

Borringsteknikens påverkan vid provtagning inför dimensionering av formationsfilter

Lina Nordlander

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,
kandidatarbete, nr 437
(15 hp/ECTS credits)



Geologiska institutionen
Lunds universitet
2015

Borrningsteknikens påverkan vid provtagning inför dimensionering av formationsfilter

Kandidatarbete
Lina Nordlander

Geologiska institutionen
Lunds universitet
2015

Innehåll

1 Inledning	7
1.1 Problembeskrivning	7
1.2 Syfte och frågeställningar	7
1.3 Hypotes	8
1.4 Bakgrund	8
1.5 Dimensionering av formationsfilterbrunnar	10
2 Metodik	11
2.1 Fältarbete	11
2.2 Siktanalys	11
2.3 Dimensionering	12
3 Resultat	12
3.1 Provtagning	12
3.2 Siktanalys	12
3.3 Dimensionering	12
4 Diskussion	12
4.1 Provtagning	13
4.2 Siktanalys	15
4.3 Dimensionering	15
4.4 Felkällor	16
5 Slutsatser	17
6 Tack till	17
7 Referenser	17

Borrningsteknikens påverkan vid provtagning inför dimensionering av formationsfilter

LINA NORDLANDER

Nordlander, L., 2015: Borrningens påverkan på brunnars möjligheter till vattenuttag- Dimensionering av formationsfilter. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 437, 17 sid. 15 hp.

Sammanfattning: Rapporten undersöker betydelsen för val av borrar metod när en formationsfilterbrunn ska dimensioneras. Dimensionering av filtrets slitsvidd görs med utgångspunkt från kornstorleksanalyser genom provtagning av borkkax. Ett formationsfilter byggs upp genom att tvätta bort en stor del av det finkorniga materialet i ett sediment och låta de grövre partiklarna fungera som ett naturligt grusfilter runt filterröret. Siktanalysen ska visa kornstorleksfördelningen i akvifären och därför bör borkkaxet ge en så bra bild av de verkliga förhållandena som möjligt för att kunna göra en optimal dimensionering av formationsfiltret. Borrning genom jordlager sker vanligen med en tryckluftsdreven hammarborr som samtidigt driver ned ett foderrör i hålet. Borkkaxet som bildas i samband med hammarborrning innehåller delvis krossade korn eftersom hammarens borkkrona slår sig ner genom jordlagren och delvis krossar materialet framför sig. Det innebär att dimensioneringen av formationsfiltrets slitsöppningar när hammarborrning har använts vid provtagning delvis görs med krossade kornstorlekar. För att få en uppfattning om hur mycket det påverkar valet av slitsvidd har prover från hammarborrning jämförts med prover från 2” rördrivning. 2” rördrivning är en bra provtagningsmetod som inte påverkar genomborrade sediment på samma sätt som hammarborrning. Prover har tagits från borkkax av dessa två borrar metoder. Dessa har siktanalyserats och kornstorlekskurvor har upprättats, som sedan har bildat grundval för dimensionering av slitsvidder för ett formationsfilter. Undersökningen påvisar skillnader mellan de två borrar metoderna. Hammarborrningens prover ger inte bara delvis krossade korn, utan det är också betydligt svårare att nivåbestämma kaxet vid provtagningen. Provtagning genom hammarborrning ger därför inte en verklig bild av kornstorleksfördelningen i akvifären. Rördrivningens borkkax ger dock inte heller en total bild, sedimentproverna visar en underrepresentation av grövre partiklar då rörspetsens perforerade hål endast släpper igenom korn <8 mm. Vilken av dessa borrar metoder som ger den bästa möjligheten till dimensionering av formationsfilter bör vidare undersökas med till exempel provpumpningar och magasinsanalyser.

Nyckelord: hydrogeologi, formationsfilter, hammarborrning, rördrivning, kornstorleksanalys

Handledare: Johan Barth (Geotec- Svenska Borrentreprenörers Branschorganisation), Per Möller (Lunds Universitet)

Ämnesinriktning: Hydrogeologi

Lina Nordlander, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige. E-post: nordlander_lina@hotmail.com

Drilling methods impact on the samples before sizing for formation filter well screens

LINA NORDLANDER (Style "Abstract name" TNR10)

Nordlander, L., 2015: The drilling effects on a wells opportunities for water supply- Dimensions for well screen design. *Dissertations in Geology at Lund University*, No 437, 17 pp. 15 hp (15 ECTS credits) .

Abstract: This report examines the significance for the choice of drilling methods when dimensioning a formation well screen. Dimensioning the slot openings of the well screen is done by studying sediment samples by sieve analysis. The sieve analysis shows the abundance of the particle size distribution in the aquifer, and the particles sampled should therefore give an adequate description of the real conditions in the aquifer to optimize the well screen. Drilling in unconsolidated sediment layers is often done by using a compressed air driven hammer drill that simultaneously drive down a casing down the drill hole. The drilling cuttings that surface from the hammer drill contain partly crushed particles, as the hammer hammers down through the sediment layers, and the drilling bit crushes parts of the material. The dimensioning of the well screen openings based on hammer drilling samples is therefore also based on partly crushed grains sizes. To understand how much this affects the choice of the well sloth openings, the drilling cuttings from a compressed hammer drill have been compared with the drilling samples of a pipe hammer driven sampling method. Pipe hammer sampling methods is considered to be good as this method does not affect the pierced sediment. Samples have been collected from these two drilling methods, they have been sieved analyzed and filter well screens have been dimensioned. A formation well screen is built up by washing away the fine-grained material in sediment and allowing the coarser particles to act as a natural gravel filter around the filter tube. This report shows differences in the drill sediment between these two drilling methods. Hammer drilling did not only have partly crushed grains but the torque of sampling the sediment made it also hard to determine the exact sampling depth. The samples taken from hammer drilling methods do not give a true description of the grain size distribution in the aquifer. The pipe hammer sediment samples did show an underrepresentation of large grains as the head of the pipe only allows grains <8 mm to be sampled. Which one of these two drilling methods that make the best grain size dimensions for optimizing well screens requires continued investigation, using complementary test pumping and storability analysis of the aquifer.

Keywords: hydrogeology, well screens, hammer drilling, pipe drilling, grain size analysis

Supervisor(s): Johan Barth (Geotec- Svenska Borrentreprenörers Branschorganisation), Per Möller (Lund University)

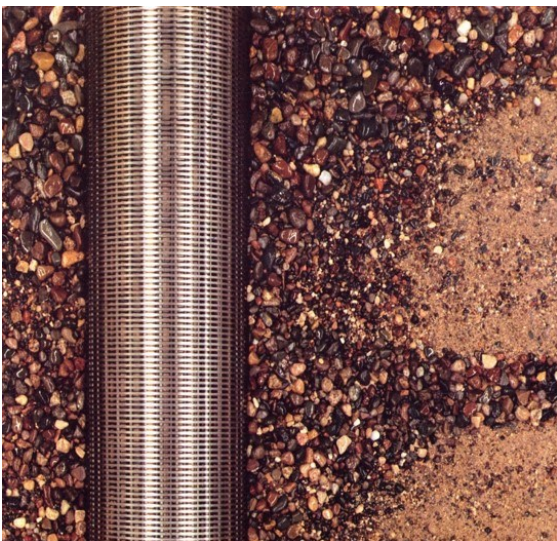
Subject: Hydrogeology

Lina Nordlander, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden. E-mail: nordlander_lina@hotmail.com

1 Inledning

Årligen borrar det 10 000-tals vattenbrunnar i Sverige och enligt Sveriges Geologiska Undersökning (SGU 2008) finns det ca 800 000 privata borrhålor runt om i landet. Hälften av dessa brunnar är gjorda för permanent boende, resten för fritidshus (SGU 2008). Brunnar som är avsedda för vattenuttag utförs i geologiska formationer som har förmågan att både lagra vatten och avge vatten i så stora mängder att det är ekonomiskt försvarbart att pumpa upp det. En sådan geologisk formation brukar benämnas akvifär. En okonsoliderad akvifär består av lösa jordlager och är vanligtvis uppbyggd av sandiga eller grusiga sediment, vanligen isälvsvlagringar för svenska förhållanden. Porutrymmet i dessa är så pass stort att vattnet enkelt kan rinna igenom sedimentet.

Borrning genom jordlager sker traditionellt med foderrör för att förhindra att väggarna i borrhålet ska rasa in. Det krävs därför också att ett filter sedan installeras i brunnen på lämplig nivå till det vattenförande lagret, detta för att stoppa inflöde av sand och grus samtidigt som vatten kan avges genom filterrörets öppningar. Ett så kallat formationsfilter eller ”förlorat filter” används då akvifärens kornstorlekssammansättning består av grövre partiklar som vanligen finns i isälvsvlagringar (Fig. 1). Vid utförande av en formationsfilterbrunn tvättas ca 60% av formationens partiklar bort, främst de finkorniga partiklarna. De grövre kvarliggande partiklarna fungerar då som ett naturligt filter vilket tillåter vatten att enkelt rinna igenom, men stoppar fina partiklar från att ta sig in i brunnen. Formationsfiltret utgörs oftast av ett slitsat rostfritt rör som förs ned genom foderröret och friläggs mot akvifären. För att optimera vattenuttaget ur formationsfilterbrunnar krävs det att formationsfiltrets öppningar, den så kallade slitsvidden, är dimensionerad att passa för den rådande geologin, främst kornstorlekssammansättningen, i akvifären (SGU 2008).



