan tio liter hunnit passerat (efter 1,5–2 timmar), vilket markeras med streckat mönster.

För alla material förutom T5-ref verkar vattengenomsläppligheten hänga ihop med kornstorlekskurvan. T4-ref som har högre vattengenomsläpplighet än de andra har också mindre andel finkornigt material än T1-ref, T2-ref och T3-ref. T2-ref och T3-ref släpper igenom vatten långsamt och har också kornstorlekskurvor som tyder på relativt mycket finmaterial. T5-ref har en kornkurva som ligger innanför minimigränsen för rekommenderad kornstorleksfördelning och som rentav ligger på maximigränsen för de grövre fraktionerna. Materialet innehåller dock tillräcklig mängd material med kornstorlek < 0,25 mm (10 %) för att det skulle kunna påverka vattengenomsläppligheten. Men varken kornkurva eller porositeten förklarar varför T5-ref har sämre vattengenomsläpplighet än T1-ref och T4-ref. Anledningen kan vara att materialets egenskaper varierar mellan olika prov. Det osäkra resultatet tyder på att det är bra att mäta både kornkurva och vat-

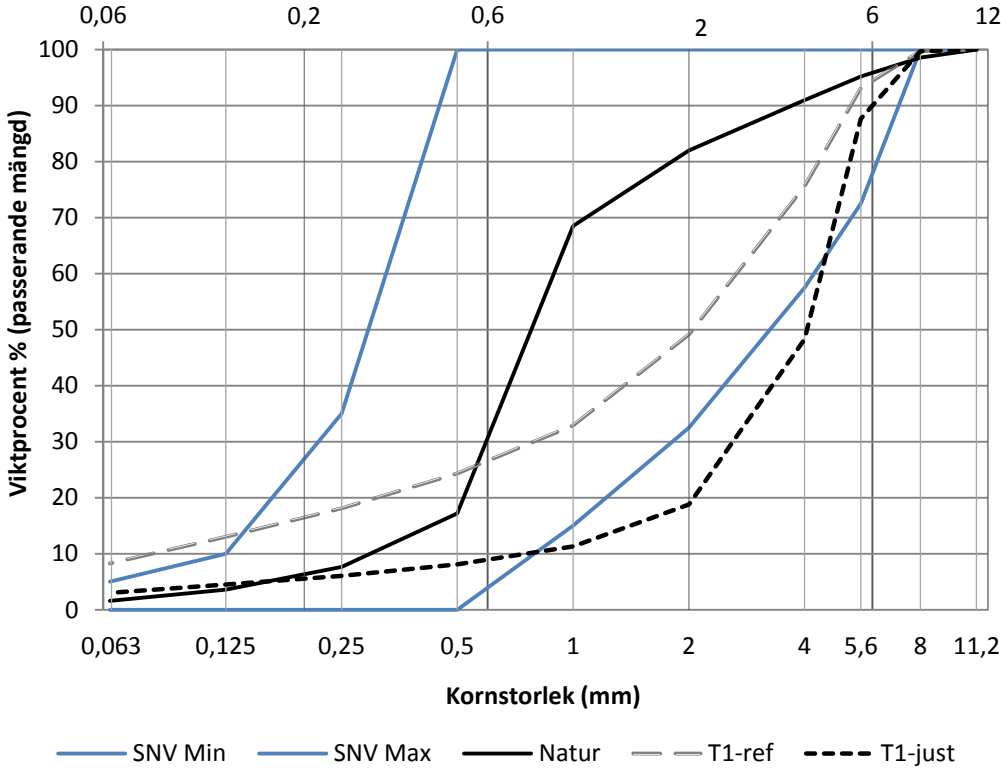
tengenomsläpplighet för att få tillräckligt med information om det bergkross-material som man avser använda i markbädd.

Metoder för att påverka kornstorleksfördelning och vattengenom-släpplighet

Exempel på metoder för att påverka kornstorleksfördelning och vattengenom-släpplighet är inblandning av andra sorteringar (d.v.s. sorteringar där finmaterialet sorterats bort), krossning i VSI-kross och tvättning.

Inblandning av andra sorteringar

I projektet hade ett material, T1, fått en inblandning av ett material som saknade den finaste fraktionen. Materialet (T1-just) har en kornstorlekskurva enligt figur 4. Justering har gjort att T1-just till skillnad från T1-ref hamnat inom rekommenda-tionen för finfraktionen men en bra bit utanför rekommendationen för fraktioner mellan ungefär 1 mm och 4 mm. Det kan dock tilläggas att kornstorleksfördel-ningen för T1-just samtidigt blivit mer homogen (en stor andel korn har ungefär samma kornstolek, vilket anses vara en fördel i Norge och USA). T1-just har också en betydligt lägre vattengenomsläpplighet på ca 9 min jämfört med än T1-ref på ca 43 min (se figur 6).



Figur 4. Kornstorlekskurva för naturgrus (Natur), T1-ref och det justerade T1-materialet (T1-just). Rekommenderade gränser för markbäddssand från Naturvårdsverkets faktab-lad 8147 har markerats ungefärligt med blå linjer.

Krossning med VSI-metod

Två av projektets material, T4 och T5, har krossats genom krossmetoden VSI (Vertikal Shaft Impactor). VSI-krossningen har genomförts inom ramen för ett annat projekt där man generellt använde sorteringen 4/8 mm, som efter VSI-

krossning blev ett 0/8 material. Krossmetoden slår sönder flisiga bergkrosspartiklar till en mera kubisk form för att bli mer lik den naturliga formen hos naturgrus. Mer information om VSI-krossning finns i informationsruta 3.

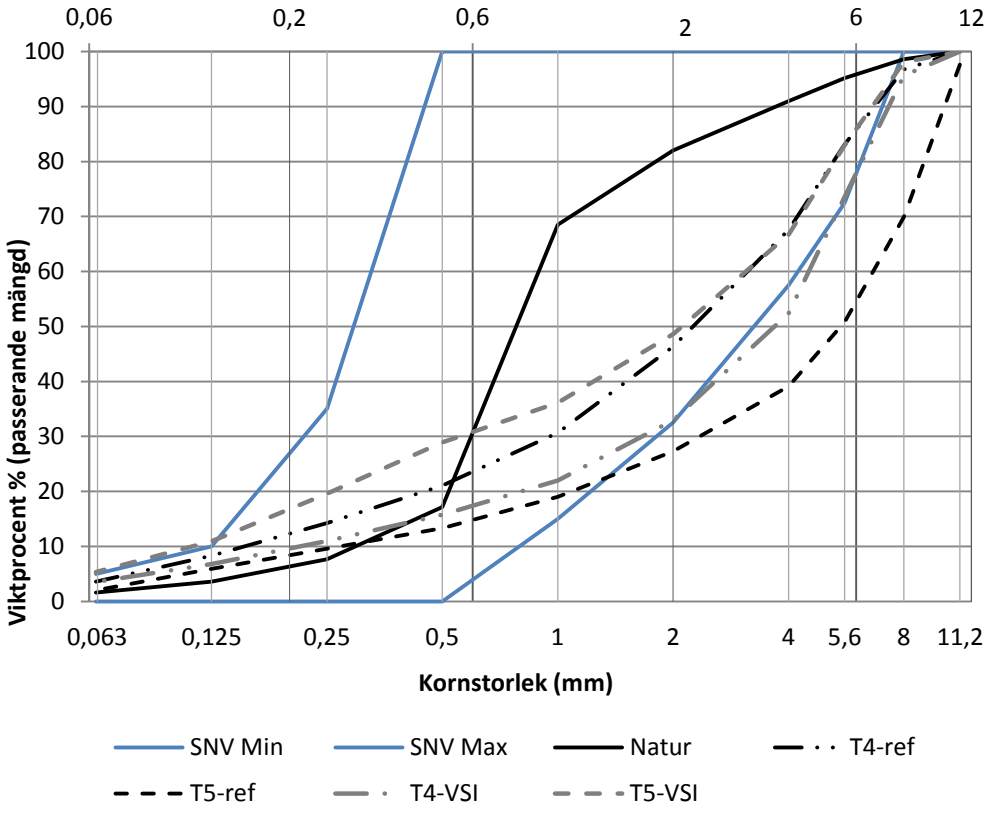
Informationsruta 3. Principen hos en VSI-kross.

VSI står för Vertical Shaft Impactor.

VSI-krossens princip är en centralt placerad rotor, vilken ofta har tre eller fyra utkastarportar (luckor). Själva rotorn med portar omsluts av ett cirkulärt hölje av stål, där innerväggen av stålhöljet även utgör del i själva krossningstekniken.

En del av materialflödet går igenom rotorn och slungas ut mot det andra delflödet som går på utsidan av rotorn så att kornen krossas mot varandra. Rotorn kan genom frekvensomvandlare ha olika varvtal, vilket påverkar energianslaget mot kornen och slutligen kornformen.

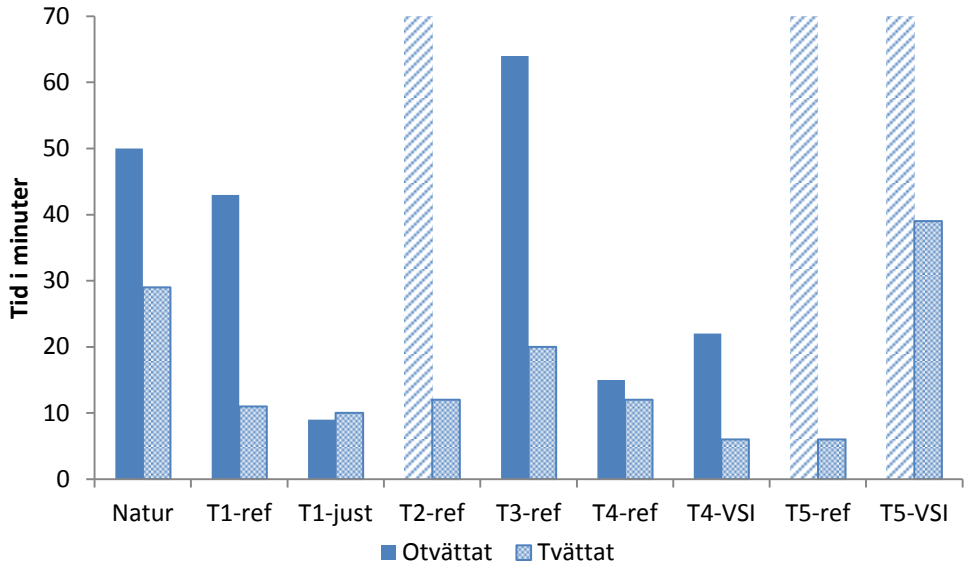
I figur 5 syns att kornkurvan från VSI-krossning har flyttats både uppåt och neråt jämfört med referensmaterialen. Kornstorlekskurvan kan påverkas olika av VSI-krossning beroende på materialets och krossningens förutsättningar. Vattengenomsläpplighetstesterna visade en lite lägre vattengenomsläpplighet för VSI-krossat material från T4 än referensmaterialet från samma täkt. För material T5 var vattengenomsläppligheten så låg att mätningen inte var genomförbar vare sig för referensmaterial eller VSI-krossat material, se figur 6.



Figur 5. Kornstorlekskurva för naturgrus och materialen T4 och T5 som krossats på vanligt vis (referensmaterial), eller genom krossning med VSI-metod. Rekommenderade gränser för markbäddssand från Naturvårdsverket (2006) har markerats ungefärligt med blå linjer.

Tvättning

Att ”tvätta” materialen för att få bort de finaste fraktionerna kan ha stor påverkan på vattengenomsläppligheten. Med tvättning menar vi i detta sammanhang att finmaterialet (korn med mindre diameter än 0,063 mm) avlägsnas, t.ex. genom våtklassering. En annan tillämpbar teknik är vindsiktning. Under studien tvättades alla material med en 0,063 mm-sikt, och det framgår av figur 6 att alla material utom T1-just och T4-ref fick en betydligt snabbare vattengenomsläpplighet än tidigare. Dessa referensmaterial hade dock redan en hög vattengenomsläpplighet. Tvättning verkar alltså vara ett effektivt sätt att öka vattengenomsläppligheten. Man ska dock komma ihåg att en alltför hög vattengenomsläpplighet kan leda till att avloppsvattnet inte hinner renas tillräckligt i markbädden.



