



Kvalitetssäkring av bergkross och naturgrus som filtermaterial i markbäddar

Elin Ulinder, Maja Englund, Magnus Döse, David Eveborn,
Mattias Göransson, Peter Nilsson & Sven Wallman

RISE Rapport 2019:92

Kvalitetssäkring av bergkross och naturgrus som filtermaterial i markbäddar

Elin Ulinder, Maja Englund, Magnus Döse, David
Eveborn, Mattias Göransson, Peter Nilsson & Sven
Wallman

Abstract

Quality assurance of crushed rock and natural sand as filter material in sand filters

This study investigates whether crushed rock can serve as replacement material for natural gravel as filter material in soil beds for wastewater treatment. The main goal of the project has been to investigate what efforts are needed to ensure quality-assured materials in a way that is considered reasonable for the rock material industry and construction contractors. Another goal was to contribute with suggestions for updating grain size limits for crushed rock and natural sand.

The project has been performed through laboratory measurements, a survey study, a seminar and a literature study. One conclusion regarding recommendations for filter material is that crushed rock can be considered approved as a filter material if the material lies within the new grain size limits presented in this project. Another suggestion is that rock crushing materials should be considered approved if they are within certain limits of LTAR (long-term acceptance rate) – even if the material lies outside the grain size limits. The project also suggests removing direct requirements for washing of rock crushing material as long as the material meets the recommendations on grain size limits or LTAR.

The project's results also indicated that it can be difficult to find crushed rock from the quarries' usual assortment that meet the recommendations. By modifying materials, e.g. by sorting and mixing or washing, the possibilities of meeting the recommendations improve. However, there is a risk that many quarries will not be able to modify materials. This can result in long transports and thus high costs and emissions. One way to make it more reasonable to modify materials could be co-production with other uses (e.g. concrete ballast).

Key words: crushed rock, natural sand, onsite wastewater treatment, filter materials, sand filters, soil treatment systems, recommendations, grain size distribution, hydraulic conductivity, LTAR

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport 2019:92

ISBN: 978-91-89049-22-2

Uppsala

Innehåll

Abstract	2
Innehåll	3
Förord	5
Sammanfattning	6
1 Inledning	7
1.1 Bakgrund.....	7
1.2 Syfte	8
1.3 Mål	8
1.4 Stygrupp och referensgrupp.....	9
1.5 Genomförande	9
1.5.1 Laboratiemätningar	10
2 Litteraturstudie	14
2.1 Användning av naturgrus och bergkross	14
2.1.1 Bergkross som ersättningsmaterial till naturgrus	15
2.2 Täckernas provtagning och bedömning.....	16
2.3 Filtermaterial i markbäddar	18
2.3.1 Kornstorleksgränser	19
2.3.2 Metoder för bestämning av hydraulisk konduktivitet och LTAR.....	20
2.3.3 Bergkross som filtermaterial	21
2.3.4 Packningsgrad och kemiska egenskaper	22
2.3.5 Metoder för att modifiera bergkross	23
3 Resultat och diskussion	23
3.1 Insamlade uppgifter	23
3.2 Analysresultat	24
3.2.1 Hydraulisk konduktivitet och LTAR	24
3.2.2 Kornstorleksfördelning	27
3.2.3 Porositet.....	30
3.2.4 Flödestal	31
3.3 Resultat från seminarium och enkätstudie	31
3.3.1 Enkät bergmaterialproducenter	31
3.3.2 Enkät anläggningsentreprenörer	34
3.3.3 Seminarium	37
3.4 Diskussion.....	40
3.4.1 Rekommendationer för markbäddsmaterial	41
3.4.2 Vad krävs för att uppfylla rekommendationerna?	44
3.4.3 Hur ska materialet kvalitetssäkras?	45

4	Slutsatser	47
5	Vidare studier	48
6	Källor	49
	Bilaga 1 Porositet och flödestal.....	51
	Bilaga 2 Enkät bergmaterialproducenter	54
	Bilaga 3 Enkät anläggningsentreprenörer	56

Förord

Ett steg för att uppnå Sveriges miljö kvalitetsmål ”Grundvatten av god kvalitet” är att hitta ersättningsmaterial till naturgrus inom olika användningsområden. Inom användningsområdet filtermaterial i markbäddar för avloppsvattenrening skulle bergkrossmaterial kunna vara ett ersättningsmaterial. Det finns dock behov av att utreda vilka egenskaper som krävs av bergkrossprodukter samt hur kvalitetssäkring ska kunna uppnås med samhällsekonomiska metoder. Projektet har bidragit till att undersöka detta genom att utföra laboratoriemätningar på bergkrossmaterial och naturgrusmaterial från olika delar av Sverige och genom att samla erfarenheter från aktörer inom små avlopp samt inom bergmaterialindustrin.

Projektet har finansierats av Havs- och vattenmyndigheten. Styrgruppen har bestått av Elin Ulinder (projektledare) och Maja Englund, båda från RISE Jordbruk och livsmedel, samt Magnus Döse från RISE CBI Betonginstitutet. Magnus Döse har även utfört laboratoriemätningarna inom projektet med hjälp av sina kollegor på RISE CBI Betonginstitutet.

Styrgruppen vill rikta ett stort tack till projektets referensgrupp – David Eveborn och Mattias Göransson från SGU, Peter Nilsson från VA-Teknik och Vattenvård samt Sven Wallman från NCC Construction AB – samt till de bergmaterialproducenter som bidragit med material till projektet och till alla på RISE CBI som hjälpt till att utföra laboratoriemätningarna. Ett stort tack riktas även till de tillverkare av avloppsanläggningar, anläggningsentreprenörer, bergmaterialproducenter och miljöinspektörer som deltagit i projektets seminarium och svarat på de enkätfrågor som skickats ut inom projektet.

Uppsala i september 2019

Gustav Rogstrand

Sektionschef Process och miljö, RISE Jordbruk och livsmedel

Sammanfattning

Traditionellt sett används naturgrus som filtermaterial i markbäddar för avloppsvattenrening. Naturgrus är dock en begränsad resurs med stor betydelse för samhällets dricksvattenförsörjning. Bergkrossmaterial skulle kunna vara ett ersättningsmaterial till naturgrus men i så fall krävs att kunskapen om krossprodukternas vattengenomsläpplighetsegenskaper förbättras, att det finns kostnadseffektiva metoder för att ta fram material med lämpliga egenskaper och att kvalitetssäkring av bergkrossprodukter möjliggörs.

I informationsbladet ”Rekommendationer för bergkross som filtermaterial i markbäddar” (2016), finansierat av Havs- och vattenmyndigheten, finns rekommendationer för vilka krav som ska ställas på bergkross. Det finns dock behov av att se över rekommendationerna, t.ex. gränsvärden för kornstorleksfördelning och rekommendationer kring tvättning. Målen med detta projekt har varit att undersöka hur den hydrauliska konduktiviteten i bergkrossprodukter varierar beroende på kornstorleksfördelning och packningsgrad samt undersöka vilka insatser för att kvalitetssäkra material som anses rimliga för bergmaterialindustrin och anläggande entreprenörer. Ett annat mål har varit att bidra med underlag för uppdatering av kornstorleksgränser för bergkrossmaterial och naturgrus.

Projektet har genomförts genom laboriemätningar, seminarium, litteraturstudie och enkätstudie riktade till bergmaterialindustrin och anläggningsentreprenörer. Inom laboriemätningarna mättes hydraulisk konduktivitet, kornstorleksfördelning, porositet och flödestal hos tio bergkrossmaterial och fyra naturgrus. Under projektets seminarium deltog representanter från bergmaterialindustrin, anläggningsentreprenörer, tillverkare av anläggningar och miljöinspektörer för att diskutera rekommenderade kornstorleksgränser och vilka insatser som anses rimliga för att kvalitetssäkra bergkross som filtermaterial i markbäddar.

Detta projekt föreslår uppdaterade rekommendationer som bygger på att bergkrossmaterial kan anses vara godkända som filtermaterial om de ligger inom de nya kornstorleksgränser som presenteras inom detta projekt. Ett annat förslag är att bergkrossmaterial ska anses vara godkända om de ligger inom vissa gränser för LTAR (långsiktig vattengenomsläpplighet vid belastning med avloppsvatten) – även om materialet ligger utanför kornstorleksgränserna. Fortsatta studier behövs dock kring metodik för mätning av hydraulisk konduktivitet och koppling till LTAR. Projektet föreslår också att ta bort direkta krav på tvättning av bergkrossmaterial så länge materialet uppfyller rekommendationerna på kornstorleksgränser eller LTAR.

Bland övriga slutsatser från projektet kan nämnas att det kan vara svårt att uppnå rekommendationerna med bergkrossmaterial som kommer direkt ur täkternas sortiment. Med modifiering som sortering och blandning respektive tvättning förbättras möjligheterna. Sortering och blandning är dock förknippat med svårigheter som t.ex. att uppnå jämn kvalitet medan tvättning kräver stor investeringskostnad. Risken finns att många täkter inte har möjlighet att modifiera material, vilket kan medföra långa transporter och därmed höga kostnader och utsläpp. Ett sätt att göra det rimligare att modifiera material skulle kunna vara samproduktion med andra användningsområden (t.ex. betongballast).

1 Inledning

Detta projekt har gått ut på att undersöka vad som krävs för att bergkrossmaterial ska kunna användas som ersättningsmaterial till naturgrus som filtermaterial i markbäddar för avloppsvattenrening.

1.1 Bakgrund

Markbaserade avloppsanläggningar (infiltrationsanläggningar och markbäddar) är den vanligaste tekniken för rening av vatten från små avlopp. Traditionellt sett används naturgrus som filtermaterial i markbäddar och ibland även som förstärkningslager i infiltrationsanläggningar. Naturgrus är en begränsad resurs och många av de kvarstående avlagringarna i landet har en avgörande betydelse för samhällets dricksvattenförsörjning. Ett steg för att uppnå Sveriges miljökvalitetsmål ”Grundvatten av god kvalitet” är att hitta ersättningsmaterial till naturgrus inom olika användningsområden (Göransson, 2015). För att kunna använda bergkross som filtermaterial krävs dock att:

- kunskapen om krossprodukternas vattengenomsläpplighetsegenskaper förbättras
- det finns kostnadseffektiva metoder för att ta fram material med lämpliga egenskaper
- kvalitetssäkring av bergkrossprodukter möjliggörs.

En kolonnstudie av Elmefors & Ljung (2013) visade att bergkross kan ge reningseffekter av organiskt material och bakterier som är jämförbara med reningseffekterna för naturgrus. En förutsättning är dock att vattengenomsläppligheten i bergkrossmaterialet inte är för hög eller för låg. En möjlig risk med bergkrossmaterial är att det ofta innehåller en högre andel av fina partiklar som riskerar att orsaka igensättning i filtermaterialet. Dessutom har bergkross en annan porositet än naturgrus. Porositeten är en faktor som tillsammans med kornstorleksfördelningen påverkar vattengenomsläppligheten hos filtermaterialet.

För naturgrus finns idag rekommenderade kornstorleksgränser i Naturvårdsverkets faktablad 8147 (de tidigare allmänna råden för små avloppsanläggningar från 1987). Det är dock inte säkert att dessa gränser gäller även för bergkross, bland annat på grund av skillnader i porositet mellan bergkross och naturgrus. Havs- och vattenmyndigheten har under 2014–2016 finansierat ett informationsblad¹ med rekommendationer för bergkross som filtermaterial i markbäddar. En slutsats från projektet var att kornstorleksgränserna i Naturvårdsverkets faktablad 8147 tills vidare får anses gälla även för bergkrossmaterial, men att man även bör komplettera med en mätning av vattengenomsläpplighet för att säkerställa bergkrossmaterialets funktion. Det finns dock ett behov av att titta närmare på vilka kornstorleksgränser som är relevanta just för bergkross.

¹ Informationsbladet ”Rekommendationer för bergkross som filtermaterial i markbäddar” (2016).

I informationsbladet¹ gavs också rekommendationen att allt bergkrossmaterial bör tvättas innan användning. Tvättning innebär i det här fallet att alla partiklar med kornstorlek under 0,063 mm ska avlägsnas, t.ex. genom metoder som vindsiktning eller våtklassering. Metoderna för tvättning är relativt kostsamma och svåra att utföra. Detta betyder att många mindre täkter inte anser att det är rimligt att tvätta bergkrossmaterial för filtermaterialsändamål. I en studie av Elmefors m.fl. (2016) konstaterades att det kan finnas enklare och billigare tillvägagångssätt än tvättning för att få fram material med bra filteregenskaper. I projektet tog man fram ett bergkrossmaterial enbart genom sorterings- och blandningstekniker (vilket bedöms vara tekniker som är lätta för många täkter att tillämpa). Materialet hamnade i stort inom kornstorleksgränserna och hade ett bra värde vid vattengenomsläpplighetsmätning. Det finns därför behov att se över vilka metoder som kan fungera för modifiering av material, och hur rekommendationerna ska se ut. En hypotes var att krossmaterial kanske inte alltid behöver tvättas för att fungera som filtermaterial.

Det kan finnas behov av att uppdatera rekommenderade kornstorleksgränser även för naturgrus. I studien bakom informationsbladet² ansåg referensgruppen att en av gränskurvorna behöver justeras. I studien av Elmefors m.fl. (2016) fann man att vissa naturgrusmaterial hade lägre vattengenomsläpplighet än rekommenderat, även om deras kornstorlekskurvor låg inom rekommenderade gränser. Det är därför intressant med ytterligare underlag och bedömning för hur naturgrus ska kontrolleras för att säkerställa att det håller rätt kvalitet.

1.2 Syfte

Projektet syftade till att bidra till kvalitetssäkring av bergkross och naturgrus som filtermaterial till markbäddar genom ökad kunskap om kopplingen mellan kornstorleksfördelning och vattengenomsläpplighet. Projektet syftade även till att ge förslag på metoder för samhällsekonomisk modifiering och kvalitetssäkring av filterprodukter av krossmaterial.

1.3 Mål

Målen med projektet var att:

1. Undersöka hur den hydrauliska konduktiviteten i bergkrossprodukter varierar beroende på kornstorleksfördelning och packningsgrad.
2. Undersöka vilka insatser för att kvalitetssäkra material som anses rimliga för bergmaterialindustrin och anläggande entreprenörer och utifrån detta ge förslag på hur kvalitetssäkring kan utföras i praktiken.
3. Bidra med underlag för uppdatering av kornstorleksgränser för bergkrossmaterial och naturgrus.

² Informationsbladet ”Rekommendationer för bergkross som filtermaterial i markbäddar” (2016).

1.4 Styrgrupp och referensgrupp

Projektets styrgrupp bestod av Elin Ulinder (projektledare) och Maja Englund från RISE Jordbruk och livsmedel samt Magnus Döse från RISE CBI Betonginstitutet. Projektets referensgrupp bestod av David Eveborn och Mattias Göransson från SGU, Peter Nilsson från VA-Teknik och Vattenvård samt Sven Wallman från NCC Construction AB (även engagerad inom Sveriges bergmaterialindustri). Styrgruppen och referensgruppen har tillsammans utgjort projektets projektgrupp.

1.5 Genomförande

Projektet har genomförts från maj 2017 till september 2019 genom momenten laboriemätningar, enkätstudie, seminarium och litteraturstudie. Laboriemätningarna utfördes på fyra naturgrusmaterial och tio bergkrossmaterial. Fyra av bergkrossmaterialen kom direkt ur, eller efterliknade material som kom direkt ur, täkternas sortiment, medan de andra sexmaterialen hade modifierats av bergmaterialproducenterna för att ge en kornstorleksfördelning som passade bättre inom de kornstorleksgränser för markbäddssand som finns rekommenderade i Naturvårdsverkets faktablad 8147. Vid urval av bergkrossmaterial strävade projektgruppen efter att representera olika platser i Sverige med varierande bergartsinnehåll. Vid urval av naturgrus strävade projektgruppen också efter geografisk spridning och då främst att minst ett material skulle ha sitt ursprung norr om Gävle, eftersom sådant material ofta har en högre halt finmaterial mindre än 0,063 mm än material som har sitt ursprung söder om Gävle.

Enkätstudien utfördes för att undersöka bergmaterialindustrins inställning till olika metoder för utveckling och modifiering av bergkrossmaterial för filtertillämpningar. I studien undersöktes också vilka kvalitetsproblem som kan uppstå i samband med produktion, hur dessa problem kan undvikas och hur kvalitetssäkring av produkter kan ske. Enkäten har spridits till de bergmaterialproducenter som projektgruppen kommit i kontakt med genom tips från referensgruppen, via insamling av material till projektet och genom projektets seminarium (se nedan). Enkäten har även spridits via Sveriges Bergmaterialindustris tidskrift "Stenkoll". En enkät har även spridits till anläggningsentreprenörer för att undersöka vilka material som används som filtermaterial idag, hur materialet hanteras under byggande och lagring samt vilken typ av kvalitetssäkring som anses vara önskvärd och möjlig. Enkäten har bland annat gått ut via VA-guidens hemsida samt spridits via deltagare i seminariet och projektets referensgrupp. En litteraturstudie genomfördes för att ge kunskapsstöd till resultatbearbetning från laboriemätningarna och slutsatserna från intervjustudien

Den 20 maj 2019 genomfördes ett seminarium inom projektet för att diskutera:

- hur rekommenderade kornstorleksgränser bör se ut
- vilka insatser som krävs och är rimliga för att få fram ett material med bra filteregenskaper
- hur kvalitetssäkring av materialet ska kunna uppnås.

På seminariet deltog representanter från bergmaterialindustrin, anläggningsentreprenörer, tillverkare av anläggningar och miljöinspektörer (totalt 26 deltagare).

1.5.1 Laboratoriemätningar

Under laboratoriemätningarna har kornstorleksfördelning, hydraulisk konduktivitet, porositet och flödestal analyserats hos materialen. Mätningarna har utförts av RISE CBI Betonginstitutet.

Kornstorleksfördelning

Vid utvärdering av kornstorleksfördelning för de olika sorteringarna användes den standardiserade provningsmetoden som finns beskriven i SS-EN 933-1:2012.

Ett slumpmässigt urval om ca 10 kg togs från respektive inskickat material. Därefter delades materialet ner med rotationsneddelare, varpå en vikt mellan 0,6 kg till ca 2 kg analyserades för respektive sortering. Dubbelprov utfördes alltid för att säkerställa att variationen vid en analys inte varit alltför stor.

Det analyserade materialet torkades först i ugn (105°C) och fick därefter svalna. Siktarna 0,063 mm, 0,125 mm, 0,250 mm, 0,5 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm, 5,6 mm, 8 mm och 16 mm användes vid analysen. Den initiala provvikten för respektive prov vägdes i torrt tillstånd och därefter siktades materialet med frekvenssikt i minimum 10 min. Därefter vägdes respektive material i varje enskild sikt och sammanställdes till en kornkurva utifrån kornstorlek som funktion av viktprocent av den totala vikten.

Hydraulisk konduktivitet

Provningen har utförts i linje med riktlinjer uppställda för permeabilitetsmätningar på jord och grus och permeabla byggmaterial. Förfarandet beskrivs i det amerikanska standarderna, ASTM-C1701/C1701M-09. Principen vid mätning av en ballastsorterings hydrauliska konduktivitet (permeabilitet) uttrycks som dess flödes hastighet av vatten per tidsenheten (m/s).

Ett slumpmässigt urval av ca 50 kg togs ut från de material som ingick i studien. Inför provningen hålls provet i ett grovt rör, vilket är 300 mm i invändig diameter, där en 0,5 mm sikt utgör ett bottentråg för att hålla materialet på plats (figur 1). Respektive undersökt sortering fylldes upp till en nivå av 300 mm inför analys. Vid lös packning påfördes endast ett mycket lätt tryck med en platta för att utjämna materialet på ytan. Vid hård packning vibrerades materialet med en ”kangohammare” och en exakt utformad stålplatta för att kunna packa material på insidan av röret. Materialet vibrerades i ca 25 sekunder, eller tills ingen ytterligare kompaktion noterades. Ofta kompakterades materialet med ca 10–15 %.

Initialt tilläts vatten strömma igenom materialet under ca 3 minuter innan mätningar påbörjades för att uppnå vattenmättade förhållanden. Ofta utfördes minst tre mätningar för lös packning, där ett medelvärde beräknades. En mätning avslutades normalt efter att 10 liter av vatten strömmat igenom materialet. Ibland var dock genomströmningen mycket låg, varpå försöket beräknades utifrån den mängd liter som strömmat igenom materialet som funktion av tiden (sekunder).