Figur 1. Principskiss av ett formationsfilter intill filterrör.
Bildkälla: www.geotec.se

Dimensionering av filter görs med utgångspunkt från kornstorlekskurvor på borrhagens borrhålor. Borrkax är det material som förs upp ur borrhålet med hjälp av en spolvätska som vanligen består av vatten eller tryckluft. Beroende på vilken borrhålmetsod som används kommer kaxet att se olika ut. Eftersom dimensioneringen av slitsvidden görs med utgångspunkt från borrhålet vill man att detta återspeglar akvifärens kornstorlekar i så stor grad som möjligt. Men olika borrhålmetsoder ger varierande kaxproduktion och bearbetningsgrad på kaxet, vilket i sin tur ger olika god kännedom om akvifärens geologiska parametrar, som hydraulisk konduktivitet och transmissivitet.

1.1 Problembeskrivning

I denna rapport har jag undersökt skillnaderna på borrhålor mellan 2” rödrivning och tryckluftsdreven hammarborrning. Skillnaderna har utretts genom att upprätta kornstorlekskurvor på borrhålor från de två borrhålmetsoderna från två närliggande borrhålor med samma lagerföljd, som sedan jämförs mot varandra. Jag har sedan dimensionerat två formationsfilter utifrån de tagna proven.

Rödrivning är en välbeprövad borrhålmetsod för provtagning. Ett 2” rör drivs med slag eller tryck ned i sedimenten och de sediment som kommer in i rörets nedre perforerade del blåses eller spolats upp och prover tas. Kornens form och kornstorlek behålls vid rödrivning och bör därför ge en bra bild av formationens geologi.

Hammarborrning är idag den vanligaste borrhålmetsoden för brunnsborrning. Hammarborren borrar genom jorden med slag, och i botten av borrhålet finns en borrhålskrona som bearbetar den geologiska formationen. Detta tillåter att större partiklar delvis krossas, vilket ger mindre fraktioner i borrhålet än vad som motsvarar den ursprungliga kornstorleken. Det leder till att dimensioneringen av slitsvidd sker på partiklar som delvis krossats. Slitsvidden kan därför vara dåligt dimensionerad för akvifärens verkliga kornstorlekar, vilket i sin tur kan leda till att brunnen får en sämre vattenavgivningsförmåga än vid dimensionering mot verklig kornstorlek.

1.2 Syfte och frågeställningar

Syftet med föreliggande arbete är att ta fram ett underlag som beskriver skillnader mellan tryckluftsdreven hammarborrning och 2” rödrivning som provtagningsmetsoder vid dimensionering av formationsfilterbrunnar. Eventuella skillnader som uppkommer kan då styrka vikten av att välja rätt borrhålmetsod för dimensionering av formationsfilterbrunnar. Frågeställningar som jag ska försöka besvara är:

- Ger 2” rödrivning och hammarborrning samstämmiga sedimentprover?
- Påverkar val av borrhålmetsod dimensioneringen för formationsfilterbrunnar?

1.3 Hypotes

Det filter som dimensioneras med utgångspunkt från prover från en tryckluftsdreven hammarborrning kan bli felaktig då dimensioneringen görs på kornstorlekar som skiljer sig från formationens ursprungliga då sedimentpartiklar har slagits sönder vid borrningen. Bedömningen kan således bli att akvifärens sediment är finkornigare än den är i verkligheten, vilket kan leda till en brunn med sämre vattenavgivningsförmåga på grund av felaktig dimensionering av filtret.

1.4 Bakgrund

1.4.1 Undersökningsområde

Undersökningen är utförd i Blentarps grustag öster om Lund i Skåne (Fig.2). Grustaget är placerat i ett isälvs-sediment områdets senaste deglaciation. Sedimentet är sorterat och domineras av grövre partiklar, sand och grus. Isälvs-partiklar har transporterats med isens smältvatten och har under transporten slipats, vilket gör att de är något rundade. Isälvs-sediment byggs upp av lager som kan skifta i både mäktighet och kornstorlek, vilket ger information om att vattnets strömningshastigheter har både skiftat och ändrat riktning i omgångar under sedimentationen (Lindström et al. 2000).

1.4.2 Provtagning

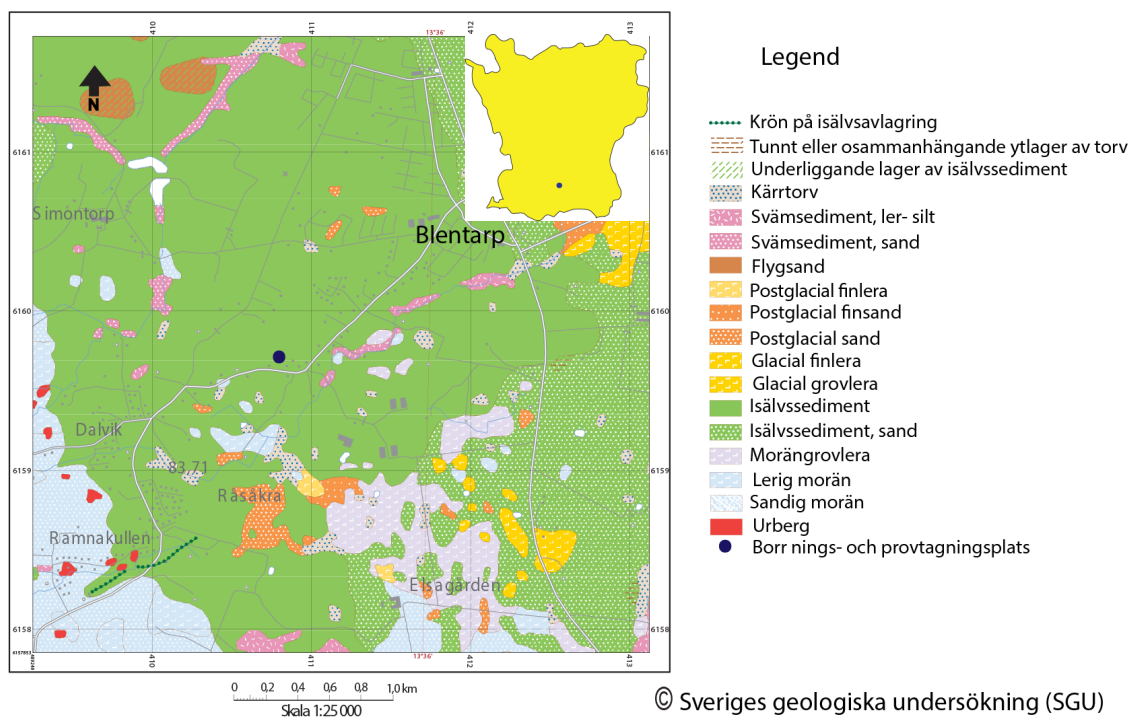
Sedimentprover har tagits för att kunna dimensionera formationsfiltret utifrån det vattenavgivande lagrets kornstorlekar och sekundärt för att tolka den geolo-

giska lagerföljden. Provtagningsättet kallas för att ta störda prover, vilket innebär att det är endast kaxets kornstorleksammansättning som ligger till grund för tolkningen av akvifärens geologi. Information om lagringstrukturer, packningsgrad och homogenitet går inte att undersöka i ett stort prov. Provernas representativitet varierar också mellan olika borrningsmetoder, men påverkas även av de metoder som provtagningen utförts med och borrararnas yrkesskicklighet (Andersson 1981).

1.4.3 2" rördrivning

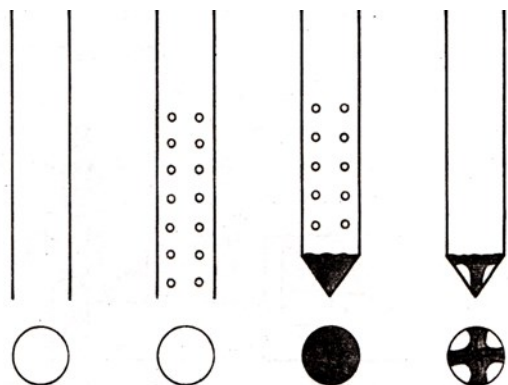
Vid rördrivning slås ett 2" stålror ner i marken med hjälp av en topphammare (Fig. 4). Denna metod kräver att sedimenten är löst lagrade så att röret kan tränga bort det material som är i dess väg. 2" rördrivning används ofta som metod vid anläggning av observationsrör för grundvattenytans läge och förändring och i undersökningssyfte för att bestämma lagerföljder. Det är en bra provtagningsmetod för vattenbrunnar då sedimentproverna ger en god bild av lagerföljden och provtagna sediment då de behåller form och kornstorlek (Andersson 1981). Vid 2" rördrivning kan man använda bland annat öppna rörändar, rörändar med slutna spetsar och krysspetsar med perforerade rör av olika hålstorlekar (Fig. 3). På så vis kan man välja den bäst lämpade typen av rörända för varje enskild borrning.

