

# **METODER FÖR BESTÄMNING AV GRÄVDA BRUNNARS INFLUENSRADIE**

**En fallstudie i dissonans mellan  
teori och praktik på Kosteröarna**

**Anna Hedeving**

**Degree of Bachelor of Science  
with a major in Earth Sciences  
15 hec**

**Department of Earth Sciences  
University of Gothenburg  
2019 B-1057**

Faculty of Science



UNIVERSITY OF GOTHENBURG

# METODER FÖR BESTÄMNING AV GRÄVDA BRUNNARS INFLUENSRADIE

En fallstudie i dissonans mellan  
teori och praktik på Kosteröarna

Anna Hedeving

ISSN 1400-3821

**B1057**  
**Bachelor of Science thesis**  
**Göteborg 2019**

---

**Mailing address**  
Geovetarcentrum  
S 405 30 Göteborg

**Address**  
Geovetarcentrum  
Guldhedsgatan 5A

**Telephone**  
031-786 19 56

Geovetarcentrum  
Göteborg University  
S-405 30 Göteborg  
SWEDEN

## SAMMANFATTNING

Kosteröarna består av två skärgårdsöar som ligger västerut från Strömstad på den svenska västkusten. Eftersom öarna utgör ett populärt resmål för turister kan befolkningen per dag uppgå till över 6 000 en fin sommardag, i kontrast till de cirka 330 bofasta. Vattentillgången på öarna är knapp, med den största vattenförsörjningen sker genom privata grundvattenbrunnar. Bristande vattenkvalitet och -kvantitet är vanligt förekommande lokala problem. Problemen blir extra tydliga under somrarna, då den höga temperaturen och växtaktiviteten tillsammans med den ökade populationsmängden kan sätta extra tryck på vattenförsörjningen. Destinationens stora popularitet innebär att efterfrågan på att bygga nya permanentbostäder, fritidshus och utbyggnationer på öarna är stor, vilket även medför ett högt intresse för att anlägga nya privata brunnar. På Kosteröarna råder tillståndsplikt för att anlägga en ny brunn. Det innebär att fastighetsägaren måste ansöka om tillstånd hos Strömstads kommuns Miljö- och byggförvaltning innan en ny brunn kan grävas eller borrar. Miljö- och byggförvaltningen är mycket restriktiva i att utfärda tillstånd på grund av den känsliga grundvattensituationen. Förvaltningen upplever att de direktiv som finns är alltför otydliga och efterfrågar metoder att avgöra hurvida en presumtiv brunn kommer att ha negativ inverkan på redan etablerade brunnar i närheten.

Detta arbete har som syfte att undersöka vilka metoder det finns som noggrant kan bestämma en grävd brunns influensradie, det vill säga vidden av dess påverkan av grundvattennivån, utifrån lättillgänglig data i t.ex. jordarts- och jorddjupskartor. Litteraturstudier, en intervju med representant från Strömstads kommun och applicering av funna metoder i en fallstudie utfördes för att söka klargöra frågan. Under arbetets gång framkom det att samtliga metoder som finns beskrivna i litteraturen förutsätter att olika parametrar som kräver någon form av fältarbete är kända. Den hydrauliska konduktiviteten i synnerhet är ett sådant exempel. Fyra metoder valdes ut och applicerades med valda parametrar på sex modellerade brunnar, lokaliserade i två olika jordarter och tre olika djup. Samtliga metoder förutsatte kännedom om den hydrauliska konduktiviteten, vars exakta värde var okänt eftersom ingen form av fältbestämning hade skett. Istället användes ett spann taget från litteratur för de två olika jordarter som brunnarna modellerats i. Influensradier för de sex brunnarna beräknades för två olika grundvattennivåer för att visa hur radien förändras vid en grundvattensänkning, likt den som sker under sommaren. Resultatet från modelleringen visar att det inte går att bestämma en grävd brunns influensradie med den noggrannhet som behövs enbart utifrån jordarts- och jorddjupskartor då det stora spannet i hydraulisk konduktivitet också leder till ett stort spann av influensradien. Det är således nödvändigt att utföra en utförlig hydrogeologisk undersökning för att bestämma de platsberoende parametrarna. Arbetet visar också att det behövs tydligare direktiv i lämplig hantering av liknande grundvattenfrågor och att vidare forskning är nödvändig för att hitta effektiva alternativ för att bestämma en brunns influensradie.

*Nyckelord: influensradie, avsänkningstratt, hydrogeologi, grävd brunn, Kosteröarna.*

## ABSTRACT

The Koster Islands consists of two archipelago islands situated west of Strömstad, on the west-coast of Sweden. A popular tourist destination, the islands' population can rise to over 6 000 on a hot summer day, in contrast to the approximate 330 permanent residents. Water resources on the islands are scarce, resulting in substandard groundwater quality and quantity for the islands' mainly private wells. The problems become particularly pronounced during the summer season, where high temperatures and vegetative activity along with increased population exerts extra pressure on the water supply. Due to the popularity of the destination, demand is high to further exploit the islands, such as building new permanent residences, holiday homes or extensions, which also leads to an increased interest in establishing new private wells. Establishing a new private well on the Koster Islands requires a permit from the municipality of Strömstad. The permit is issued by the Environmental and Construction Department of the municipality, which is restrictive in issuing permits due to the sensitive groundwater situation. The department finds the given directives on how these situations should be handled are subpar and seeks suitable methods to determine the propriety of the new well location in order to prevent the already established wells getting affected.

This thesis aims to research what accurate methods are available to determine the radius of influence, i.e. the width of the cone of depression resulting in the groundwater after pumping, based on data easily available in maps of soil types and depths. The thesis was conducted by literary studies, an interview with a representative of the Strömstad municipality, and applications of four found methods in a case study based on six modelled wells on the islands. As the work progressed, it became apparent that all methods available in the literature required some sort of field work to determine certain parameters, the hydraulic conductivity in particular. Four methods were applied with selected parameters on six modelled wells. The wells were modelled in two different soil types and three different soil depths. All of the methods required the hydraulic conductivity to be known, but it was found that only an approximate value can be used if no form of field testing has taken place. Instead, literature provides a range of possible hydraulic conductivities for each soil type, which was used in the calculations. The radius of influence was calculated for each well, making calculations displaying the resulting variation in radius when the hydraulic conductivity is unknown. To visualise the change in radius of influence which occurs when the water table drops naturally, calculations were made based on two different groundwater levels. The results from the modelling shows that there are no efficient methods of determining the radius of influence of a dug well based on only information reacquired from literature and map data as the large range of the hydraulic conductivity in turn leads to a large range in radius of influence. It is thus of importance to perform an extensive hydrogeological survey to determine the location-dependent parameters. The thesis also shows that there is a demand for clearer directives in how handling of similar groundwater problems should be done and that further research is necessary in order to find efficient alternatives to determine the radius of influence of a well.