Vid mätning skall vattennivån i röret hållas konstant. Vatten tillförs kontinuerligt genom en grov slang och ett spridarmunstycke. I försöken anpassades den överliggande vattenkolumnen till ca 50 mm.

Sambandet beskrivs enligt Darcy´s lag

$$Q = kA$$

Där Q är $m^3/tidsenhet$ vatten, k = materialets hydrauliska konduktivitet (flödes hastighet) och A är tvärsnittsarean (m^2) av genomflödesområdet. Ett vertikalt flöde förutsätts samt att materialet är "vattenmättat".



Figur 1. Provutrustning för mätning av hydraulisk konduktivitet.

Porositet

Porositeten mäts med hjälp av ett mindre transparent mätkärl med angivna enheter på utsidan.

Principen vid mätning baserades på att (i) tillförd mängd vatten (liter) upp till 1-litersstrecket på mätkärlet, kan räknas som "porositet" när materialet är fyllt med olika material till samma nivå (1 liter). Principen bygger på att all luft mellan partiklarna i materialen/sorteringarna fylls av vatten istället för luft.

För att minimera påverkan av initial absorption efter att materialen hade torkats i ugn (105°C) fylldes mätkärlet med materialet upp till en 1-litersnivå inuti kärlet (figur 2). Materialen kompakterades lätt genom försiktig tappning av fingrarna på röret. När nivån upp till 1-litersstrecket uppnåtts togs materialet ut och lades på vitt papper. Materialet fuktades lätt med vatten från sprayflaska i två omgångar med fem minuters mellanrum och vägdes (yttorr). Därefter fördes materialet tillbaka i mätkärlet och kompakterades lätt.

Vatten fylldes varsamt på och fick perkolera ner genom materialen/sorteringarna. Normalt var materialen/sorteringarna vattenmättade efter 1–15 min. När en "vattenhorisont/yta" noterades på den ovanliggande ytan av materialet inuti kärlet beräknades den tillförda mängden av vatten, vilket således utgör "porositeten". Eftersom absorption av vatten till ballastmaterialen möjligen kan influera till viss del, då en del material var relativt täta och det tog tid för vattnet att perkolera ner i materialet, mättes också en del material efter 24 timmar.

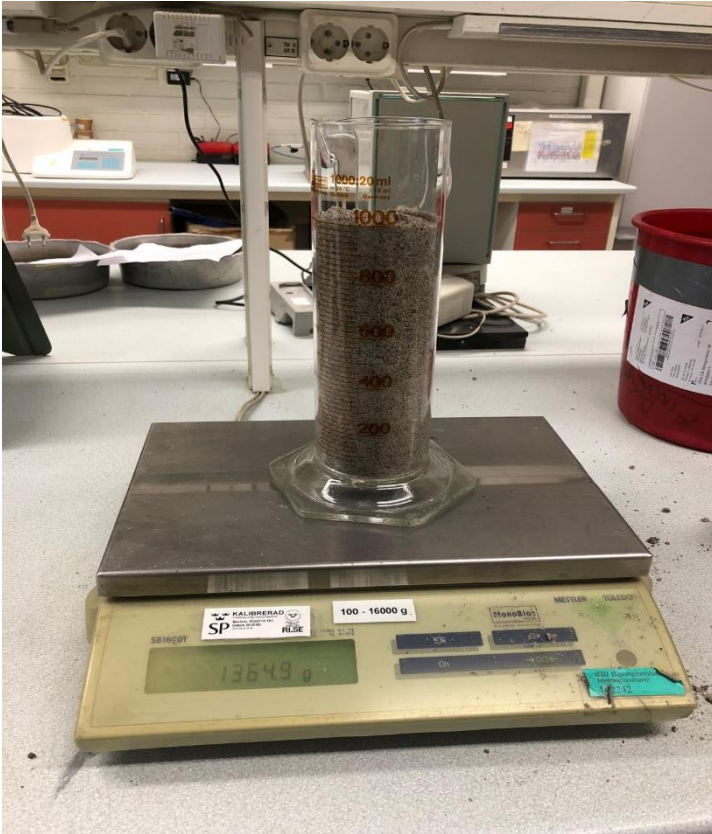
Mätningen får anses approximativ, men anses ge en god uppfattning om materialets förutsättningar vid lös packning.

Flödestal

Flödestal bestämdes för den finare fraktionen 0,063–4 mm för samtliga material. Mätningarna utfördes i linje med rekommenderade krav enligt standarden SS-EN 933-6:2014.

Principen är att materialen skall "flöda" genom en konad cylinder, där slutöppningen är 16 mm. Materialen "flödar" genom den konade cylinder enkom genom gravitation. Material tillförs inuti den konade cylindern och fylls upp till toppen av denna (figur 3) och avjämnas mot överkant. Inför start av mätning öppnas en ventil som försluter öppningen i underkant (16 mm slutöppning). Den tid det tar för ett material att tömmas från den konade cylindern är ett mått på materialets förmåga att "flöda". Naturgrus "flödar" normalt relativt snabbt, på grund av dess relativt sfäriska korn. Krossmaterial är ställvis mer kantiga, varför det ofta inte "flödar" lika väl som ett naturgrus. Mätningarna får anses som relativa i denna undersökning och utfördes som ett komplement till övriga analyser.

Inför analys togs ca 2 kg material slumpmässigt ut för analys av flödestal. Proven torkades i ugn (105°C) inför analys. Tre mätningar utfördes av respektive sortering/fraktion, där ett medeltal beräknades. I flera fall noterades dock för en del krossmaterial att "materialet fastnade" och det fick tappas lätt mot konen för att materialet skulle kunna "flöda" klart.



Figur 2. Inför mätning av porositet. Materialet vägs i torrt tillstånd inför kommande utvärdering.



Figur 3. Inför start av mätning av flödestal för ett naturgrusmaterial.

2 Litteraturstudie

Naturgrus är en ändlig resurs som är viktig för dricksvattenförsörjningen. Det finns därför ett behov av att minska användningen av naturgrus inom de användningsområden där det är möjligt (Göransson, 2015). Ett antal studier tyder på att bergkrossmaterial skulle kunna ersätta naturgrusmaterial som filtermaterial i markbäddar för avloppsvattenrening. Dock krävs ytterligare studier för att säkerställa att bergkrossmaterial har rätt egenskaper för att uppnå tillräcklig rening av avloppsvattnet. En viktig faktor att ta hänsyn till är materialets hydrauliska konduktivitet.

2.1 Användning av naturgrus och bergkross

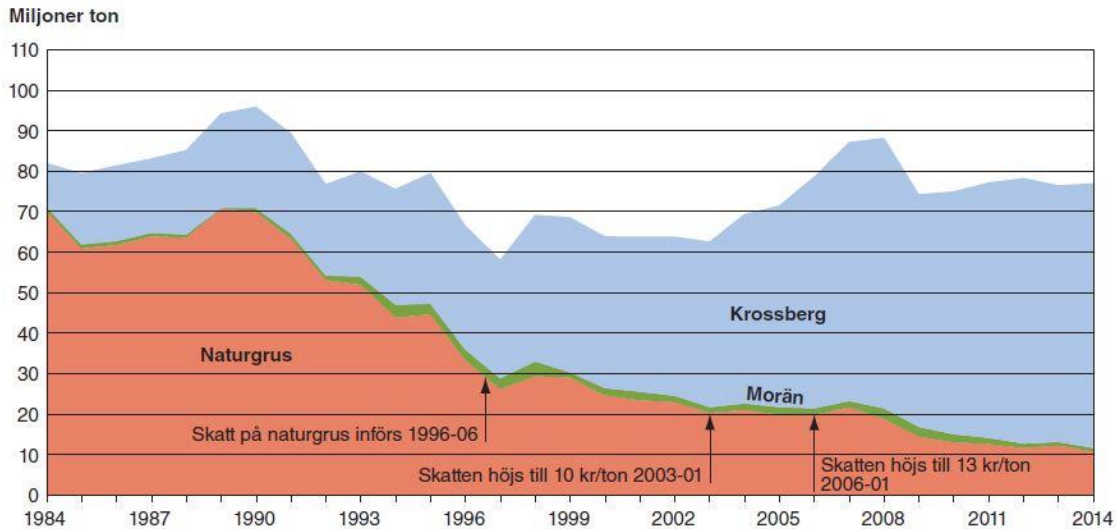
Sedan 2009 finns en lag i 9 kap., 6 § i miljöbalken om att undvika naturgrus när andra materialslag kan användas, vilket gäller för tillstånds- eller anmälningspliktiga täkter (Göransson, 2015). Skatt på naturgrus infördes 1996 och har därefter höjts stegvis. Sedan 2018 är naturgrusskatten prisindexerad och höjs beroende på hur konumentprisindex och BNP utvecklas (SGU, 2018). 2019 höjdes naturgrusskatten till 16 kr/ton (SFS 2018:1635). Efter införandet av naturgrusskatten har naturgrusuttaget minskat, se figur 4. 2014 bestod naturgrusuttaget av 11 miljoner ton vilket utgjorde 14 % av det totala ballastuttaget på 77 miljoner ton. Detta kan jämföras med naturgrusuttaget 1990 som bestod av 69,8 miljoner ton vilket utgjorde drygt 70 % av det totala ballastuttaget på 100 miljoner ton (Göransson, 2015). Antal rena naturgrustäkter som fanns i drift 2014 var 449, vilket är en stor minskning jämför med de 4 645 täkter som fanns 1990 (Göransson, 2015). Det största användningsområdet för naturgrus 2014 var betong (52 %) medan vägar utgjorde 9 %, fyllnadsmaterial 7 % och övriga ändamål 25 % (Göransson, 2015).

Fördelning av naturgrustillgångar är ojämn i Sverige. Vissa områden har god tillgång på naturgrus, som: nordöstra Skåne, inre Götaland omkring Vättern, norr om Siljan till Härjedalen och vissa delar av Norrlands inland. Andra områden kännetecknas av stor brist på naturgrustillgångar (Göransson, 2015):

- västra Götaland
- sydöstra Götaland
- ostkusten från Oskarshamn till Norrtälje
- södra delen av Västernorrlands län
- Tornedalen.

Bristande tillgång på naturgrus är inte ett så stort problem i områden med få invånare, eftersom naturgrus inte behövs för vattenförsörjningen på samma sätt där (Göransson, 2015). Naturgrusmaterial från täkter norr om Gävle består ofta av siltiga³ sander vilket kan leda till en större andel av material finare än 0,063 mm än för naturgrusmaterial söder om Gävle (Mattias Göransson, pers. medd. 1).

³ Silt har en kornstorlek på 0,002–0,06 mm.



Figur 4. Leveranser av ballast per materialslag i Sverige åren 1984–2014, miljoner ton. Entreprenadberget har räknats bort från statistiken före 2011. Bilden kommer ifrån Göransson, (2015). Sedan 2019 är naturgrusskatten 16 kronor per ton och skatten är numera prisindexerad och kommer att höjas beroende på hur konsumentprisindex och BNP utvecklas (SFS 2018:1635, SGU, 2018).

Tillgången på berg som går att krossa är i teorin oändlig, men begränsas i praktiken av miljö-, kvalitets- och kostnadskrav (Göransson, 2015). Olika användningsområden är förknippade med olika typer av kvalitetskrav, exempelvis ställs större krav på materialets beständighet vid användning till järnvägsmakadam än vid användning till betongkonstruktion (Göransson, 2015). På Sveriges Geologiska Undersöknings (SGU) hemsida finns kartor med information om bergartsegenskaper som kan användas för bedömning om material från olika områden. I figur 4 visas hur användningen av bergkross (krossberg) har förändrats från 1984. Vissa källor till bergkrossproduktionen finns inte medräknade, till exempel entreprenadberg som uppstår som en biprodukt av vägar, tunnlar med mera.

Vid bergkrossframställning går det åt mer energi än vid framställning av naturgrus. Man kan räkna på en energiförbrukning på ca 10–11 kWh för bergkross jämfört med 4–5 kWh för naturgrus (Grånäs m.fl., 2014). Skillnaden beror på hur mycket energi som går åt för att krossa berget (Grånäs m.fl., 2014).

2.1.1 Bergkross som ersättningsmaterial till naturgrus

Möjligheten att ersätta naturgrus ser olika ut beroende på användningsområde. Idag kan man dela in användningsområdena i tre kategorier. För den första kategorin finns funktionsdugliga ersättningsmaterial tillgängliga. Exempel på dessa användningsområden är vägändamål, järnvägar/banvallar, halkbekämpning och betongändamål om kornstorleken är över 4 mm (Göransson, 2015). Den andra kategorin utgörs av användningsområden där det finns forskningresultat som tyder på att det är möjligt att ersätta naturgrus, men att det behövs ytterligare studier och/eller implementering i stor skala innan det går att fastställa. Filtermaterial för avloppsvattenrening tillhör denna kategori liksom betongändamål om kornstorleken är under 4 mm, filtermaterial till renvatten och stötdämpande underlag (fallsand) (Göransson, 2015). Den tredje kategorin utgörs av användningsområden där det inte är

känt om det finns något ersättningsmaterial till naturgrus, exempelvis för användning till gjuteri och glasråvara (Göransson, 2015).

2.2 Täkternas provtagning och bedömning

Det finns flera sätt att utvärdera ett bergmaterials egenskaper. Kornstorleksfördelning, hydraulisk konduktivitet, packningsgrad, flödestal, kornform och specifik yta är olika typer av mått på materialets fysikaliska egenskaper. Materialets bergartsinnehåll kan påverka materialets fysikaliska egenskaper och även dess kemiska egenskaper.

För att analysvärdet ska vara representativt för materialet är det även viktigt att prov tas ut på ett kvalitetskontrollerat sätt. När täkterna testar sitt eget material används oftast metoder ur standarden SS-EN 932-1 för uttag av prov. Standarden beskriver dels hur representativa samlingsprov tas, dels hur detta samlingsprov kan delas ner i delprov.

Kornstorleksfördelning

Kornstorleksfördelning är ett mått på vilka olika kornstorlekar ett material innehåller och hur massan hos de olika kornstorlekarna fördelar sig hos materialet. Kornstorleksfördelningen hos ett material redovisas som procentuell massfördelning för korn som passerat en viss maskvidd jämfört med alla korn i materialet. Utifrån dessa värden kan en kurva ritas upp. Idag är det vanligt att analysera kornstorleksfördelning hos naturgrus- och bergkrossmaterial på täkterna i Sverige. Analysen brukar ske enligt standarden SS-EN 933-1. Metoden gäller för en kornstorlekgräns på 90 mm. Den minsta kornstorlek som mäts är 0,063 mm, d.v.s. metoden ger en samlad procentuell massfördelning för material som är 0,063 mm eller mindre. Vill man göra en noggrannare analys av massfördelningen under 0,063 mm finns metod för detta beskrivet i standarden EN 933-10.

Metoder för mätning av hydraulisk konduktivitet

Det finns olika typer av mått för att bedöma hur fort ett material släpper igenom vatten. Hydraulisk konduktivitet är ett mått på hur mycket vatten ett filtermaterial eller annat poröst medium släpper igenom per tidsenhet (mätt i m/s). Storleken på den hydrauliska konduktiviteten påverkas av hur stor andel av porerna, det vill säga hålrummen mellan materialets korn, som är fyllda med vatten. Om ett material är nära vattenmättnad, det vill säga om nästan alla porer är fyllda med vatten, når den hydrauliska konduktiviteten sitt högsta värde vilket kallas mättad hydraulisk konduktivitet (Domenico & Schwartz, 1998). För omättade förhållande kommer den hydrauliska konduktiviteten variera med vattenhalten – ju mindre vattenhalten är desto lägre blir den hydrauliska konduktiviteten (Naturvårdsverket, 1985; Domenico & Schwartz, 1998). För att uppskatta den hydrauliska konduktiviteten vill man oftast uppnå mättade förhållanden eftersom det då blir lättare att jämföra olika värden. Att mäta hydraulisk konduktivitet hos naturgrus- och bergkrossmaterial är idag inte satt i system hos bergmaterialproducenterna. Det finns ingen självklar metod för ändamålet, men däremot finns ett antal olika metoder, varav vissa finns beskrivna enligt standard. Detta beskrivs ytterligare i kapitel 2.3.2.

Kornform, specifik yta och flödestal

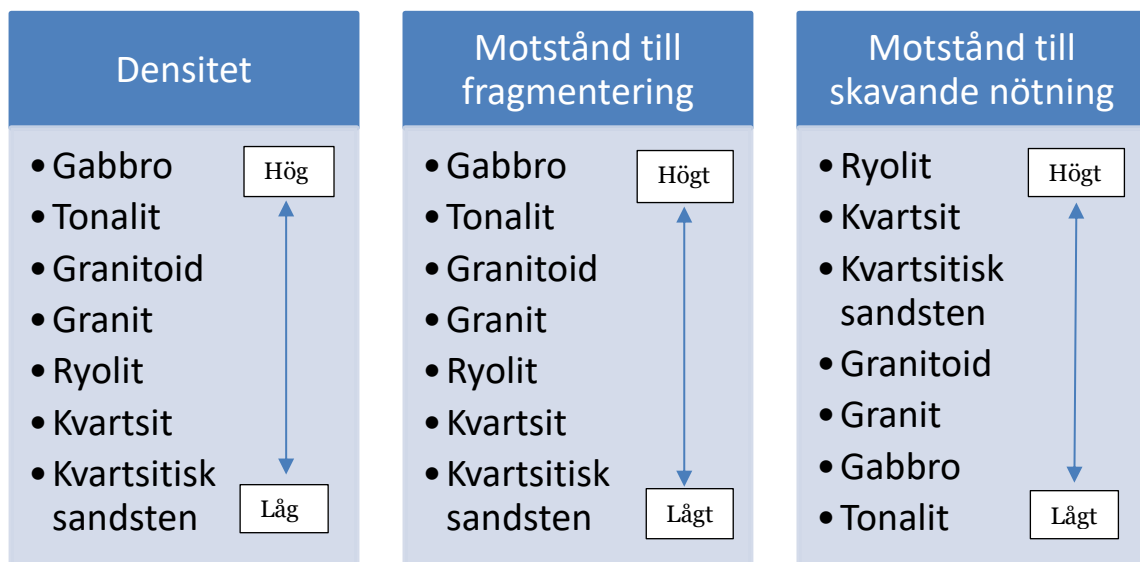
Bergkrossmaterialens korn är ofta mer kantiga och flakiga medan naturgrusmaterialens korn ofta är mer runda (Lagerblad m.fl., 2011). För att få ett mått på materialens flakighet används till exempel mätning av flisighetsindex. Metod för flisighetsindex finns i standarden SS-EN 933-3.

Två andra fysikaliska mått som ibland utreds av bergmaterialproducenterna är specifik yta och flödestal. Ett materials specifika yta beskriver den totala ytan hos kornen i ett prov i relation till provets vikt. Flödestalet är ett mått på hur snabbt ett material ”flödar” genom en konisk cylinder. Flödestalet påverkas av kornform, kornstorlek och densitet.

Bergartsinnehåll

Ett materials bergartsinnehåll, eller petrografi, påverkar många fysikaliska egenskaper hos naturgrus- och bergkrossmaterialet som kornform och benägenhet att vittra. I denna studie ingick bergarter som granit, granitoid, tonalit, ryolit, kvartsit, kvartsitisk sandsten och gabbro. Ett material innehåller dels metagranitiska, dels metasedimentära bergarter (metagråvacka).

Kvarts är ett vanligt mineral som har god tålighet mot vittring och erosion (Göransson, 2018). Kvartsit är en omvandlad, icke-porös bergart som består nästan uteslutande av mineralet kvarts. Krossade kvartskorn, t.ex. av bergarten kvartsit, kan ofta vara flisigare än andra material (Göransson, 2018). Mineral från kvartsrika bergarter som inte är särskilt omvandlade har oftast en annan skrovlig karaktär på brottytan (Göransson, 2018). Figur 5 beskriver hur studiens bergarter förhåller sig till varandra vad gäller densitet, motstånd till fragmentering och motstånd mot skavande nötning.



Figur 5. Hur studiens bergarter förhåller sig till varandra vad gäller densitet, motstånd till fragmentering och motstånd mot skavande nötning.