Ett öppet rör ger en mycket god kännedom om lagerföljden då denna i princip blir intakt. Rörändan kan emellertid blockeras av större stenar, varför slutna



Figur 2. Jordartskarta över provtagningsområdet, Blentarp, Skåne. Genererad av SGU's kartgenerator. http://apps.sgu.se/kartgenerator/maporder_sv.html (2015).

spetsar eller krysspetsar med perforerade rör ofta används. Två hålstorlekar dominerar, 8 respektive 10 mm (Barth 2015), men generellt ger större hål ett mer representativt prov. Det är dock så att med slutna spetsar och krysspetsar blir större fraktioner alltid underrepresenterade i provet och det sediment som tränger in i röret genom hålen blir mer sammanblandade än vid användning av öppen rörända (Andersson 1981). Rör-



Figur 3. Principskiss av olika rörändor. Från vänster: Öppet rör, öppet perforerat rör, slutna rörspets med perforerat rör, krysspets (Andersson 1981).



Figur 4. Rördrivning med 2'' rör i Blentarps grustag, 30/3 2015.

drivning under grundvattennivån gör att provet blandas upp med vatten under utblåset. Finare partiklar bör därför låtas sedimentera i en hink innan vattnet dekanteras så att de får rätt representation i det tagna provet. Porvattentrycket påverkar hur mycket sediment som spolas in i röret och som sedan kan blåsas upp (Andersson 1981).

1.4.4 Hammarborrning

Vid tryckluftsdreven hammarborrning arbetas en stiftförsedd borrkrona ner genom jordlagren och krossar materialet som ligger an mot kronan. Kronan roterar samtidigt nere i hålet, vilket gör att vid varje nytt slag träffar stiftet en ny yta. Det finns två olika typer av hammarborrning, topphammare (Fig. 5) respektive sänkhammare. Skillnaden är att slagmomentet sitter antingen i borrhuvudet ovan markytan eller nere i borrhålet. Tryckluft spolar rent framför kronan och transporterar kontinuerligt upp kaxet ur hålet. I vattenförande lager kan kaxtransporten försämrats något och "blandas" med kornfraktioner från ovanliggande lager (Andersson 1981).

ODEX-metoden (Overburden Drilling Excentric) är en metod för att samtidigt med borrningen driva ner ett foderrör under hammarborrningen. Hammarens



Figur 5. Hammarborrning med foderrör i Blentarps grustag, 31/3 2015.

pilotkrona sitter då excentriskt placerat, vilket öppnar upp hålet, och foderröret får därmed plats för succesiv samtidig neddrivning (Andersson 1981). Foderrören är av stål, mellan 3-6 meter långa, och måste hålla hög kvalitet. Rören svetsas fast i varandra i ändarna, vilket medför att svetsfogarna mellan varje foderrör måste vara noggrant sammanfogade (SGU 2008).

ODEX- metoden används vanligen vid brunnsborrning i jordlager och används också som provtagningsmetod. Risken för sammanblandning från ovanliggande jordlager är mindre då foderröret som drivs ner i hålet förhindrar hålväggserosion. Lufttrycket gör att partiklarna transporteras med hög hastighet upp till markytan och kaxet som kommer upp anses representera det aktuella borrhjupet med en mycket liten fördörjningseffekt. Vid borrning i vattenförande lager försämras dock kaxtransporten (Andersson 1981).

Prover tas vanligen direkt från utblåset, men det är också vanligt att ta prov från den kaxhög som bildas. I vattenförande lager med lösa och finkorniga sediment kommer kaxet upp stötvis, vilket gör att det kan bli något svåra att mer exakt nivåbestämma provtagningsdjupet (Andersson 1981).

1.4.5 Borrsjunkning

Borrsjunkningshastigheten kan mätas om energitillförseln under rördrivningen är konstant. Borrsjunkningshastigheten förändras när motståndet förändras i borrhålet. Ett mer motståndsgivande material, t.ex. ett mer grovkornigt eller hårdpackat sediment, gör att borrsjunkningen kräver mer energi och därmed ger en lägre borrsjunkningshastighet. Det medför att man kan tolka parametrar i sediment som porositet, packningsgrad och ökad vattenhalt i borrhålet. Motståndet minskar när grundvattenytan är nådd och borringen sker i fuktigt/ vått material eftersom friktionen minskar. Borrsjunkningshastigheten ökar därmed vid mer vattenförande lager. Inom brunnsborringen brukar dock endast noteras om materialet är hårt, fast eller löst (Andersson 1981).

1.4.6 Vattengenomsläpplighet

Formationens vattengenomsläpplighet ökar informationen om akvifärens parametrar som packningsgrad och porositet, vilket sedimentproverna inte kan ge information om (Andersson 1981). Man kan också få en uppfattning om formationens förmåga att snabbt bygga upp ett naturligt grusfilter (Barth 2015).

1.5 Dimensionering av formationsfilterbrunnar

Ett formationsfilter dimensioneras genom att bestämma storleken på filterörets slitsöppningar där kornstorlekssammansättningen bestämmer storleken (Andersson u.å).

Terminologin för jordartsklassifikation och gränser mellan olika kornfraktioner framgår av Tabell 1. Dimensionering av filterbrunnar utförs med hjälp av den

Tabell 1. Kornstorleksintervall för klassifikation av olika jordartsklasser.

Grupp	Mellangrupp	Storlek (mm)
Lera		<0,002
Silt	Fin-	0,002-0,006
	Mellan-	0,006-0,02
	Grov-	0,02-0,06
Sand	Fin-	0,06-0,2
	Mellan-	0,2-0,6
	Grov-	0,6-2
Grus	Fin-	2-6
	Mellan-	6-20
	Grov-	20-60
Sten	Mellan-	60-200
	Grov-	200-600
Block		600-2000

sorteringsgrad som sedimentet uppvisar, dvs. hur väl sorterat materialet är, vilket i sin tur beror på sedimentets kornstorleksfördelning. Sorteringsgraden (U_c) beräknas genom d_{60}/d_{10} , dvs. kvoten vid 60 respektive 10 viktprocent av siktat material. Sediment med en sorteringsgrad upp till fyra klassas som väl sorterade sediment, medan de med en sorteringsgrad över sex klassas som dåligt sorterade (Fetter 2014).

En jordart som klassas som väl sorterad dominerar oftast endast av två korngrupper (Adriellsson 2011). Vid dimensionering av formationsfilterbrunnar är det generellt bra om sedimentet är relativt grovkornigt och inte för väl sorterat. Det gör att man enkelt kan tvätta bort delar av det finkorniga materialet vid en så kallad renspolning som tar bort det mest finkorniga materialet och därmed lämnar kvar ett naturligt grusfilter av grovkornigt material intill filterröret (von Brömssen et al. 1984).

Sämre sorterade sediment har ett mer graderat material och det ger ett högre U_c värde, vilket gör att möjligheten att tvätta bort en större andel av det totala materialet tillåts. För att installera en formationsfilterbrunn ska U_c värdet vara $\geq 2,5$ (Andersson u.å)

En slitsvidd för filterröret bör väljas som tillåter ca 60% borttvättning av den ursprungliga kornfördelningen. Därmed lämnas 40% av den ursprungliga grövre kornfraktionen kvar. Enligt von Brömssen et al. (1984) är kriterierna för val av slitsöppningar med ett U_c mellan 2,5 och ≤ 6 att använda en slitsöppning motsvarande kornstorleken på 60% av sedimentet. Är $U_c \geq 6$ kan en slitsöppning väljas motsvarande kornstorleken vid 70% av sedimentet. Om materialet innehåller en stor andel grova partiklar är det ibland möjligt att tvätta bort ända upp till 75% av det ursprungliga sedimentet (Andersson u.å).

Slitsvidden bestäms för att passa akvifärens material och ska inte vara så stor att grövre sandpartiklar kan tränga in genom slitsarna. Förutom att man då får ett önskat resultat med partiklar i vattnet, kan partiklarna kraftigt sänka brunnens kapacitet på grund av att den öppna arean mot formationen som slitsöppningarna utgör sätts igen och förhindrar vatteninträngning (Von Brömssen et al. 1984). Slitsvidden ska heller inte vara för liten; då kan finkorniga partiklar som inte helt blivit borttvättade sätta igen filtret. Det är även möjligt att en för liten slitsvidd gör att brunnen inte kommer kunna producera den vattenmängd som formationen förväntas klara av (Andersson u.å).

Det bra att få god kunskap om den planerade brunnens kapacitet till vattenuttag. Beräkningar görs därför på akvifärens hydrogeologiska parametrar med anledningen att kunna välja den bäst passande brunnstypen (Andersson u.å).