*Key words: radius of influence, cone of depression, hydrogeology, dug well, the Koster islands.*

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>SAMMANFATTNING</b> .....	<b>2</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>3</b>
<b>I INTRODUKTION</b> .....	<b>5</b>
1.1 FRÅGESTÄLLNINGAR .....	6
1.2 BAKGRUND .....	6
1.2.1 Hydrogeologi.....	6
1.2.1.1 Öppna, sedimentära akviferer .....	6
1.2.1.2 Pumpning.....	8
1.2.2 Kosteröarna.....	10
1.2.2.1 Geologi på Kosteröarna.....	10
1.2.2.2 Hydrogeologi på Kosteröarna.....	14
<b>2 METOD</b> .....	<b>15</b>
2.1 LITTERATURSTUDIE .....	15
2.2 INTERVJU STRÖMSTAD KOMMUN .....	15
2.3 VAL AV PROVOMRÅDEN, PARAMETRAR OCH FORMELAPPLICERING .....	16
<b>3 RESULTAT</b> .....	<b>20</b>
3.1 INTERVJU STRÖMSTAD KOMMUN .....	20
3.1.1 Tema 1 Bakgrund.....	20
3.1.2 Tema 2 Ansökningsprocess.....	20
3.1.3 Tema 3 Beslutsprocess.....	21
3.1.4 Tema 4 Syn på risker.....	21
3.1.5 Tema 5 Förbättringsområden.....	21
3.1.6 Exempelbeslut.....	22
3.2 LITTERATURSTUDIE .....	22
3.3 INFLUENSRADIE.....	23
3.3.1 Formler.....	24
3.3.1.1 Ekvation 1 - Sichardt.....	24
3.3.1.2 Ekvation 2 - Kusakin .....	24
3.3.1.3 Ekvation 3 – Weber.....	24
3.3.1.4 Ekvation 4 – Krešić.....	24
3.4 REDOVISNING AV BERÄKNINGAR .....	26
3.4.1 Säsongsvariationer.....	26
3.4.2 Brunnsvariation av influensradier.....	29
<b>4 DISKUSSION</b> .....	<b>32</b>
4.1 LITTERATUR .....	32
4.2 INTERVJU .....	32
4.3 INFLUENSRADIER.....	34
4.3.1 Antaganden och valda parametrar .....	34
4.3.2 Valda ekvationer.....	35
<b>5 SLUTSATS</b> .....	<b>38</b>
<b>6 TACK</b> .....	<b>39</b>
<b>7 REFERENSER</b> .....	<b>40</b>
<b>BILAGOR</b> .....	<b>42</b>
BILAGA I .....	42

## 1 INTRODUKTION

Allteftersom klimatförändringarnas effekter gör sig ständigt mer påmind i Sverige kommer nya samhälleliga utmaningar att presenteras. Medeltemperaturen och medelårsnederbörden i norra Europa förespås öka och perioder av extremväder bli allt vanligare (IPCC, 2014). Den ökade nederbördsmängden till trots, hålls det för troligt att även perioder av torka kommer att inträffa oftare i framtiden (Kjellström m.fl., 2014). Dessa perioder av torka befaras kunna ge konsekvenser för försörjningen av dricksvatten i känsliga miljöer, så som i kustnära eller högt påfrestade akviferer.

Kosteröarna, belägna på den svenska västkusten, har länge haft problem med att säkra tillgången av färskvatten av god kvalitet. Akvifererna är antingen sedimentära, med begränsad horisontell och vertikal utsträckning, eller belägna i kristallin berggrund, med låg sammanlänkning hos de vattenförande sprickorna. Låga grundvattennivåer och saltvatteninträngning är vanligt förekommande bekymmer som troligen skulle öka i magnitud under långa perioder av torka. Grundvattenbildningen bedöms som närmare obefintlig under sommaren, när också avdunstning och växternas upptag av vatten är som störst. Det kan leda till stora skillnader i grundvattennivåer under året (Barthel, Banzhaf, Granberg, Pokorny & Merisalu, 2016). Vackert beläget som en enklav i Kosterhavets nationalpark, utgör Kosteröarna en populär destination för turister och fritidsboende. Befolkningen på öarna ökar därav väsentligt under sommaren, då ungefär 6 000 turister och fritidsboende per dag ansluter sig till de cirka 330 bofasta invånarna (Pleijel, 2017), vilket utsätter grundvattenmagasinen, den primära källan för dricksvatten, för ytterligare påfrestning.

Kosteröarnas stora popularitet som semesterdestination medför även ett intresse för vidare exploatering. Ansökningar om bygglov för omvandling av fritidshus till permanentboende, byggnation av nya boenden och utbyggnad av gamla inkommer frekvent till Strömstads kommuns Miljö- och byggförvaltning men får ofta avslag då det skulle komma att innebära ökat tryck på vattenreservoarerna. Detta eftersom nyetablerade brunnar och större hushåll inte skulle kunna försörja ännu fler invånare med dricksvatten, som ju redan är en känslig resurs (Karin Alexandersson, personlig kommunikation, 2019-04-16). Miljö- och byggförvaltningen tillämpar försiktighetsprincipen och anser oftast att risken att en nyetablerad brunn påverkar befintliga brunnars vattentillgång eller -kvalitet är för stor. Huruvida en ny brunn faktiskt skulle påverka omkringliggande brunnar är oklart då det är en komplicerad och kostsam process att utreda. Miljö- och byggförvaltningen har därför efterfrågat en metod för att enkelt avgöra lämpligheten i en brunns placering utifrån närliggande brunnar. Det görs genom att bestämma brunns influensradie, det vill säga det avstånd där den resulterande grundvattensänkningen runt den pumpade brunnen inte längre är märkbar. Vanligen utförs det genom provpumpningar där akviferens hydrogeologiska egenskaper avgörs med hjälp av att vatten pumpas ut ur en brunn och den resulterande

avsänkningen kontrolleras i observationsbrunnar runtomkring brunnen. Sådana observationsbrunnar finns inte att tillgå på Kosteröarna, vilket försvårar processen att undersöka en brunns influensradie. Det finns alltså ett behov från kommunens sida att finna ett sätt att beräkna brunnars influensradier utan användning av de vedertagna metoderna.