Vid användning av naturgrus- och bergkrossmaterial som filtermaterial är det också relevant att studera risk för utlakning av skadliga ämnen, vilket är kopplat till bergartsinnehåll, se avsnitt 2.3.4. Exempel på metod för en enklare petrografisk analys finns i standarden SS-EN 932-3.

2.3 Filtermaterial i markbäddar

Tidigare har filtermaterial i markbäddar i princip enbart utgjorts av naturgrus. På den senaste tiden har dock behovet att hitta ersättningsmaterial till naturgrus ökat i vissa delar av landet på grund av kostnads- och/eller miljöskäl. Det har bedrivits ett antal studier som indikerar att bergkrossmaterial kanske skulle kunna fungera som ersättningsmaterial till naturgrus. En kolonnstudie av Elmefors & Ljung (2013) visade att bergkross kan ge reningseffekter av organiskt material och bakterier som är jämförbara med reningseffekterna för naturgrus. Bakteriereningen hade dock en längre uppstartstid i bergkross än i naturgrus. En förutsättning är att bergkrossmaterialen har rätt egenskaper.

För att ett filtermaterial ska ge tillräcklig rening av avloppsvattnet är det viktigt att det har lagom stor hydraulisk konduktivitet. En för låg hydraulisk konduktivitet kan till exempel leda till att avloppsvattnet bräddas från anläggningen och att det uppstår syrebrist i bädden. En för hög hydraulisk konduktivitet kan leda till att de reningsprocesser som sker i filtermaterialet inte får tillräckligt med tid för att förväntad rening ska uppnås. Ett materials hydrauliska konduktivitet påverkas av faktorer som kornstorleksfördelning, kornform och porositet genom att dessa faktorer påverkar storlek och fördelning på markens porer (Handy & Spangler, 2007). Exempelvis kan högre porositet, allt annat lika, antas leda till högre hydraulisk konduktivitet på grund av att porvolymen ökar. Det är dock inte bara den totala porositeten som styr. Storleken på porerna spelar också roll eftersom de vattenledande egenskaperna skiljer sig mellan stora porer och mindre porer (i de mindre porerna får kapillära krafter betydelse för strömningen) (David Eveborn, pers. medd.).

För att bergkross ska kunna ersätta naturgrus krävs alltså en lämplig hydraulisk konduktivitet vilket bland annat styrs av storlek och fördelning av markens porer. Vid jämförelse av ett bergkrossmaterial 0/8 mm med ett naturgrusmaterial 0/8 mm har bergkrossmaterial generellt sett en del egenskaper som kan påverka den hydrauliska konduktiviteten negativt. En skillnad i kornstorleksfördelning är att bergkross oftast har en större andel material med kornstorlek mindre än 0,063 mm. För höga halter av sådant material kan leda till för låg hydraulisk konduktivitet och risk för igensättning i filtermaterialet. Bergkross har ofta en kantigare och flakigare form än vad naturgrus har (Lagerblad m.fl., 2011) och detta kan påverka porositeten och därmed även vattengenomsläppligheten. En annan faktor är också att bergkrossmaterial ofta har en större variation av kornstorleksfördelning och kornform än vad naturgrusmaterial har, beroende på skillnader i bergartsinnehåll och krossteknik (Lagerblad m.fl, 2011).

Ett materials infiltrationskapacitet beskriver ”den maximala vattenvolym (rent vatten) per tidsenhet, som kan infiltrera per ytenhet” (Naturvårdsverket, 1985). En skillnad mot hydraulisk konduktivitet är att infiltrationshastigheten avser vattnets inträngning genom ytan hos filtermaterialet medan hydraulisk konduktivitet avser hastigheten genom filtermaterialet. Infiltrationskapaciteten beror till exempel på den hydraulisk konduktivitet hos materialet men påverkas också av andra faktorer. För filtermaterial som belastas med avloppsvatten minskar infiltrationskapaciteten med tiden på grund av att igenslamning och biologisk påväxt minskar porstorleken för det filtermaterial som ligger närmast infiltrationsytan (Naturvårdsverket, 1985). Så småningom nås ett stabilt värde som kan vara betydligt lägre än innan materialet belastades med

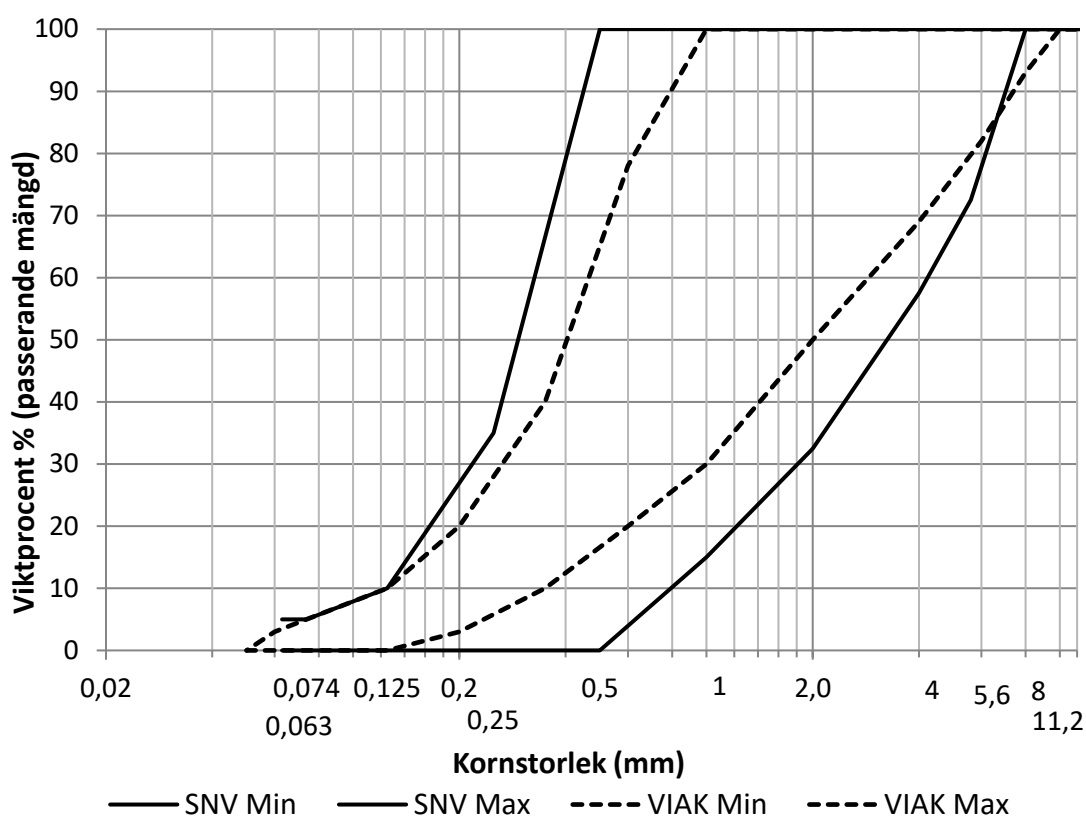
avloppsvatten. Enligt Naturvårdsverket (1985) handlar det om en minskning av genomsläpplighet om 10–1 000 gånger beroende på filtermaterialets egenskaper.

När Naturvårdsverkets riktlinjer för markbaserade anläggningar (1987) togs fram fanns det många väglaboratorier i Sverige som kunde mäta kornstorleksfördelning (Elmefors m.fl., 2016). Därmed var kornstorleksfördelning en lättillgänglig och kvalitetssäkrad metod för att bedöma ett materials filteregenskaper. Rekommenderade kornstorleksgränser togs fram baserat på empiriska studier av markbaserade anläggningar (Peter Nilsson, pers. medd. 1). Eftersom filtermaterialet i dessa bäddar i princip enbart utgjordes av naturgrus så är det dock inte säkert att de empiriska sambanden passar lika bra för naturgrus.

I Norge mäts först kornstorleksfördelning hos materialet. Därefter bedöms materialet genom att delas in i kategorier beroende på kornstorleksegenskaper. För material inom en viss klass (med kornstorleksegenskaper som motsvarar låg vattengenomsläpplighet) ska även hydraulisk konduktivitet mätas (VA/Miljø-blad nr 59). Beroende på den hydrauliska konduktiviteten bedöms sedan dimensioneringen. Den minsta dimensionerande belastningen som tillåts är 6 l/(m² och dygn), vilket då leder till stor yta per personekvivalent. Sådan dimensionerande belastning gäller dock bara för infiltrationsanläggningar. För markbäddar används inte filtermaterial med så låg vattengenomsläpplighet. Jämför man infiltrationsanläggningar i Sverige med Norge finns dock skillnader efter man enligt svensk praxis avråder från infiltration när den dimensionerande belastningen understiger 30 l/(m² och dygn).

2.3.1 Kornstorleksgränser

Rekommenderade kornstorleksgränser för filtermaterial i markbäddar för små avlopp finns idag i Naturvårdsverkets faktablad 8147 medan VIAK (numera Sweco) har tagit fram rekommenderade gränser för markbäddssand för större markbäddar (Johansson, 2004), se figur 6.



Figur 6. Rekommenderade kornstorleksgränser för markbäddssand för små avloppsanläggningar enligt Naturvårdsverkets faktablad 8147 (heldragna linjer) och rekommenderade gränser för markbäddssand för större öppna avloppsanläggningar enligt VIAK (streckade linjer).

2.3.2 Metoder för bestämning av hydraulisk konduktivitet och LTAR

Det finns ett antal standardiserade metoder för att mäta hydraulisk konduktivitet, exempelvis laboriemätningar enligt ASTM-C1701/C1701M-09 eller fältmätningmetoder som ringinfiltrometertester enligt standarden SS-EN 22282-5. Vad gäller metoder för bestämning av långsiktig vattengenomsläpplighet för avloppsvatten finns ett antal metoder beskrivna i CEN/TR 12566-2. Med hjälp av dessa metoder uppskattas LTAR (Long Term Acceptance Rate) vilket är ett mått på långsiktig vattengenomsläpplighet mätt i liter per kvadratmeter och dygn. Här ska dock noteras att metoderna inte är standardiserade, och alltså inte kvalitetskontrollerade på samma sätt som metoder i en standard⁴. Den mest använda metoden för uppskattning av LTAR nämns i CEN/TR 12566-2, avsnitt C.2.2., och bygger på mätning av hydraulisk konduktivitet i rör med 40 mm diameter. Metoden beskrivs även i Laak (1986). Alla kända metoder för bestämning av LTAR bygger på att man applicerar ett empiriskt samband mellan en uppmätt hydraulisk konduktivitet och den långsiktiga infiltrationsförmågan.

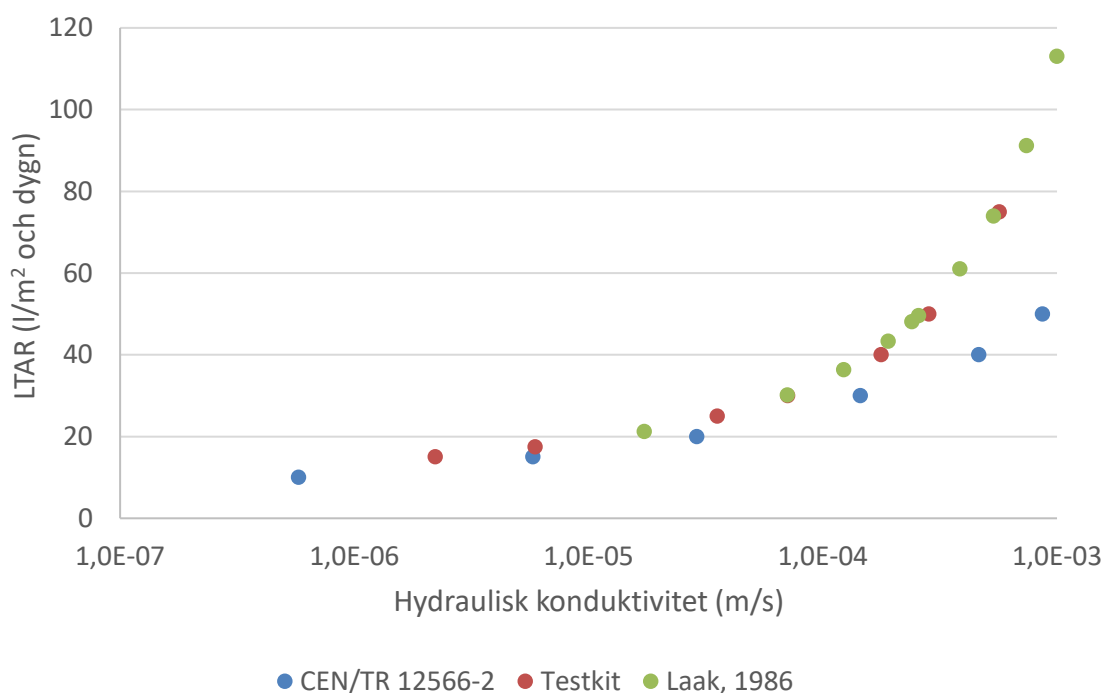
⁴ CEN/TR 12566-2 är inte en standard utan en teknisk rapport som är publicerad i samma serie som ett antal standarder.

I informationsbladet ”Rekommendationer för bergkross som filtermaterial i markbäddar” (2016), bilaga 3 finns mer information om olika metoder för att mäta vattengenomsläpplighet.

LTAR-gränser

De metoder som finns för bestämning av LTAR är inte helt samstämmiga utan verkar delvis tillämpa olika empiriska samband mellan hydraulisk konduktivitet och LTAR. Vid användning av tabeller från testkit (perkolationstest) jämfört med uppgifter från CEN/TR 12566-2 skiljer sig resultaten åt, särskilt för de högre värdena på hydraulisk konduktivitet, se figur 7. Laak (1986) beskriver sambandet mellan LTAR och hydraulisk konduktivitet med en formel. Används denna formel så verkar resultatet överensstämma med tabellerna från testkiten, se figur 7. Dock finns inte angivet i Laak (1986) under vilka förutsättningar formeln gäller.

Tabell C.3 CEN/TR 12566-2 och figurer i testkiten (perkolationstest) verkar tyda på att rekommenderat LTAR-värde för markbäddssand ligger på 50–150 l/(m² och dygn). Detta kan jämföras med rekommenderad belastning för markbäddssand enligt Naturvårdsverkets faktablad 8147 som ligger på 50–60 l/(m² och dygn) beroende på var kornstorlekskurvan ligger.



Figur 7. Förhållandet mellan K och LTAR baserat från empiriska samband från CEN/TR 12566-2 och Laak (1986) samt testkit (perkolationstest) som finns att köpa hos vissa tillverkare av avloppsanläggningar. I Laak finns en formel för förhållandet angiven. Det är dock oklart under vilka förhållanden formeln gäller.

2.3.3 Bergkross som filtermaterial

I informationsbladet ”Rekommendationer för bergkross som filtermaterial i markbäddar” (2016) rekommenderas att varje parti bergkrossmaterial ska:

4. Tvättas (det vill säga om material innehåller partiklar med kornstorlek 0,063 mm eller mindre ska dessa partiklar avskiljas)
5. Kontrolleras med avseende på kornstorleksfördelning. Prov ska tas ut enligt standarden SS-EN 932-1. Analys av kornstorlekskurva sker enligt SS-EN 933-1 eller motsvarande metod. Kornstorleksfördelningen ska jämföras mot kravgränser i informationsbladet.
6. Kontrolleras med avseende på hydraulisk konduktivitet. Prov tas ut enligt standarden SS-EN 932-1. Provet ska utvärderas med hjälp av metod och gränsvärden i CEN/TR 12566-2, avsnitt C.2.2 och C.3.
7. Deklarera bergkrossmaterialet enligt följande:
8. Ange om bergkrossmaterialet är tvättat och vilken metod som använts för tvättningen.
9. Ange om kornstorleksfördelningen ligger inom kornstorleksgränserna och vilka metoder som har använts för uttag av prov respektive för att ta fram kornstorleksfördelning.
10. Ange medelvärdet från vattengenomsläpplighetsmätningarna och det största respektive minsta värdet som mätts upp.
 - a. Ange om medelvärdet på vattengenomsläppligheten ligger inom rekommenderade gränser, vilken metod som använts för mätning av vattengenomsläpplighet och antal gånger som mätningarna har upprepats.

I studien beskriven av Elmefors m.fl. (2016) uppskattades hydraulisk konduktivitet och LTAR genom metoden i CEN/TR 12566-2, avsnitt C.2.2 och C.3. De bergkrossmaterial av sortering 0/8 mm som kom direkt ur täktens sortiment verkade ha för låg vattengenomsläpplighet enligt studien medan bergkrossmaterial av sorteringarna 2/4 mm, 2/8 mm och liknande som inte innehöll det finaste materialet verkade ha för snabb vattengenomsläpplighet. Studien tydde också på att sorterings- och blandningsteknik var användbart för att modifiera ett material för att uppnå god vattengenomsläpplighet. Vad gäller naturgrusmaterial visade studien att två material hade en finmaterialhalt som låg nära den övre kornstorleksgränsen enligt Naturvårdsverkets faktablad 8147 och LTAR-värden på 30–40 l/(m² och dygn) respektive 20–25 l/(m² och dygn).

2.3.4 Packningsgrad och kemiska egenskaper

Bland övriga faktorer som är viktiga för ett filtermaterials egenskaper kan också nämnas packningsgrad och kemiska egenskaper. Packningsgraden, alltså hur mycket materialet är kompakterat, påverkar materialets porositet i samspel med kornstorleksfördelning och kornform. Generellt sett leder en flisigare kornform till att ett material har högre porositet vid lös packning än material med rundare korn. Om materialet packas hårt kan det dock hända att ett flisigare material får lägre porositet än ett material med mer runda korn (Lagerblad m.fl., 2011).

Olika naturgrus- och bergkrossmaterial har olika kemiska egenskaper. Viss kemisk sammansättning kan vara förknippad med ökad risk för läckage av skadliga ämnen som svavel, arsenik, bly, kadmium med mera. I informationsbladet ”Rekommendationer för bergkross som filtermaterial i markbäddar”, sid 8, finns en rekommendation kring

kännedom om utlakning av ämnen⁵. Det kan vara värt att notera att rekommendationen inte bara gäller för bergkrossmaterial utan även för naturgrusmaterial.

2.3.5 Metoder för att modifiera bergkross

Det finns ett antal olika metoder för att modifiera bergkrossmaterial så att det får andra kornstorleksegenskaper. Ett exempel är tvättning i form av våtklassering eller vindsiktning. Ett annat exempel är att använda sorterings- och blandningstekniker, t.ex. att blanda ihop ett 0/8 mm material av olika delsorteringar (t.ex. 0/2, 2/4 och 4/8). VSI-krossning är en metod som används för att modifiera kornformen hos bergkrossmaterial.

VSI-krossning

I Sverige används idag ofta teknik som krossar materialet genom att klämma sönder det vilket ger en kantig form på kornen (Chalmers, 2015). Krossning genom VSI (Vertical Shaft Impactor) är en metod som går ut på att partiklar krossas genom att slungas ut från en rotor och krocka med varandra, vilket ger en rundare kornform (Chalmers, 2015). Att uppnå rundare kornform hos bergkross kan vara önskvärt för användning till betong, avjämningsand, renfiltersand med mera (Göransson, 2015).

3 Resultat och diskussion

3.1 Insamlade uppgifter

Vid insamling av naturgrus var målet att få tag på material från olika delar av Sverige. På grund av svårigheter att få tag på tillräckligt antal material blev det två material från västra Götaland, se tabell 1. De två andra materialen kommer från Örebro och Västernorrland. Eftersom naturgrusmaterial norr om Gävle kan ha högre finmaterialhalt var det önskvärt att få med ett sådant material. Materialet från Västernorrland får därför representera ett sådant material.

Tabell 1. Geografiskt ursprung för de naturgrusmaterial som ingick i studien. *Representerar material norr om Gävle.