En akvifär definieras av att ha en så god hydraulisk konduktivitet (K) och transmissivitet (T) att den kan avge tillräckliga mängder vatten för att vara ekonomiskt användbar. Den hydrauliska konduktiviteten beskriver hur bra ett sediment är på att leda vatten och anges vanligen som en hastighet (m/s), definierat som vattnets hastighet (v) över en tvärsädd yta när den hydrauliska gradienten ($i = dh/dl$) är lika med 1 ($v = K \times i$). K beror främst på materialets kornstorlek, form och packningsgrad, vilket skapar sedimentets porositet (n). Porositeten är det utrymme i ett sediment som utgör hålrum och som därmed kan fyllas med och transportera vatten (Fetter 2014). K beror även på vätskans viskositet och densitet, men denna parameter är mindre viktig. Man talar därför ofta istället om ett sediments permeabilitet. Permeabiliteten är den hydrauliska konduktiviteten, exklusive vätskans parametrar (Fetter 2014).

K kan överslagsmässigt beräknas med Hazen's formel:

$$K = C \times (d_{10})^2 \quad (1:1)$$

Där kornstorlekskurvornas d_{10} och en konstant (C = 0,01157) ger en uppskattning av den hydrauliska konduktiviteten för materialet (m/s). Fetter (2014) förklarar att formeln fungerar på sandiga sediment där den effektiva kornstorleken (d_{10}) är mellan 0,1 – 3 mm. Konstanten är anpassad för dessa kornstorlekar. Men formeln ger endast en uppskattning av den hydrauliska konduktiviteten i akvifären eftersom den endast baserar uträkningen på en kornstorleksparameter (d_{10}) av hela kornstorleksfördelningen. Dessutom bortser den också från den naturliga packningen av sedimenten som i hög grad styr sedimentets porositet.

Transmissivitet (T) är ett mått på hur snabbt ett akvifärlager transporterar vatten i horisontalld över hela akvifärens mäktighet då den hydrauliska gradienten är 1. Den hydrauliska gradienten (dh/dl) beror på skillnaden i hydraulisk höjd mellan två trycktytor (dh) och avståndet mellan dessa två mätpunkter (dl). Transmissiviteten är funktionen av den hydrauliska konduktiviteten (K) och akvifärens mäktighet (b). Mäktighet-

en utgörs av de vattenbärande lagren i akvifären, dvs. från grundvattenytan (gvy) ner till borrhålets botten (Fetter 2014). Transmissiviteten beräknas med formeln:

$$T = K \times b \quad (m^2/s) \quad (1:2)$$

Längden på filtterröret avgörs genom att bedöma avsänkningstrattens djup, så att filtterröret inte torrläggts vid pumpning (von Brömssen 1984).

2 Metodik

Förutom litteraturstudier bygger detta arbete på sedimentprovtagning och efterföljande siktanalys av tagna prover.

Borring och provtagning skedde i Blentarps grustag, Skåne (Fig. 1) den 30-31/3 2015. Provtagningspunkterna är belägna med ca 1,5 meters avstånd från varandra för att i största möjliga mån representera samma lagerföljd och därmed ge möjligheten att jämföra proverna. Siktanalys av tagna prover gjordes i sedimentlaboratoriet på Geologiska institutionen i Lund. Med utgångspunkt från dessa har kornstorlekskurvor och beräkningar framställts och dimensioneringar gjorts.

2.1 Fältarbete

Under fältarbetet utfördes borring med 2" rördrivning och tryckluftdriven hammarborring. Provtagning av uppspolat borrhax har utförts enligt Anderssons (1981) rekommendationer för respektive borrhaxmetod.

Under rördrivningen användes en sluten rörspets och röret hade en perforeringslängd på 1 meter med håldiameter på Ø8 mm. Det uppfordrade sedimentet fångades upp i en hink för varje neddriven meter och lades i högar på marken där de mindre partiklarna fick sedimentera innan provet förpackades i påse. Varje meter tolkades geologiskt på plats och prover från 5-17 meters djup togs för kornstorleksanalys.

Under rördrivningen mättes också borrsjunkningshastigheten i sekunder per neddriven meter (m/s). Vattengenomsläppligheten mättes i sekunder per uppfylld hink som hade en volym på 12 liter (l/s).

Hammarborringen utfördes med ODEX-utrustning från Atlas Copco. Foderröret hade en diameter på Ø139,7 mm. För varje meter togs kaxprov från utblåset med en hink. Provet lades i en hög på marken där mindre partiklar fick sedimentera innan provet förpackades i påse. För varje meter gjordes en geologisk tolkning på plats och prover från 5-17 meters djup togs med för att kornstorleksanalyseras i sedimentlab.

2.2 Siktanalys

Sedimentproverna från borringarna har kornstorleksanalyserats med skaksiktning. Siktningemetoden följer anvisningar från Stål (1972). Proverna från bägge borrhålen har hanterats på samma sätt.

2.2.1 Förbehandling

Sedimentproverna lades i plåtskålar och ställdes in i ugn med 105° C i ca 12 timmar för att torka. Efter torkning togs proverna ut och vägdes upp till proportionerlig mängd, ca 300 g/prov. Detta gjordes med en sked då jag ansåg proverna hade relativt jämt blandad materialmassa som inte krävde materialdelning. Vid materialdelning av prov med mycket varierande storlekar kan provet delas upp i en delningsapparat eller genom koning och kvadrering. Det ger delprover som har i princip samma kornfördelning (Stål 1972).

Uppvägda prover behandlades därefter med dispergeringsmedel. Genom detta upplöses aggregat av fin-korniga sediment från varandra för att sedan kunna avskiljas genom tvättsiktning (Stål 1972). Dispergeringsmedel (0,05 M natriumpyrofosfat (Na₄P₂O₇)) tillsattes tills provet täcktes helt. Proverna rördes därefter upp med en sked för att lösa upp alla sammansatta aggregat under 15 minuter. Proven tvättades i en tvättsikt med 0,063 mm i maskvidd under en handvat-tendusck tills allt fint material var borttvättat och vattnet som rann igenom sikten såg klart ut. Proverna hölls sedan försiktigt tillbaka i plåtskålarna och överflödigt vatten dekanterades efter sedimentering på ca 1 minut. Sedan ställdes de tillbaka i torkskåpet och torkades i 105° C över natten i ca 12 timmar.

2.2.2 Siktning

Proverna togs ut ur ugnen och kvarvarande prov vägdes återigen. Varje prov hölls ner i en siktserie med 18 olika maskvidder mellan 22,4, 16,0, 11,2, 8,0, 5,6, 4,0, 2,8, 2,0, 1,4, 1,0, 0,710, 0,500, 0,355, 0,250, 0,180, 0,125, 0,090 till 0,063 mm som minst. Siktserien ställdes in i en siktmaskin som skakade proverna under 15 minuter.

Efter siktning vägdes varje sedimentmängd som stannat kvar på varje sikt var för sig. Siktarna borstades noggrant av för att få med allt sediment. Det material som hamnade i siktboten adderades med vikten av det borttvättade materialet. Sedan kontrollvägdes allt genom att jämföra provets totalvikt med en summering av alla delvikter.

Kornstorlekskurvor för varje siktat prov upprättades i ett Excelprogram för kornstorlekskurvekonstruktioner.

2.3 Dimensionering

Dimensionering av slitsvidden gjordes med utgångspunkt från konstruerade kornstorlekskurvor för 15-16 och 16-17 meters djup. Bägge filterelementen har dimensionerats i samma diameter (Ø139,7mm). Slitsvidder valdes ut från Debe Vattensystem (2001).

2.3.1 Beräkningar

Beräkning av hydraulisk konduktivitet (K) och transmissivitet (T) gjordes med ett genomsnitt ur varje borrhål med Hazen's formel.

$$K_{medel} = K_{(5-17)} / 13 \quad (2:1)$$

T_{medel} beräknades med beräknat K_{medel} för varje borrhål genom multiplicering med akvifärsmäktigheten (b):

$$T_{medel} = K_{medel} \times b \quad (2:2)$$

3 Resultat

3.1 Provtagning

Den geologiska lagerföljden i respektive borrhål framgår av Fig. 5. Angiven kornstorlek för varje intervall bygger på okulär fältbedömning från 0-5 meter, medan 5-17 meter bygger på angiven fraktion från genomförd siktanalys. Borrjunkningshastigheten mättes med tidtagarur. Resultatet av denna, samt bedömd vattengenomsläpplighet, redovisas i Fig. 6 till höger om redovisad kornstorlek (endast från rördrivning). Uppmätt grundvattenyta bestämdes med ljuslod till 2.37 meter under markytan i borrhålet från rördrivningen ca 30 minuter efter avslutad borring.

3.2 Siktanalys

Kornstorleksfördelningen i proven 5-17 meter visas i Fig. 7a för rördrivningen och i Fig. 7b för hammarborringen. I histogrammen (Fig. 8a) och (Fig. 8b) är kornstorleksfördelningen upprättad i % från 15-16 och 16-17 meters djup från rördrivning och hammarborring. De ger en bild av provens skevhet och sorteringsgraden av proven från 15-17 meter, där dimensionering av formationsfilter har gjorts.