Figur 6. Vattengenomsläpplighet för alla testade material med och utan tvättning. Vattnet rann igenom otvättade T2-ref, T5-ref och T5-VSI så pass långsamt att mätningarna fick avslutas innan tio liter hunnit passera vilket markeras med streckat mönster.

Informationsruta 4. Tvättning.

Med tvättning menas här att avlägsna partiklar med mindre diameter än 0,063 mm. Avskiljning kan t.ex. ske genom vindsiktning eller våtklassering. Partiklar som passerar en 0,063 mm-sikt räknas definitionsmässigt som finmaterial enligt SS-EN 12620.

Tvättning av materialet kan, förutom att avlägsna finmaterial, också bidra till att minska kvävemängden i materialet (nitrat är vattenlösligt). Kvävemängden i materialet kan variera beroende på sprängningsteknik.

Finmaterial kan ibland ”fästa” vid de större partiklarna och vara svårt att tvätta bort. Problemet är större för vissa typer av bergarter, t.ex. om de innehåller mycket kalk. Problemet ökar också med lagringtiden efter krossning. Att tvätta bergkrossmaterialet så fort som möjligt efter krossning (inom de närmaste veckorna) gör att en större andel finmaterial kan tvättas bort på ett enklare sätt. Att finmaterial fäster vid de större partiklarna är ett minst lika stort problem för naturgrus som för bergkross.

Rekommendation 1. Tvättning.

Allt bergkrossmaterial som innehåller finmaterial (partiklar finare än 0,063 mm) bör tvättats, d.v.s. partiklar finare än 0,063 mm i diameter bör avlägsnas.

Beräkning av vattengenomsläpplighet

Det finns olika metoder för att beräkna vattengenomsläpplighet. I bilaga 3 redovisas en utvärdering av några olika metoder samt en motivering till de metoder som rekommenderas.

Permeametertest i rör – test för bedömning av material

För att bedöma/deklarera vattengenomsläppligheten i varje parti bergkross rekommenderas att permeametertest i rör utförs.

Permeametertesten ska i första hand utföras enligt den metod som finns beskriven i CEN/TR 12566-2, avsnitt C.2.2 (Small tube test). Resultatet från mätningen stäms av med figur C.3 i samma avsnitt för att bergkrossmaterialet håller sig inom rekommenderade gränser. Utför minst två tester per 500 ton med delprov uttagna från partiet enligt SS-EN 932-1.

Permeametertesten kan i andra hand utföras enligt den metod som finns beskriven i CEN/TR 12566-2, avsnitt C.2.3 (Sand Test). Resultatet av mätningen stäms av med tabell C.5 i samma avsnitt för att avgöra om bergkrossmaterialet håller sig inom rekommenderade gränser. Utför minst två tester per 500 ton med delprov uttagna från partiet enligt SS-EN 932-1.

Fältmätningsmetod till utredningar/forskningsprojekt

Det vore också intressant att fånga upp hur bergkrossmaterialets packning i den faktiska anläggningen påverkar vattengenomsläppligheten. För detta behövs en tillförlitlig fältmetod som kan användas av sakkunniga vid utredning och inom forskningsprojekt. Ett exempel på test som kan användas är infiltrometertest med dubbelring vilket finns beskrivet i bilaga 4.

Rekommendation 2. Korngränser för naturgrus som filtermaterial

Författarnas rekommendation är att figur A ska fortsätta vara den gällande rekommendationen för naturgrus som används som filtermaterial i markbäddar med följande undantag:

- Några få procents överkorn, det vill säga korn med storlek över 8 mm, är tillåtet. 10 % överkorn ska inte överskridas och allra helst bör halten inte överstiga 2–3 %.
- Figur A tillåter material där den största storleken enbart är knappt 0,5 mm. Författarna rekommenderar att filtermaterial bör ha en kornkurva som uppnår 100 % vid som högst 1 mm.

Rekommendation 3. Metod för vattengenomsläpplighetsmätning

Test av vattengenomsläpplighet ska i första hand utföras enligt den metod som finns beskriven i CEN/TR 12566-2, avsnitt C.2.2 (Small tube test). Resultatet från mätningen stäms av med figur C.3 i samma avsnitt för att kontrollera att bergkrossmaterialet håller sig inom rekommenderade gränser. Utför minst två tester per 500 ton med delprov uttagna från partiet enligt SS-EN 932-1.

Rekommendation 4. Bedömning och justering av bergkrossmaterial som avses användas till markbäddar genom att ta fram kornstorlekskurva och mäta vattengenomsläpplighet.

På sikt är syftet med rekommendationerna att:

- Bergmaterialindustrin ska använda dem för att deklarera kornstorlekskurva och vattengenomsläpplighet hos materialet.
- Miljöinspektörer ska använda dem vid rådgivning och tillståndsgivning
- Markentreprenörer ska använda dem som anvisningar.

Rekommendationer för bergmaterialindustrin

För varje parti av bergkrossmaterial:

1. Tvätta materialet (om det innehåller partiklar med kornstorlek 0,063 mm eller mindre). Information om tvättning finns i rekommendation 1.
2. Ta fram **kornstorlekskurva** för bergkrossmaterialet. Prov tas ut enligt standarden SS-EN 932-1 för att få ett prov som är representativt för det aktuella bergkrosspartiet. Analys av kornstorlekskurva sker enligt SS-EN 933-1 eller motsvarande metod.

   Kontrollera att bergkrossmaterialet uppfyller rekommendation 2 (det vill säga samma rekommendation som för naturgruset).

   Om nej, materialet bör ej användas i markbäddar. Man kan testa att justera materialet, t.ex. genom inblandning av andra sorteringar. Därefter tas en ny kornstorlekskurva fram och jämförs mot gränsvärdena enligt rekommendation 3.
3. Gör **vattengenomsläpplighetsmätning** av bergkrossmaterialet. Prov tas ut enligt standarden SS-EN 932-1. Vattengenomsläppligheten mäts upprepade gånger genom permeametertest i rör enligt rekommendation 3.

   Kontrollera att vattengenomsläppligheten ligger inom önskade gränser.

   - Om *ja*, bergkrosset kan anses vara OK att använda med avseende på kornstorlekskurva och vattengenomsläpplighet.
4. Deklarera bergkrossmaterialet enligt följande:

   - Ange om bergkrossmaterialet är tvättat och vilken metod som använts för tvättningen.
   - Ange om kornkurvan låg inom kornstorleksgränserna samt vilka metoder som använts för uttag av prov resp. för ta fram kornstorlekskurva.
   - Ange medelvärdet av vattengenomsläpplighetsberäkningarna och det största respektive minsta värdet som mättes upp.
   - Ange om medelvärdet på vattengenomsläppligheteten ligger inom rekommenderade gränser och vilken metod som använts för mätning av vattengenomsläpplighet samt antal gånger som mätningarna har upprepats.

Rekommendationer för markentreprenörer

För varje parti av bergkrossmaterial som tas emot:

1. Kontrollera att bergkrossmaterialet är deklarerat hos bergtäkten enligt rekommendationerna för bergmaterialindustrin.
    a. Om nej, se till att kornstorlekskurva tas fram och att vattengenomsläpplighetsmätning utförs enligt rekommendationerna.
2. Bergkrossmaterialet kan användas som filtermaterial till markbäddar uppfyller rekommendationerna för kornstorlekskurva och vattengenomsläpplighet (och är tvättat om ursprungsmaterialet innehåller finmaterial, d.v.s. partiklar av kornstorlek mindre än 0,063 mm).

Rekommendationer för miljöinspektörer

Vid rådgivning:

- Rekommendera att varje parti bergkrossmaterial ska:
    a) Ha en kornstorlekskurva uppfyller rekommendation 2 (det vill säga samma rekommendation som för naturgruset).
    b) Ha en vattengenomsläpplighet som ligger inom rekommenderade gränser enligt ovan.
    c) Vara tvättat om ursprungmaterialet innehåller finmaterial (partiklar med kornstorlek mindre än 0,063 mm).
- Att det i första hand är bergtäkterna som ska deklarera bergkrossmaterialet. Markentreprenörer har dock ansvar för att de använder ett filtermaterial som är deklarerat eller att själva se till att mätning av kornstorlekskurva och vattengenomsläpplighet utförs.

Vid tillståndsgivning:

- Ha som villkor att ett bergkrossmaterial som väljs som filtermaterial ska:
    a) Ha en kornstorlekskurva som uppfyller rekommendation 2 (det vill säga samma rekommendation som för naturgruset).
    b) Ha en vattengenomsläpplighet som ligger inom rekommenderade gränser enligt ovan.
    c) Vara tvättat om ursprungmaterialet innehåller finmaterial (partiklar med kornstorlek mindre än 0,063 mm).

Packning och porositet

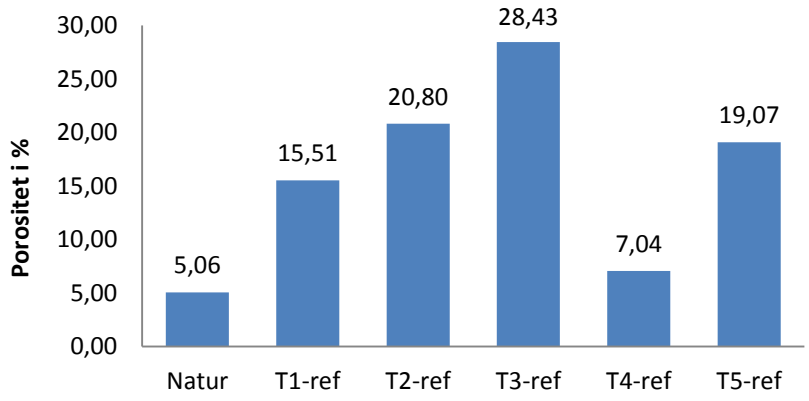
Porositeten, alltså den volym av materialet som upptas av hålrum, kan påverka vattengenomsläpplighet och materialets reningseffektivitet. En allt för låg porositet kan leda till dålig vattengenomsläpplighet. En för hög porositet kan bl.a. leda till att vatten rinner igenom för snabbt och att det finns för få ytor för att biohud ska kunna etableras ordentligt. Under studien mättes porositeten hos materialen enligt beskrivningen i informationsruta 5. Metoden som har använts borde kunna räknas som ett mått på ”effektiv porositet” (eller dränerbar porositet) vilket definieras som ”den volymandel vatten som dräneras om grundvattenytan sjunker” enligt

Grip och Rodhe (1985). Karakteristiska värden på effektiv porositet ligger enligt Espeby och Gustafsson (1998) på 15–25 % hos fingrus, sand och grovsilt och på 3–5 % för sandig moig morän. Naturgruset i studien har en effektiv porositet på ca 5 %. Referensmaterialen för bergkross har en porositet som går från att vara ungefär lika som naturgruset (T2-ref) till att vara ca fem gånger större (T5-ref), se figur 7. Det finns inget tydligt samband mellan porositet och kornstorleksfördelning för referensmaterialen. T2-ref och T3-ref har t.ex. väldigt lika kornstorleksfördelning (se figur 2) men skiljer sig åt vad gäller porositet (figur 7). Porositetsegenskaperna hos bergkrossmaterial bedöms inte vara ett problem så länge man följer rekommendationerna i Naturvårdsverkets faktablad 8147 för hur materialet packas (se rekommendation 5).

Informationsruta 5. Metod som användes för porositetsmätning under studien.