Material	Geografiskt ursprung (län)
N1	Västernorrland*
N2	Örebro
N3	västra Götaland
N4	västra Götaland

För bergkrossmaterialen i projektet har det samlats in uppgifter om geografiskt ursprung, vilka bergarter materialet i huvudsak består av, flisighetsindex och krossteknik, se tabell 2. I tabell 2 redovisas även om materialet är hämtat direkt ur täkternas sortiment, eller om det är modifierat på något sätt för att stämma bättre överens med kornstorleksgränserna i Naturvårdsverkets faktablad 8147. Ett mål var att

⁵ Bakgrund till rekommendationen finns på sida 29–32 i informationsbladet.

representera olika bergarter/bergmaterial, som vanligen förekommer i Sverige. Många av materialen kom från Västra Götaland. Det finns dock även material från Västernorrlands län, Örebro län, Stockholms län, Blekinge län och Skåne län vilket ger en bra spridning från väst till öst och en viss spridning från norr till söder. Flisighetsindex för icke kubiserade material ligger på 15–20 medan flisighet för kubiserat material ligger på 5–10 enligt de mätvärden vi har fått. För att modifiera materialen har ofta olika fraktioner blandats. Kubisering via VSI-kross förekommer hos ett antal material. Ett material har vindsiktats.

3.2 Analysresultat

Analysresultat av kornstorlekskurva, porositet och flödestal redovisas nedan som egna värden och i relation till hydraulisk konduktivitet hos materialen.

3.2.1 Hydraulisk konduktivitet och LTAR

Inom projektet har hydraulisk konduktivitet mätts vid lätt och hård packning, se kapitel 1.5.1. I tabell 3 och 4 redovisas sammanfattande resultat från mätningarna. Resultaten utgörs i de flesta fall av ett medelvärde från upprepade mätningar. I vissa fall när mätningen tagit lång tid har endast en mätning gjorts. Det kan vara vanligt att den hydrauliska konduktiviteten sjunker vid upprepade mätningar. I dessa fall har första och ibland andra mätvärdet tagits bort från medelvärdesberäkningen för att ge ett representativt värde. Utifrån mätningarna på hydraulisk konduktivitet vid lös packning har projektgruppen också försökt att översätta mätvärden till motsvarande LTAR-värde med hjälp de testkit (perkolationstest) som finns att köpa hos vissa tillverkare av avloppsanläggningar. Dessa översättningar av LTAR finns redovisade i tabell 3 och 4. LTAR-översättningarna får dock ses som ett ungefärligt mått. Från LTAR-värdena kan vi se att alla naturgrus kan uppskattas uppfylla rekommenderade LTAR-gränser för markbäddssand, 50–150 l/(m² och dygn), eller åtminstone hålla sig under LTAR 30 l/(m² och dygn) som kan anses vara en undre gräns för infiltrationsanläggningar. För bergkrossmaterialet finns dock ett material med LTAR över 150 och ett material med LTAR under 30.

Vid jämförelse av skillnaden mellan hydraulisk konduktivitet vid lös och hård packning kan man se att minskningen generellt sett är mindre för naturgrus än för bergkross, se tabell 5. Spridningen är dock också större för bergkross. Det bergkrossmaterial med minst skillnad mellan lös och hård packning för bergkross (K7) har mindre minskning i hydraulisk konduktivitet (ca 1,0 gånger) jämfört med naturgrusmaterial med minst skillnad (N4, ca 1,8 gånger). Jämförs bergkrossmaterial med störst skillnad mellan lös och hård packning (K4) med det naturgrusmaterial med störst skillnad (N2) så är minskningen större för bergkross (ca 18 gånger) än för naturgrus (ca 7,3 gånger).

Tabell 2. Geografiskt ursprung, bergartsinnehåll (i huvudsak), flisighetsindex och krossteknik för de bergkrossmaterial som ingick i studien. Tabellen beskriver även om materialet är modifierat på något sätt (enligt uppgift från leverantören) för att bättre uppfylla kornstorleksgränserna för markbäddssand enligt Naturvårdsverkets faktablad 8147. Att materialet inte är modifierat betyder att det är hämtat direkt ur täkternas sortiment. * Mätt med egen metod.

Material	Geografiskt ursprung (län)	Bergartsinnehåll	Flisighetsindex	Modifierat (enligt uppgift)	Krossteknik
K1	Västra götaland	Gabbro (98 %)	ca 15	Ja, blandat 0/4 och 4/8 men i syfte att efterlikna vanligt 0/8 från tåktens sortiment.	kornkross
K2	Västra götaland	Ryolit (metavulkanit)	17-23	Nej	Tre steg, käftkross och två konkrossar
K3	Västra götaland	Kvartsit	ca 15	Nej	Tvåsteg, käftkross och konkross
K4	Örebro	Granitoid (45-50 %), granit (30 %), amfibolit (20 %)	ca 15	Nej	<i>Uppgift saknas</i>
K5	Västra götaland	Granitoid (93 %)	ca 5	Ja, 0/4 och 4/8 har blandats.	VSI-kross
K6	Västernorrland	Dels metagranitiska, dels metasedimentära (metagråvacka).	20	Ja, 0/2, 2/4 och 4/8 har blandats.	Krossning i tre steg: Först via en käftkross sedan via två kornkrossar.
K7	Blekinge	Granit	Kubiskt	Ja, kubiserat 0/4	Konkross + VSI-kross
K8	Skåne län	Kvartsitisk sandsten	<i>Uppgift saknas</i>	Materialet består av tvättad 0/2 i kombination med 4/8	<i>Uppgift saknas</i>
K9	Stockholms län	Tonalit och granit	Ca 10*	Ja, blandning av 0/4 efter vindsikt och 4/8 efter konkross	Krossning i 4 steg Förkross, spindel, konkross, kubisator sedan till vindsikt
K10	Västra götaland	Ryolit (metavulkanit)	17-23	Ja, 0/2 och 0/4 har blandats	Tresteg, käftkross, två konkrossar och handsiktat 2 mm

Tabell 3. Hydraulisk konduktivitet vid lös och hård packning för de naturgrusmaterial som ingick i studien. Tabellen visar även kvoten mellan lös och hård packning för att få en jämförelse av hur många gånger den hydrauliska konduktiviteten minskar när packningen går från lös till hård. De LTAR-värden som visas har uppskattats utifrån värden på hydraulisk konduktivitet vid lös packning – observera att dessa LTAR-värden får ses som en ungefärliga. * Runt och kanske över LTAR 150.

Material	N4	N3	N2	N1
Hydraulisk konduktivitet, lös packning, m/s	2,8E-03	7,4E-04	2,4E-04	1,9E-04
Hydraulisk konduktivitet, hård packning, m/s	1,6E-03	4,0E-04	3,3E-05	8,9E-05
Jämförelse hydraulisk konduktivitet lös/hård	1,8	1,9	7,3	2,1
Uppskattad LTAR, l/(m ² och dygn)	Runt 150*	50–150	30–50	30–50

Tabell 4. Hydraulisk konduktivitet vid lös och hård packning för de bergkrossmaterial som ingick i studien. Tabellen visar även kvoten mellan lös och hård packning för att få en jämförelse av hur många gånger den hydrauliska konduktiviteten minskar när packningen går från lös till hård. De LTAR-värden som visas har uppskattats utifrån värden på hydraulisk konduktivitet vid lös packning – observera att dessa LTAR-värden får ses som en ungefärliga. * Runt och kanske över LTAR 150.

Material	K10	K3	K2	K6	K9
Hydraulisk konduktivitet, lös packning, m/s	8,4E-03	3,0E-03	1,3E-03	1,1E-03	5,4E-04
Hydraulisk konduktivitet, hård packning, m/s	4,1E-03	1,5E-04	1,3E-04	3,7E-04	8,3E-05
Jämförelse hydraulisk konduktivitet lös/hård	2,0	2,0	9,6	3,0	6,5
Uppskattad LTAR, l/(m ² och dygn)	>150	Runt 150*	Runt 150	50–150	50–150
Material	K7	K8	K1	K4	K5
Hydraulisk konduktivitet, lös packning, m/s	3,9E-04	2,6E-04	1,2E-04	7,1E-05	1,7E-05
Hydraulisk konduktivitet, hård packning, m/s	3,9E-04	2,4E-05	1,6E-05	4,0E-06	1,3E-05
Jämförelse hydraulisk konduktivitet lös/hård	1,0	10,5	7,5	18	1,3
Uppskattad LTAR, l/(m ² och dygn)	50–150	Runt 50	30–50	Runt 30	<30

Tabell 5. Jämförelse för hur många gånger mindre den hydrauliska konduktiviteten blir om materialet är hårt packat än om det är löst packat. För det bergkrossmaterial där skillnaden mellan lös och hård packning är som störst blir alltså den hydrauliska kapaciteten ca 18 gånger mindre när materialet packas hårt än när det packas löst.

	Naturgrus	Bergkross
Median	2,0	6,5
Medel	3,3	6,7
Min	1,8	1,0
Max	7,3	18

3.2.2 Kornstorleksfördelning

I figur 8 visas materialens kornstorleksfördelning uppdelat i olika grupper beroende på om materialet består av naturgrus, bergkross som kommer direkt ur sortimentet eller bergkross som har modifierats för att stämma bättre överens med kornstorleksgränserna för markbäddssand, se figur 6. Alla fyra naturgrus ligger inom kornstorleksgränserna för markbäddssand enligt Naturvårdsverkets faktablad 8147. Bland bergkrossmaterialen innehåller fyra av tio material en högre andel finmaterial än rekommenderat och två av materialen ligger lite utanför den högra gränslinjen (SNV Max).

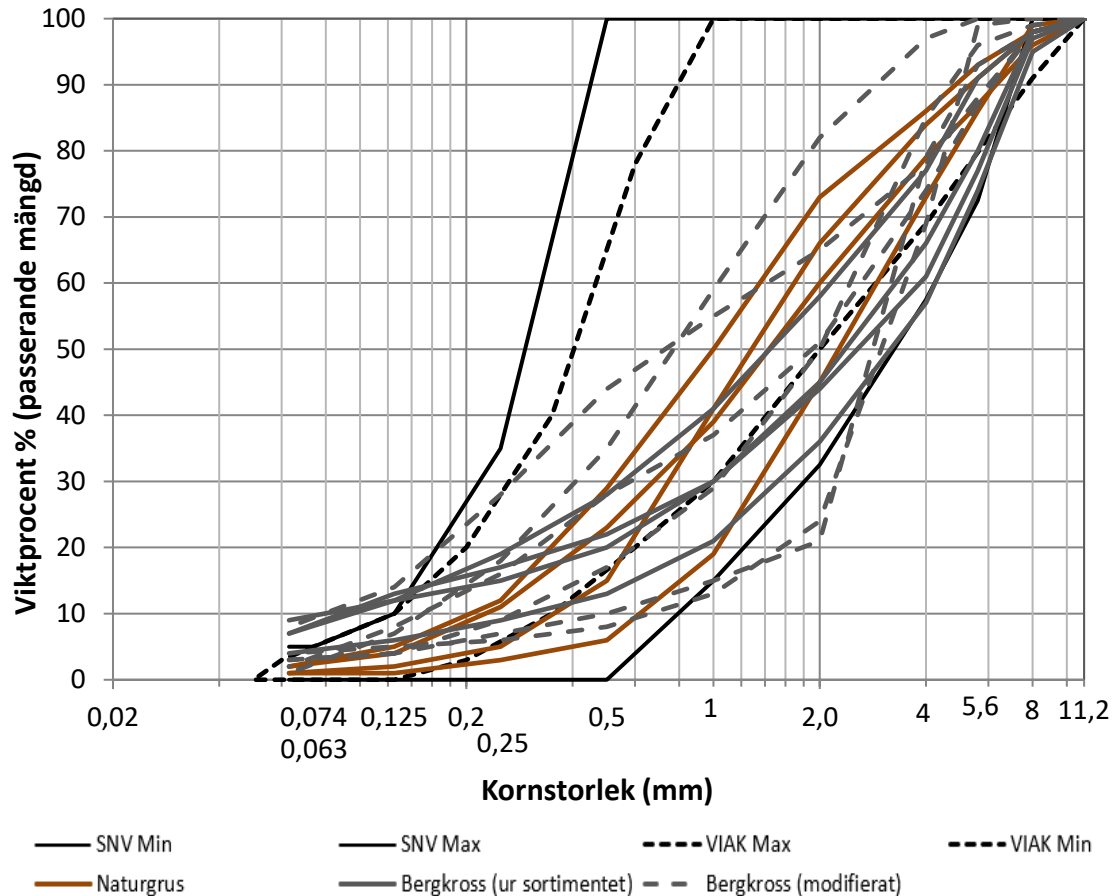
För att kunna jämföra kornstorleksfördelning med hydraulisk konduktivitet har kornkurvorna färgkodats efter vilket LTAR det aktuella materialet bedöms ha, se tabell 6. I figur 9 och 10 visas färgkodade kurvor för naturgrusmaterialen respektive bergkrossmaterialen.

För naturgrusmaterialen (figur 9) har det material som ligger längst till höger i figuren högst vattengenomsläpplighet med ett LTAR som uppskattas ligga runt och kanske över 150 l/(m² och dygn), medan materialen med gula kurvor bedöms ha ett LTAR på 30–50 l/(m² och dygn). Ett material med grön kurva uppskattas ha ett LTAR på 50–150 l/(m² och dygn). I figur 9 framgår även att materialen med gula kurvor har högre finmaterialhalt än de två övriga materialen, medan materialet med blå kurva ligger längre till höger än det gröna materialet. Materialet med blå kurva ligger också ganska nära den högra gränsen enligt Naturvårdsverkets faktablad 8147.

För bergkrossmaterialen (figur 10) har fyra⁶ av kurvorna grön färg, vilket betecknar ett uppskattat LTAR på 50–150 l/(m² och dygn). Alla kurvor utom en ligger inom rekommenderade kornstorleksgränser enligt Naturvårdsverkets faktablad 8147. Kurvan som ligger utanför ligger i viss mån lite till höger om den högra gränsen. Ett materialen har en kurva med gul färg, d.v.s. ett LTAR på 30–50 l/(m² och dygn). Detta material har högre finmaterialhalt än rekommenderat. Två av materialen har ett LTAR som bedömts ligga omkring respektive under 30 l/(m² och dygn) och betecknas med orange respektive röd kurva. Dessa material har också en högre finmaterialhalt än rekommenderat och ligger i övrigt till vänster om den gula kurvan. Två material har bedömts ha LTAR på runt och kanske över 150 l/(m² och dygn), vilket betecknas med blå kurvor. Den ena kurvan ligger nära den högra kornstorleksgränsen medan den andra till stor del sammanfaller med den gula kurvan. Ett material har bedömts ha ett

⁶ Även den ljusgröna kurvan som bedöms ha ett LTAR runt 50 l/(m² och dygn) räknas med här.

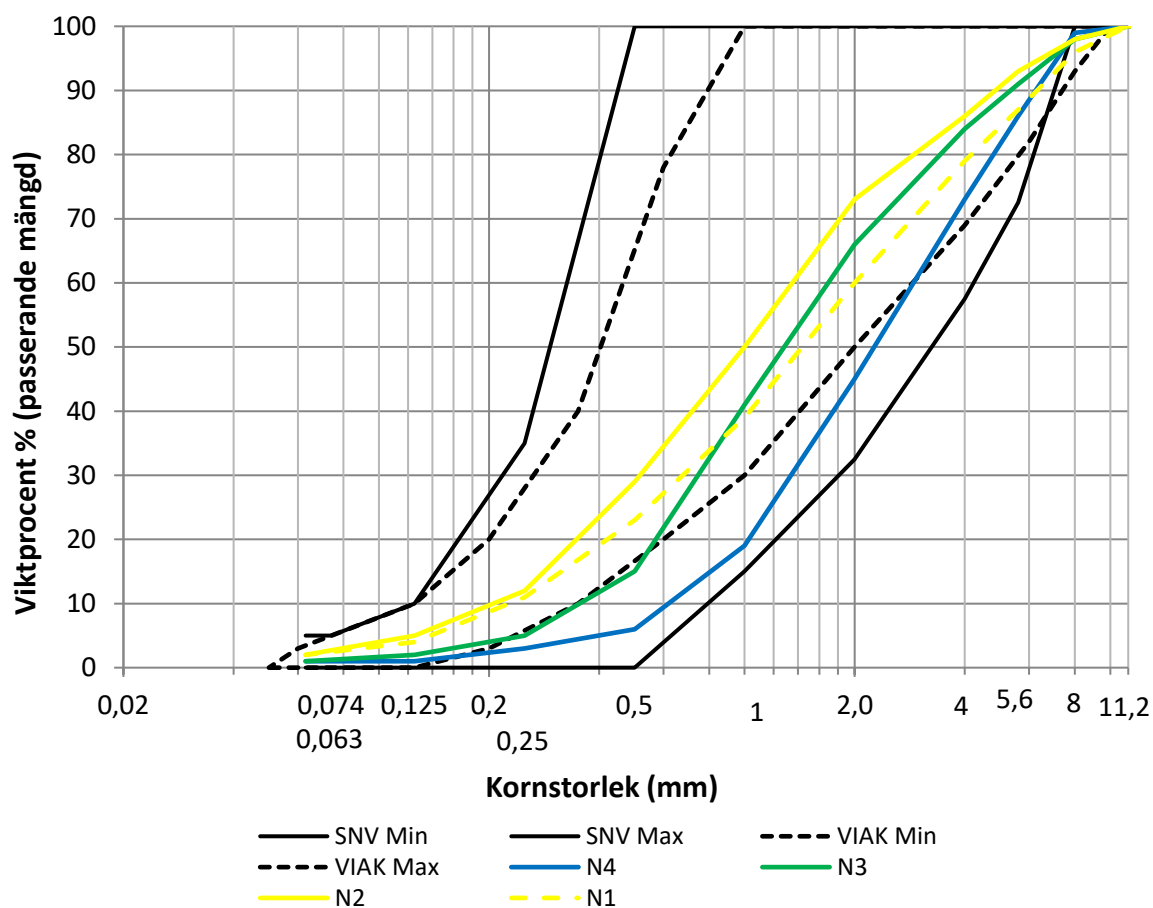
LTAR på över 150 l/(m² och dygn) och ligger något utanför den högra kornstorleksgränsen. Det materialet har betecknats med lila kurva.



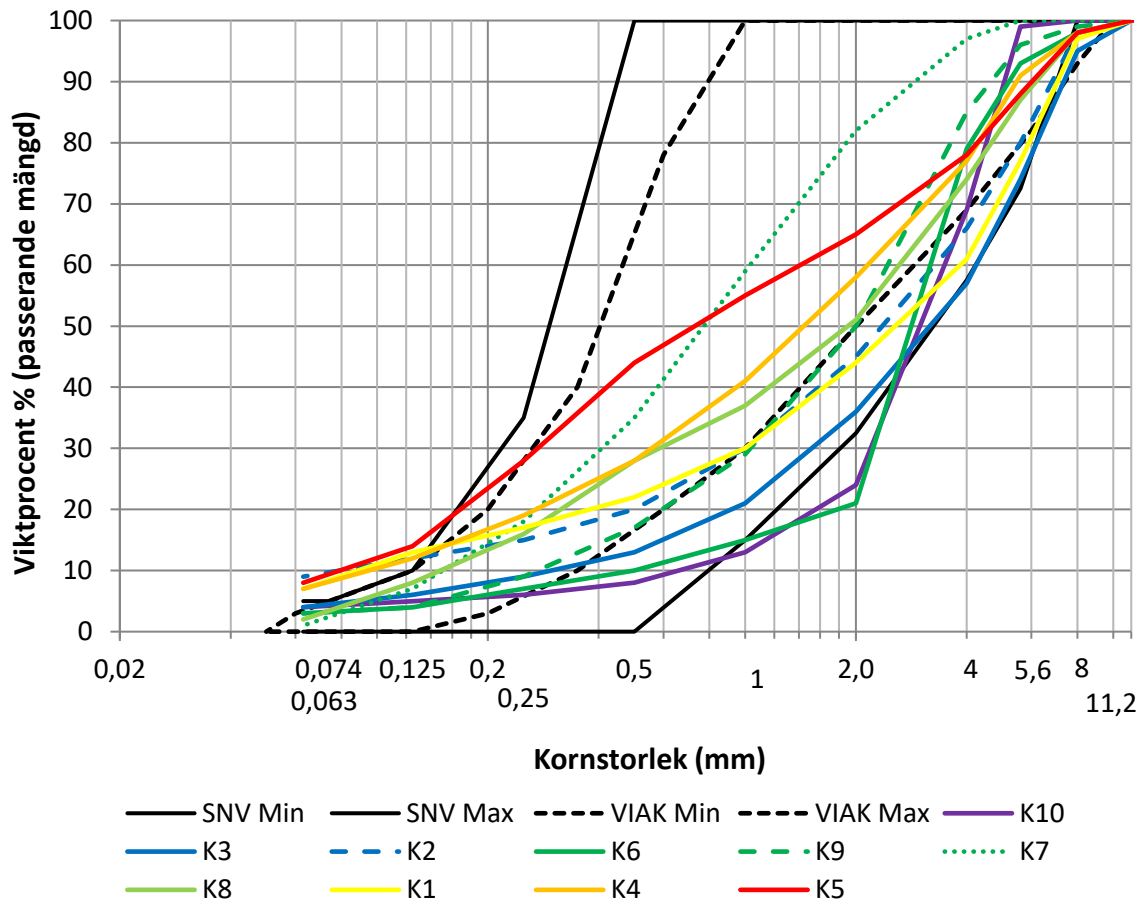
Figur 8. Kornstorleksfördelning för de olika materialen i projektet. Alla naturgrusmaterial har betecknats med brun färg och bergkrossmaterial med grå färg. Bergkrossmaterial som kommer ur sortimentet har betecknats med heldragna linjer medan modifierade bergkrossmaterial har betecknats med streckade linjer. "SNV Min" och "SNV Max" betecknar kornstorleksgränserna för markbäddssand enligt Naturvårdsverkets faktablad 8147 medan "VIAK Min" och "VIAK Max" betecknar rekommenderade kornstorleksgränser för större öppna markbäddar enligt VIAK.