Detta kandidatarbete ämnar undersöka huruvida det finns metoder som på ett okomplicerat sätt använder lättillgänglig data för att beräkna en brunns influensradie: metoder som inte förutsätter kostsamma hydrogeologiska undersökningar i fält eller avancerad grundvattenmodellering. Som avgränsning kommer bara metoder för grävda brunnar att utvärderas. Arbetet kommer undersöka hur lämplig respektive metod för kommunal applicering utifrån ett precisions, kostnads och tidsperspektiv. Vidare diskuteras vilka förkunskaper om undersökningsområdet som är nödvändiga för att få tillförlitliga resultat men även vilka kunskaper inom fältet som ännu inte finns och behöver utvecklas. I ett land som Sverige, där vattenförsörjning tidigare inte upplevts som ett reellt problem, kommer det att bli alltmer nödvändigt på grund av klimatförändringar att hitta effektiva metoder att bedöma grundvattenutvinningens effekter på grundvattennivå för att kunna hushålla resurserna på ett hållbart sätt.

## 1.1 FRÅGESTÄLLNINGAR

Följande frågeställningar som har använts i arbetet är:

- Vilka problem upplever handläggare för Strömstads kommun i bedömningsarbetet av en brunnsplacers lämplighet?
- Vilka metoder finns för att beräkna en grävd brunns influensradie inom ett rimligt spann utifrån lättillgänglig data så som jordarts- och jorddjupskartor? Är metoderna tillräckligt noggranna och praktiskt användbara för kommunal handläggning?
- Vilka parametrar är avgörande för att uppnå ett så pass tillförlitligt resultat att metoden kan användas praktiskt?

## 1.2 BAKGRUND

I följande avsnitt presenteras bakgrundsinformation om hydrogeologi och Kosteröarna.

### 1.2.1 HYDROGEOLOGI

#### 1.2.1.1 ÖPPNA, SEDIMENTÄRA AKVIFERER

En akvifer är en vattensaturerad geologisk formation som har kapaciteten att lagra och förmedla betydande volymer vatten (Fetter, 2014 s. 2). I öppna sedimentära akviferer befinner sig grundvattennivån inom akviferen, i motsats till stängda akviferer, där grundvattennivån är under tryck. Grundvattenbildning sker genom infiltration och perkolerung av ytvatten via de sammanlänkande porerna mellan jordkornen. Under grundvattennivån är

samtliga porer i akviferen saturerade (s. 2). Hur snabbt vatten kan strömma genom det porösa mediet bestäms av den hydrauliska konduktiviteten ( $K$ ) vilken beror på vattnets viskositet ( $\mu$ ), densitet ( $\rho$ ) och gravitationskonstanten ( $g$ ) samt jordartens permeabilitet ( $K_i$ ) (s. 5) vilket visas i :

FORMEL 1 (Krešić, 2007)

$$K = K_i \left( \frac{\rho g}{\mu} \right)$$

Akviferens permeabilitet, det vill säga dess förmåga att släppa genom vatten, avgörs av sedimentets fysikaliska egenskaper, så som porositet, kornstorleksfördelning, kornform och sammanlänkning av porer (Krešić, 2007 s. 563). Den hydrauliska konduktiviteten betecknas ofta som  $K$  och har en hastighetsbaserad enhet, så som cm/s, m/dag eller ft/dag (Fetter, 2004 s. 103). Den hydrauliska konduktiviteten kan också bestämmas om flödet ( $Q$ ) genom en area ( $A$ ) med en hydraulisk gradient ( $dh/dL$ ) är kända enligt Formel 2 som är anpassad efter Fetter (2004, s. 100):

FORMEL 2 (anpassad efter Fetter, 2004)

$$K = \frac{Q}{A(dh/dL)} = \frac{\left( \frac{L^3}{t} \right)}{(L^2)(L/L)} = (L/t)$$

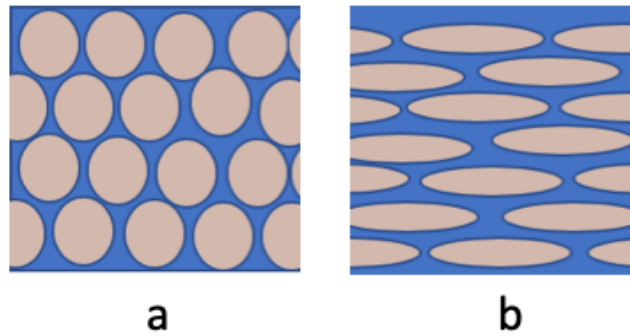
I Formel 2 motsvarar  $L^3$  volymen vatten som färdas genom mediet,  $L^2$  motsvarar arean som vattnet flödar genom och  $t$  tiden som det tar. Önskas sedan den hydrauliska konduktiviteten sättas i relation till den enskilda akviferen, beräknas akviferens transmissivitet ( $T$ ) som visar hur mycket vatten som flödar horisontellt genom en viss area av akviferen utmed dess saturerade tjocklek ( $b$ ) (s. 118). Sambandet visas enligt Formel 3 (Fetter, 2004 s. 118):

FORMEL 3 (Fetter, 2004)

$$T = bK$$

Transmissivitet har en enhet enligt area per tidsenhet. I porösa, saturerade medium kan den hydrauliska konduktiviteten variera. En lika stor sänkning av grundvattennivån i två olika akviferer behöver därmed inte resultera i en likvärdig volym av dränerat vatten (Fetter, 2004 s. 118). Det beskrivs som magasinskoefficienten (*storativity* på engelska) och är alltså den dränerade andelen vatten efter en grundvattensänkning (SMHI, 2018). Hydraulisk konduktivitet kan också variera inom en akvifer, vilket innebär att transmissiviteten och magasinskoefficienten skiftar spatialt. Hydrauliska parametrar som porositet, tjocklek av akvifer och kornstorleksfördelning kan variera märkbart på korta sträckor. En akvifer som visar upp sådana förändringar benämns heterogen (motsatt till homogen). Skulle vattenflödet också lättare kunna flöda i en viss riktning, till exempel på grund av orientering av sedimentkorn kallas materialet för anisotropt (motsatt till isotropt) (Fetter, 2004 s. 122). Figur 1 visar ett isotropt sediment (a) där vattenflödet inte har en preferensriktning. Preferensriktning i sidled är däremot tydligt i det anisotropa (b).