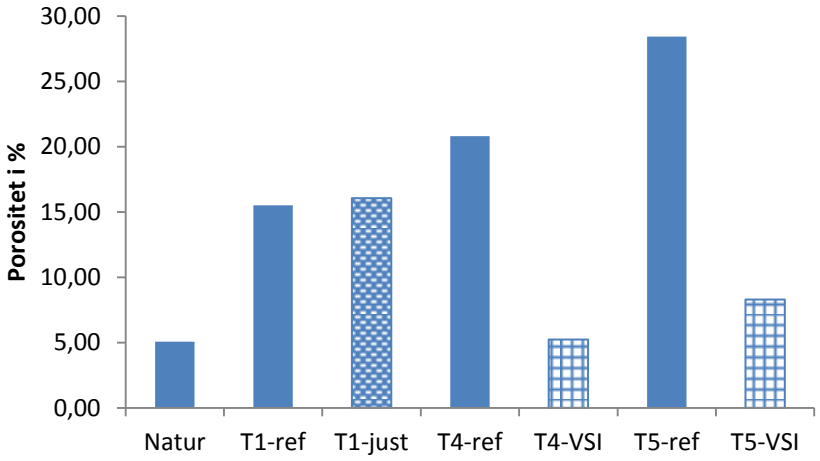
Ett mätglas fylldes med prov från respektive material, upp till sträcket för 1200 ml. Detta vägdes och vikten noterades. Provet vattenmättades sedan och vägdes igen. Till sist fylldes vatten i mätglaset upp till 1200 ml-sträcket och vägdes en tredje gång. Porositeten räknades sedan ut utifrån skillnad mellan vikt hos vattenmättat prov och fuktigt prov.

Mätningen utfördes en gång för varje material.



Figur 7. Porositet, alltså den volym som hålrummen upptar, hos naturgruset och referensmaterialen i %.

En faktor som påverkar porositeten är vilken form jordkornen har. Krossmaterial har generellt en mera kantig form än naturgrus, vilket generellt ger högre porositet hos bergkrossmaterialet – så länge inte bergkrosset packas hårt genom t.ex. vibrering eller kompaktering (Lagerblad, 2011). I figur 8 kan man se att VSI-krossning ger en lägre porositet medan justering med inbladning (T1-just) inte verkar ge någon större skillnad i porositet. Detta kan bero på att VSI-krossningen ger bergkrossmaterialet en mer kubisk form.



Figur 8. Porositet, alltså den volym som hålrummen upptar i %, hos naturgruset och materialen från täkterna T1, T4 och T5.

Informationsruta 6. Information om porositet.

Låg porositet hos filtermaterial i markbäddar kan å ena sidan leda till igensättning i bädden. Alltför hög porositet kan å andra sidan leda till att avloppsvatten rinner igenom filtermaterialet för snabbt för att hinna renas ordentligt.

Rekommendation 5. Packning och porositet.

Porositetsegenskaperna hos bergkrossmaterial bedöms inte vara ett problem så länge man följer rekommendationerna i Naturvårdsverkets faktablad 8147 för hur materialet packas även för bergkross. Naturvårdsverkets faktablad 8147 finns angivet:

”Innan sanden läggs ut märks nivån ut dit sanden ska fyllas. Ett ca 30 cm tjock sandlager läggs ut, genomvattnas ordentligt och packas försiktigt. Samma procedur upprepas ytterligare ett par gånger. Sandlagret ska vara minst 80 cm tjockt. För att få ytan plan krävs avvägning. Inga fordon får köra över den.”

”Packas försiktigt” ska bland annat tolkas som att sandlagret inte ska köras över med fordon och att man inte ska använda en vibrationsplatta på sandlagret.

BET-yta

Specifik yta är ett mått storleken av den sammanlagda ytan hos partiklarna (i detta fall kornen) i ett material (Eriksson m.fl., 2005). BET-analys är en metod för att uppskatta den specifika ytan som går ut på att låta en gas adsorberas på tillgängliga ytor i provet. Genom att mäta hur mycket gas som har absorberats uppskattas den specifika ytan hos materialet. Under studien har BET-ytan (med vilken vi här menar den specifika ytan uppskattad genom BET-analys) mätts hos alla material. Eftersom det inte var möjligt att mäta partiklar större än 4 mm i det aktuella analysverktyget så mättes endast material med storlek på 0 mm till 4 mm hos samtliga material. Tre mätningar gjordes på respektive material.

Medelvärdet på BET-yta låg på 1,7 m^2/g för Natur, 0,85 m^2/g för hyperitdiabasen T2-ref och 0,17–0,51 m^2/g hos övriga bergkrossmaterial. Sammanfattningsvis tyder alltså resultatet på en något högre BET-yta hos hyperitdiabasen T2-ref än hos övriga bergkrossmaterial. Generellt, medräknat variationen hos de tre mät-

ningarna av varje material, är det dock ingen större skillnad på BET-yta hos bergkrossmaterialen. Naturgrus verkar dock ha högre BET-yta än alla bergkrossmaterial. En gissning från referensgruppen är att det finns fler ojämnheter/håligheter hos naturgruset än hos bergkrossmaterial. Men med tanke på att inte hela 0/8-sorteringen kunde analyseras och att tolkning av BET-yta kräver en erfarenhet som referensgruppen saknar så kan inga säkra slutsatser dras utifrån dessa analyser.

Tidigare genomförda kolonnförsök – reningseffekt av totalfosfor, organiskt material och bakterier

En tidigare studie genomförd av JTI[2] (2013), där materialen Natur, T1-ref och T1-just ingick i en kolonnstudie (2 kolonner med varje material, 24 veckor) indikerade att reningen av organiskt material och bakterier fungerar ungefär lika bra i bergkross som i naturgrus. Däremot verkade studien visa att det undersökta naturgruset band in fosfor bättre än det undersökta bergkrossmaterialet. De uppmätta värdena i studien jämfördes mot rekommenderade miljöskyddskrav från NFS 2006:7, se informationsruta 7.

Informationsruta 7. Rekommenderade miljöskyddskrav enligt NFS 2006:7.

För små avloppsanordningar, dimensionerade för upp till 25 personekvivalenter (pe), finns Naturvårdsverkets allmänna råd NFS 2006:7 – *Naturvårdsverkets allmänna råd [till 2 och 26 kap. miljöbalken och 12-14 och 19 §§ förordningen (1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd] om små avloppsanordningar för hushållsspillvatten;*.

NFS 2006:7 innehåller rekommenderade miljöskyddskrav för normal och/eller hög nivå gällande reduktion (%) av organiskt material (BOD_7), fosfor (tot-P) och kväve (tot-N), se nedan. Reduktionen kan, utifrån förväntad föroreningsbelastning hos inkommande (orenat) avloppsvatten till en avloppsanordning, räknas om till utgående halt (mg/l). Observera att halter hos inkommande (orenat) avloppsvatten förväntas kunna variera.

	Inkommande halt[a, b] [mg/l]	Miljöskydds-nivå	Reduktion[b] [%]	Utgående halt[a, b] [mg/l]
BOD_7	*280* (150-350)	Normal:	90	*30*
Tot-P	*12* (5-15)	Normal: Hög:	70 90	*3* *1*
Tot-N	*80*	Hög:	50	*40*

a. Kursiverade halter är beräknade under antagandet att en person producerar 170 liter spillvatten per dygn.
b. Data över halter och reduktion är hämtat från NFS 2006:7, Bilaga 1.

Organiskt material och bakterier

Resultaten från tidigare genomförd kolonnstudie visar på att reningen av organiskt material (BOD_7) samt bakterier (Escherichia coli, Intestinala enterokocker och Koliforma bakterier) är tillfredsställande (enligt jämförelse med reduktionskrav

[2] Elmefors & Ljung (2013) *Markbäddars uppstartstid och påverkan på bäddens funktion vid användning av krossat berg – Uppstartsfas*. JTI-rapport 2013, Kretslopp & Avfall nr 48. JTI – Institutet for jordbruks- och miljöteknik.

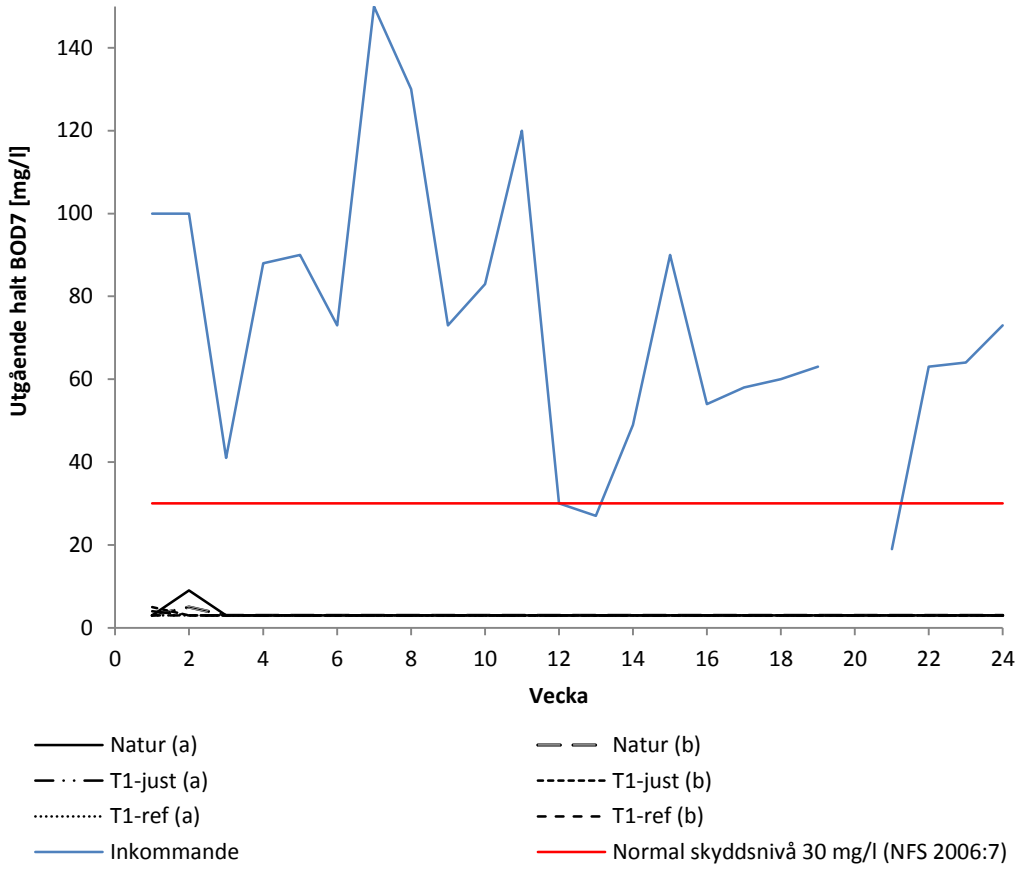
för normal skyddsnivå i NFS 2006:7 respektive högsta tillåtna värde i NFS 1996:6) efter tre veckor i så väl naturgrus (Natur) som i krossat berg (T1-ref, T1-just). Reningen av BOD_7 fungerade bra redan efter en veckas drift (första provtagningen) i samtliga material, där utgående halter generellt klarade reduktionskraven enligt normal skyddsnivå enligt NFS 2006:7[3] (figur 9). Även reningen av bakterier fungerade bra efter tre veckors drift (första provtagningen) i samtliga material, vilket stämmer överrens med informationen i Naturvårdsverkets faktablad 8147. Utgående värden för bakterier låg normalt under högsta tillåtna värde enligt NFS 1996:6[4] för samtliga material, men reningen i naturgruset visade sig vara något bättre än i bergkrossmaterialet. Bergkrossmaterialet hann aldrig, under de 24 veckor som kolonnstudien pågick, uppnå en konstant utgående halt av bakterier (se exempel med E-coli, figur 10). Orsaken kan vara att det tar längre tid innan det mikrobiella livet byggs upp i bergkrossmaterial, men det finns utifrån dessa studier inget skäl att tro att reningen av organiskt material och bakterier ska vara dålig i bergkross.

Reningen av bakterier ligger under högsta tillåtna värde enligt NFS 1996:6 redan efter tre veckor. Det kan dock ta tid innan reningen utvecklats fullt ut. Vill man göra en representativ mätning av hur reningen av bakterier fungerar hos en markbädd på längre sikt ska man därför med fördel vänta ca 30 veckor efter att bädden togs i drift innan man mäter.