Tabell 6. Färgkodning av olika LTAR-värden.

Färgkod	Beskrivning
■	LTAR >150
■	LTAR runt 150 eller kanske >150
■	LTAR 50–150, rekommenderat LTAR för filtermaterial för markbäddar
■	LTAR runt 50
■	LTAR 30–50, OK för infiltrationsanläggningar
■	LTAR runt 30
■	LTAR <30



Figur 9. Kornstorleksfördelning för de olika naturgrusmaterialen i projektet. Varje material har färgkodats efter uppskattat LTAR-värde enligt tabell 6. "SNV Min" och "SNV Max" betecknar kornstorleksgränserna för markbäddssand enligt Naturvårdsverkets faktablad 8147 medan "VIAK Min" och "VIAK Max" betecknar rekommenderade kornstorleksgränser för större öppna markbäddar enligt VIAK.



Figur 10. Kornstorleksfördelning för de olika bergkrossmaterialen i projektet. Varje material har färgkodats efter uppskattat LTAR-värde enligt tabell 6. "SNV Min" och "SNV Max" betecknar kornstorleksgränserna för markbäddssand enligt Naturvårdsverkets faktablad 8147 medan "VIAK Min" och "VIAK Max" betecknar rekommenderade kornstorleksgränser för större öppna markbäddar enligt VIAK.

3.2.3 Porositet

Porositeten ligger mellan 25–30 % för de flesta bergkross och naturgrusmaterial, se tabell 7 och 8. Två bergkrossmaterial sticker dock ut med porositet på 37 % och 38 %. Dessa material är samma material som ligger lite till höger om kornstorleksgränserna enligt Naturvårdsverkets faktablad 8147. Om porositeten sätts i relation till hydraulisk konduktivitet för naturgrus framgår inget tydligt mönster mellan dessa, se bilaga 1 för mer ingående beskrivning.

Tabell 7. Porositet vid lätt packning för de fyra naturgrusmaterial som ingick i projektet.

Material	N4	N3	N2	N1
Porositet (%)	30,0	26,0	30,0	28,0

Tabell 8. Porositet vid lätt packning för de tio bergkrossmaterialen som ingick i projektet.

Material	K10	K3	K2	K6	K9
Porositet (%)	37,9	29,2	25,0	37,0	28,0
Material	K7	K8	K1	K4	K5
Porositet (%)	30,0	28,5	29,1	25,5	28,4

3.2.4 Flödestal

Flödestalen för naturgrusmaterialen ligger på 24–29 sekunder, se tabell 9, medan flödestalen för bergkrossmaterialen ligger på 24–41 sekunder, se tabell 10. Minimumvärdet för flödestalet är alltså ungefär lika stor för naturgrus- och bergkrossmaterial medan maximumvärdet är större för bergkrossmaterialen än för naturgrusmaterialen. Det fanns inga tydliga samband mellan hydraulisk konduktivitet och flödestal för bergkross medan visst samband verkar finnas för naturgrus, se bilaga 1 för mer ingående beskrivning. Eftersom antal värden är få, och ett av värdena ligger långt utanför övriga, så är det dock sambandet ändå osäkert.

Tabell 9. Flödestal för de fyra naturgrusmaterial som ingick i projektet.

Material	N4	N3	N2	N1
Flödestal (s)	29,26	23,54	25,26	23,82

Tabell 10. Flödestal för de fyra bergkrossmaterial som ingick i projektet.

Material	K10	K3	K2	K6	K9
Flödestal (s)	40,97	31,81	34,77	43,93	27,99
Material	K7	K8	K1	K4	K5
Flödestal (s)	24,05	28,28	37,4	32,23	24,54

3.3 Resultat från seminarium och enkätstudie

Under enkätstudien skickades frågor ut till bergmaterialproducenter och anläggningsentreprenörer, se enkätfrågor i bilaga 2 och 3. Nio bergmaterialproducenter och 82 anläggningsentreprenörer har svarat på enkäterna.

3.3.1 Enkät bergmaterialproducenter

Sju av de nio bergmaterialproducenter som svarat på enkäten anser att de idag har bergkrossmaterial som skulle kunna passa in inom kornstorleksgränserna enligt Naturvårdsverkets faktablad 8147. Fraktioner som lyfts fram är bland annat 0/2 mm, 0/4 mm, 0/8 mm, 2/4 mm och 4/8 mm.

Fem av de nio bergmaterialproducenterna tror att det är möjligt att modifiera materialet genom att blanda olika sorteringar för att få fram ett material som ligger inom önskat kornstorleksintervall medan tre har svarat att det inte är möjligt eller tveksamt. Sju av nio har svarat att det är möjligt att modifiera materialet med hjälp av tvättning för att avlägsna material mindre än 0,063 mm medan en av de svarande

anser att tvättning inte brukar behövas om materialet krossas rätt. Flera svarande lyfter även fram vindsiktning som lämplig metod för att modifiera materialet. Bland förslag på andra metoder som kan vara tänkbara lyfts siktning med finsikt (1–2 mm) och enklare tvättar, som till exempel sandhjul. De som rangordnat kostnaden för modifieringsmetoderna anger att siktning och blandning är billigast, och att vindsiktning och våtklassering är dyrast. Många anser att våtklassering kan vara dyrare än vindsiktning, men det verkar kunna bero på förutsättningarna (till exempel att vindsiktning redan finns på anläggningen av andra orsaker än för att framställa filtermaterial).

En annan fråga i enkäten var bergmaterialproducenterna ser utmaningar med att utveckla och modifiera krossmaterial för att det ska stämma bättre överens med kornstorleksgränser enligt Naturvårdsverkets faktablad 8147. Tre av de svarande har angett att det inte finns några större praktiska utmaningar, en av dessa lyfta dock att det finns ekonomiska utmaningar. Bland de allmänna utmaningarna som lyftes kring att ta fram ett bergkrossmaterial som modifierats för att uppfylla rekommenderade kornstorleksgränser enligt Naturvårdsverkets faktablad 8147 är att:

11. Krossmaterial innehåller generellt så pass hög halt finmaterial att det inte kommer falla inom gränslinjer för markbäddssand utan modifiering.
 12. Få anläggningar har utrustning för proportionering, våtklassering och vindsiktning av materialet.
 13. Om endast få anläggningar kan ta fram modifierade material medför det höga transportkostnader och utsläpp samt högt pris på produkten.
 14. Samspel med övrig produktion och marknad krävs för att optimera den totala produktionskostnaden.
- Det kan uppstå massbalansproblem som behöver lösas, till exempel hur man tar hand om överskott av slam med hög fillerhalt⁷ från tvättning och/eller fraktioner som blivit över vid blandning.

Bland utmaningarna som lyfts kring siktning och blandning är att:

15. Svårt att homogenisera och styra blandningsförhållandet mellan ingående sorteringar vid blandning. D.v.s. kvaliteten kan bli lidande.
 16. Ursprungsmaterialens utseende avgör om det lyckas eller inte.
 17. Blandning måste ske i en doseringsutrustning med fickor och band (likande asfaltverkens kalldosering). Troligen handlar det om så stora volymer att man måste tänka sig en industriell framställning (inte fixa och blanda i liten skala).
 18. Det är möjligt att få till en bra blandning med till exempel 0/2, 2/4 och 4/8 men svårt med 0/4 och 4/8.
- Det går åt mycket arbete till att få fram en anpassad kurva, vilket kostar i pengar och för miljön i form av utsläpp av diesel från maskiner med mera.

Bland utmaningarna som lyfts med vindsiktning och våtklassering lyfts främst att få anläggningar idag har utrustning och att:

19. Utrustningen kräver stor investering.

⁷ Filler är finmaterial med kornstorlek under 0,063 mm.

20. Volymerna för produkten filtermaterial är relativt små, vilket gör det inte är troligt att produkten ensam skulle kunna bära kostnaderna för investering i sådan utrustning.
21. Våtklassering fungerar inte vid kallgrader och man måste ta hand om tvättvatten och ett slam som innehåller mycket filler⁷.
- Vindsiktning är ovanligt i dag (men lär bli vanligare i framtiden, exempelvis för betongballast).

Samtliga bergmaterialproducenter som svarat på enkäten anser att det är möjligt att kontrollera materialets kornstorleksfördelning. Att ta ut prov enligt SS-EN 932-1 och analysera kornstorleksfördelning enligt SS-EN 933-1 verkar vara en standardprocedur men en av de svarande föreslår dock att provuttagningen kanske borde definieras ytterligare, t.ex. var i produktionen materialet ska tas. De flesta av de svarande (sju av nio) tror även att det skulle vara möjligt att mäta vattengenomsläpplighet hos materialet. De andra två skulle hellre använda sig av flödestal, föreslår att vattengenomsläpplighetsmätning görs vid typprovning, d.v.s. den provning som görs innan tillverkningen drar igång, snarare än vid produktionsprovning, d.v.s. den provning som görs när produktionen är igång, respektive lyfter fram att det är viktigt att provtagningen inte blir för avancerad eftersom de då endast kommer vara få täkter i landet som kan ta fram materialet. En av de svarande föreslår också att vattengenomsläpplighetsmätning kan ses som ett alternativ till material som inte klarar krav på kornstorleksfördelning.

Bland dem som anser att vattengenomsläpplighetstester är möjligt anser man dock oftast att två prov per 500 ton (vilket rekommenderas enligt informationsbladet "Rekommendationer för bergkross som filtermaterial i markbäddar") är för ofta. Snarare föreslås:

22. 1–2 prov per 1 000 ton
23. en gång per produktionsvecka
24. ett prov per täkt och år
25. vid typprovning, d.v.s. den provning som görs innan tillverkningen drar igång, snarare än vid produktionsprovning, d.v.s. den provning som görs när produktionen är igång.
- test vid leveransstart till nytt objekt.

Bland svårigheterna med att kvalitetssäkra material med hjälp av mätning av kornstorleksfördelning lyfter en av de svarande att kornstorleksfördelning är en enkel metod som de flesta bergmaterialproducenter kan utföra själva. En nackdel kan dock vara att metoden kanske bara ger en indikation på om produkten är lämplig eller inte. Vattengenomsläpplighet kan därför vara ett intressant alternativ, men det krävs att det finns en "robust och väldokumenterad provningsmetod". Även flera lyfter fram att kvalitetssäkring är möjligt, men att det är viktigt att det finns tydliga rutiner för provning och redovisning. För provningen är det till exempel viktigt att metoderna är tydligt fastställda, samt lätta att följa och skaffa utrustning till. En av de svarande lyfter att deklARATION av material bör ske genom toleransintervall istället för ett specifikt värde. Andra synpunkter som lyfts fram är att:

26. Kvalitetssäkringen inte får bli för snäv, på grund av risken för att det i så fall endast blir ett fåtal anläggningar som kan uppfylla kvalitetssäkringen.

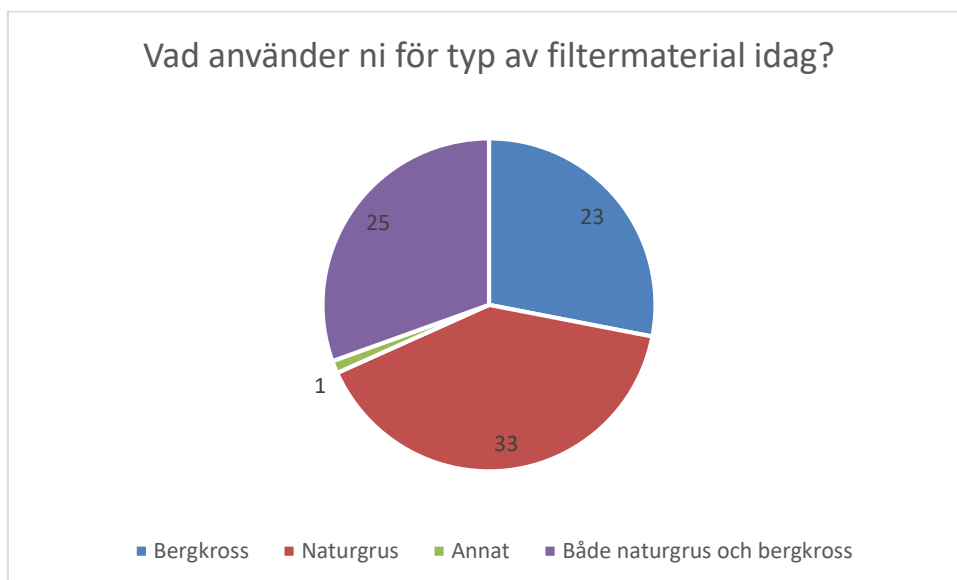
- 27. Det är viktigt att metoderna är enkla.
- 28. Innan större affärer kan reningseffekter kanske behöva bedömas av en person som är kunnig inom området.
- Materialet kan inte CE-märkas.

Bland andra användningsområden/produkter än filtermaterial till markbäddar där utveckling/modifiering/kvalitetssäkring av bergkrossmaterial kan vara aktuellt lyftes följande:

- 29. Annan typ av vattenrening.
- 30. Markbyggnad i städer, där dränerande konstruktioner kan medverka till minskad risk för översvämning och skador samt till en hälsosam miljö (träd och buskar). Exempel på detta är dränerande bärlager och förstärkningslager samt sätt- och fogmaterial för ytbeläggningarna. Reningseffekter för dagvatten kan vara intressant för kommuner.
- 31. Betongballast av alla slag (vanlig betong, prefab, plattor, rör, bruk, takpannor osv).
- 32. Kanske jordförbättringsmedel (finmaterial med rätt mineraler)
- 33. Sport och fritid – dränerande material på sportplaner, golf, hästsport, sand till lekplatser osv.
- Spackel, färg, gjuterisand, värmeverk.

3.3.2 Enkät anläggningsentreprenörer

Resultatet av enkätundersökningen mot anläggningsentreprenörer visar på att fördelningen av vilket material som används är relativt jämn – 40 % av de svarande använder enbart naturgrusmaterial, 28 % använder enbart bergkrossmaterial och 30 % använder både naturgrus- och bergkrossmaterial (figur 11). Annat material som angavs var egen blandning av naturgrus och krossmaterial.



Figur 11. Fördelning av svar över vilket typ av material som används som filtermaterial. Siffrorna anger antal för respektive kategori.

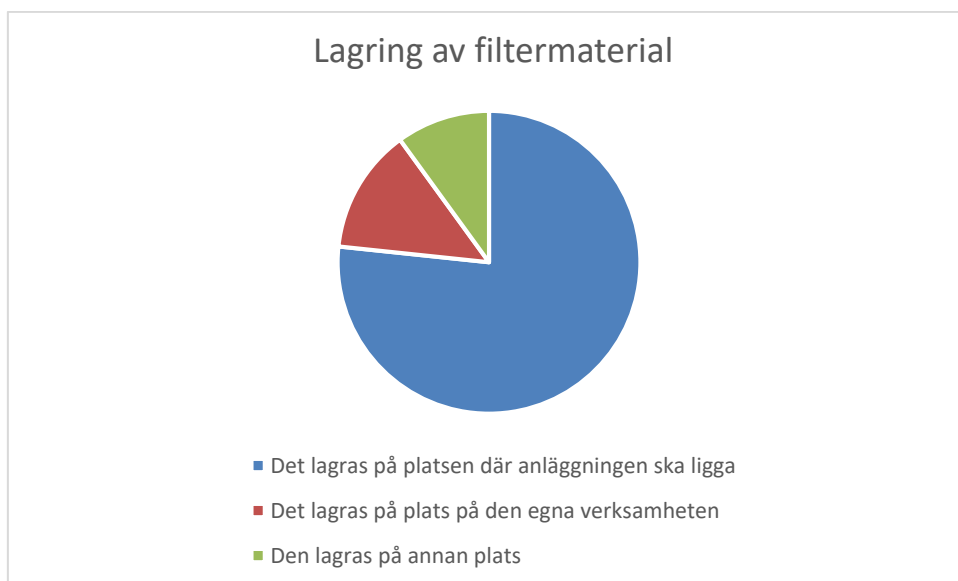
Av de som använder sig av enbart bergkross (23 svarande) anger majoriteten (83%) att de använder sig av bergkross eftersom det är svårt att få tag på naturgrus. Resterande svar fördelar sig ungefär lika mellan att naturgrus är för dyrt och/eller att det stämmer bättre överens med tillverkarens anvisningar att använda bergkrossmaterial. Av kommentarerna framgår även att naturgrus inte bör användas då det är en ändlig resurs samt kan ha en mycket skiftande kvalitet.

Av de som använder sig av enbart naturgrus anger 50 % (33 svarande) att de har funderat på att använda annat material. Främsta skälet är att det är svårt att få tag på naturgrus men det anges även att avståndet till täkt är för långt, att man kan samköra transporter, att man kan tänka sig att byta material om det blir tillåtet av tillsynsmyndigheter, att det kan öka konkurrenskraften samt att det i vissa fall är lättare att få tillstånd om annat material används.

De som anger att de använde både naturgrus och krossmaterial (25 svarande) så anger de flesta att bergkross är billigare (54 %). Av kommentarer framgår bland annat att det är avståndet till täkten som avgör vilket material som blir billigast.

De allra flesta entreprenörer lagrar materialet på platsen där anläggningen ska ligga, se figur 12. Lagringstiden varierar mellan ingen tid alls när materialet tas direkt från täkt och läggs i anläggningen och upp till ett år. Det är dock vanligast att lagringstiden är 1–3 dagar. Vid anläggande av markbädden lägger de flesta i allt material på en gång (43 %) samt packar lätt (26 %) genom att till exempel trycka till med skopan. Några använder sig även av vatten för att hantera damm eller få materialet att sätta sig.

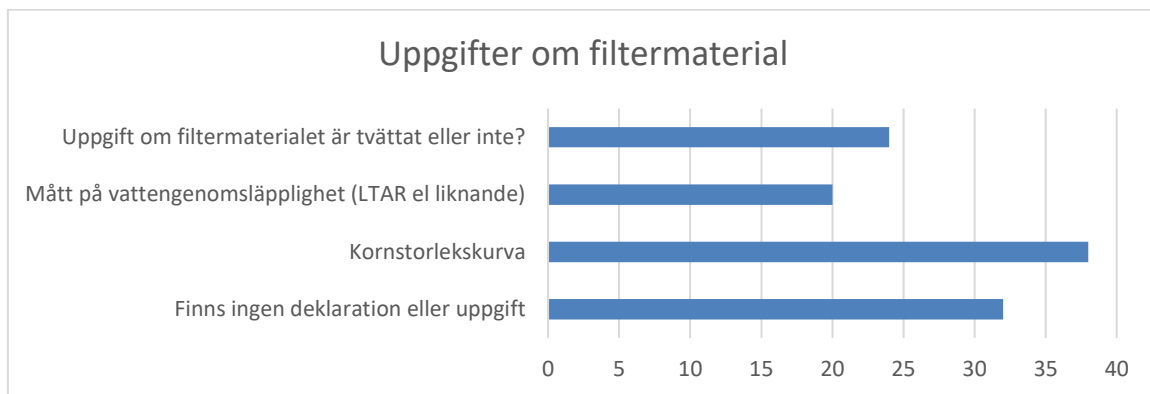
Majoriteten av entreprenörerna använder sig av någon typ av riktlinjer för själva anläggandet (85 %). Den vanligaste riktlinjerna är tillverkarens anvisningar (52 %) men många anger även att de följer kommunens eller Naturvårdsverkets anvisningar. Några har även svarat att de utgår från sina egna erfarenheter.