3.3 Dimensionering

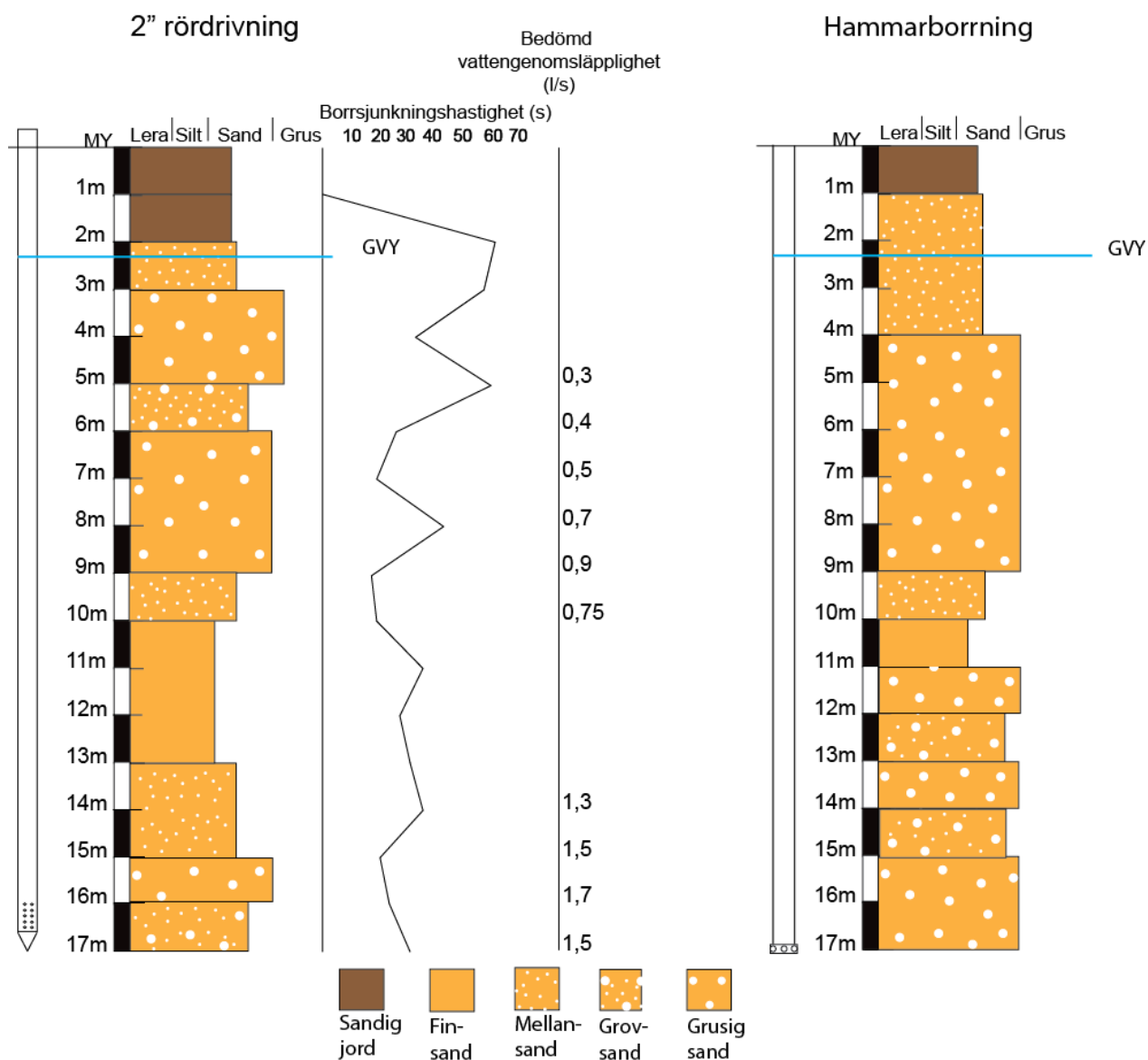
Vid dimensionering av slitsöppningarna har jag utgått från beräkningar av sorteringsgrad och kornstorleksfördelning från 60% av siktanalysvärdena (d_{60}). Detta valdes då von Brömssen et al. (1984) beskriver att 60% ska tvättas bort när sediment har ett U_c värde mellan 2,5 och 6.

Dimensioneringarna för slitsviddarna är utförda med ett beräknat medelvärde av sorteringsgraden (U_c) från siktanalysen på 15-16 och 16-17 meters djup där akvifärens vattenavgivningsförmåga var som störst. Filterelementen är valda från DeBe vattensystem (2001) enligt Tabell 2. Där visas standarder och gränsvärden för filterörets utformning. Histogrammen i Fig. 6a och 6b visar en skevhet mot grövre material i sedimentet. Av Tabell 3 framgår uttagna dimensioneringsvärden samt vald slitsvidd för respektive borrhål.

Den hydrauliska konduktiviteten (K_{medel}) beräknad med Hazen's formel från kornstorlekskurvorna 5-17 meter i borrhålen redovisas i Tabell 4. Transmissiviteten (T_{medel}) beräknades med beräknat K_{medel} för respektive borrhål (Tabell 4).

4 Diskussion

I diskussionen har jag sammanvägt mina resultat från provtagning och siktanalyser med den litteratur som jag har använt mig av.



Figur 6. Loggar över kornstorlek för de två borrningarna, till vänster kornstorleken metervis från rördrivningen och till höger metervis från hammarborrningen. För rördrivningen är också borrjunktionshastigheten i m/s plottad samt bedömd vattengenomsläpplighet (l/s). 0-5 meter och 11-14 meter gav ingen vattenföring och är därför inte angivna.

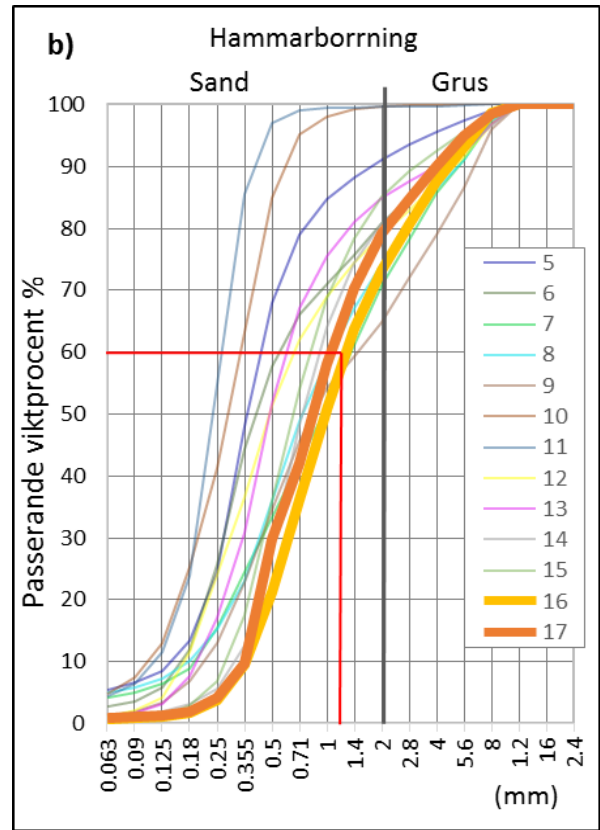
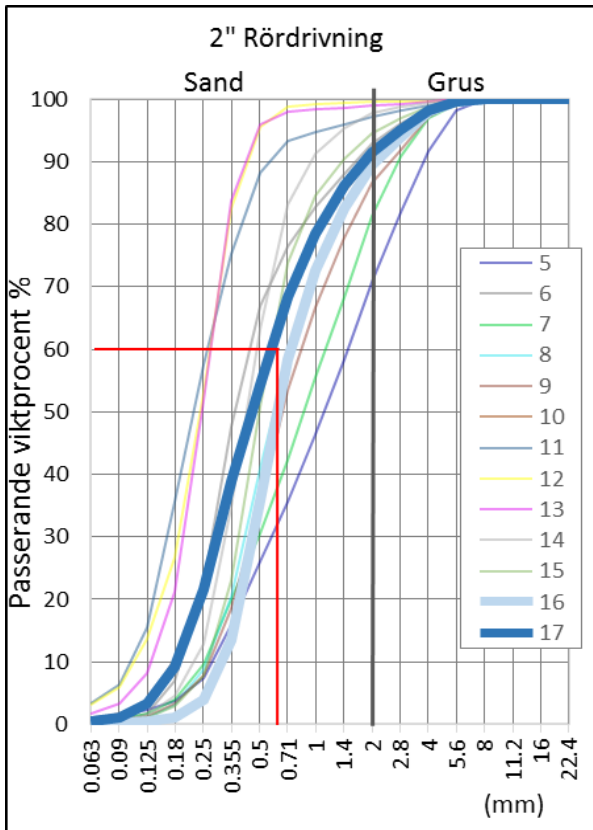
4.1 Provtagning