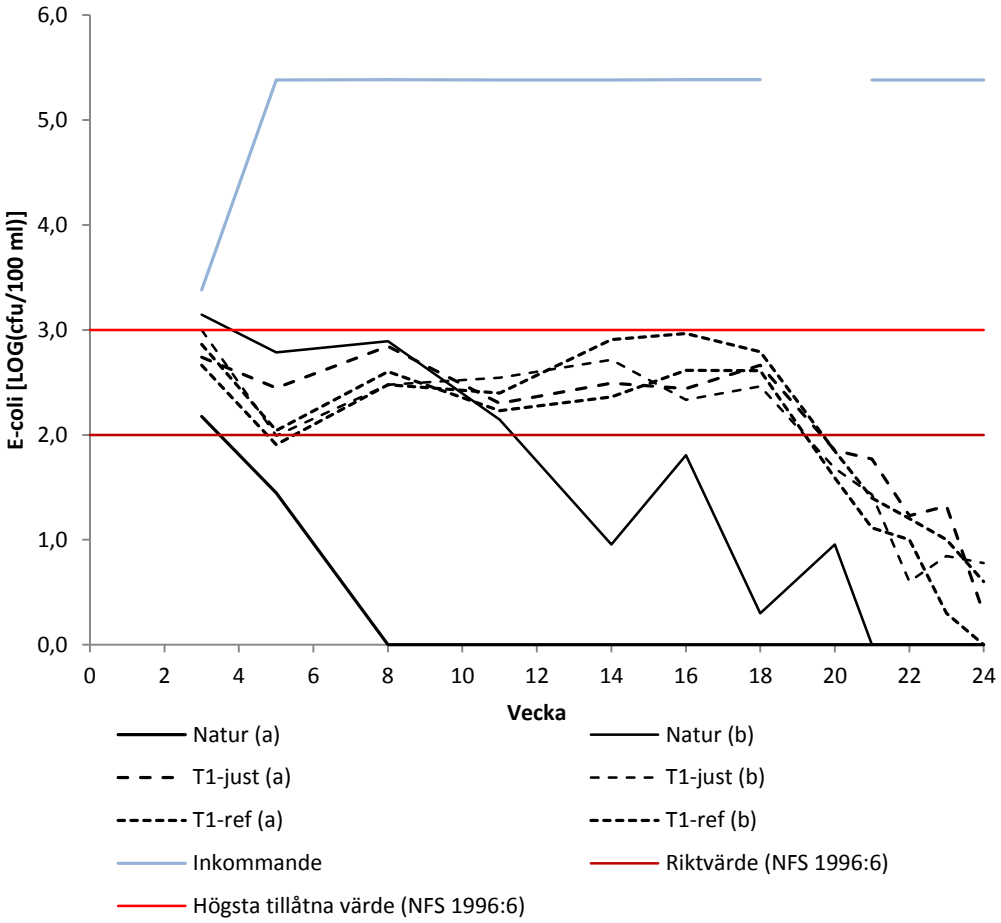
Utgående halt av organiskt material från de studerade filtermaterialen, utifrån kolonnstudiens resultat, klarar även riktvärden för större reningsverk (se informationsruta 7).

[3] NFS 2006:7. *Naturvårdsverkets allmänna råd [till 2 och 26 kap. miljöbalken och 12-14 och 19 §§ förordningen (1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd] om små avloppsanordningar för hushållsspillvatten;* beslutade den 29 juni 2006.

[4] NFS 1996:6 upphörde att gälla 2008-05-24. I dagsläget saknas bakterienivåer för avloppsanläggningar och avloppsvatten, varför kvalitetskraven i NFS 1996:6 användes som jämförelse i projektet även fast den inte längre gäller.



Figur 9. Utgående halt BOD_7 (mg/l) i jämförelse med inkommande halt (ljusblå) och normal skyddsnivå för BOD_7 enligt NFS 2006:7 (röd). Linjerna för natur och T1-just ligger på samma värde mellan vecka 3 och 24 och syns endast som en linje under denna period. Resultat från kolonnstudie genomförd under 24 veckor – se vidare Elmefors & Ljung (2013).



Figur 10. Utgående halt Escherichia coli (LOG(cfu/100 ml)) i jämförelse med inkommande halt (ljusblå) och riktvärde samt högsta tillåtna värde enligt NFS 1996:6. Resultat från kolonnstudie genomförd under 24 veckor – se vidare Elmefors & Ljung (2013).

Informationsruta 8. Rening av organiskt material och bakterier i markbäddar med bergkross som filtermaterial.

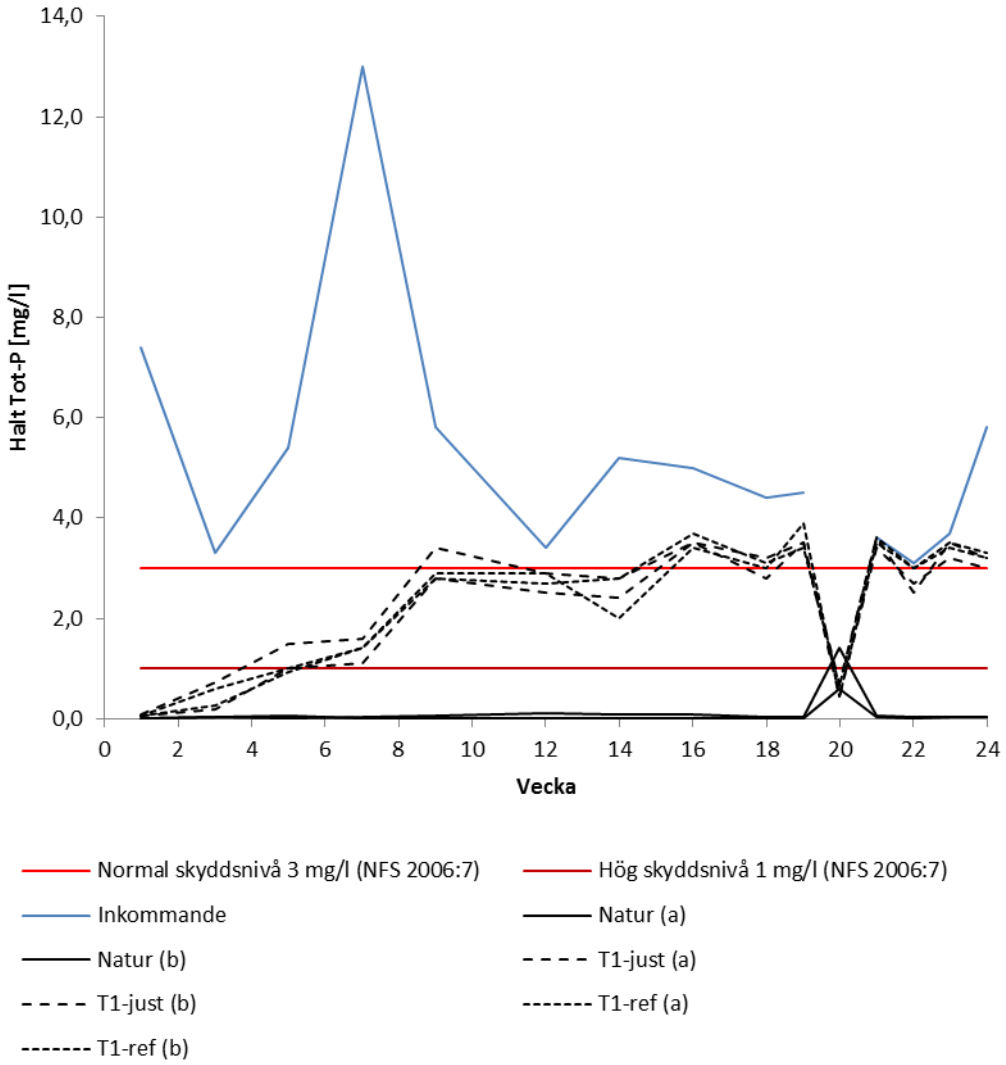
Reningen av organiskt material och bakterier antas vara tillfredsställande hos bergkrossmaterial redan efter tre veckor, och fungerar i princip lika bra i bergkrossmaterial som i naturgrus (Elmefors & Ljung, 2013). Uppstartstiden för bakteriereningen antas dock vara något långsammare i bergkrossmaterial än i naturgrus.

Fosfor

Enligt Naturvårdsverkets faktablad 8147 är fosforreduktionen i markbäddar ungefär 25–50 %. Ett kolonnförsök från Eveborn m.fl. (2012) tyder på en god fosforreduktion hos undersökta material, men det verkar också finnas risk att systemen lakar ur fosfor när det rinner igenom vatten som har en låg fosforhalt från början (t.ex. regnvatten).

I den tidigare kolonnstudien hade naturgrus ett fosforutsläpp som uppnådde reduktionskraven för normal skyddsnivå enligt NFS 2006:7 för alla mätningar, se figur 11. Även reduktionskraven för hög skyddsnivå uppnåddes i de flesta fall. Bergkrossmaterialet har dock en sämre fosforrening än naturgruset. Utsläppen

överskrider reduktionskraven för hög skyddsnivå i de flesta mätningarna och även normal skyddsnivå överskrids vid vissa mätningar.



Figur 11. Fosforhalt i mg/l för det vatten som kom ut från kolonnerna med naturgrus, T1-ref och T1-just. Figuren visar även fosforhalt i mg/l för det inkommande vattnet, alltså det orenade vattnet som gick in till kolonnerna, och gränsvärdena för normal och hög skyddsnivå. (Mätning på inkommande saknas för vecka 20). Resultat från kolonnstudie genomförd under 24 veckor – se vidare Elmefors & Ljung (2013).

Fosforinbindningen påverkas i första hand av kemin i filtermaterialet. Innehåll av Ca, Al och Fe i filtermaterialet kan bidra till fosforinbindningen. Är jorden sur styrs i regel fosforinbindningen av Fe och Al medan Ca styr i mer alkaliska jordar. En studie från Arai & Livi (2012) tyder på att sandfraktioner som har mycket sekundära beläggningar[5] av Fe och Al kan vara betydande för fosforinbindningen. Det är därför möjligt att bergkrossmaterial, som kan ha mindre sekundära ytor än naturgrus, har sämre förmåga än naturgrus att binda in fosfor inledningsvis, men att inbindningsförmågan ökar med tiden allteftersom fler sekundära ytor bildas. Fortfarande är det mycket som forskarvärlden ännu inte känner till vad gäller kemisk inbindning av fosfor. Med tanke på att bergkrossmaterial har olika kemiska

[5] Ett jordkorn har i sig en sammansättning som det fått från det urspungliga bergmaterialet. Men på ett jordkornsyta kan det även med tiden bildas andra föreningar, s.k. sekundära ytor.

egenskaper så är det förmodligen så att fosforinbindningen skiljer sig åt mellan olika bergkrossmaterial.

I jämförelse med andra avloppslösningar ska man komma ihåg att markbäddar, liksom infiltrationsanläggningar, är lösningar som kräver relativt lite skötsel men som ger en hög och stabil rening av organiskt material och bakterier. Vad gäller fosforreningen så rekommenderar dock Naturvårdsverkets allmänna råd NFS 2006:7 att alla markbäddar ska urinavlastas eller fosforavlastas för att kunna klara reduktionskraven. Fosforavlastning kan t.ex. innebära att markbädden kompletteras med en fosforfälla eller med fosforfällning i slamavskiljaren. Observera att denna rekommendation gäller för markbäddar, men inte för infiltrationsanläggningar.

Informationsruta 9. Fosforrening i markbäddar med bergkross som filtermaterial.

Det finns tecken på att inbindningen av fosfor fungerar bättre i naturgrus än i bergkross (det baserad dock endast på en studie som pågått under 24 veckor, Elmefors & Ljung (2013)). Innehåll av Ca, Al och Fe i filtermaterialet kan bidra till fosforinbindningen. Inbindningen beror dock även på andra kemiska faktorer och de laktester som gjort under studien räcker inte för att visa vad den bättre fosforbindningen hos naturgrus beror på.

Med tanke på att bergkrossmaterial har olika kemiska egenskaper så är det troligt att fosforinbindningen skiljer sig åt mellan olika bergkrossmaterial. Fortfarande är det mycket som forskarvärlden ännu inte känner till vad gäller kemisk inbindning av fosfor.