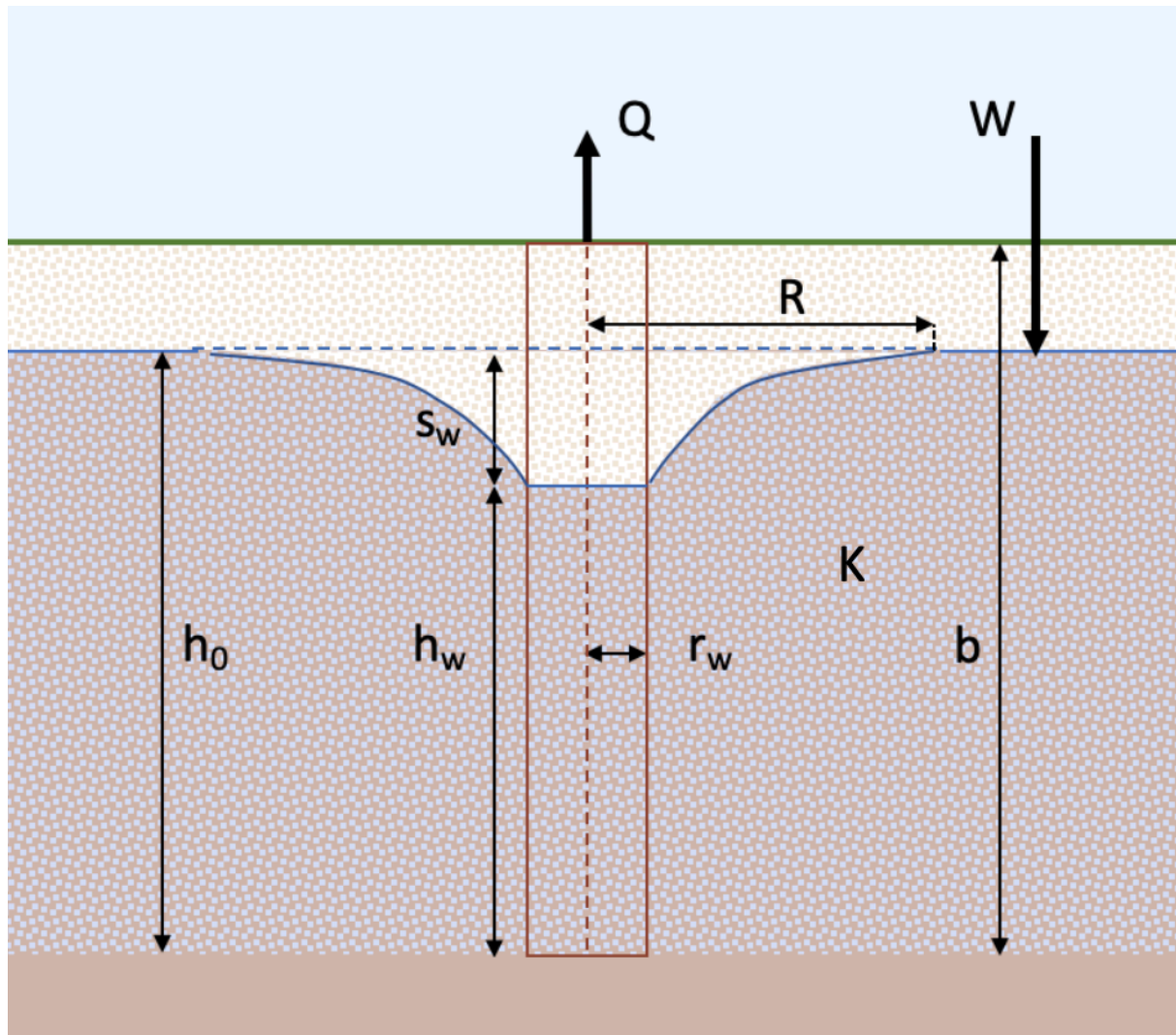


FIGUR 1 visar ett isotropt (a) och ett anisotropt (b) sediment. Figur av Anna Hedeving 2019-05-06.

Akviferens hydrauliska parametrar bestäms bäst i samband med en provpumpning, där vatten pumpas ur en brunn och ändringar i grundvattennivå observeras kontinuerligt i observationsrör för att bedöma hur genomsläppligt mediet är för vatten. Provpumpningar pågår under en längre tid för att se hur akviferen svarar på diverse situationer och kan därmed visa hur stort område som påverkas av pumpningen (SGU, 2019). Även enklare metoder i fält eller i laboratorier kan användas för att bestämma akviferens egenskaper. Slugtester till exempel, där grundvattenytan hastigt höjs när ett föremål med känd vikt och volym sänks ner i en brunn, är en fältmetod som ger information om genomsläppligheten i brunnens direkta närhet (SGU, 2019). I laboratorier kan fysikaliska parametrar som den hydrauliska konduktiviteten bestämmas för provtagningsplatsen med hjälp av analyser av vattnets flöde genom ett kärnprov från den valda lokalen eller genom en kornstorleksanalys (Krešić, 2007 s. 557 & 569).