Figur 12 Anger fördelningen över hur filtermaterial lagras innan det används i markbaserade anläggningar. Siffrorna anger antal för respektive kategori.

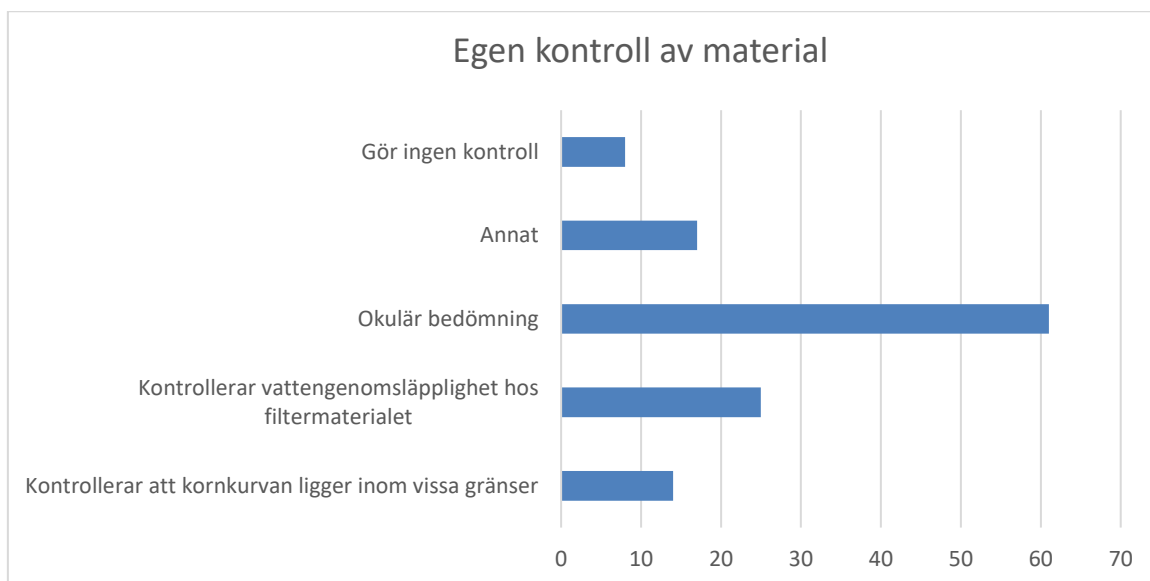
Majoriteten har angett att de använder sig av grävmaskin vid byggande. Av de som angett vilken typ av maskin som används är maskiner med larv vanligast men traktorgrävare, hjullastare och olika lastmaskiner förekommer också. Till sin hjälp använder många även laser, rakor, spadar, vattenpass, tumstock och liknande.

Vad gäller eventuella uppgifter om materialet för att bedöma dess funktion så är kornstorleksfördelningen vanligaste uppgiften om materialet som entreprenörerna använder. Relativt ofta saknas dock uppgifter eller någon typ av deklaration, se figur 13. Många har svarat att de använder en kombination av flera uppgifter, vanligaste kombinationen är kornstorlekskurva och uppgifter om materialet är tvättat eller inte.



Figur 13 Fördelning över vilka uppgifter som finns om materialet som används som filtermaterial, flera svar har varit möjliga. Siffrorna anger antal för respektive kategori.

Den egna kontrollen av filtermaterialet är vanligtvis okulär (se figur 14), antingen endast okulär (36 %) eller i kombination med andra kontroller (73 %). Av de som kontrollerar materialet på annat sätt än de angivna anges bland annat att kommunen har godkänt materialet på en viss plats, att leverantören av materialet har gett information eller att man litar på den leverantör som man har.



Figur 14 visar vilken typ av kontroll som entreprenören gör av materialet. Flera svar har varit möjliga. Siffrorna anger antal för respektive kategori.

Av de som använder sig av kornstorlekskurva jämförs gränserna mot Naturvårdsverkets, tillverkarnas eller tillsynsmyndigheternas rekommendationer. Det

var dock få svar på frågan (åtta stycken). Av de som inte kontrollerar mot en kornstorlekskurva anges bland annat att det är onödigt (på grund av egna erfarenheter eller information från leverantör), kostsamt, att möjligheterna saknas samt att det saknas krav från kommunen.

Av de som varken kontrollerar filtermaterial med vattengenomsläpplighet eller kornstorlekskurva anges det att det skulle underlätta om leverantören hade högre frekvens på sina analyser, att det skulle finnas färdigt material att beställa oavsett leverantör, till exempel via en standard, eller att leverantören tillhandahåller information som behövs.

För att underlätta kontroller av filtermaterial anges, förutom det som framkommer i stycket ovan, bland annat att det behövs mer kunskap, bättre riktlinjer eller definitioner av vad markbäddssand är, gratis analyser hos tillverkare samt möjlighet till en snabbkontroll av kornstorlekskurva.

3.3.3 Seminarium

Under projektets seminarium diskuterades vilka rekommendationer/krav som bör ställas på filtermaterial av bergkross och naturgrus, vilka insatser som är lämpliga/rimliga för att ta fram ett bra filtermaterial och hur vi uppnår kvalitetssäkring av material. 26 representanter deltog från bergmaterialindustrin och avloppsbranschen (anläggningsentreprenörer, tillverkare av anläggningar och miljöinspektörer).

Vilka rekommendationer/krav som bör ställas på filtermaterial?

I Naturvårdsverkets faktablad 8147 finns rekommenderade kornstorleksgränser för markbäddar. Dessa gränser baseras till stor del på empiriska studier av anläggningar. Alla producenter/laboratorium kan utföra mätningen vilket är en fördel för att kunna jämföra olika material. Ett problem med kornstorleksgränser kan dock vara att material som ligger utanför kurvan kanske fortfarande är godtagbara.

Testkit för LTAR-uppskattning baseras också på empirisk korrelation mellan ett ursprungsmaterial och den vattengenomsläpplighet det anses uppnå om några år. Metoden tillämpas idag hos vissa anläggningsentreprenörer och rekommenderas av vissa tillverkare. Det finns en stor osäkerhet i varje enskild mätning och därför måste flera mätningar göras för att kunna dra slutsatser. Exempelvis framgår från resultaten från analys på hydraulisk konduktivitet och kornstorleksfördelning att kurvor med liknande kornstorleksfördelning ibland verkar kunna ha olika hydraulisk konduktivitet.

Utifrån ovanstående föreslår deltagarna på seminariet följande:

- Vid kontroll av filtermaterial bör kornstorlekskurvan kontrolleras i första hand. Om materialet ligger innanför rekommenderade kornstorleksgränser är det godkänt. Några förslag på uppdatering av kornstorleksgränser finns nedan (punkt 4 och 5).
- Om materialet ligger utanför kornstorleksgränserna kan man testa att mäta hydraulisk konduktivitet. Ligger materialet inom rekommenderade gränser är det godkänt. Detta upplägg liknar rekommendationerna i Norge.
- Förslaget i punkt 2 kräver dock att det finns en fastställd kvalitetssäkrad metod för mätning av hydraulisk konduktivitet (se "Hur uppnår vi ett kvalitetssäkrat

material?” nedan). Förslaget kräver även att det finns väldefinierade gränsvärden för metoden.

Diskussionen mynnade ut i följande förslag på uppdatering av kornstorleksgränser:

- Ändra rekommenderade kornstorleksgränser för markbäddssand för enskilda avlopp så att den vänstra linjen utgörs av VIAK:s gräns snarare än den tidigare gränsen, se figur 6. Detta resulterar rimligen i lämpligare filtermaterial. Det kan dock eventuellt ge problem om många bergmaterialproducenter har fillerrika⁸ bergkrossmaterial som inte uppfyller rekommendationerna.
- Det är bra att tillåta en partikelsvans över 8 mm, det vill säga tillåta att materialet innehåller en viss mängd partiklar över 8 mm. Anledningen till förslaget är följande:
 - a. Vanligen skapas en mindre mängd överkorn, alltså i detta fall korn över 8 mm, vid processeringen. Det kanske handlar om överkorn i storleksordningen 5–10 %. De grövre kornen antas ha en mindre påverkan än fillermaterialet⁸.
 - b. Några procent över 8 mm borde ge fler produkter som klarar kurvan samtidigt som det inte bör ha någon större påverkan på materialens funktion.

Kring LTAR-värden och rekommenderade gränser lyftes följande:

- Igensättning brukar inte förekomma för LTAR 75 och över enligt erfarenheter.
- LTAR på 75 l/(m² och dygn) är långsiktigt bra och kan ses som en dimensionering för att anläggningen ska klara 50 l/(m² och dygn) med säkerhetsmarginal.
- LTAR på 150 kan vara för snabbt. Det kan fungera i början av anläggningens livstid men inte över lång tid.
- LTAR på 30–50 är dimensioneringen för infiltrationsanläggningar. Detta borde kunna vara OK även för markbäddar.

Det lyfts även att det vore önskvärt att enbart ställa krav på hur materialets funktionella egenskaper ska se ut, och inte på vilka metoder som ska användas för att uppnå detta (som till exempel tvättning).

Vilka insatser som är lämpliga/rimliga för att ta fram ett bra filtermaterial?

Enligt de bergmaterialproducenter som deltog på seminariet är det svårt att få tag på bergkrossmaterial som ligger inom rekommenderade kornstorleksgränser utan modifiering. Enstaka täkter kanske kan klara av det idag. Enligt de anläggningsentreprenörer som deltog kan bergkross ibland användas när det är svårt att få tag på naturgrus. Exempel på fraktioner som används är 2/4, särskilt i moduler. Det lyftes dock fram att den fraktionen kan ha för hög vattengenomsläpplighet. Anläggningsentreprenörerna lyfte också att det kan vara svårt att få tag på bra filtermaterial idag, beroende på var i landet man befinner sig.

Bergkrossmaterialproducenterna ansåg att blandning av olika materialfraktioner är den billigaste metoden för att modifiera material. Beroende på hur ursprungsmaterialet

⁸ Filler är finmaterial med kornstorlek under 0,063 mm.

ser ut och vilka fraktioner som kan blandas så kan det vara svårt att få till en kurva som ligger inom gränserna, eftersom vissa material kan ha för mycket finmaterial av kornstorlek under 0,063 mm eller för mycket grovt material kring 4 mm. Att blanda 0/2, 2/4 och 4/8 ger troligen bättre förutsättningar att få en bra kurva än om man blandar 0/4 och 4/8. Ju fler fraktioner som blandas desto svårare är det dock att få jämn kvalitet på materialet.

Tvättning ansågs vara bra för att få bort finmaterial under 0,063 mm. Investeringskostnader är dock stor för klasseringsutrustning, våtsiktning och vindsiktning och endast ett fåtal täkter har sådan utrustning idag. Behovsvolymererna för markbäddsmaterial är för små för att täkterna skulle göra investeringar enbart på grund av det användningsområdet.

Kanske skulle det kunna fungera att samordna produktion av filtermaterial med annan produktion med likande önskemål på material, exempelvis betongballastproduktion. En uppskattning från seminariet är att det finns 20–40 ”betongtäkter” i Sverige som med enklare förändringar skulle kunna ta fram bergkrossmaterial som passar som filtermaterial. En skillnad mellan markbäddsmaterial och betongballast är dock att 6–7 % filler⁹ är godtagbart för betongballast medan fillerhalten behöver ligga under 5 % för filtermaterial. Detta kan dock variera beroende på vilken betongindustri det rör sig om. Siffrorna ovan gäller för fabriksbetong medan exempelvis betongelement och balkbetong skulle kunna ha andra krav som eventuellt är mer jämförbara.

Arbetet med att modifiera och specialanpassa material behöver dock alltid vägas mot nyttan att få ett mer välanpassat material. Ju högre krav desto färre bergmaterialproducenter kommer att klara dem. Om mycket få täkter kan leverera material kan det uppstå problem med långa transporter och därmed också höga utsläpp och kostnader för material. Själva arbetet med modifiering av produkter kostar också i form av pengar och utsläpp (diesel från arbetsmaskiner med mera). Mötesdeltagarna lyfter att det vore intressant att utreda om det skulle vara godtagbart att ha andra typer av material som ligger utanför rekommendationerna om markbaserade anläggningar designades på ett annat sätt, exempelvis om större mängder filtermaterial användes. Detta behöver dock undersökas mer.

En annan synpunkt som lyftes var att ”det finns en mängd extrema bergarter, somliga med särskilt gynnsamma eller ogynnsamma egenskaper ofta orsakad av deras mineralogi”, enligt Mattias Göransson (pers. medd. 2). Det är därför viktigt att skapa riktlinjer kring användningen av olika typer av extrebergarter.

Hur uppnår vi kvalitetssäkring av material?

Kornstorlekgränser kontrolleras vid många täkter idag vid tillverkningskontroll, dock sällan vid leverans. Leveranskontroll skulle på ett sätt vara bra eftersom det kan finnas stora variationer i materialet och eftersom dammjöl ökar vid hanteringen. Analysen är inte heller så dyr, under 1 000 kr. Leveranskontroll går att göra men det finns risk för att analysen inte sker på ett tillräckligt kvalitetskontrollerat sätt. Det är viktigt att provtagningen sker enligt uppstyrd metod. Det är också viktigt att det finns en rutin och att personer som utför provtagningen kan följa rutinen. Annars kommer det att

⁹ Filler är finmaterial med kornstorlek under 0,063 mm.

vara oklart om provet blir representativt. Fältmätning innebär generellt många svårigheter och hanteringen är avgörande.

För vattengenomsläpplighetsmätningar behövs en metodbeskrivning och definierade mätosäkerheter. Jämförelse av aktuella laboratorier behöver göras för att få en bild av hur pass bra metoden fungerar. Under seminariet lyftes också att egenkontroll hos täkterna borde vara det bästa sättet för att ha kontroll på exempelvis vattengenomsläppligheten hos materialet. Huvudincitamentet för att lösa detta ligger hos bergmaterialproducenterna. Egenkontroll i takten kan vara svårt, särskilt om det är svårt att hitta en lämplig person för frågan. Vilka metoder som faktiskt kan användas för mätning av vattengenomsläpplighet behöver diskuteras, liksom hur mätvärdena kan översättas till LTAR-värden. En metod som kan vara värd att studera är ringinfiltrometertest. En annan aspekt att ta hänsyn till är att mätning av hydraulisk konduktivitet via de metoder som utförs av analyslaboratorier idag är dyrt, ca 7 000–8 000 kr, och tar lång tid, ca 1,5 månader. Om metoden rekommenderas skulle det kanske kunna bli fler utförare och större prispress.

Anläggningsentreprenörer och miljöinspektörer ansåg under seminariet att det skulle vara en fördel om bergmaterialproducenterna kan ta fram ett deklarerat material. Bergmaterialproducenterna trodde att det ska vara möjligt så länge lämpliga metoder och gränsvärden tas fram.

En annan viktig del av kvalitetssäkringen är att materialet läggs ut på rätt sätt då anläggningen byggs. Ett utlagt material kommer alltid att separeras på något sätt (det vill säga kornstorleksfördelningen kommer bli olika i olika delar av material). Därför är det tveksamt med prov på utlagt material.

I övrigt togs följande upp om kvalitetssäkring:

- Ett kvalitetsproblem med markbäddar av krossat berg skulle kunna vara att bädden separerar med tiden. Separationen blir som högst när kornstorleksfraktionerna är relativt vida – oavsett om det är naturgrus eller krossat berg. Material 0/8 mm är ett separationsbenäget material. Ett annat problem skulle kunna vara partikelvandring i den lösa fraktioner, något som ökar i samband med frys- och töcykler.
- Kornstorleksprov ska vara minst 20 kg.

Övriga kommentarer från seminariet

Under seminariet diskuterades även att det vore intressant att undersöka om andra typer av material kan användas som filtermaterial, till exempel havssand eller avfalls- och restprodukter som schaktmassor, betongkross, cementkross och gummiklipp.

3.4 Diskussion

Studien hade för avsikt att komma med underlag för uppdatering av kornstorleksgränser för bergkrossmaterial och naturgrus. För att kunna bedöma detta strävade projektgruppen efter att uppnå en spridning av olika typer av material som är representativa för olika platser i Sverige idag. För både naturgrus och bergkross blev den geografiska spridningen mindre än önskat, dock anser projektgruppen att spridningen blev tillfredställande vad gäller vilka materialtyper som fanns

representerade. För bergkrossmaterial innebar det att en del av de vanligast förekommande bergarterna/bergartsmaterialen inom Sverige fanns representerade inom projektet. För naturgrus var det huvudsakliga målet att hitta material från såväl norr om Gävle som söder om Gävle, vilket uppnåddes, se tabell 1 och 2.

3.4.1 Rekommendationer för markbäddsmaterial

Under seminariet diskuterades vilka gränsvärden som bör gälla för filtermaterial i markbäddar. Rekommenderade LTAR-värden för markbäddssand ligger idag på 50–150 l/(m² och dygn). Detta kan sättas i relation till rekommenderad belastning för markbäddssand enligt Naturvårdsverkets faktablad 8147 som ligger på 50–60 l/(m² och dygn) samt rekommenderad belastning för infiltrationsanläggningar som ligger på 30–60 l/(m² och dygn). Detta antyder att undre LTAR-gräns för infiltrationsanläggningar är 30 l/(m² och dygn). Under seminariet såg deltagarna ingen anledning att LTAR 30–50 l/(m² och dygn) inte ska fungera för markbäddssand också, så länge belastningen anpassas efter detta. Vad gäller den övre gränsen ansåg deltagarna att 150 l/(m² och dygn) skulle kunna vara för snabbt för att vara hållbart i längden för en anläggning. Det finns därför anledning att se över LTAR-gränserna framöver.

För att bedöma hur hydraulisk konduktivitet och LTAR hos materialen i projektet påverkas av kornstorleksfördelning är det först viktigt att se vilka antagande som ligger bakom bedömningen av LTAR-värden inom projektet och vilka svårigheter som finns i bedömningen. Inom projektet har hydraulisk konduktivitet vid lös packning mätts enligt avsnitt 1.5.1. Projektgruppen har sedan översatt mätvärden på hydraulisk konduktivitet till motsvarande LTAR-värde. Detta har utförts genom att jämföra värdena på hydraulisk konduktivitet i detta projekt med resultaten från projektet Elmefors m.fl. (2016) där testkit¹⁰ använts för att mäta hydraulisk konduktivitet och uppskatta LTAR. Det är dock inte självklart hur översättningen från hydraulisk konduktivitet till LTAR ska ske. Vid jämförelse av uppskattningar från testkiten med uppskattningar enligt den tekniska rapporten CEN/TR 12566-2 skiljer sig sambanden åt, åtminstone för högre värden på hydraulisk konduktivitet/LTAR (figur 7). Jämför vi med värden beräknade ur en formel från Laak (1986) stämmer detta bättre överens med LTAR som uppskattats med hjälp av testkit. Det finns dock inte definierat i Laak (1986) för vilka förutsättningar formeln gäller, och vi vet därför inte säkert om den har använts på rätt sätt. Varken för CEN/TR 12566-2 och Laak (1986) har projektgruppen kunnat hitta vilka grundläggande teorier och förutsättningar som gäller för bedömningarna. Vi har därför valt att använda mätningarna från testkiten till översättningen. På sikt behöver dock sambandet mellan hydraulisk konduktivitet och LTAR klargöras bättre.

Studeras figur 9 kan det konstateras att alla projektets naturgrusmaterial ligger inom kornstorleksgränserna. Alla naturgrusmaterialen kan också antas ha godtagbart LTAR-värde:

- Ett material ligger direkt inom önskade LTAR-gränser för markbäddssand 50–150 l/(m² och dygn).

¹⁰ Denna typ av testkit för uppskattning av LTAR (perkolationstest) finns att köpa hos vissa tillverkare av avloppsanläggningar idag.

- Ett material ligger på LTAR runt 150 l/(m² och dygn) vilket anses vara godtagbart enligt gällande rekommendationer (men kanske för högt p.g.a. svårigheter att mäta exakta LTAR-värden.
- Två material ligger på 30–50 l/(m² och dygn) vilket får anses vara godtagbart med tanke på resonemanget om önskade LTAR-värden ovan samt med hänsyn till osäkerheten i bedömning av LTAR-värde hos materialen.