Rekommendation 6. Att komplettera markbädden med ytterligare fosforinbindning.

Enligt Naturvårdsverkets allmänna råd NFS 2006:7 behöver markbäddar vara urinavlastade eller fosforavlastade på annat sätt för att uppnå reduktionskraven för normal miljöskyddsnivå. För markbäddar med bergkrossmaterial som filtermaterial rekommenderas liksom för naturgrus att komplettera markbädden med ytterligare fosforinbindning (t.ex. en fosforfälla eller kemisk fällning i slamavskiljaren).

Observera att rekommendationen om ytterligare fosforrening vid normal skyddsnivå gäller för markbäddar (markbaserad anläggning med tät botten) men inte för infiltrationsanläggningar (markbaserad anläggning med genomsläpplig botten, avloppsvattnet fortsätter infiltrera till grundvattnet).

Resonemang kring kväverening

Kvävereningen bör fungera likvärdigt i en markbädd med bergkrossmaterial som i en med naturgrus. Kvävereningen beror liksom rening av organiskt material och bakterier huvudsakligen på den mikrobiologiska funktionen i markbädden. Det finns än så länge inte anledning och tro att det finns någon signifikant skillnad i mikrobiologisk rening mellan bergkross och naturgrus. Detta kan jämföras med fosforreningen som framförallt beror på materialets kemiska funktion.

Kemisk sammansättning – totalanalys och laktester

Den kemiska sammansättningen hos material är svår att bestämma exakt. I denna studie har totalanalys samt laktester genomförts på otvättat material. *Laktester* ger ett mått på de ämnen som lätt kan lakas ut materialet om det utsätts för vatten, dvs. bl.a. urlakningen av metaller, kväve, fosfor och TOC på materialet (under

laktestet i studien lakades materialet i vatten under ett dygn). *Totalhalter* talar om det analyserade materialets sammanlagda innehåll av alla ämnen som bygger upp materialet (inklusive ämnen som lätt kan lakas ur materialet om det utsätts för vatten).

Hur lätt en bergart lakar har att göra med bergartens mineralogiska sammansättning (Hildebrand m.fl., 2009). Sulfidinnehållet (svavelföreningar) i bergarten leder till ökad risk för lakning jämfört med silikatmaterial eftersom svavelbunda metaller kan frigöras vid oxidering om materialet om de utsätts för syre (och, på lång sikt, vatten om det är syresatt) vilket leder till ökad risk för lakning (Hildebrand m.fl., 2009). Enligt Bida (pers. medd.) har totalhalterna av metaller hos ett material begränsad betydelse om dessa är bundna i silikater. Om metallerna är bundna till sulfider/sulfater kan dock totalhalterna vara av intresse p.g.a. den ökade utlakningsrisken. Oxider, som även kan omvändas till hydroxider, medför också större risk för utlakning. Bergarter som innehåller stor andel mörka silikatmaterial (mörk glimmer, amfibol och pyroxen) lakas lättare än bergarter med stor andel ljusa silikatmaterial (t.ex. kvarts, fältspater och ljus glimmer). Hur mycket bergmaterialet lakar har alltså ingen direkt koppling till vad materialet har för ursprung (dvs. naturgrus jämfört med bergkross) utan beror snarare på innehållet i ursprungsmaterialet (dvs. ingående bergarter). Bergmaterialets partikelstorlek är också väsentligt eftersom reaktiviteten ökar ju större specifik yta materialet har. En högre halt mindre partiklar medför därför större utlakningsrisk. Det ska dock påpekas att den vittring/utlakning som sker hos bergkross/naturgrus tar många år.

De parametrar som, enligt informationsbladets referensgrupp, är mest relevanta att titta på vid användning av material som filtersand i markbäddar är:

- *pH*; har betydelse för materialets inbindning av metaller. Basiskt material binder in metaller bättre än surt material. Enligt Hildebrand m.fl. (2009) är metalhalterna ofta lägre i felsiska, kiselsyrerika bergarter (t.ex. graniter) än hos mafiska bergarter som innehåller mindre kiselsyror (t.ex. gabbro och diabas). pH kan också påverka vilka mekanismer som styr fosforinbindningen (är jorden sur styrs i regel fosforinbindningen av Fe och Al medan Ca styr i mer basiska jordar).
- *konduktivitet*; ett mått på hur mycket lösta joner som finns i vattnet (d.v.s. näringsämnen, metaller m.m. som övergår i löst form vid lakning av materialet). Hög konduktivitet kan vara ett tecken på att jorden är lättvittrad.
- *kväve (N)* och *fosfor (P)*; innehållet av kväve och fosfor är en förutsättning för bildande av ”biohud” hos markbäddsmaterialet. Biohud är en hinna som består av organiskt material och mikroorganismer i filtermaterialet, och den står för en betydande del av den biologiska aktiviteten i markbädden. Mikroorganismerna behöver åtminstone en liten mängd fosfor och kväve för att de ska trivas. Att markkornen ursprungligen innehåller kväve och fosfor kan underlätta utvecklingen av biohud. Om man tillför avloppsvatten till ett markmaterial kommer innehållet av fosfor och kväve i avloppsvattnet på sikt leda till att biohud byggs upp även i ett material utan fosfor och kväve.
- *aluminium (Al), kalcium (Ca)* och *järn (Fe)*; viktiga för fosforinbindning hos materialet. Exempelvis kan mängden amorfa ytbeläggningar av Fe och

Al tillsammans med pH i jorden ha stor inverkan på fosforinbindningen (Arai & Livi, 2012).

Analysresultaten från genomförda totalanalyser och laktester visar inte på några halter som anses negativa vid användning av materialen som filtersand i markbäddar. Resultaten visade inte heller på någon större variation mellan naturgruset (Natur) och de olika bergkrossmaterialen som ingått i studien, undantaget bergkrossmaterialet med dominerande bergarten hyperitdiabas (T2-ref) som har många ”avvikande” analysvärden jämfört med övriga undersökta material (inkl. naturgruset (Natur)). Anledningen är att hyperitdiabas är en mörk och basisk bergart medan alla de övriga bergkrossmaterialen och naturgruset består av ljusare och surare bergarter.

Analysresultat för genomförda totalanalyser

Näringsämnet fosfor (P) finns i betydligt större mängd i naturgruset (Natur) samt i hyperitdiabasen (T2-ref) än övriga bergkrossmaterial, ca 4 gånger så mycket (0,2 % TS jämfört med 0,027–0,1 % TS). Samma sak gäller för fosforoxid (P_2O_5). Naturgruset (Natur) har lägre innehåll av krom (Cr) än samtliga bergkrossmaterialen utom T1-ref som har ännu lägre innehåll av Cr än naturgruset (Natur).

Bergkrossmaterialet som domineras av bergarten hyperitdiabas (T2-ref), har för majoriteten av de analyserade ämnena ett ”avvikande” innehåll jämfört med såväl övriga undersökta bergkrossmaterial som naturgruset (Natur), men ibland följer hyperitdiabasen även de ”avvikande” värden som finns för Natur jämfört med övriga bergkrossmaterial. Hyperitdiabasen (T2-ref) uppvisar mer eller mindre högt innehåll av Al, P, Fe, Ca, Mg, Mn, Ti, Be, Co, Cr, Ni, Sc, Sr och V samt låg innehåll av K och Si.

Ett av bergkrossmaterialen som domineras av gnejsig granit (T3-ref) visar på högt innehåll av Mn, Ba, Nb, Sc, Y och Zr, medan det andra bergkrossmaterialet som består av gnejsig granit (T4) visar på ett betydligt högre innehåll av wolfram (W) än övriga material, i medeltal ca 440 gånger så högt hos referensmaterialet (T4-ref) och 55 gånger så högt hos den VSI-krossade sorteringen av materialet (T4-VSI).

Analysresultat för genomförda laktester

Bergkrossmaterialen är basiska (pH 8,2–9,6) medan naturgruset (Natur) är i stort sett neutralt (pH 7,2). Konduktiviteten är ungefär lika hos alla analyserade bergkrossmaterial (3,60–4,79 mS/m)[6].

Naturgruset (Natur) uppvisar lägre pH, högre utlakning av organiskt material (TOC), kobolt (Co), koppar (Cu) och krom (Cr) (även hyperitdiabasen, T2-ref, har hög utlakning av Co, Cu och Cr), samt lägre utlakning av kalcium (Ca) jämfört med de analyserade bergkrossmaterialen. För Ca är utlakningen omkring 10–15 gånger större för bergkrossmaterialen jämfört med naturgruset (Natur). Hyperitdiabasen (T2-ref) ligger i samma storleksordning som naturgruset vad gäller kalcium vilket kan anses något märkligt eftersom den typen av bergarter brukar innehålla mer kalcium än felsiska bergarter (alla andra bergarter i studien är mer felsiska än T2-ref). En högre utlakning av Ca skulle kunna innebära att

[6] För naturgruset (Natur) och de två T1-sorteringarna saknas uppgift kring konduktiviteten.

materialet har bättre förutsättningar för att binda in fosfor (fosforinbindningen beror dock även på andra kemiska faktorer).

Bergkrossmaterialet som domineras av bergarten hyperitdiabas (T2-ref) har för många av de analyserade ämnena en ”avvikande” utlakningsmängd jämfört med såväl övriga undersökta bergkrossmaterial som naturgruset (Natur). Analysresultaten visar bl.a. på hög utlakning av N, As, Co, Cu, Cr samt låg utlakning av Ca (utlakningen av Ca är jämförbar med Natur).

Kvävemängden är högre i såväl hyperitdiabas (T2-ref) som T1-just, jämfört med såväl naturgruset (Natur) som övriga bergkrossmaterial. Kvävemängden i materialet kan variera beroende på sprängningsteknik (ca 2 % kväve tillkommer vid sprängning). Nitrat är vattenlösligt, vilket innebär att tvättning av materialet kan bidra till att, förutom att tvätta bort finmaterialet, även minska kvävemängden i materialet.

Informationsruta 10. Information om kemisk sammansättning hos bergkross och naturgrus.

Hur lätt en bergart lakar har att göra med bergartens mineralogiska sammansättning (Hildebrand m.fl., 2009). Sulfidinnehållet (svavelföreningar) i bergarten leder till ökad risk för lakning jämfört med silikatmaterial eftersom svavelbunda metaller kan frigöras vid oxidering om materialet om de utsätts för syre (och, på lång sikt, vatten om det är syresatt) vilket leder till ökad risk för lakning (Hildebrand m.fl., 2009). Enligt Bida (pers. medd.) har totalhalterna av metaller hos ett material begränsad betydelse om dessa är bundna i silikater. Om metallerna är bundna till sulfider/sulfater kan dock totalhalterna vara av intresse p.g.a. den ökade utlakningsrisken. Oxider, som även kan omvändas till hydroxider, medför också större risk för utlakning. Bergarter som innehåller stor andel mörka silikatmaterial (mörk glimmer, amfibol och pyroxen) lakas lättare än bergarter med stor andel ljusa silikatmaterial (t.ex. kvarts, fältspater och ljus glimmer). Metallhalterna är ofta lägre i felsiska, kiselsyrarika bergarter (t.ex. graniter) än hos mafiska bergarter, som är mer kiselsyrafattiga (t.ex. gabbro och diabas) (Hildebrand m.fl., 2009). Bergmaterialets partikelstorlek är också väsentlig eftersom reaktiviteten ökar ju större specifik yta materialet har. En högre halt mindre partiklar medför därför större utlakningsrisk. Det ska dock påpekas att den vittring/utlakning som sker hos bergkross/naturgrus tar flera år.

De parametrar som, enligt informationsbladets referensgrupp, är mest relevanta att titta på vid användning av material som filtersand i markbäddar är pH, konduktivitet, fosfor, kväve, aluminium, kalcium och järn. pH har t.ex. betydelse för materialets inbindning av metaller medan aluminium, kalcium och järn kan bidra till fosforinbindningen.