Under rördrivningen provtogs uppfordrat material en gång/meter. Perforeringens längd på röret var en meter vilket säkerställer provtagning och lagerföljd. Under hammarborrningen skedde ett kontinuerligt utblås av borkax under neddrivningen av foderrör. Kaxet blåstes ut stötvis till kontinuerligt vilket gjorde det svårt att veta exakt vilket djup/lagerföljd som kaxet representerade. Neddrivningshastigheten var högre vid hammarborrningen än under rördrivningen vilket gjorde det svårare att hinna med att göra en noggrann provtagning för varje meter. Detta ställer högre krav på att både provtagare och borrar är väl införstådda

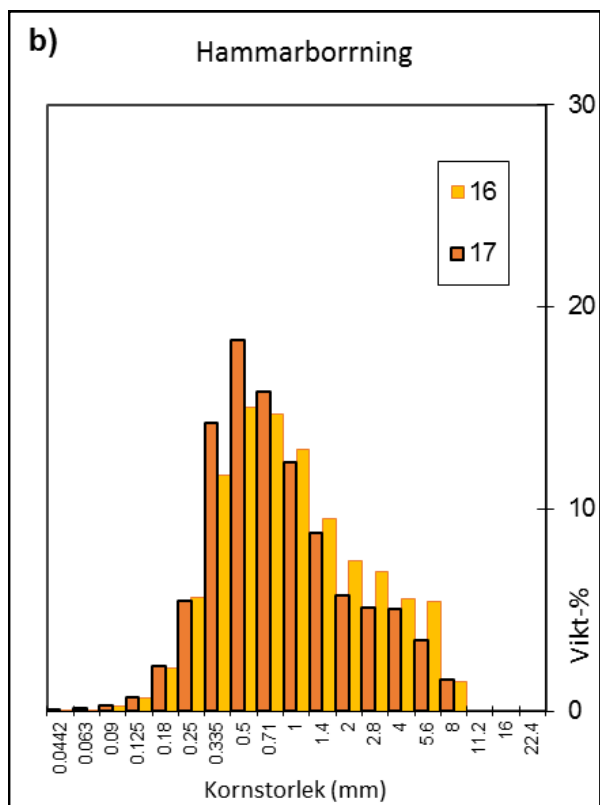
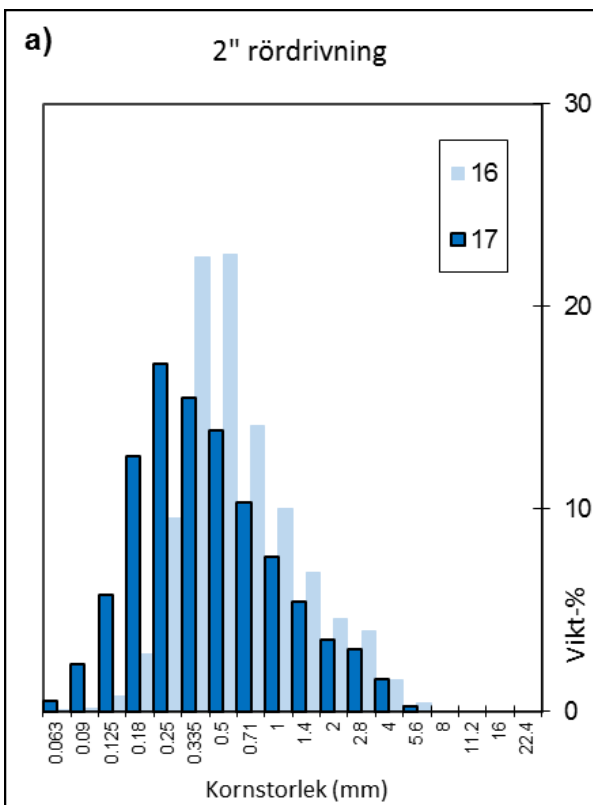
med hur provtagningen skall utföras. Av dessa anledningar bör proverna för hammarborrningen vara mer uppblandade med sediment från ovanliggande lager.

Mätning av neddrivningshastighet och vattenföring under rördrivningen var relativt enkelt då neddrivningen pausades mellan varje meter för att transportera upp kax. Under hammarborrningen mättes inte neddrivningshastighet eller vattenföring, vilket troligtvis beror på missförstånd mellan mig som provtagare och borrhingsledare.

Det vore intressant att jämföra hammarborrnings borkax med fler olika typer av rörspetsar för rördrivning. Andersson (1981) beskriver hur tester mellan



Figur 7a). Siktkurvor från 5-17 meter från rördrivningen. 7b) Siktkurvor från 5-17 meter från hammarborrningen.



Figur 8a). Skevheten av kornstorlekar samt kornstorleksfördelning i % från 15- 17 meter rördrivningen. 8b) Skevheten av kornstorlekar samt kornstorleksfördelning från 15-17 meter från hammarborrningen.

olika rörspetsar avviker från varandra och i utförda tester visade han att inträngningshål på 20 mm gav prover med tydlig underrepresentation av grova kornstorlekar. Då rördrivningen i denna undersökning endast hade inträngningshål på 8 mm kan det förklara att rördrivningens prover hade ett lägre U_c värde och helt saknade kornstorlekar över 8 mm. Av denna anledning görs bedömningen att mängden av grova partiklar i sedimentet blir underrepresenterade vid provtagning med rördrivning, men påverkar inte mängden av fina partiklar.

Ett av hammarborrningsens problem är att de grövre kornen krossas (Fig. 9). Det gör att kornstorleksanalysen baseras på felaktiga storlekar, dvs. inte den ursprungliga kornstorleken. Däremot blir även de grövsta förekommande partiklarna representerade i tagna prover, men påverkar också mängden fina partiklar i provet.

4.2 Siktanalys

Siktanalysen för bormetoderna gjordes likartat i sedimentlab, varför det bedöms att eventuella skillnader som uppkommit där bör vara oväsentliga i sammanhanget. Jag anser att siktningsmetoden är pålitlig. Den version jag har följt beskrivs för drygt 40 år sedan, men metoden verkar inte förändrats sedan dess. Geologiska institutionen i Lund använder en något modifierad version av denna.

4.3 Dimensionering

Andersson (1981) beskriver att i grovkorniga sediment kan man tvätta bort en större del av det finare materialet. Hammarborrnningen visade att det fanns grövre partiklar i sedimentet och histogrammen visar en skevhet mot grövre kornstorlekar (Fig. 8a och 8b). Den valda dimensionen på filterelementen är enligt DeBe (2001) Tabell 2, i närheten av 60% av de framsiktade kornstorlekskurvornas material. Valet av filter har därför gjorts med detta underlag.

Tabell 2. En modifierad tabell av DeBe vattensystem (2001)'s tabell över standardfilter för det vanligaste ODEX-dimensionerna. Blå markering = rördrivning, och Orange markering = hammarborrnning.

S	T	ODxID	Slitsvidd (mm)																										
			0,2			0,5			0,75			1,0			1,5			2,0			3,0			4,0					
			Q	B	P	Q	B	P	Q	B	P	Q	B	P	Q	B	P	Q	B	P	Q	B	P	Q	B	P			
16	4	85x74	0,8	118	5,3	1,5	107	4,9	2,0	98	4,6	2,5	90	4,3	3,2	78	3,8	3,8	69	3,5	4,6	56	3,0	5,2	47	2,7			
20	5	109x98	1,0	56	6,8	1,9	51	6,3	2,6	47	5,9	3,2	43	5,5	4,2	37	4,9	4,9	33	4,4	5,9	27	3,8	6,6	22	3,4			
23	6	134x123	1,3	30	8,4	2,3	28	7,7	3,2	25	7,2	3,9	23	6,7	5,1	20	6,0	6,0	18	5,4	7,3	15	4,6	8,1	12	4,1			
27	7	161x150	1,5	18	10,1	2,8	16	9,4	3,9	15	8,7	4,7	14	8,1	6,1	12	7,3	7,2	11	6,6	8,7	9,0	5,6	9,8	7,0	5,0			
33	8	187x176	1,8	11	11,9	3,3	10	10,9	4,5	9,5	10,2	5,5	8,5	9,5	7,1	7,5	8,5	8,4	6,5	7,7	10,2	5,5	6,6	11,4	4,5	5,8			
% Fri genomloppsytta			% = 10,2			% = 18,5			% = 25,4			% = 31,3			% = 40,5			% = 47,6			% = 57,7			% = 64,5					

S= antal ståndare, T= Draghållfasthet [ton], ODxID= Ytterø x Innerø [mm] (inkl. svetsringar),
Q= Vattenkapacitet [l/s], per meter filter vid vattenhastighet 3 cm/s. B= Kollapstryck [bar], P= Vikt [kg/m] (exkl. svetsringar).

Tabell 3. Uttagna slitsvidder från 15-17 meter samt beräknad sorteringsgrad (U_c) för rördrivning respektive hammarborrnning.