Dock kan det finnas anledning att se över dimensionerande belastning för material med kurvor i högra delen av markbäddssandsgränserna. Även det material som kommer från norr om Gävle har en finmaterialhalt under gränsvärdena och ett godtagbart LTAR-värde i detta projekt. Från Elmefors m.fl. (2016) hade ett av tre material från norr om Gävle för hög andel finmaterial och LTAR under 30 l/(m² och dygn) medan ytterligare ett av materialen hade på gränsen till för hög andel finmaterial och LTAR runt 30 l/(m² och dygn).

När figur 10 studeras kan vi konstatera att tre material med grön kurva (K9, K7 och K8) och ett material med blå kurva (K3) ligger inom kornstorleksgränserna och därför anses vara bra enligt båda mätmetoderna enligt samma resonemang som ovan. De tre materialen med grön kurva består av modifierade material medan materialet med blå kurva kommer direkt från täkten. Två material ligger något till vänster om den vänstra kornstorleksgränsen (K6 och K10). Trots likhet i kornkurva har dessa material väsentligt olika resultat i LTAR eftersom det ena materialet (K10) ligger klart över 150 l/(m² och dygn) – vilket är för snabbt – medan det andra (K6) ligger på 50–150 l/(m² och dygn). Studeras porositet och flödestal hos dessa material kan vi också se att materialen har relativt lika värden – båda materialen har hög porositet och högt flödestal relativt andra material. Studeras flisighetsindex (tabell 2) framgår att båda materialen har relativt högt flisighetsindex jämfört med andra material, vilket kan förklara den högre porositeten vid lätt packning och det högre flödestalet jämfört med andra material, men inte skillnaderna i LTAR mellan materialen. De två skillnader som kan konstateras mellan materialen är dock att de har olika bergartsinnehåll och att K10 i princip inte innehåller korn över 5,6 mm medan K6 har några procent av dessa korn. Resultaten tyder på att kornstorlekskurvan oftast verkar stämma överens med LTAR-värde, men inte alltid. Vad gäller material med kurvor som har för hög halt finmaterial, det vill säga som ligger till höger om högra gränsen i figur 10 så har två för lågt LTAR-värde (K4 och K5) medan de andra två har LTAR på 30–50 l/(m² och dygn) respektive LTAR runt 150 l/(m² och dygn). Det sistnämnda resultatet sticker ut i sammanhanget med högt LTAR med tanke på finmaterialhalt. Det kan noteras att detta material, K2, består av samma grundmaterial som material K10. Sammanfattningsvis anser projektgruppen att resultaten tyder på att material inom kornstorleksgränserna kan anses vara godtagbara medan materialen utanför kurvan i kan vissa fall kan vara godtagbara (vilket i så fall behöver undersökas närmare). Dessa resonemang gav upphov till följande slutsatser kring bergskrossmaterial från seminariet:

- Vid kontroll av filtermaterial bör kornstorlekskurvan kontrolleras i första hand. Om materialet ligger innanför rekommenderade kornstorleksgränser är det godkänt. Några förslag på uppdatering av kornstorleksgränser finns nedan (punkt 1 och 2).
- Om materialet ligger utanför kornstorleksgränserna kan man testa att mäta hydraulisk konduktivitet. Ligger materialet inom rekommenderade gränser är det godkänt. Förslaget kräver dock att det finns en fastställd kvalitetssäkrad

metod för mätning av hydraulisk konduktivitet, vilket diskuteras ytterligare nedan.

Seminariedeltagarna kom även fram till följande förslag till uppdatering av kornstorleksgränserna¹¹:

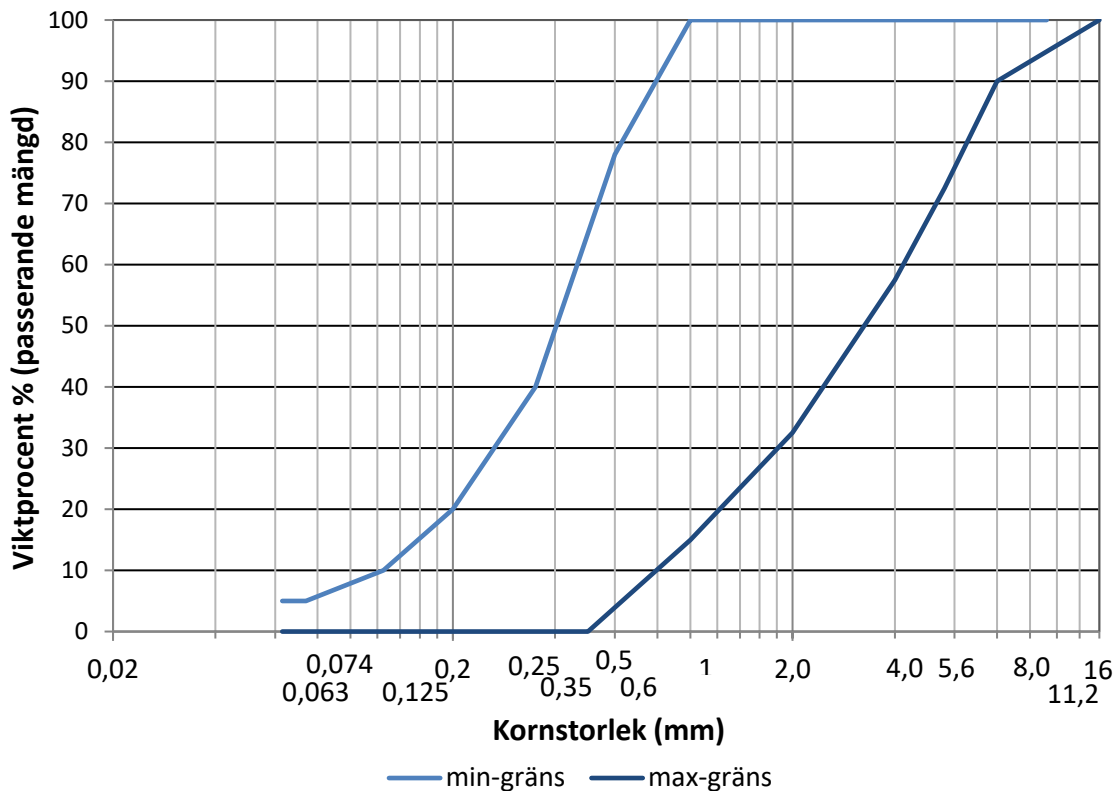
1. Ändra rekommenderade kornstorleksgränser för markbäddssand för små avlopp så att den vänstra linjen utgörs av VIAK:s gräns snarare än den tidigare gränsen, se figur 6. Detta kanske dock kan ge problem för fillerrika bergkrossmaterial.
2. Det är bra att tillåta en partikelsvans över 8 mm, det vill säga tillåta att materialet innehåller en viss mängd partiklar över 8 mm. Anledningen till förslaget är följande:
 - a. Vanligen skapas en mindre mängd överkorn, alltså i detta fall korn över 8 mm, vid processeringen. Det bedöms handla om överkorn i storleksordningen 10 %. De grövre kornen antas ha en mindre påverkan än fillermaterialet (det vill säga material med kornstorlek under 0,063 mm).
 - b. Några procent över 8 mm borde ge fler produkter som klarar kurvan samtidigt seminariedeltagarna bedömer att det borde ha någon större påverkan på materialens funktion.

Förslagen skulle innebära att kornstorleksgränserna ser ut som i figur 15.

Det finns inget tydligt samband mellan porositet och hydraulisk konduktivitet hos materialen som deltagit i studien. Möjligen är detta ett tecken på att det inte bara är den totala porvolymen som är styrande, utan att det även är viktigt hur porstorleken är fördelad. Något tydligt samband mellan flödestal och hydraulisk konduktivitet finns inte heller. Däremot kan det vara intressant att notera att materialen med högst flisighet (vad vi känner till) också har högst porositet vid låg packning och högt flödestal (tabell 2 och 7–10). Detta är rimligt med tanke på flisigare material lättare borde ”fastna i varandra” vilket borde ge större hålrum vid lös packning och göra transporten genom en kon långsammare.

Vid jämförelse av hydraulisk konduktivitet vid lös och hård packning (tabell 3–5) framgår att minskningen varierar en del för både naturgrusmaterial (1,8–7,3 gånger) och bergkrossmaterial (1,0–18 gånger). Här skulle det kunna misstänkas att flisigt material ger störst skillnad på grund av att flisiga korn teoretiskt sätt ger större porositetskillnad mellan lös och hård packning. Det går dock inte att se någon tydlig koppling till flisighetsindex för bergkross, baserat på de uppgifter som finns. Enligt rekommendationerna i Naturvårdsverkets faktablad 8147 ska markbäddsmaterial endast packas lätt. Många anläggningsentreprenörer anger att de följer någon typ av riktlinjer för anläggandet av markbäddar. De vanligaste riktlinjerna som följs är tillverkarens anvisningar (52 %) men många anger även att de följer kommunens eller Naturvårdsverkets anvisningar.

¹¹ Resonemanget finns även i Informationsblad ”Rekommendationer för bergkross som filtermaterial i markbäddar” men då lite mindre specificerat.



Figur 15. Förslag på uppdatering på rekommenderade gränser för markbäddssand enligt projektet.

3.4.2 Vad krävs för att uppfylla rekommendationerna?

Från både seminariet och enkäterna framkom att ”sortering och blandning” av material är en billigare metod än tvättning för att modifiera material. Däremot för ”sortering och blandning” med sig andra svårigheter som är värda att ha i åtanke. Beroende på ursprungsmaterial och möjliga sorteringar kommer vissa tänker fortfarande ha svårt att ta fram material som ligger inom gränserna med denna teknik. Det är också svårt att få jämn kvalitet på materialet med metoden. Generellt sett kan man säga att ju fler fraktioner som blandas, desto lättare är få fram en bra kurva. Samtidigt blir det svårare styra kvaliteten ju fler fraktioner som används, det vill säga att få kurvan ska se lika ut från gång till gång även om samma metod används.

Tvättning är en effektiv metod för att få bort finmaterial under 0,063 mm. Investeringskostnaderna är dock stora för klasseringsutrustning, våtsiktning och vindsiktning och endast ett fåtal tänker har sådan utrustning idag. Behovsvolymerna för markbäddsmaterial är för små för att tänkerna skulle göra investeringar enbart på grund av det användningsområdet.

Åsikterna går isär i enkäterna kring vilka metoder som är bäst samt hur möjligt/rimligt det är att modifiera material. Här lyfts också att modifiering kostar i form av pengar och utsläpp och att det är viktigt att använda de bergkrossmaterial som finns tänkernas sortiment i möjligaste mån. En möjlighet för att göra det rimligare att modifiera material skulle kunna vara samproduktion med andra användningsområden. Det exempel som framförallt lyfts är betongballastproduktion där önskemålen på

materialet anses likna filtermaterial. En skillnad mellan markbäddsmaterial och betongballast är dock att betongindustrin tillåter 6–7 % finmaterial under 0,063 mm medan halten behöver ligga under 5 % för filtermaterial. Detta kan dock variera beroende på vilken betongindustri det rör sig om så det kan vara intressant att se över villkoren för betongelement, balkbetong med mera. I enkäten lyfts även en mängd andra användningsområden som kanske kan vara intressanta att se över för att bedöma möjligheter till samproduktion, som annan typ av vattenrening, markbyggnad i städer, sportplaner, golfbanor, lekplatser, gjuterisand med mera.

3.4.3 Hur ska materialet kvalitetssäkras?

Vad gäller kvalitetssäkring togs det upp vid både seminariet och inom enkäten att det för mätning av hydraulisk konduktivitet behövs en metodbeskrivning och definierade mätosäkerheter. Under seminariet lyfts även att jämförelse av aktuella laboratorier behöver utföras för att få en bild av hur pass bra metoden fungerar.

Enligt enkäten förekommer idag att anläggningsentreprenörer själva kontrollerar vattengenomsläpplighet eller att kornstorleksfördelningen ligger inom rekommenderade gränser. Dock är det betydligt vanligare med okulär bedömning. Anläggningsentreprenörer och miljöinspektörer ansåg under seminariet/enkäterna att det skulle vara en fördel om bergmaterialproducenterna kan ta fram ett deklarerat material. Bergmaterialproducenterna trodde under seminariet att det ska vara möjligt om lämpliga metoder och gränsvärden finns. Från enkäterna var de flesta bergmaterialproducenter positiva till att deklarerat kornstorleksgränser medan vissa var mer tveksamma till vattengenomsläpplighetsmätningar. Från seminariet lyfts att kornstorleksfördelningen är en enkel metod som alla tänker borde kunna utföra själva. Kornstorleksfördelning ger dock bara en indikation på om produkten är lämplig eller inte. Vattengenomsläpplighet kan därför vara ett intressant komplement, men det krävs att det finns en ”robust och väldokumenterad provningsmetod” annars kommer resultaten att bli osäkra. Bland dem som anser att vattengenomsläpplighetstester är möjligt anser man oftast att två prov per 500 ton, vilket rekommenderas enligt informationsbladet ”Rekommendationer för bergkross som filtermaterial i markbäddar”, är för ofta. Snarare föreslås:

- 1–2 prov per 1 000 ton
- En gång per produktionsvecka
- Ett prov per täkt och år
- Test vid leveransstart till nytt objekt

Från både seminariet och enkäten lyfts att det kan vara bra att komplettera provuttag enligt metoden SS-EN 932-1 med ytterligare riktlinjer, exempelvis var i produktionen prov ska tas. Idag tas kornstorleksprov ofta vid tillverkningskontroll, det vill säga på täkten i samband med att materialet tillverkas. Att ta prov vid leverans görs dock sällan. Leveranskontroll skulle i teorin kunna ge en bättre bild av hur levererat material faktiskt ser ut, dels på grund av att det kan finnas stora variationer i ett material, dels för att finkornigt mjöl bildas vid hantering av material. Det finns dock många utmaningar med leveransprovtagning och stor risk att provet inte blir representativt

om det inte finns en tydligt beskriven metod. Det är också viktigt att det finns en fungerande rutin och att personer som utför provtagningen kan följa rutinen.

Risker med modifiering och kvalitetssäkring

Bergkrossmaterial är förekommande som filtermaterial i markbäddar på vissa platser idag på grund av naturgrusbrist och lär bli allt vanligare i framtiden. Det är därför viktigt att se till att bergkrossmaterial fungerar bra för filterändamål. Mätningar på material som kommer direkt från täkternas sortiment idag tyder på att modifiering oftast behövs, detta gäller såväl resultat från denna studie som resultat från Elmefors m.fl. (2016). Mycket tyder också på att det är tekniskt möjligt att få fram bättre material med hjälp av modifiering och att uppnå kvalitetssäkring av filtermaterial. Höga krav på modifiering och kvalitetssäkring av filtermaterial kan dock föra med sig risker. Ju högre krav, desto färre entreprenörer kommer att klara dem. Om det enbart blir få täkter som kan leverera filtermaterial uppstår problem med långa transporter och därmed också höga utsläpp och kostnader för material. Parallellt med arbete med modifiering och kvalitetssäkring av material för att de ska passa till dagens riktlinjer för dimensionering av markbäddar är det därför intressant att se över om markbäddar kan designas på ett annat sätt och på så sätt passa för den typ av bergkrossmaterial som idag finns i täkternas sortiment. Kanske skulle mer genomsläppliga material kunna fungera med förstärkningslager under bäddmaterialet medan mindre genomsläppliga material skulle kunna fungera med en större infiltrationsyta (Peter Nilsson, pers. medd. 2).

Andra utvecklingsbehov för markbäddar

Bland övriga frågor som bör ses över för markbäddar kan nämnas riktlinjer för lagring av material. Material 0/8 mm, såväl naturgrus- som bergkrossmaterial, skiktas lätt och hanteringen spelar därför stor roll.

Förutom att studera fysikaliska egenskaper hos material är det även viktigt att se över ovanliga bergarter eftersom dessa kan ha egenskaper som är gynnsamma eller ogynnsamma för användning till filtermaterial. Exempel på gynnsamma egenskaper kan till exempel vara att mineralogin leder till god fosforinbindning medan exempel på ogynnsamma egenskaper kan vara att mineralogin leder till ökad risk för läckage av skadliga ämnen som svavel, arsenik, kadmium med mera.

Slutligen kan det finnas andra material än bergkrossmaterial som kan vara lämpliga ersättningsmaterial till naturgrus för filterändamål och som därför vore intressanta att studera vidare. Exempel material som kan vara intressanta att utvärdera är havssand samt avfalls- och restprodukter som skulle möjliggöra cirkulära system som schaktmassor, betongkross, cementkross och gummiklipp.

4 Slutsatser

Projektet ledde till följande slutsatser kring *uppdatering av rekommendationer och kvalitetssäkring av filtermaterial av bergkross*:

1. Vid kontroll av filtermaterial bör kornstorleksfördelningen kontrolleras i första hand. Om materialet ligger innanför rekommenderade kornstorleksgränser är det godkänt, givet följande:
 - a. Kornstorleksgränserna bör uppdateras enligt figur 15.
 - b. Metod för uttag av prov bör kompletteras med rutin för var prov ska tas.
2. Om materialet ligger utanför kornstorleksgränserna kan man testa att mäta hydraulisk konduktivitet.
 - a. Kvalitetssäkrad metod för mätning av hydraulisk konduktivitet kopplat till bedömning av långsiktig hydraulisk konduktivitet (LTAR) behöver utvecklas. Inom ramen för det behöver empiriska samband mellan LTAR och hydraulisk konduktivitet kontrolleras. Jämförelse av aktuella laboratorier bör utföras för att kontrollera metoden. Tills vidare kan metod enligt CEN/TR 12566-2, C.2.2 och C.3, användas.
 - b. Ligger materialet inom rekommenderade gränser för hydraulisk konduktivitet är det godkänt. LTAR 50–150 l/(m² och dygn) rekommenderas idag. Projektet anser att LTAR 30–75 l/(m² och dygn) kanske kan vara en mer rimlig gräns men detta behöver ses över.
3. Rekommendationen om tvättning bör tas bort. Rekommendationerna ska endast innehålla funktionskrav och tillverkarna får själva bestämma vilka metoder som ska tillämpas för eventuell modifiering.
4. Deklaration av material är önskvärt enligt anläggningsentreprenörer och miljöinspektörer. Bergmaterialproducenter anser överlag att det ska vara möjligt att deklarerat kornstorleksfördelning hos materialet men var mer tveksamma kring hydraulisk konduktivitet. För att deklARATION ska vara möjlig krävs väldefinierad metodbeskrivning och tydliga gränsvärden.

Projektet ledde till följande slutsatser kring *hur vi får fram bra filtermaterial av bergkross*:

5. De flesta material som kommer direkt ur sortimentet verkar inte passa som filtermaterial. Det finns dock undantag.
6. Sortering och blandning av material är en billigare metod än tvättning för att modifiera material. Beroende på ursprungsmaterial och möjliga sorteringar kommer vissa täkter fortfarande ha svårt att ta fram material som ligger inom gränserna med denna teknik. Det är också svårt att få jämn kvalitet på materialet med metoden.
7. Tvättning är en effektiv metod för att få bort finmaterial under 0,063 mm. Investeringskostnaderna är dock stor för klasseringsutrustning, våtsiktning och vindsiktning och endast ett fåtal täkter har sådan utrustning idag. Behovsvolymererna för markbäddsmaterial är för små för att täkterna skulle göra investeringar enbart på grund av det användningsområdet.
8. En möjlighet för att göra det rimligare att modifiera material skulle kunna vara samproduktion med andra användningsområden. Betongballast lyftes bland annat fram som ett alternativ att undersöka.

9. Höga krav på modifiering och kvalitetssäkring av filtermaterial kan föra med sig risker i form av långa transporter och därmed höga kostnader och utsläpp.
10. Parallellt med utvecklingsbehoven inom modifiering och kvalitetssäkring enligt punkt 9 är det intressant att se över om markbäddar kan designas på ett annat sätt och på så sätt passa för den typ av bergkrossmaterial som idag finns i täkternas sortiment.

5 Vidare studier

Bland slutsatserna lyfts ett antal områden som behöver studeras vidare för att säkerställa bergkrossmaterials funktion som filtermaterial till markbäddar. Fler studier med mätningar av reningsresultat i fältskala vore också önskvärt. Riktlinjer för lagring av bergkrossmaterial (och naturgrus) behöver ses över liksom risker och möjligheter med ovanliga bergarter samt allmän påverkan på materialets egenskaper beroende på bergartsinnehåll. Andra tänkbara filtermaterial än bergkross behöver också utredas.