Analysresultaten från genomförda totalanalyser och laktester visar inte på några halter som anses negativa vid användning av materialen som filtersand i markbäddar. Resultaten visade även att det generellt sett är liten variation mellan de, i denna studie, undersökta bergkrossmaterialen och naturgruset, undantaget bergkrossmaterialet med dominerande bergarten hyperitdiabas (T2-ref) som har många ”avvikande” analysvärden jämfört med övriga undersökta material (inkl. naturgruset (Natur)). Anledningen är att hyperitdiabas är en annan typ av bergart än övriga material som ingått i studien.

Exempel på ämnen som kan bli skadliga för miljö eller människors hälsa om de läcker ut i för stor utsträckning är arsenik, bly, kadmium, kobolt, koppar, krom, kvicksilver, molybden, nickel, vanadin och zink (Artikel 1d i Europaparlamentets och rådets direktiv 2006/21/EG om hantering av avfall från utvinningsindustrin kompletterat genom kommissionens beslut 2009/359/EG). I direktivet anges en maximihalt för svavel på 0,1 % sulfidsvavel (Artikel 1b, kompletterat genom 2009/359/EG). Det finns i nuläget inga gränsvärden för As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V och Zn utan istället står det i direktivet att halten av dessa ämnen inte ska ”överskrida nationella tröskelvärden för områden som befunnits vara icke-förorenade eller relevanta nationella naturliga bakgrundsnivåer” för att ”kunna anses vara tillräckligt låg för att utgöra en obetydlig risk för människor och miljö” (enligt komplettering genom 2009/359/EG).

Rekommendation 7. Lakning av skadliga ämnen

Miljöinspektörer och markentreprenörer bör ha kännedom om en täkt/ett område förknippas innehåll av skadliga ämnen (t.ex. svavel, arsenik, bly, kadmium, kobolt, koppar, krom, kvicksilver, molybden, nickel, vanadin och zink) som är bundna till sulfider/sulfater, oxider eller annat som kan tyda på ökad risk för utlakning.

Observera att lakning av ämnen beror på den mineralogiska sammansättningen hos den bergart som ingår i materialet. Såväl hos bergkross som hos naturgrus kan det vara stor variation på vilken typ av mineralogi som ingår. Man kan därför inte säga att lakning av farliga ämnen generellt sett skulle vara ett större eller mindre problem för bergkross än för naturgrus. Rekommendationen om kännedom om bakgrundshalter hos en täkt/ett område borde gälla för såväl naturgrus som bergkross.

Jämförelse med andra länder

I Norge går det enligt Jensen (pers. medd.) bra att använda bergkross i markbäddar förutsatt att markbädden kombineras med ytterligare fosforrening (fosforfälla, kemisk fällning etc.) och att bergkrosset har rätt kornstorleksfördelning för att kunna användas till markbädd. Vad gäller kornstorleksfördelningen så är det viktigt att materialet inte innehåller för mycket av det allra finaste materialet och att materialet är homogent och grovt nog så att inte det finare materialet fastnar i hålrummen hos resten av materialet och sätter igen det. För att skilja mellan filtermaterial som passar mer eller mindre bra används särskilda diagram som baseras på jordens medelkornstorlek och sortering. Dessa diagram hittas t.ex. i Jenssen m.fl. (2006) (figur 3-20B) och används även i Nya Zeeland.

I USA används bergkross till filter för avloppsvattenreningen (Siegrist, pers. medd.). Det finns dock flera typer av filter som kan se mycket olika ut med avseende på kornstorlekskurva, tjocklek hos filtermaterialet, flödesregim, hydraulisk belastning och belastning av organiskt material.

Referenser

Arai, Y. & Livi, K.J., 2012, Underassessed phosphorus fixation mechanisms in soil sand fraction. Geoderma. 192. Sid 422–429.

Bida, Jan, personligt meddelande, forskningsdirektör, MinFo – Föreningen Mineralteknisk Forskning, 2016-02-02)

Elmefors, E. & Ljung, E., 2013, Markbäddars uppstartstid och påverkan på bäddens funktion vid användning av krossat berg – uppstartsfas. Rapport 48, Kretslopp & Avfall. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.

Eveborn, D., Gustafsson, J.P., Elmefors, E., Ljung, E., Yu, L. & Renman, G., 2012, Kvantifiering av fosforläckage från markbaserade avloppssystem. JTI Uppdragsrapport.

Espeby, B. & Gustafsson, J.P., 1998, Vatten och ämnestransport i den omättade zonen – en kunskapsöversikt, TRITA-AMI Rapport 3038, Avd för mark- och vattenresurser, Institutet för anläggning och miljö, Kungliga Tekniska Högskolan.

Eriksson, J., Nilsson, I. & Simonsson, M., 2005, Wiklanders marklära, Studentlitteratur.

Hildebrand, L., Ripa, M., Reginiusen, H. & Göransson, M., 2009, Positive List för Restmaterial. Inventering av befintligt material, MinBas II, Område 3, Miljö och Hållbar utveckling, Projekt 3.2a Materialkarakterisering – Positive List för restmaterial. Sveriges Geologiska Undersökning.

Jenssen, P.D., Jonasson, S.A. & Heistad, A., 2006, Naturbasert rensning av avløpsvann, VA-Forsk rapport Nr 2006-20. Svenskt Vatten.

Jenssen, Petter. D., Professor, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Fråga om användning av bergkross i markbäddar [elektronisk], 2015-02-12 & 2015-02-13 (pers. medd.)

Grip, H. & Rodhe, A., 1985, Vattnets väg från regn till bäck, Forskningsrådets förlagstjänst.

Lagerblad, B., Westerholm, M., Gram, H.-E., 2011, Bergkrossmaterial som ballast i Betong, CBI Betonginstitutet AB.

Liénard, A., Guellaf, H. & Boutin, C., 2001, Choice of the sand for sand filter used for secondary treatment of wastewater, Water Science and Technology, vol 44, nr 2-3, ss. 189-196.

Siegrist, Robert L., University Professor Emeritus of Environmental Science and Engineering, Colorado School of Mines, USA, Crushed rock in filter media of sand filters - question from Sweden [elektronisk], 2015-02-12 (pers. medd.).

Naturvårdsverkets faktablad 8147, 2003, Naturvårdsverket Fakta.

NFS 2006:7 – Naturvårdsverkets allmänna råd [till 2 och 26 kap. miljöbalken och 12-14 och 19 §§ förordningen (1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd] om små avloppsanordningar för hushållsspillvatten.

NFS 1996:6 om strandbadvatten (upphävd förordning)

SIS-CEN/TR 12566-2:2006, Avlopp – Reningsanläggning upp till 50 PT – Del 2: Infiltration i mark, Teknisk rapport, European Committee for Standarization

SS-EN 12620+A1:2008 Ballast för betong. Svensk Standard. SIS, Swedish Standards Institute.

2009/359/EG – Kommissionens beslut av den 30 april 2009 om komplettering av definitionen av inert avfall för genomförandet av artikel 22.1 f i Europaparlamentets och rådets direktiv 2006/21/EG om hantering av avfall från utvinningsindustrin [delgivet med nr K(2009) 3012]

2006/21/EG – Europaparlamentets och rådets direktiv 2006/21/EG av den 15 mars 2006 om hantering av avfall från utvinningsindustrin och om ändring av direktiv 2004/35/EG

Bilaga 2. Synpunkter på informationsbladet

Ett antal markentreprenörer och tillverkare har bidragit med synpunkter på informationsbladet. En del av dessa synpunkter var inte möjliga att utreda p.g.a. projektets begränsningar. Synpunkterna är dock viktiga att utreda inom fortsatta studier och lyfts därför fram i denna bilaga.

Vattengenomsläpplighet

Flera av granskarna lyfter fram vikten av att informationsbladet innehåller en tydlig rekommendation av metod för att mäta vattengenomsläpplighet och vilka gränsvärden man ska jämföra mot. Det råder dock delade åsikter om vilka metoder som är bra för att mäta vattengenomsläpplighet. Medan en granskare lyfter fram perkolationstest i rör som en enkel och tydlig metod så lyfter en annan granskare fram denna och andra metoder som otillförlitliga.

Medan en granskare lyfter fram vikten av att komplettera siktkurvor med mått på vattengenomsläpplighet, eftersom vattengenomsläppligheten kan variera mycket för material med liknande siktkurva, lyfter en annan granskare fram opålitligheten hos många metoder för vattengenomsläpplighet och att siktkurva ger ett pålitligare mått.

Författarna vill understryka att informationsbladets rekommendation går ut på att både siktkurva och vattengenomsläpplighet mäts och att det är siktkurvan som rekommenderas i första hand och att vattengenomsläppligheten rekommenderas som en kontroll.

Praktiska möjligheter till kontroll och tvättning

En granskare lyfter fram att markentreprenörer inte har möjlighet att stämma av bergmaterialtyp och läckagerisker med ansvariga på bergtäkten och att det vore önskvärt att det fanns en certifiering för bergkrossmaterial som är lämpliga som filtermaterial i markbäddar för avloppsvattenrening. Ekonomiskt incitament för certifiering finns men certifiering kommer troligen att ta lång tid. Samarbete och utveckling mellan aktörer (bergmaterialindustrin, markentreprenörer och miljöinspektörer) och myndigheter behövs nationellt i första hand.

Granskaren lyfter också fram att han upplever att få krossanläggningar i hans närområde har en kontrollerad tvättanläggning.

Författarna av informationsbladet vill understryka att rekommendationen om att ansvariga på bergtäkten deklarerar kornstorleksfördelning, vattengenomsläpplighet och utlakningshalter hos bergkrossmaterialet är en rekommendation som bör eftersträvas i framtiden och inget krav som kommer börja gälla så fort informationsbladet publiceras. Även rekommendationer om tvättning och kommunikation mellan ansvariga för bergtäkter, markentreprenörer och miljöinspektörer är något som bör eftersträvas. I nuläget kan detta i många fall vara svårt att genomföra praktiskt, och därför behövs framtida studier för att göra den önskade riktningen praktiskt tillämpbar.

Framtida frågor av intresse till informationsbladet

Granskarna har lyft fram ett antal frågor gällande bergkrossmaterial i markbäddar som kan vara av intresse att undersöka och lyfta in i informationsbladet framöver:

Optimering av pumpbeskickning

Ett jämnt flöde av avloppsvatten till markbädden – d.v.s. att avloppsvattnet fördelas jämnt över bädden och att det inte kommer stora vattenmängder stötvis – kan vara viktigt för att markbädden ska fungera optimalt. För stora stötar med vatten kan leda till att vattnet rinner igenom bädden för snabbt och inte hinner renas optimalt. Pumpbeskickning skulle kunna vara ett sätt att uppnå jämnare flöde till markbädden men en fråga är om det borde utvecklas pumplösningar som kan ge tätare intervall och mindre pumpmängder jämfört med de lösningar som finns på marknaden idag?

Moduler

Idag används inte bara ”traditionella” markbäddar utan även bl.a. modullösningar med markbäddsmaterial. Dessa markbäddsmaterial kan bestå av olika sorteringar. Att undersöka olika typer av markbäddsmaterial/moduler efterfrågas, gärna i form av fullskalestudier.

Uppstartstid

Uppstartstiden (tiden det tar för reningen av nå en jämn och stabil nivå) kan ta ett antal veckor för markbäddar och infiltrationsanläggningar. En fråga är om detta kan ha negativ påverkan på markbaserade anläggningar vid sommarboende och om man i så fall kan göra något för att stimulera den mikrobiologiska reningen i filtermaterialet.

Bilaga 3. Metoder för mätning av vattengenomsläpplighet – sammanställning och utvärdering

Denna bilaga innehåller en genomgång av för- och nackdelar med olika metoder för mätning av vattengenomsläpplighet. De metoder som har undersökts är:

- Permeametertest
    - i rör med diameter 40 mm
    - i rör med diameter 100 mm
- Permeabilitetsmätning i provgrop
- Mätning genom färg hos lakvatten
- Detektering via färg eller spårämnen
- Ringinfiltrometer (enkelring och dubbelring)

Siktkurvan kommer först

Denna bilaga innehåller en genomgång av för och nackdelar med olika metoder för vattengenomsläpplighet. Det ska dock understryckas att det är rekommenderat att börja med att ta fram en kornstorlekskurva när ett bergkrossmaterial ska undersökas. Uppfyller bergkrossmaterials siktkurva rekommenderade gränsvärden kan man gå vidare till vattengenomsläpplighetsmätning.