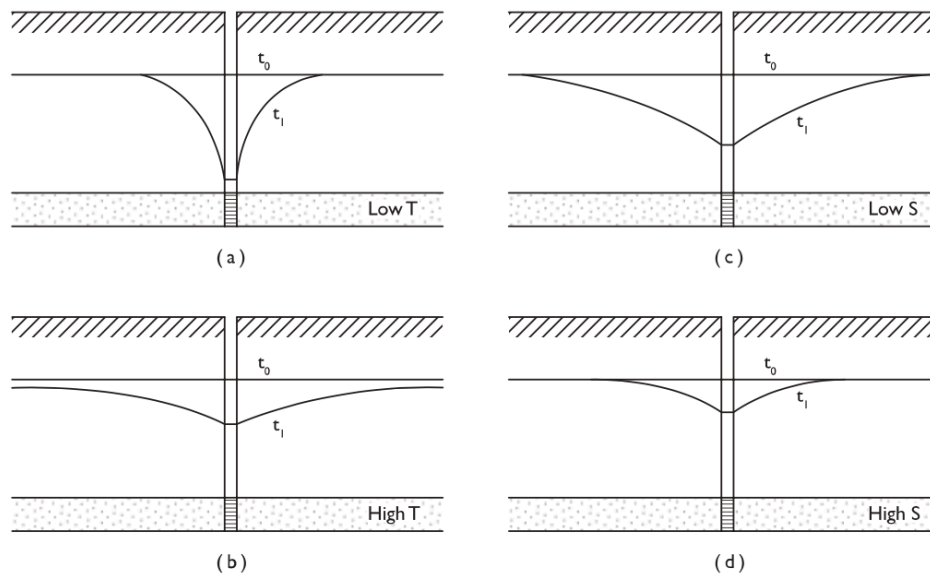
#### 1.2.1.2 PUMPNING

Vid pumpning av grundvatten ur en öppen akvifer kommer grundvattennivån att sänkas i området runt brunnen. Avsänkningen är som störst i brunnen och minskar radiellt utåt i en så kallad avsänkningsträtt (se Figur 2) (Fetter, 2004 s. 8). Avståndet från brunnen mitt till den plats där avsänkningen i grundvattennivå inte längre kan skönjas kallas influensradie ( $R$ ). Det avståndet visar hur stort påverkansområdet för pumpningen är. Vid avståndet  $R$  från brunnen mitt är grundvattnets nivå samma som den opåverkade ( $h_0$ ) (Krešić, 2007 s. 159). Brunnen radie benämns som  $r_w$ . Skillnaden mellan den opåverkade grundvattennivån och vattennivån i brunnen ( $h_w$ ) betecknas som  $s_w$ . En modell över detta visas i Figur 2. När influensradien i den nygrävda brunnen överlappar en närliggande, redan befintlig brunns influensradie kan man se en påverkan. Den nya brunnen påverkar då den närliggande brunnen vattenförsörjning.



FIGUR 2 visar en modell över den resulterande avsänkningstratten vid pumpning i en öppen, sedimentär akvifer. Den streckade, blåa linjen visar den opåverkade grundvattennivån, den heldragna blåa den resulterande nivån vid pumpning med ett flöde  $Q$ . Infiltrationen visas som  $W$ . Akviferens hydrauliska konduktivitet betecknas med  $K$ , akviferens tjocklek med  $b$  och den opåverkade grundvattennivån med  $h_0$ . Vattennivån i brunnen motsvarar  $h_w$  och skillnaden mellan den opåverkade nivån och avsänkningen är  $s_w$ . Brunnsens radie benämns  $r_w$ . Pumpningens influensradie betecknas med  $R$ . Figur av Anna Hedeving 2019-05-05.

Vid konstant flöde ( $Q$ ) ut ur brunnen kommer avsänkningstrattens form i djup och utbredning öka, för att slutligen stabiliseras. Avsänkningstrattens form kontrolleras också av akviferens transmissivitet och magasineringskoefficient (Freeze & Cherry, 1979). Hög transmissivitet ger en grund och utbredd trätt, emedan en lägre transmissivitet leder till en djup och smalare. Magasineringskoefficienten påverkar också hur stor trätten blir, där en låg koefficient leder till en större trätt än en hög koefficient. Detta visas i Figur 3, hämtade från Freeze och Cherry (1979), men var god och observera att bilden behandlar stängda akviferer, ej öppna som detta kandidatarbete fokuserar på.



FIGUR 3 visar hur avsänkningstrattens form varierar med transmissivitet ( $T$ ) och magasinskoefficient ( $S$ ). Bild hämtad från Freeze och Cherry, 1979.