	2" rördrivning	Hammarborrnning
Djup (m)	15-17	15-17
60 vikt-% (mm) från kornstorlekskurvor	0,6- 0,75	1,3---- 1,1
U_c	2,83	3,38
Slitsvidd (mm) från DeBe:s standarder	0,75	1,0

Tabell 4. Beräknade K-värden och T-värden för den totala lagerföljden 5-17 meter för rördrivningen och hammarborrnningen.

	2" rördrivning	Hammarborrnning
K_{medel} (m/s)	$5,3 \times 10^{-4}$	6×10^{-4}
T_{medel} (m ² /s)	$7,75 \times 10^{-3}$	$8,72 \times 10^{-3}$



Figur 9. Krossade korn från hammarborrningsens sedimentprover.

Även Johnson (1963) har gjort en undersökning om hur den optimala dimensioneringen för olika brunnar beräknas. Där beskriver han att slitsvidden i vattenförande filterbrunnar bör tvätta bort 50-70% av materialet, vilket stödjer mitt val.

Den beräknade hydrauliska konduktiviteten och transmissiviteten för borrhålen är beräknade med ett medelvärde taget från de uppförda kornstorlekskurvorna. Dessa värden skiljer inte särskilt mycket mellan de två borrhålen. Den beräknade konduktiviteten har dock inte tagit hänsyn till packningsgrad eller kornens utseende, vilket ligger till grund för porositeten i ett sediment.

Akvifärens transmissivitet beräknades med hjälp av Hazen's formel, vilken som tidigare angetts endast är baserad på en konstant och kornstorleksvärdet vid viktprocentvärdet d_{10} . Detta möjliggör att avsänkning- en vid en pumpning kan bli större än förväntat på grund av att vissa parametrar inte har beaktats vid brunnens utformning.

Genom att använda en s.k. skinfaktor kan man beräkna transmissiviteten mer korrekt. Denna tar hänsyn till hur en ytterligare avsänkning i brunnen kan ske på grund av igensättningar eller feldimensionerade filter (Carlsson & Gustafson 1991). Skinfaktorn kan uppvisa både en positiv och negativ avsänkning i en brunn (Barth 2015).

Vid en framtida fortsatt undersökning går det att ta fram akvifärens hydrauliska parametrar genom att göra ett så kallat slug test, ett alternativ till att göra en större provpumpning. Med ett slug test mäts återhämtningshastigheten i borrhålet genom att antingen lägga till eller att ta bort en viss mängd vatten till borrhålet och sedan mäta dess återhämtningshastighet (Fetter 2014). Om en provpumpning inleds kan ett stegpumpningsprogram vara ett bra alternativ för att ta fram den framtida produktionsbrunnens hydrauliska parametrar. En stegprov pumpning innebär att brunnen pumpas med ett konstant flöde tills dess att den nått konstant kapacitet, för att sedan succesivt ökas för varje avslutat steg. På detta vis kan man få information om:

- brunnens verkliga och teoretiska inströmningsmotstånd,
- val av den optimala pumpkapaciteten,
- val av pumptyp som passar bäst, samt
- bedömning av om brunnen är rätt utförd, eller om brunnen bör efterbehandlas eller ersättas, och på så vis kan man optimera brunnens kapacitet (von Brömssen 1984).

I min hypotes framförde jag att hammarborrnigen skulle ge en sämre bild av den geologiska formationens kornfraktioner då större korn krossas av hammaren. Undersökningen bekräftar att hammarborrnigen krossar vissa korn. Rördrivningen ger till viss del också felaktig lagerföljdsinformation av akvifären då grövre korn inte blir upptagna, men som tydligt finns i formationen vid jämförelse med provresultaten av hammarborrnigen.

4.4 Felkällor

Ett antal felkällor vid utförda borrhningar, provtagning och därefter utförda analyser kan identifieras:

- Under provtagning fick proverna sedimentera i slamhögar på marken. Det kan ha medfört att de allra finaste kornstorlekarna inte finns representerade i tagna prover då de inte sedimenterade i högen utan delvis sköljdes bort med avrinnande vatten.
- Provtagningen under hammarborrnigen visar inte det exakta provtagningsdjupet, vilket kan leda till att lagerföljden dokumenteras och tolkas felaktigt i förhållande till t ex rördrivning.
- De tagna proven var små, ca 300 g/prov, för grusiga sediment rekommenderas ca 500 g enligt (Stål 1972) och för sandiga sediment rekommenderas siktning av ca 200 g.
- Den mänskliga faktorn.
- Geologisk variation.

Jag anser att de troligaste felkällorna har skett under provtagningen. Där kan både sedimentationsprocessen av finkornigt material och provtagning under

kontinuerlig neddrivning under hammarborrningen ge felaktiga prover.

5 Slutsatser

Proverna från de olika bormetoderna ger skillnader för dimensionering av slitsvidd. Provtagning med hammarborrning leder till att proverna inte går att nivåbestämma lika bra som under rördrivning. Under rördrivning är det enkelt att också mäta parametrar som neddrivningshastighet och vattenavgivningsförmåga.

Valet av bormetod påverkar således dimensioneringen av formationsfilter. Hammarborrningens högre U_c värde påvisar prover med mer graderat material, vilket medför att ett filterrör med större slitsvidd väljs. Dimensionering av formationsfilter med hammarborrning gör att en större andel av akvifärens verkliga kornstorlekar närmast filterröret kommer att tvättas bort på grund av den större valda slitsvidden. Det medför att brunnen med hög sannolikhet kommer att bli sandproducerande.

Kornstorleksanalys baserad på prover från rördrivningen uppvisar ett lågt U_c värde. Rördrivning ger vidare prover med skenbart högre andelar finare fraktioner än den verkliga kornfördelningen i genomborrade sediment, eftersom det grövre materialet utesluts i proverna i förhållande till vald håldiameter i provtagningsröret. Vid dimensionering väljs ett filter med mindre slitsvidd än vad som skulle valts om dimensionering skett med den naturliga kornstorlekssammansättningen. Bormetoderna har således var för sig olika svagheter.

För att en undersökning skall ge ett mer korrekt resultat bör även provpumpning ske av färdigställda brunnar. Det är först då som infiltrationsförluster med större säkerhet kan beräknas som ett resultat av skillnaderna på slitsöppningarna. Med hjälp av magasinanalyser och beräkningar med skinfaktor kan brunnen optimeras bättre.

Undersökningen genom rördrivning bör även innefatta provtagning med olika rörspetsar för att undersöka om det finns skillnader i provtagning mellan olika typer av spetsar och hammarborrning.

Jag anser att hammarborrning ger sämre sedimentprovs resultat än 2" rördrivning. På grund av att provtagningen var svårare att nivåbestämma och på grund av att vissa korn krossas, ger troligtvis 2" rördrivning en mer verklighetstrogen bild av den genomborrade lagerföljden. Det bör dock beaktas att 2" rördrivning med slutspets och 8 mm hål inte heller ger helt representativa prover då grövre fraktioner inte blir representerade i tagna prover.

Slutligen rekommenderas att provtagare mäter upp provmängden under provtagningen. På så vis minskas risken att ta för små prover.

6 Tack till

Jag vill rikta ett speciellt tack till borrhingsledare Jan Berglund från Jannes Brunnsborrning och Kenneth Nilsson från Kristianstad Water som hjälpte mig med provtagning, samt eleverna på borkkursen som uppmuntrade mig under mina fältdagar trots snö och regn. Jag vill också tacka Helena Alexandersson som bidragit med laboratoriehänvisningar. Till sist vill jag tacka mina handledare; Johan Barth på Geotec som gav mig möjligheten att skriva detta arbete och som har gett mig snabba svar när jag behövt, och Per Möller som med konstruktiv kritik har hjälpt mig göra detta arbete läsbart.

7 Referenser

- Adriellsson, L. 2011: Det sedimentära materialet. I P.-G. Andréasson (red.): *Geobiosfären : en introduktion*, 4 ed, 221-225. Studentlitteratur AB, Lund.
- Andersson, O. 1981: *Borrning och dokumentation: borrhningsteknik jämte metodik för geologisk datainsamling under borrhnings gång*. Kvartergeologiska avd., Lunds Univ., Lund.
- Andersson, O., u.å: *Specifications of well design and construction procedures*. Report, Malmö, 15 sid.
- Carlsson, L. & Gustafson, G., 1991: *Provpumpning som geohydrologisk undersökningsmetodik*. Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.
- Debe Vattensystem, 2001: *Standardfilter med svetsändar för de vanligaste ODEX-dimensionerna*.
- Fetter, C. W., 2014: *Applied hydrogeology*. Pearson Education, Essex, 612 sid.
- Johnson, A. I., 1963: *Filter pack and well-screen design*. Hydrologic laboratory Report, Denver, 17 sid.
- Lindström, M., Lundqvist, J. & Lundqvist, T., 2000: *Sveriges geologi från urtid till nutid*. Studentlitteratur, Lund.
- SGU, 2008: *Att borra brunn för energi och vatten - en vägledning : normförfarande vid utförande av vatten- och energibrunnar : Normbrunn -07*. Sveriges geologiska undersökning (SGU), Uppsala.
- Stål, T., 1972: *Kornfördelning : Förslag till geotekniska laboratorieanvisningar, del 4*. Statens institut för byggnadsforskning Report 9154020247, Stockholm, 23 sid.
- von Brömssen, U., Karlstedt, B., Ejdeling, G., Gustafson, G. & Hansbo, S., 1984: kap. G11, Grundvattenteknik. I S. Avén, T. Stål & P. O. Wedel (red.): *Handboken Bygg. G, Geoteknik*, 279-312. LiberFörlag, Stockholm.