I den tekniska rapporten CEN/TR 12566-2 bedöms vattengenomsläpplighetsmätning inte som nödvändigt om siktkurvan uppfyller aktuella rekommendationer och om materialet är tvättat. Rekommendationerna i CEN/TR 12566-2 bygger dock på studier genomförda på naturgrus. Vattengenomsläpplighetsmätning bör alltid utföras på bergkrossmaterial, även om materialet är tvättat och har en siktkurva som uppfyller rekommendationerna.

Informationsruta 11. Den tekniska rapporten CEN/TR 12566-2.

CEN/TR 12566-2 är en teknisk rapport för om infiltration i mark. Den har tagits fram av en teknisk kommitté inom European Committee for Standardization, CEN, och ingår i serien EN 12566 Avlopp – Reningsanläggningar upp till 50 pe (personekvivalenter). I EN 12566 ingår även standarder för t.ex. förtillverkade slamavskiljare och förtillverkade avloppsanläggningar (minireningsverk).

I CEN/TR 12566-2 innehåller bland annat förslag på lämpliga testmetoder som kan användas vid val av filtersand till markbädd och på lämpliga testmetoder som kan användas vid undersökning om en viss mark är lämplig för att använda till infiltrationsanläggningar.

Observera att CEN/TR inte är någon standard och att de förslag på metoder som tas upp där ska betraktas som rekommendationer snarare än krav.

Hydraulisk konduktivitet och LTAR

Hydraulisk konduktivitet är ett mått på hur mycket vatten en jord/ett filtermaterial (eller annat poröst medium) släpper igenom per tidsenhet. Den hydrauliska konduktiviteten varierar beroende på hur stor andel av porerna, d.v.s. hålrummen mellan materialets korn, som är fyllda med vatten. Om vattenmättnad uppnås, d.v.s., att alla porer är fyllda med vatten så är den hydrauliska konduktiviteten konstant och kallas mättad hydraulisk konduktivitet. Vid mätning av hydraulisk konduktivitet är det oftast den mättade hydrauliska konduktiviteten som man vill mäta eftersom det är mycket enklare att förhålla sig till ett konstant värde än ett som förändras beroende på faktorer som är svåra att styra över (som vattenhalt).

Att mäta den hydrauliska konduktiveten för rent vatten genom ett bergkrossmaterial/naturgrus är dock inte tillräckligt för att bedöma hur den hydrauliska konduktiveten kommer se ut när materialet behandlats med avloppsvatten under en längre tid. I takt med att t.ex. biohud byggs upp i materialet kommer vattengenomsläppligheten att sjunka. Så småningom nås ett stabilt värde som kan vara betydligt lägre[7] än innan materialet belastats med avloppsvatten. Long Term Acceptance Rate (LTAR) är ett mått på den dagliga volym avloppsvatten som kan tas emot per filterarea efter att jämvikt uppnåtts.

Förutsättningar inför val av metod

Eftersom ett parti bergkrossmaterial kan vara heterogent med tanke på kornstorleksfördelning så är det viktigt att tillräckligt många tester görs innan bergtäkten/entreprenören kan fatta beslut om ett bergkrossmaterial är dugligt som filtermaterial i markbäddar. För att upprepade tester ska vara praktiskt genomförbart är det dock viktigt att metoden är tillräckligt enkel.

Metoder för bedömning av vattengenomsläpplighet kan delas in i laboratorietest eller test i fält. Jämfört med test i fält har laboratorietest den fördelen att det är enklare att kontrollera att vissa förutsättningar är uppnådda under testet, t.ex. att tillräcklig vattenmättnad uppnås. Jämför med laboratorietester har fälttester i regel den fördel att de kan ta hänsyn till platsspecifika förhållanden som t.ex. materialets porositet/packningsgrad. Fälttester sker också i regel på en större mängd material vilket medför större chans att resultatet blir representativt för det material som ska undersökas.

Laboratorietest

I den tekniska rapporten CEN/TR 12566-2 rekommenderas två metoder för test av markbäddssand. Båda metoderna är exempel på laboratorietest i form av ett så kallat permeametertest med fallande totalpotentialgradient som går ut på att fylla ett rör med filtermaterial, vattenmätta filtermaterialet och därefter mäta hur snabbt vattennivån sjunker i röret. Den ena metoden utgår ifrån rör på 40 mm diameter och den utgår ifrån rör med diameter 100 mm.

[7] 10–1000 gånger lägre enligt Naturvårdsverkets faktablad 8147.

Permeametertest i rör 40 mm diameter

En metod för permeametertest i rör med 40 mm diameter finns beskriven i CEN/TR 12566-2, avsnitt C.2.2. Metoden har tagits fram av en amerikansk professor verksam inom infiltration av avloppsvatten och är en metod som används på flera håll i Sverige idag för att bedöma genomsläpplighet i mark inför byggande av infiltrationsanläggningar. Med metoden räknar man ut LTAR (long term acceptance rate) som är ett mått på den långsiktiga genomsläpplighetshastigheten för avloppsvatten.

Enligt beskrivningen används ett rör med diameter 40 mm och längd 150 mm. Teströren fylls med det aktuella materialet till minst en tredjedel. I C.2.2 beskrivs hur mätningen går till och hur många gånger den ska upprepas. Det finns en figur (C.3) utifrån vilken man kan avgöra om resultatet håller sig inom de rekommenderade gränserna eller inte.

Enligt Fred Nyberg (pers. medd. a), som varit med och tagit fram den tekniska rapporten CEN/TR 12566-2, fungerar metoden bäst för finkorniga jordar men är säker att använda upp till LTAR 100. I figur C.3 motsvarar fält 2 LTAR-värden mellan 50 och 100 medan fält 3 motsvarar LTAR-värden mellan 100 och 150.

Fördelar med metoden:

- Används på flera ställen i Sverige idag.
- Kvalitetskontrollerad metod. En professor har tagit fram metoden för att man ska kunna räkna ut LTAR (långsiktig genomsläpplighet för avloppsvatten)
- Metoden är enkel att använda för att utföra flera upprepade tester

Nackdelar med metoden:

- Små mängder material används vilket borde kunna ge risk för att proven inte blir representativa för det aktuella bergkrosspartiet.
- Risk för att läckage längs rörets sidor kan påverka mätningen?
- Kritik mot denna typ av tester har framförts i USA och på vissa håll är mätningar i små rör förbjudna (Andreas Pettersson, pers. medd.).

Permeametertest i rör 100 mm diameter

En metod för permeametertest i rör med 100 mm diameter finns beskriven i CEN/TR 12566-2, avsnitt C.2.3. Enligt beskrivningen används ett rör med diameter 100 mm som fylls till 200 millimeters djup med det material som ska testas. Hur många gånger mätningen ska upprepas för varje prov finns också angivet i C.2.3. Tabellen C.5 används för att avgöra om provet anses har en tillfredställande vattengenomsläpplighet.

Metoden finns med i byggnadsguiden GBG 42 för vassbäddar från BRE, Building Research Establishment Limited. I GBG 42 anges att tiden ska ligga mellan 15 sekunder och 100 sekunder. Metoden beskrivs även hos Liénard m.fl. (2001) som anger att tiden ska ligga mellan 50 sekunder och 150 sekunder. Metoden benämns

även som ”Sand test” (GBG 42) eller ”Grant’s infiltration test” (Liénard m.fl. 2001).

Fördelar med metoden:

- Metoden är enkel att använda för att utföra flera upprepade tester (trots att rören är större än för test med 40 mm diameter så handlar det om materialmängder och vattenmängder som borde vara hanterbara för bergtäkter och troligen även för byggentreprenörer).
- Större mängder material används än i rören med 40 mm diameter vilket borde öka chansen att proverna blir representativa för bergkrosspartiet.
- Enligt Liénard m.fl. (2001) är läckaget vid rörets sidor försumbart för de material som testats enligt metoden i deras studie.

Nackdelar med metoden:

- Även om metoden går ut på att skapa vattenmättnad i rören så baseras metoden på fritt flöde ut efter röret (röret placeras ovanpå en grusbädd). Detta kan jämföras med metoden med 40 mm rör i vilken rören placeras så att en del av filtermaterialet hamnar under vattenytan. Det skulle kunna medföra att det blir praktiskt svårare att vattenmätta 100 mm rören.
- Det råder oklarheter kring hur de rekommenderade gränserna för metoden togs fram och vilka gränser det är som rekommenderas.

Test i fält

Perkolationstest i provgrop har länge varit ett vanligt test i USA för att bedöma om en viss mark är lämplig att använda till infiltrationsanläggningar. På senare tid har det dock förekommit kritik mot metoden. Enligt van de Graaff & Alexander (2008) är ”constant head well permeameter test” (permeametertest i hål med konstant totaltpotentialgradient) en säkrare metod för att uppnå vattenmättade förhållanden. Ringinfiltrometertest är ett exempel på fältmätningsmetod med gott anseende.

Permeabilitetsmätning i provgrop

En metod för mätning i provgrop och beräkning av LTAR finns beskriven i CEN/TR 12566-2. Metoden syftar till att undersöka marken vid en viss plats och inte för att undersöka ett parti med externt bergkross/naturgrus.

Fördelar med metoden:

- Metoden tar hänsyn till platsspecifika faktorer som t.ex. packning (till skillnad från mätning i rör)

Nackdelar med metoden:

- Det är viktigt uppnå vattenmättnad för allt material som är nära provgropen, annars kan resultaten påverkas. Det är dock ofta svårt att uppnå vattenmättnad i den omfattning som krävs (Griggs, 2000). Detta kan jämföras med laboratorietester där det i regel är lätt att uppnå vattenmättnad (Griggs, 2000) och andra fältmätningsmetoder som exempelvis ”constant head well permeameter test” som också kan anses säkrare vad gäller att uppnå vattenmättnad (van de Graaff & Alexander, 2008).

Constant head well permeameter test

Metoden ”constant head well permeameter” är en fältmetod som fungerar bra för att mäta hydraulisk konduktivitet i områden ovanför grundvattenytan (Eldrick & Reynolds, 1992). Metoden går ut på att borra ett hål och hålla det konstant fyllt med vatten till en viss nivå. Flödet från hålet mäts och när flödet når en konstant nivå kan man anta att vattenmättade förhållanden (åtminstone så kallad fältvattenmättnad) har uppnåtts. Den hydrauliska konduktiviteten kan därefter uppskattas. Metoden finns beskriven i ett dokument från United States Bureau of Reclamation, USBR 7300-89.

Fördelar med metoden:

- Det är en relativt säker metod för att mäta mättad hydraulisk konduktivitet i fält

- Metoden kräver inte så mycket utrustning och är därför en fält metod som kan utföras även vid svåråtkomliga platser, dit det inte går att komma med motorfordon (Hayashi & Quinton, 2004).

Nackdelar med metoden:

- Metoden kan vara svår att tillämpa på heterogent material, d.v.s. material som har olika egenskaper, exempelvis kornstorleksfördelning, beroende på vilken del av materialet man tittar på. Detta beror på att vissa tillbehör som kan användas till mätningen förutsätter homogena förhållandet för att fungera som avsett (Hayashi & Quinton, 2004).

Ringinfiltrometer

Johnson (1963) konstaterade att det bästa sättet att mäta infiltrationskapacitet i ett område är dämning av ett större område. Bortsett från sådana kostsamma metoder ansåg Johnson (1963) att dubbelringinfiltrometer med diameter på minst 61 cm vara den mest mångsidiga metoden för mätning av markmaterial på en viss plats. Dubbelringinfiltrometertest anses än idag vara en pålitlig metod för att mäta hydraulisk konduktivitet i fält.

Metoden finns beskriven i SS-EN 22282-5. Metoden går ut på att en inre och en yttre cylinder drivs ner i marken. Den yttre cylindern ska ha en diameter på minst 200 mm och den yttre en diameter på minst 400 mm. Cylindrarna fylls därefter med vatten. Mätningen går ut på att vattennivån hålls konstant under en period.