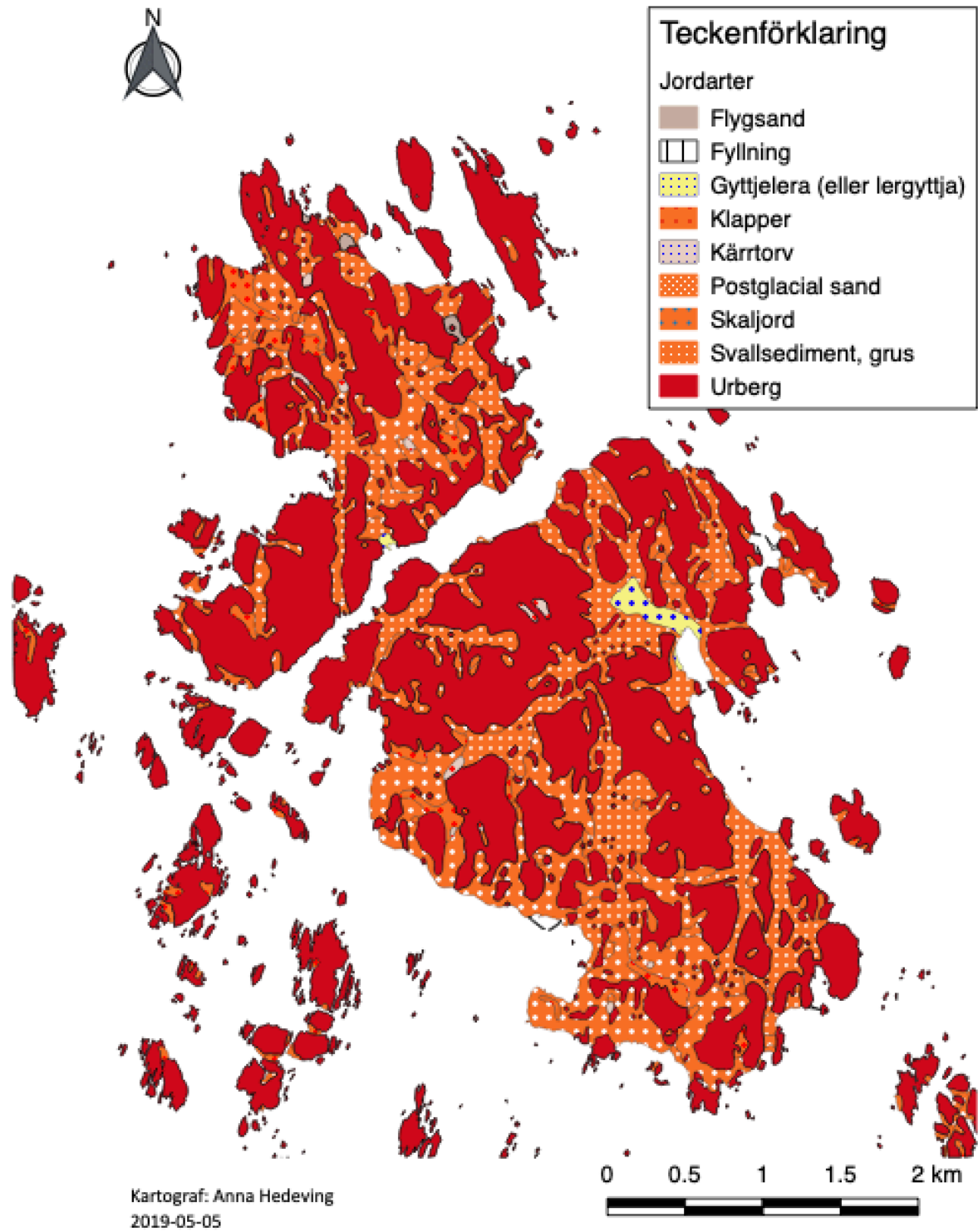
### 1.2.2 KOSTERÖARNA

Koster består av två öar, Nord- och Sydkoster, med en ungefärlig area på fyra respektive åtta km<sup>2</sup> (Kosteröarna Nord & Syd, u.å.). Öarna ligger som en enklav i Kosterhavets nationalpark och utöver en mindre bofast befolkning som uppgår till omkring 330 personer, tillkommer cirka 1 200 fritidsboende och närmare 5 000 dagsturister under högsäsongen varje år (Pleijel, 2017). Det innebär att det under sommarmånaderna sker en markant ökning av vattenanvändning då ön ska sörja för betydligt fler människors behov. Kosteröarna ligger i ett vattenskyddsområde och omfattas av tillståndsplikt för utvinning av grundvatten, vilket innebär att anläggning av en ny dricksvattenbrunn först måste godkännas av Strömstad kommun (Länsstyrelsen, 2010). Handläggningsprocessen är präglad av osäkerhet och tydligare direktiv efterfrågas av kommunen eftersom vattenförsörjningen på öarna i huvudsak är enskild, då 80% av hushållen har privata brunnar (Barthel, Banzhaf, Granberg, Pokorny & Merisalu, 2016). Uppskattningsvis 800 till 1 000 privata brunnar finns på öarna, varav 70% är grävda och 30% är borrhäls. På Sydkoster ombesörjs 110 fastigheter kommunalt av det lokala vatten- och avsaltningsverket medan samtliga fastigheter på Nordkoster har privata brunnar (Pleijel, 2017).

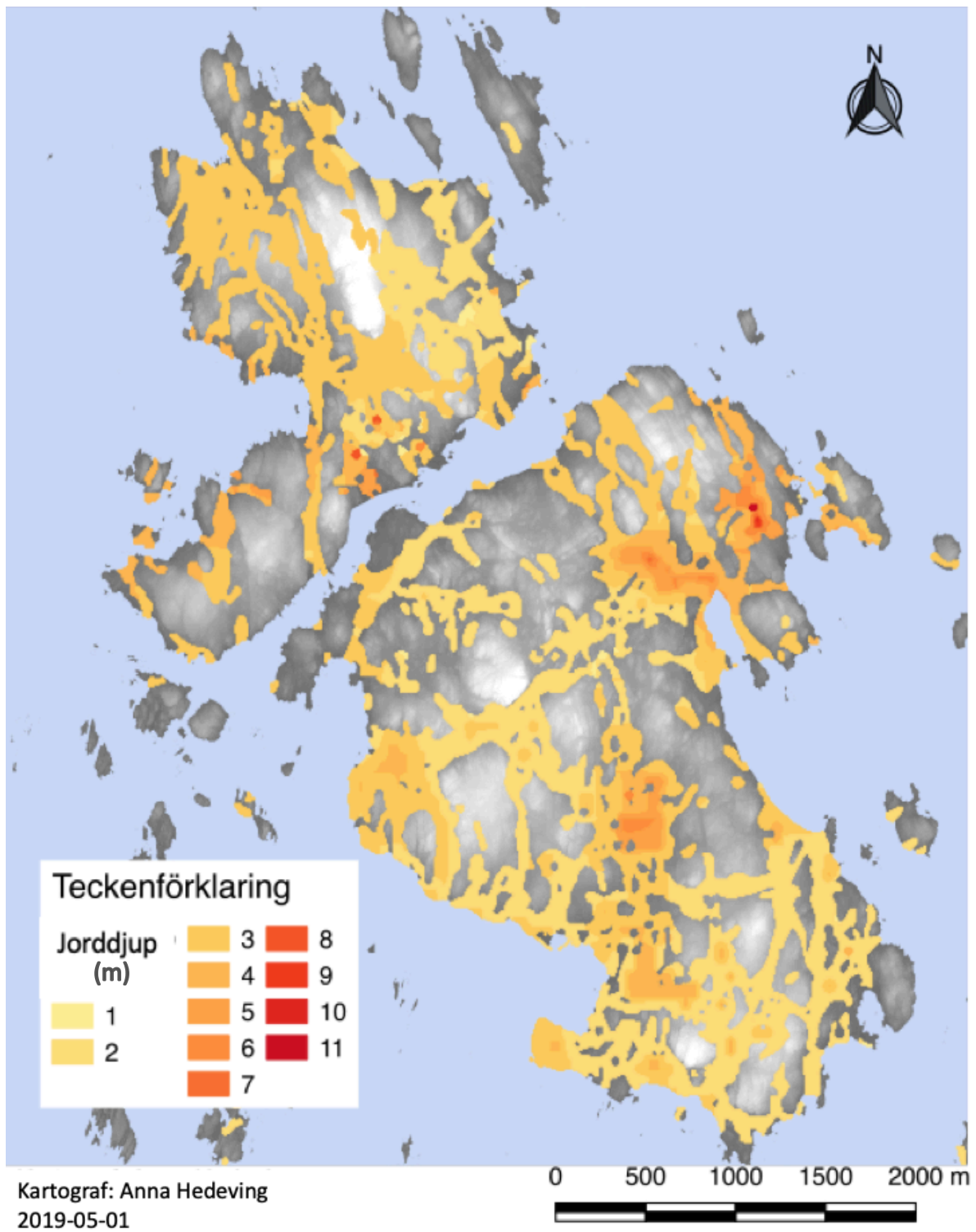
#### 1.2.2.1 GEOLOGI PÅ KOSTERÖARNA

Berggrunden på Kosteröarna bildades under den Gotiska orogenesisen (1,7 – 1,6 miljarder år sedan) fram till och med den Svekonorvegiska orogenesisen (1,2 – 0,9 miljarder år sedan). Den präglas av främst tre olika bergarter: gnejsig ögongranit, gnejsig tonalit till granodiorit samt Stora Le-Marstrandsformationstillhörande ådrad sedimentgnejs. Under perioden mellan bergskedjebildningarna formades även på Nordkoster distinkta, klippande diabasgångar med en ungefärlig strykning på 330° och en västlig stupning (Nyström & Wall, 1993). Kosteröarna fortsatte att formas av kommande perioder av växlande glaciala och interglaciala cykler, fram

till den senaste inlandsisen retirerade från området för cirka 13 000 år sedan då dagens karaktäristiska släta skärgårdsklippor var färdigformade. En kombination av eustasi och isostasi ledde till att öarna efter avsmältningen vid en tidpunkt befann sig upp till 170 meter under havsnivån. Allteftersom vattnet sjönk undan och landhöjningen fortskred, steg Kosteröarna successivt upp till nuvarande höjd över havet (Dahlberg & Sundh, 2008). Som synes i Figur 4 består öarnas yta främst av kala hållar, men det finns också områden lokaliserade i sänkor i berggrunden som fyllts med okonsoliderat sediment. Eolisk sand, postglacial sand, svallat grus, klappersten, torv, gyttjelera och skalgrus är exempel på sediment som hittas på öarna (Barthel m.fl., 2016). Sedimenten är primärt av kvartärgeologiskt ursprung och har sannolikt avsatts av glaciala processer för att sedan ha svallats i olika grad allteftersom havsnivån sjönk (Dahlberg & Sundh, 2008). Figur 5 visar det av SGU modellerade jorrdjupet på Kosteröarna. Det är tydligt att sedimentlagren är övergripande grunda på öarna.