6 Källor

- Chalmers, 2015. Uthållig produktion av finkorniga produkter från bergmaterial. Chalmers, MinBaS, Vinnova och SBUF.
- Domenico, P. A. & Schwartz, F. W., 1998. Physical and Chemical Hydrogeology, second edition, John Wiley & Sons, Inc.
- Elmefors, E., Eveborn, D. & Tuveesson, M., 2016. Bergkross och naturgrus som filtermaterial i markbäddar – Materialval och provtagningsplan inför fullskalestudie. SVU Rapport 2016-09. Svenskt Vatten Utveckling.
- 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, David, personligt meddelande, Sveriges Geologiska Undersökning, 2019-08-22.
- Grånäs, K, Göransson, M., Thorsbrink, M. & Wåhlén, H., 2013. Underlag till materialförsörjningsplan för Uppsala län. SGU-rapport 2013:19. Sveriges Geologiska Undersökning.
- Göransson, Mattias, personligt meddelande 1, Sveriges Geologiska Undersökning, 2018-01-18.
- Göransson, Mattias, personligt meddelande 2, Sveriges Geologiska Undersökning, 2019-05-20.
- Göransson M., 2015. Ersättningsmaterial för naturgrus – kunskapssammanställning och rekommendationer för användningen av naturgrus. SGU-rapport 2015:35. Sveriges geologiska undersökning.
- Handy, R. L. & Spangler, M. G. (2007). Geotechnical engineering: soil and foundations principles and practice. McGraw-Hill Professional.
- Informationsblad – Rekommendationer för bergkross som filtermaterial i markbäddar, 2016. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik. Finansiering: Havs- och Vattenmyndigheten.
- Johansson L. (2004). Öppna markbäddar, uppföljning och utvärdering. Examensarbete, Luleå Tekniska Universitet 2004:027 CIV.
- Laak, R., 1986. Wastewater engineering and design for unsewered areas. Technomic Publishing Company, Lancaster, Pennsylvania, USA.
- Lagerblad, B., Westerholm, M. & Gram, H.-E., 2011. Bergkrossmaterial som ballast i Betong. CBI Betonginstitutet AB.
- Naturvårdsverkets faktablad 8147, 2003. Naturvårdsverkets fakta.
- Naturvårdsverket, 1985. Avloppsvatteninfiltration – Förutsättningar, funktion och miljökonsekvenser. Nordisk samproduktion. Naturvårdsverket och Nordiska ministerrådet. Sveriges geologiska undersökning (SGU), periodiska publikationer 2018:2.
- Nilsson, Peter, personligt meddelande 1, VA-Teknik & Vattenvård, 2019-05-20.
- Nilsson, Peter, personligt meddelande 2, VA-Teknik & Vattenvård, 2019-05-22.
- SFS 2018:1635. Förordning (2018:1635) om fastställande av omräknat belopp för naturgrusskatt för år 2019. Svensk författningssamling.
- SGU, 2018. Grus, sand och krossberg 2017.
- SIS-CEN/TR 12566-2:2006, Avlopp - Reningsanläggning upp till 50 pe - Del 2: Infiltration i mark
- SS-EN 932-1:1996. Ballast – Generella metoder – Del 1: Metoder för provtagning.
- SS-EN 932-3:1997. Ballast – Generella egenskaper – Del 3: Petrografisk beskrivning, förenklad metod.
- SS-EN 933-1:2012. Ballast – Geometriska egenskaper – Del 1: Bestämning av kornstorleksfördelning – Siktning.
- SS-EN 933-6:2014. Ballast – Geometriska egenskaper – Del 6: Bestämning av kornform – Flödestal.

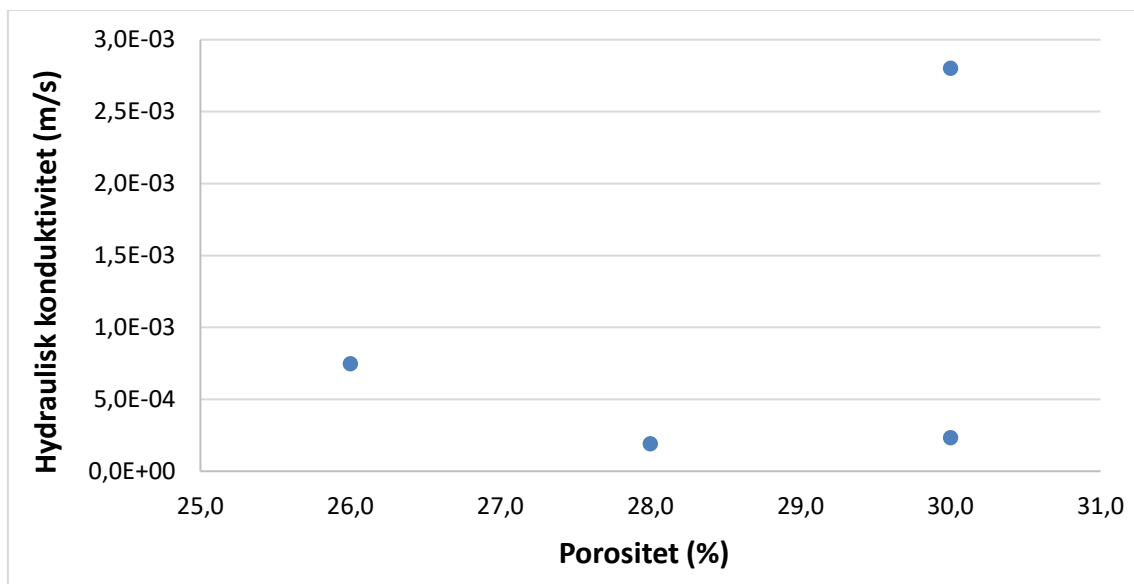
VA/Miljø-blad nr 59. Lukkede infiltrasjonsanlegg for sanitært avløpsvann. Jordforsk
2003. Reviderat 2018.

Bilaga 1 Porositet och flödestal

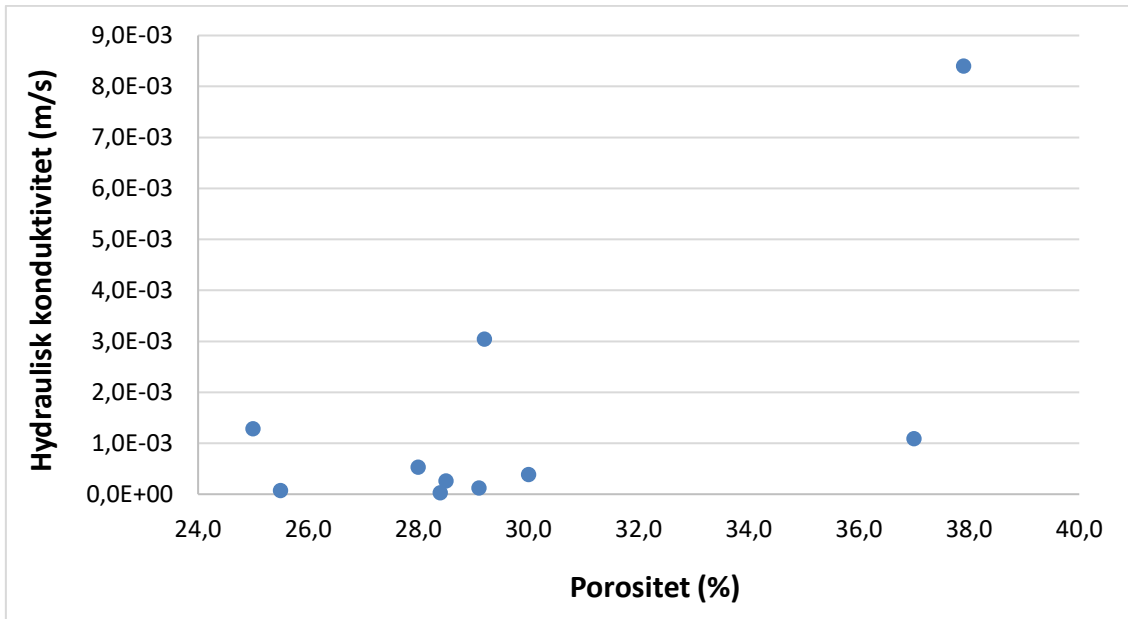
Inom projektet har statistiska samband mellan porositet och hydraulisk konduktivitet respektive flödestal och hydraulisk konduktivitet under sökts. Resonemanget redovisas nedan.

Porositet

Om porositeten sätts i relation till hydraulisk konduktivitet för naturgrus framgår inget tydligt mönster mellan dessa (figur 16). Vid försök att approximera sambandet som linjär ekvation, exponentiell ekvation, logaritmisk ekvation och polynomekvation blir förklaringsgraden låg, som högst ca 0,13. Det innebär att variationen i hydraulisk konduktivitet bara kan förklaras till ca 13 % av porositeten. Här får man dock tänka på vi bara mätt på fyra material. För bergkrossmaterial framgår inte heller något tydligt mönster mellan hydraulisk konduktivitet och porositet även om förklaringsgraden blir bättre, som mest ca 0,43 med en linjär approximation (figur 17).



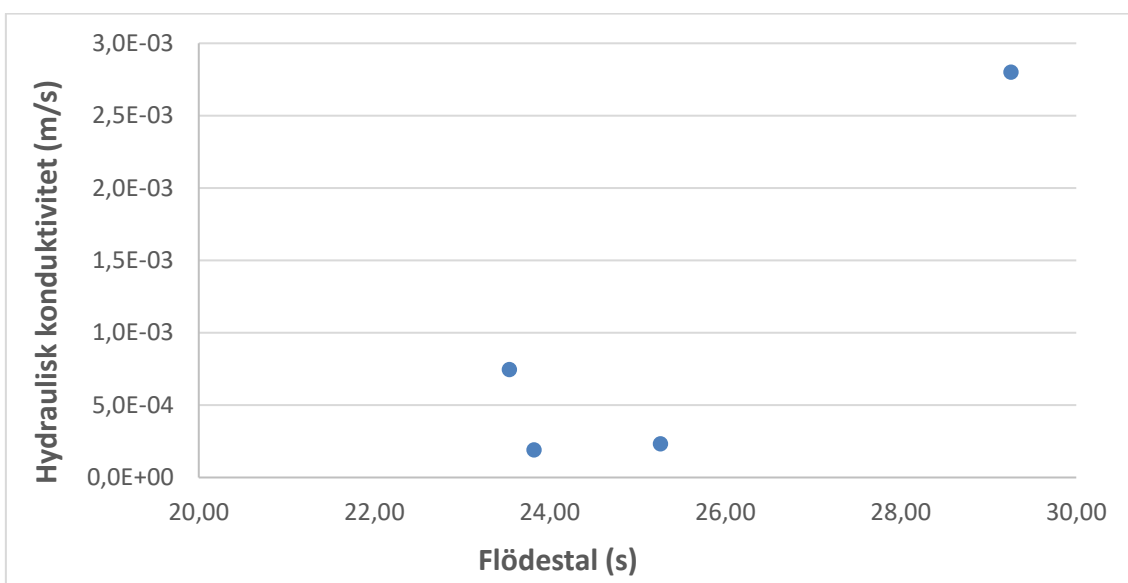
Figur 16. Figuren visar förhållandet mellan hydraulisk konduktivitet vid lös packning och porositet för de naturgrusmaterial som ingick i projektet.



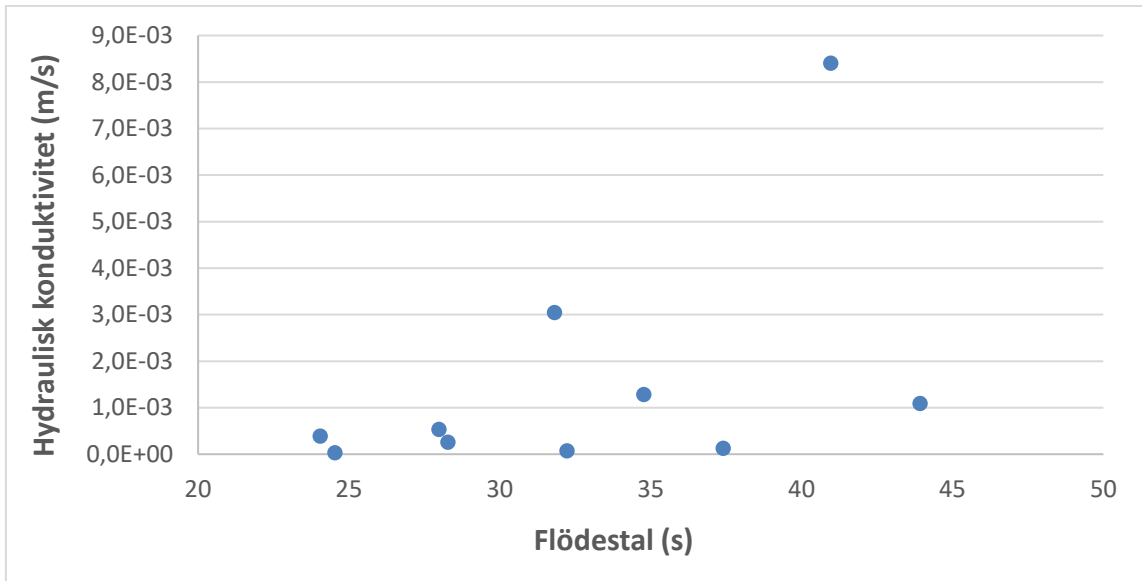
Figur 17. Figuren visar förhållandet mellan hydraulisk konduktivitet vid lös packning och porositet för de bergkrossmaterial som ingick i projektet.

Flödestal

Det fanns inga tydliga samband mellan hydraulisk konduktivitet och flödestal för bergkross där förklaringsgraden är 0,28 som högst (figur 18). För naturgrus kan en kurva med förklaringsgrad 0,82 hittas för ett linjärt samband (figur 19). Eftersom antal värden är få, och ett av värdena ligger långt utanför övriga, så är det dock sambandet ändå osäkert.



Figur 18. Figuren visar förhållandet mellan hydraulisk konduktivitet vid lös packning och flödestal för de naturgrusmaterial som ingick i projektet.



Figur 19. Figuren visar förhållandet mellan hydraulisk konduktivitet vid lös packning och flödestal för de bergkrossmaterial som ingick i projektet.

Bilaga 2 Enkät bergmaterialproducenter

1. När vi pratar om bergkross som filtermaterial till avloppsvattenrening letar vi ofta efter material som ligger inom bifogade kornstorleksgränser. Har ni något "färdigt" krossmaterial idag som ni tror skulle passa in på beskrivningen (dvs utan utveckling/modifiering). (Ja/Nej)
2. Om ja på fråga 1:
 - a. Vilket län kommer materialet ifrån?
 - b. Vilka bergarter består materialet i huvudsak av?
3. Vilka metoder tror ni skulle vara rimliga att använda för att utveckla och modifiera krossmaterial?
 - a. Blanda olika sorteringar, t.ex. 0/2, 2/4 och 4/8, för att få till ett material som ligger inom ett visst kornstorleksintervall? (Ja/Nej)
 - i. Om – ja,
 - b. Tvätta materialet (dvs avlägsna material med en kornstorlek under 0,063 mm). (Ja/Nej)
 - c. Annat, nämligen?
4. Om ni har angivit fler än en metod som rimlig på fråga 3, rangordna gärna dessa beroende på kostnad, från billigaste metod till dyraste.
5. Ser ni några utmaningar med att utveckla och modifiera krossmaterial för att det ska stämma bättre överens med bifogade kornstorleksgränser, eller liknande? (Ja/Nej)
6. Om ja på fråga 5, vilka utmaningar rör det sig om i så fall?
7. För att kunna använda bergkrossmaterial som filtermaterial till avloppsvattenrening är det viktigt med kvalitetssäkring av materialen. Med kvalitetssäkring menar vi här att det är viktigt att kunna få tillräckligt med information om varje bergkrossmaterial för att kunna jämföra hur pass lämpliga olika bergkrossmaterial är för användning som filtermaterial till avloppsvattenrening. Det är också viktigt att informationen om bergkrossmaterialen är representativ och tillförlitlig. Hur tycker ni man kan säkerställa sådan kvalitetssäkring av bergkrossmaterial?:
 - a. Kontrollera att materialet ligger inom vissa kornstorleksgränser? (Ja/Nej)
 - i. Ta ut prov enligt SS-EN 932-1?
 - ii. Analysera kornstorlekskurva enligt SS-EN 933-1 (eller motsvarande metod, ange i så fall vilken).
 - b. Även mäta vattengenomsläpplighet hos materialet?
 - i. Ta ut prov enligt SS-EN 932-1?
 - ii. Utföra vattengenomsläpplighetstester med små rör (ca 5 cm diameter, 15 cm längd)?
 - iii. Vilken omfattning av tester är i så fall rimlig:
 1. Om två tester per 500 ton material
 2. Mindre omfattning, ange gärna vilken
 - c. Deklarera materialet (med resultat mätningar på kornstorleksfördelning/vattengenomsläpplighet som ni anser möjliga att genomföra)?

8. Ser ni svårigheter med att kvalitetssäkra material enligt punkt 5, och i så fall vilka?
9. Har ni några andra reflektioner kring kvalitetssäkring av material enligt punkt 5?
10. Ser ni några andra användningsområden/produkter än filtermaterial till markbäddar där utveckling/modifiering/kvalitetssäkring av bergkrossmaterial enligt ovan kan vara aktuellt?

Bilaga 3 Enkät anläggningsentreprenörer

1. Vad använder ni för filtermaterial till markbäddar idag?
 - a. Bergkross
 - b. Naturgrus
 - c. Annat material, nämligen:

2. Om enbart bergkross används: Varför används bergkross och inte naturgrus?
 - a. Svårt att få tag på naturgrus
 - b. Naturgrus är för dyrt
 - c. Bergkross stämmer bättre överens med tillverkarens anvisningar
 - d. Annat skäl, nämligen:

3. Om enbart naturgrus används: Har ni funderat på att använda andra filtermaterial? (Ja/Nej)

4. Om ja på fråga 3, varför har ni funderat på andra filtermaterial?
 - a. Det är svårt att få tag på naturgrus
 - b. Naturgrus är för dyrt
 - c. Annat skäl, nämligen:

5. Om ni använder fler än ett filtermaterial: Vilket är lättast att få tag på?

6. Om ni använder fler än ett filtermaterial: Vilket har lägst pris?

7. Angående lagring efter att filtermaterialet har levererats till er:
 - a. Lagras det på platsen där anläggningen ska byggas, och i så fall hur länge?
 - b. Lagras materialet någon annanstans innan det transporteras till anläggningsplatsen, och i så fall hur länge?

8. Angående själva byggandet:
 - a. Hur går det till när ni placerar ut filtermaterialet (placeras det ut i lager, eller allt på en gång, sker vattning/packning på något sätt)?
 - b. Följer ni några särskilda riktlinjer för utplacering av materialet, och i så fall vilka?
 - c. Vilka typer av maskiner/redskap används till byggandet?

9. För de filtermaterial som ni använder idag, finns det deklARATION/uppgifter om:
 - d. Kornstorlekskurva
 - e. Mått på vattengenomsläpplighet (LTAR eller liknande)
 - f. Uppgift på om filtermaterialet är tvättat eller ej (om finmaterial mindre 0,063 mm har avlägsnats)?

10. Hur kontrollerar ni att det material ni väljer uppfyller rekommendationer för filtermaterial?
 - g. Kontrollerar om kornkurvan ligger inom vissa gränser? (Ja/Nej)
 - i. Om ja, vilka gränser jämför ni mot?
 - ii. Om nej, vad beror det på?
 - h. Kontrollerar vattengenomsläpplighet hos filtermaterialet (Ja/Nej)
 - i. Okulär bedömning (Ja/Nej)
 - j. Annat, nämligen:

5. Om ni svarat nej på fråga a och/eller b, finns det något som skulle underlätta för er att kontrollera dessa?

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,200 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 200 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB
Box 7033, 750 07 UPPSALA
Telefon: 010-516 50 00
E-post: info@ri.se, Internet: www.ri.se

Jordbruk och livsmedel
RISE Rapport 2019:92
ISBN: 978-91-89049-22-
2