Vid vattengenomsläpplighetmätning vill man mäta det vertikala flödet. En anledning till att använda två ringar snarare än en är att minska påverkan av horisontellt

flöde. Den yttre ringen ger vattenmättnad runt den lilla ringen och bidrar därmed till ett mer korrekt resultat vid mätning i den inre ringen. Enligt Fatehnia m.fl. (2015) har tidigare studier t.ex. visat att en yttre ring på 90 cm runt en inre ring på 30 cm i stort sett eliminerar påverkan av det horisontella flödet. En annan studie visade att en dubbelringinfiltrometer med innerring med diameter 15 cm och yttre ring med diameter 30 cm är lämplig för sandiga jordar i norra och centrala Florida.

Fördelar med metoden:

- Metoden är en pålitlig metod för att mäta vattengenomsläpplighet i fält.
- Horisontellt flöde minimeras.

Nackdelar med metoden:

- Metoden kan vara en något tungarbetad metod?
- Speciell utrustning krävs och denna kostar en del.

Detektering via färgämnen

Färgämnen kan användas för att studera struktur och flödesvägar hos markmaterial (Kodešová m.fl., 2010). Tre viktiga egenskaper för färgämnen är att det ska vara mobilt, synligt och ogiftigt (Cornell University Soil and Water Laboratory, 2003). Ett sätt att utföra mätningen är att tillsätta färg till en yta. Efter att färgen har infiltrerat så gräver man upp en 1–2 m djup grop bredvid det färgade området och avlägsnar markmaterial till man har en ostörd vertikal profil. Vattnets flödesvägar kan då studeras.

Fördelar med metoden:

- Makroporer eller skiktningar i markmaterial kan ha stor påverkan på flödeshastigheten. Om man utför tester med färgämnen eller andra spårämnen så ger detta inte bara en infiltrationshastighet utan en bild av hur infiltrationen fungerar (vilka vägar den tar).

Nackdelar med metoden:

- Metoden kan anges ge onödigt mycket information för att användas för en enkel metod för att bedöma vattengenomsläpplighet. Metoden vore kanske snarare vore intressant för fortsatta forskningsstudier där man t.ex. studerar vilken påverkan makroporer och skiktningar har och hur man kan göra för att få ett så homogent fördelat material som möjligt.

Detektering via spårämnen

Mätning av vattengenomsläpplighet i markmaterial/filtermaterial via spårämnen är en annan metod som dock inte studerats inom någon större utsträckning inom projektet.

Detektering med spårämnen bedöms vara en väl komplicerad metod för att göra en enkel bedömning av vattengenomsläpplighet. Däremot skulle metoden mycket väl kunna vara lämplig för forskningsprojekt där man följer upp funktionen hos markbäddar.

Diskussion

För att kunna kontrollera om ett parti bergkross uppnår önskade rekommendationer krävs en enkel metod som är lätt att upprepa flera gånger. Upprepade mätningar är väsentliga eftersom bergkrossets egenskaper kan se olika ut på olika platser i partiet. Det är därför viktigt att utföra mätningar på olika delar av material innan slutsats kan dras. Det finns ingen direkt nytta med att utföra fältmätningar i ett parti bergkross, eftersom bergkrosset sannolikt kommer att få en annan packningsgrad/porositet i den färdiga anläggningen än vad bergkrosspartiet har inledningsvis. Att utföra laboratoriemätningar som t.ex. permeametertest i rör kan därmed anses vara det lämpligaste sättet för att utföra mätningar under kontrollerade (vattenmättade) förhållanden och för att kunna utföra enkla mätningar upprepade gånger.

I första hand rekommenderas att metoden med rör med diameter 40 mm används. Detta beror i huvudsak på att det har varit lättare att spåra varifrån metoden kommer och vilka gränsvärden som gäller jämfört med metoden med rör med diameter på 100 mm. Metoden med 40 mm-rör har dock den nackdelen rören är mindre vilket ger ett mindre representativt urval än metoden med 100 mm-rör. Effekter av läckage vid rörens sidor riskerar också att få större betydelse ju mindre rören är. Författarna bedömer dock att metoden med 40 mm-rör är den mest kvalitetssäkrade metoden och att den ger en tillräckligt god uppskattning. Metoden är tillräckligt enkel för att kunna upprepas flera gånger vilket är väsentligt för att kunna ge rätt bild att vattengenomsläppligheten hos ett helt parti bergkross.

Metoder med mätning i små rör har mött viss kritik och enligt Andreas Pettersson, (pers. medd.) är metoden förbjuden i vissa stater i USA. Anledningen är att metoden inte anses vara tillförlitlig som enda metod för att uppskatta vattengenomsläpplighet (utan att t.ex. kornstorlekskurva tas fram). Det är dock viktigt att komma ihåg att detta informationsblad om bergkross i markbäddar rekommenderar mätning i små rör som ett komplement till kornstorleksfördelning och inte som en ensam bedömningsmetod.

Det vore också intressant att fånga upp hur bergkrossmaterialets packning i den faktiska anläggningen påverkar vattengenomsläppligheten. För detta behövs en tillförlitlig fältmetod som kan användas av sakkunniga vid utredning och inom forskningsprojekt. Dubbelringinfiltrometermetoden är en säker metod för att uppnå vattenmättade förhållanden i fält och minimera risken för att horisontellt flöde förstör påverkar mätningen. Metoden finns beskriven i en europeisk standard (SS-EN 22282-5), se även bilaga 4 i detta informationsblad. En nackdel med metoden är dock att den kräver viss utrustning som kan vara dyr att köpa in. Metoden ”constant head well permeameter” verkar också anses vara en tillförlitlig metod för att mäta mättad hydraulisk konduktivitet i fält inom utredningar och forskningsstudier. Horisontellt flöde förekommer dock med metoden. Det saknas också en europeisk standard för metoden. Perkolationstest i provgrop rekommenderas inte eftersom det kan vara svårt att uppnå vattenmättade förhållanden med denna metod. Detektering via färg eller spårämnen kan vara intressant för mer specificerade forskningsprojektet.

Slutsatser

För att bedöma ett parti bergkross rekommenderas bergtäkten utföra upprepade mätningar med permeametermetoden med rör med diameter på 40 mm (se beskrivning ovan). Alternativt kan rör med 100 mm användas. I praktiken bör man kunna börja utföra dessa mätningar med en gång.

För att även kunna bedöma bergkrossmaterialets vattengenomsläpplighet under de förhållanden som råder i markbädden (porositet etc.) vore det även intressant att inom utredningar och forskningsprojekt utföra mätningar av vattengenomsläpplighet i fält hos anlagda markbäddar. Dubbelringinfiltrometertest rekommenderas i första hand. I andra hand rekommenderas ”constant head well permeameter test”. Det kommer dock i praktiken krävas mer undersökning av metoderna och aktuella gränsvärden innan dessa metoder kan börja tillämpas.

Referenser

Cornell University Soil and Water Laboratory. 2003, Dye tracer for identifying water and solute flow paths in soils. [elektronisk] http://soilandwater.bee.cornell.edu/Research/pfweb/regulators/labfield/dye.htm. Hämtad: 2015-09-28.

Eldrick, D.E. & Reynolds, W.D., 1992, Methods for analyzing constant-head well permemeter data, Soil Science Society of American Journal, vol 56, ss. 320–323.

Fathenia, M., Paran, S., Kish, S. & Tawfiq, K., 2015, Automating double ring infiltrometer with an Arduino microcontroller, Geoderma, vol 262 (2016), ss. 133-139.

GBG 42, Part 2, 2000, Reed Beds: design, construction and maintenance. BRE Good Building Guides, BRE (Building Research Establishment Limited).

Griggs, J., 2001, Determination of suitable sites for wastewater infiltration systems, People and systems for water, sanitation and health, 27th WEDC Conference, Lusaka, Zambia.

Hayashi, M. & Quinton, W.L. 2004. A constant-head well permeameter method for measuring field-saturated hydraulic conductivity above an impermeable layer. Canadian Journal of Soil Science, vol 84, ss. 255–264.

Johnson, A. I. (1963). A Field Method for Measuring of Infltration. Geological Survey Water, Supply paper 1544-F.

Kodešová, R., Němeček, K., Jirků, V., Nikodem, A., Fér, M., Jakšík, O., Kočárek, M. & Žigová, A. (2010) Using dye tracer experiment for characterization of parameters of the dualpermeability model. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1–6 August 2010, Brisbane, Australia.

Liénard, A., Guellaf, H. & Boutin, C., 2001, Choice of the sand for sand filter used for secondary treatment of wastewater, Water Science and Technology, vol 44, nr 2-3, ss. 189-196.

Nyberg, Fred, personligt meddelande, grundare av FANN VA-Teknik, numera egenföretagare Fliax AB, 2015-09-09 a).

Pettersson, Andreas, personligt meddelande, VA-utredare, anläggningsrådgivare och VD vid JAP Entreprenad AB, 2015-03-17.

van de Graaff, R.H.M., Alexander, J., 2008, The percolation test – a test with false pretensions, Onsite and Decentralised Sewerage and Recycling Conference –

Coming Clean: Sustainable Backyards and Beyond. Benalla 12–15 Oktober 2008. Australian Water Association.

SIS-CEN/TR 12566-2:2006, Avlopp – Reningsanläggning upp till 50 PT – Del 2: Infiltration i mark, Teknisk rapport, European Committee for Standarization.

SS-EN 22282-5:2012. Geoteknik undersökning och provning – Geohydraulisk provning – Del 5: Infiltrationsprovning. Svensk Standard, SIS – Swedish Standards Institute.

Bilaga 4. Undersökning i fält – Infiltrometer-test med dubbelring

Vattengenomsläpplighet i fält kan med fördel mätas med dubbelringinfiltrometer enligt beskriven metod i standarden SS-EN ISO 22282-5. För markbäddar bör det vara relevant att tillämpa metoden med ett öppet system, dubbla cylinderringar och en konstant totalpotentialgradient (constant head), se SS-EN ISO 22282-5. Den hydrauliska konduktiviteten, k, beräknas enligt beskrivningen avsnitt C.1 i standarden SS-EN ISO 22282-5. Första gången testet utförs kan man uppskatta att det kan vara bra att vattenmätta marklagret i ca 40 min. Vid kommande test kan man använda sin tidigare erfarenhet av värden på hydraulisk konduktivitet (k) för att avgöra hur lång tid vattenmättningsfasen som minst bör pågå enligt tabell C.1 i SS-EN ISO 22282-5.

Temperaturen kan påverka vattnets viskositet vilket i sin tur kan påverka den hydrauliska konduktiviteten (k). Det kan därför vara bra att räkna om den hydrauliska konduktiviteten (k) beroende på vattnet temperatur. Vattnets temperatur mäts i så fall i samband med infiltrometertestet enligt SS-EN ISO 22282-5. Temperaturen kan därefter räknas om till en referenstemperatur enligt bilaga (annex) B i SS-EN ISO 22282-5. Följande referenstemperaturer föreslås:

Norrland: 5–7 °C

Svealand: 8–10 °C

Götaland: 14–16 °C

Att utföra testet med rent vatten direkt efter att anläggningen har byggts men innan den har börjat användas (belastas med avloppsvatten från fastigheten) ger ett värde på k hos obelastat material. Utifrån värdet på k är det sedan möjligt att man kan beräkna/uppskatta LTAR (Long term acceptance rate) som är ett mått på den dagliga volym avloppsvatten som kan tas emot per filterarea efter att jämvikt uppnåtts.

Förhållandet mellan k-värdet och LTAR behöver undersökas vidare. Förutom k-värdet finns även andra faktorer som påverkar LTAR, t.ex. belastning av organiskt material. För vidare läsning om detta rekommenderas t.ex.:

- Beal, C.D., Gardner, E.A., Kirchof, G., Menzies, N.W., 2006, Long-term flow rates and biomat zone hydrology in soil columns receiving septic tank effluent, Water Research 40 (2006), ss. 2327–2338.
- Laak, R., 1986, Wastewater engineering and design for unsewered areas, Techonomic Publishing Company, Lancaster, Pennsylvania, USA.