FIGUR 4 jordartskarta över Kosteröarna (jordarter 1: 25 000 – 1: 100 000, ©SGU (2014)).



FIGUR 5 jordartsbeskrivning för Kosteröarna (höjddata 2m raster, © Lantmäteriet (2009). Jorrdjupsmodell raster/vektor, © SGU (2014)).

### 1.2.2.2 HYDROGEOLOGI PÅ KOSTERÖARNA

Nyström och Wall (1993) uppger att medelårsnederbörden på Kosteröarna är ungefär 650 mm och evapotranspirationen är 450 mm, vilket lämnar cirka 200 mm vatten till ytavrinning och grundvattenbildning per år. Grundvattenströmningar förekommer i spricksystem i berggrunden och i öppna, grunda, sedimentära akviferer (Barthel m.fl., 2016). I de kvartära sedimenten är permeabiliteten allmänt högre än i berggrunden, särskilt i de svallade sand- och gruslagren, men deras begränsade utsträckning och tjocklek utgör en inskränkande faktor på vattenföringen (Andersson & Engdahl, 2017). På Sydkoster förekommer det även tunna lager av silt och lera i sandiga akviferer som skulle verka begränsande för grundvattenflödet eftersom mediet inte är homogent. Potentialen för utvinning bedöms också i samma rapport vara större i de grunda, sedimentära akvifererna än i berggrunden, men de är samtidigt mer känsliga för torra (Nilsson, Nordmark, Leissner & Wallgren, 2013). Trots att detta arbetes huvudsakliga fokus ligger på sedimentära akviferer är det av intresse att närmre beskriva Kosteröarnas berggrund i relation till grundvattenströmningar eftersom vatten kan strömma mellan akviferer av sedimentär och kristallin natur (Sundqvist m.fl., 2009). Sprickornas sammanlänkning i berggrunden är avgörande för akviferens kapacitet (Barthel m.fl., 2016) men generellt är berggrundens permeabilitet låg (Andersson & Engdahl, 2017). Barthel m.fl. (2016) skriver att breda sprickor ofta är fyllda av finkornigt sediment vilket begränsar deras hydrauliska konduktivitet. Sprickor orsakade av dragspänning har ofta högre kapacitet för vattenföring än de orsakade av skjuvspänning. Vidare beskrivs dragspänningssprickorna som orienterade i ett nordnordvästligt led, emedan skjuvspänningssprickorna återfinns inom 45° av dragspänningssprickorna. Nyström och Wall (1993) noterar att spricktätheten varierar i de olika bergarterna, till exempel i diabasgångarna vars sprickfattigdom verkar som en barriär för grundvattenflödet.

Brist på grundvatten och grundvatten med undermålig kvalitet är ett problem som frekvent förekommer på öarna. Brunnar på Kosteröarna kan inte sällan ha missfärgat eller illaluktande vatten under somrarna, bland annat till följd av höga halter humus i vattnet (Nyström & Wall, 1993). Saltvatteninträngning förekommer i vissa djupborrade brunnar men även lokalt i grävda brunnar (Barthel m.fl., 2016). Barthel m.fl. (2016) framhäver att grundvattenresurserna på Kosteröarna har förutsättningar för att kunna försörja öborna med dricksvatten, dock betonas även att distributionen är geografiskt och tidsmässigt ojämn. Grundvattenuttaget på Kosteröarna är som störst under sommarmånaderna, då också grundvattenbildningen är som lägst (Nyström & Wall, 1993) eftersom förhöjd temperatur och växtlig aktivitet leder till ökad evaporation respektive transpiration (Barthel m.fl., 2016). I undersökningen från 2016 utförd av Barthel m.fl. mättes grundvattennivån i 27 grävda brunnar i april och juni. Resultatet visade att grundvattennivån i majoriteten av brunnarna sjönk upp till en meter, men i ett fall hade nivån sjunkit två till tre meter. Studien verkar dock tyda på att sänkningen i grundvattennivån snarare är en följd av väderfaktorer än av ökat vattenuttag. Kosterborna förbrukar i själva verket runt 75 liter per dygn, cirka hälften så mycket vatten som medelsvenskens 160 liter per dygn, och dagsturisternas konsumtion ligger runt 20 liter per dygn (Pleijel, 2017).

## 2 METOD

I följande avsnitt presenteras de metoder som använts i studien. Arbetet har utförts med hjälp av en intervju med en representant från Strömstads kommun för att tydliggöra vilken form av metod som är praktiskt användbar för dem i arbetet att bedöma lämpligheten i en brunnns placering, vilka direktiv de utgår ifrån och hur handläggningsprocessen ser ut i dagsläget. För att finna lämpliga ekvationer som beräknar influensradier har en litteraturstudie även utförts. Ekvationerna har sedan tillämpats för sex olika modellerade brunnar.

### 2.1 LITTERATURSTUDIE

En stor portion av arbetet har ägnats till sökning och studie av lämplig litteratur som beskrev praktiska och teoretiska metoder att beräkna en grävd brunnns influensradie. Inte bara vetenskapliga artiklar och böcker med akademiskt fokus eftersöktes, utan även olika praktiska direktiv som angivits av diverse myndigheter och kommuner, både inom Sverige och internationellt. En lista med lämpliga nyckelord författades och lades in i olika sökmotorer, så som Google, Google Scholar och Scopus. En lista över använda sökord visas i Tabell 1.

TABELL 1 visar en lista på använda svenska och engelska sökord och fraser i sökningen efter lämplig litteratur.