Personlig kontakt

Barth, J., 2015: VD- Svenska Borrentreperörers Branschorganisation.

Tidigare skrifter i serien

”Examensarbeten i Geologi vid Lunds universitet”:

390. Artursson, Christopher, 2014: Comparison of radionuclide-based solar reconstructions and sunspot observations the last 2000 years. (15 hp)
391. Svahn, Fredrika, 2014: Traces of impact in crystalline rock – A summary of processes and products of shock metamorphism in crystalline rock with focus on planar deformation features in feldspars. (15 hp)
392. Järvin, Sara, 2014: Studie av faktorer som påverkar skredutbredningen vid Norsälven, Värmland. (15 hp)
393. Åberg, Gisela, 2014: Stratigrafin i Hanöbukten under senaste glaciationen: en studie av borrhävar från IODP's expedition nr 347. (15 hp)
394. Westlund, Kristian, 2014: Geomorphological evidence for an ongoing transgression on northwestern Svalbard. (15 hp)
395. Rooth, Richard, 2014: Uppföljning av utlastningsgrad vid Dannemora gruva; april 2012 - april 2014. (15 hp)
396. Persson, Daniel, 2014: Miljögeologisk undersökning av deponin vid Getabjär, Sölvesborg. (15 hp)
397. Jennerheim, Jessica, 2014: Undersökning av långsiktiga effekter på mark och grundvatten vid infiltration av lakvatten – fältundersökning och utvärdering av förhållanden vid Kejsarkullens avfallsanläggning, Hultsfred. (15 hp)
398. Särman, Kim, 2014: Utvärdering av befintliga vattenskyddsområden i Sverige. (15 hp)
399. Tuveson, Henrik, 2014: Från hav till land – en beskrivning av geologin i Skrylle. (15 hp)
400. Nilsson Brunlid, Anette, 2014: Paleoekologisk och kemisk-fysikalisk undersökning av ett avvikande sedimentlager i Barsebäcks mosse, sydvästra Skåne, bil dat för ca 13 000 år sedan. (15 hp)
401. Falkenhaus, Jorunn, 2014: Vattnets kretslopp i området vid Lilla Klåveröd: ett kunskapsprojekt med vatten i fokus. (15 hp)
402. Heingård, Miriam, 2014: Long bone and vertebral microanatomy and osteohistology of 'Platecarpus' ptychodon (Reptilia, Mosasauridae) – implications for marine adaptations. (15 hp)
403. Kall, Christoffer, 2014: Microscopic echinoderm remains from the Darriwilian (Middle Ordovician) of Västergötland, Sweden – faunal composition and applicability as environmental proxies. (15 hp)
404. Preis Bergdahl, Daniel, 2014: Geoenergi för växthusjordbruk – Möjlig anläggning av värme och kyla i Västskåne. (15 hp)
405. Jakobsson, Mikael, 2014: Geophysical characterization and petrographic analysis of cap and reservoir rocks within the Lund Sandstone in Kyrkheddinge. (15 hp)
406. Björnfors, Oliver, 2014: A comparison of size fractions in faunal assemblages of deep-water benthic foraminifera—A case study from the coast of SW-Africa.. (15 hp)
407. Rådman, Johan, 2014: U-Pb baddeleyite geochronology and geochemistry of the White Mfolozi Dyke Swarm: unravelling the complexities of 2.70-2.66 Ga dyke swarms on the eastern Kaapvaal Craton, South Africa. (45 hp)
408. Andersson, Monica, 2014: Drumliner vid moderna glaciärer — hur vanliga är de? (15 hp)
409. Osenius, Björn, 2014: Vinderosion, sanddrift och markanvändning på Kristianstadsslätten. (15 hp)
410. Bokhari Friberg, Yasmin, 2014: Oxygen isotopes in corals and their use as proxies for El Niño. (15 hp)
411. Fullerton, Wayne, 2014: REE mineralisation and metasomatic alteration in the Olserum metasediments. (45 hp)
412. Mekhaldi, Florian, 2014: The cosmic-ray events around AD 775 and AD 993 - Assessing their causes and possible effects on climate. (45 hp)
413. Timms Eliasson, Isabelle, 2014: Is it possible to reconstruct local presence of pine on bogs during the Holocene based on pollen data? A study based on surface and stratigraphical samples from three bogs in southern Sweden. (45 hp)
414. Hjulström, Joakim, 2014: Bortforsling av kaxblandat vatten från borrhningar via dagvattenledningar: Riskanalys, karaktärisering av kaxvatten och reningsmetoder. (45 hp)
415. Fredrich, Birgit, 2014: Metadolerites as quantitative P-T markers for Sveconorwegian metamorphism, SW Sweden. (45 hp)
416. Alebouyeh Semami, Farnaz, 2014: U-Pb geochronology of the Tsineng dyke

- swarm and paleomagnetism of the Hartley Basalt, South Africa – evidence for two separate magmatic events at 1.93-1.92 and 1.88-1.84 Ga in the Kalahari craton. (45 hp)
417. Reiche, Sophie, 2014: Ascertaining the lithological boundaries of the Yoldia Sea of the Baltic Sea – a geochemical approach. (45 hp)
418. Mroczek, Robert, 2014: Microscopic shock-metamorphic features in crystalline bedrock: A comparison between shocked and unshocked granite from the Siljan impact structure. (15 hp)
419. Baliya, Fisnik, 2014: Radon ett samhällsproblem - En litteraturstudie om geologiskt sammanhang, hälsoeffekter och möjliga lösningar. (15 hp)
420. Andersson, Sandra, 2014: Undersökning av kalciumkarbonatförekomsten i infiltrationsområdet i Sydsvensk vattenverk, Vombverket. (15 hp)
421. Martin, Ellinor, 2014: Chrome spinel grains from the Komstad Limestone Formation, Killeröd, southern Sweden: A high-resolution study of an increased meteorite flux in the Middle Ordovician. (45 hp)
422. Gabrielsson, Johan, 2014: A study over Mg/Ca in benthic foraminifera sampled across a large salinity gradient. (45 hp)
423. Ingvaldson, Ola, 2015: Ansvarutredningar av tre potentiellt förorenade fastigheter i Helsingborgs stad. (15 hp)
424. Robygd, Joakim, 2015: Geochemical and palaeomagnetic characteristics of a Swedish Holocene sediment sequence from Lake Storsjön, Jämtland. (45 hp)
425. Larsson, Måns, 2015: Geofysiska undersökningsmetoder för geoenergisystem. (15 hp)
426. Hertzman, Hanna, 2015: Pharmaceuticals in groundwater - a literature review. (15 hp)
427. Thulin Olander, Henric, 2015: A contribution to the knowledge of Fårö's hydrogeology. (45 hp)
428. Peterffy, Olof, 2015: Sedimentology and carbon isotope stratigraphy of Lower-Middle Ordovician successions of Slemmestad (Oslo-Asker, Norway) and Brunflo (Jämtland, Sweden). (45 hp)
429. Sjunnesson, Alexandra, 2015: Spårämnesförsök med nitrat för bedömning av spridning och uppehållstid vid återinfiltration av grundvatten. (15 hp)
430. Henao, Victor, 2015: A palaeoenvironmental study of a peat sequence from Iles Kerguelen (49° S, Indian Ocean) for the Last Deglaciation based on pollen analysis. (45 hp)
431. Landgren, Susanne, 2015: Using calcein-filled osmotic pumps to study the calcification response of benthic foraminifera to induced hypoxia under *in situ* conditions: An experimental approach. (45 hp)
432. von Knorring, Robert, 2015: Undersökning av karstvittring inom Kristianstadsslättnens NV randområde och bedömning av dess betydelse för grundvattnets sårbarhet. (30 hp)
433. Rezvani, Azadeh, 2015: Spectral Time Domain Induced Polarization - Factors Affecting Spectral Data Information Content and Applicability to Geological Characterization. (45 hp)
434. Vasilica, Alexander, 2015: Geofysisk karaktärisering av de ordoviciska kalkstensenheter på södra Gotland. (15 hp)
435. Olsson, Sofia, 2015: Naturlig nedbrytning av klorerade lösningsmedel: en modellering i Biochlor baserat på en fallstudie. (15 hp)
436. Huitema, Moa, 2015: Inventering av föroreningar vid en brandövningsplats i Linköpings kommun. (15 hp)
437. Nordlander, Lina, 2015: Borrningsteknikens påverkan vid provtagning inför dimensionering av formationsfilter. (15 hp)



LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen
Lunds universitet
Sölvegatan 12, 223 62 Lund