Svenska nyckelord	Engelska nyckelord
Influensradie	Radius of influence
Påverkansområde / influensområde	Zone of influence
Avsänkningstratt	Cone of depression
Hydrogeologisk modell	Hydrogeological model
Grävd brunn	Dug well
Pumpning	Pumping
Skyddsavstånd	Well spacing
Öppen akvifer	Unconfined aquifer
Privat brunn	Private well
Kustnära	Coastal
Hydraulisk konduktivitet	Hydraulic conductivity
Grundvattenutvinning	Groundwater extraction
"Avsänkning är försumbar"	"Drawdown is negligible"

### 2.2 INTERVJU STRÖMSTAD KOMMUN

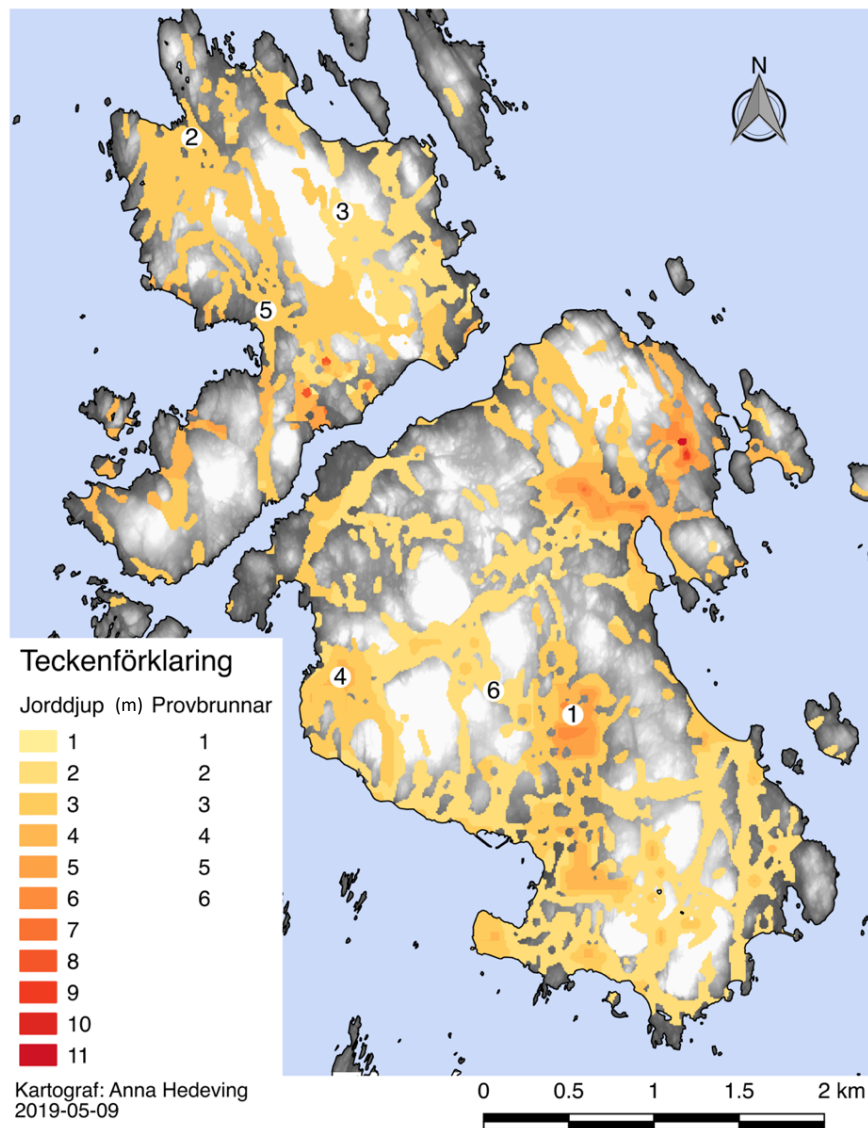
För att få en klarare bild över problematiken gällande brunnspacering och vattenutvinning på Kosteröarna hölls en intervju 2019-04-16 med Karin Alexandersson, miljö- och hälsoskyddsinspektör vid Miljö- och byggförvaltningen, Strömstads kommun. Karin ansvarar för handläggningen av ansökningar om nya brunnsanläggningar. Efter intervjun sammanställdes intervjun i ett referat. Före ankomsten i Strömstad upprättades en lista på frågor som önskades besvaras under intervjun. Listan delades in i fem teman: (1) bakgrund, (2) ansökningsprocess, (3) beslutsprocess, (4) syn på risker och (5) förbättringsområden. I (1) bakgrunden ingick frågor om hur Strömstads kommun formulerade vattenproblemet på Koster, varför det upplevs som ett problem, om problemet enbart gäller för Kosteröarna eller om det också förekommer på andra platser inom kommunen, samt Karin Alexanderssons



tidigare erfarenhet av vattenfrågor. I (2) ansökningsprocessen behandlades frågor om vilka förfrågningar som kommer in, hur en ansökan görs och vilken information fastighetsägaren behöver tillhandahålla. Tema (3) beslutsprocessen ämnade utreda om tillstånd utfärdas, hur handläggaren avgör den nya brunnens lämplighet. Gör handläggaren skillnad på grävda och borrhållsbrunnar, vilket regelverk som besluten baseras på och vem som fattar det slutgiltiga beslutet. I tema (4) syn på risker fanns frågor om den upplevda risken med nya brunnar enbart var för grannars vattenförsörjning eller om även andra risker så som naturvärden också tas i beaktning. Även risker som försämrade vattenkvalitet, mikrobiologisk tillväxt, vattenbrist och höga kostnader skulle behandlas. Slutligen inom tema (5) förbättringsområden skulle frågor om vilka brister som upplevs i hanteringen av vattenfrågor, både direktivmässigt och kunskapsmässigt, behandlas.

### 2.3 VAL AV PROVOMRÅDEN, PARAMETRAR OCH FORMELAPPLICERING

För att exemplifiera hur olika jordarter och jorddjup påverkar den beräknade influensradien, har sex platser på Kosteröarna valts ut där de olika ekvationerna applicerats och resultaten mellan platserna jämförts. De modellerade brunnarna valdes ut med hjälp av GIS placeras i de två sedimenttyper som bedöms vara av intresse för utvinning av grundvatten: den postglaciala sanden och det svallade gruset. Tre brunnar för respektive jordart sattes ut i områden där jorddjupet ( $b$ ) var antingen 4, 3 eller 2 meter. Lokalerna presenteras i Figur 6.



FIGUR 6 visar de utvalda platserna för de modellerade brunnarna. Brunn 1 – 3 är grävda i postglacial sand och 4 – 6 i svallat grus.

Akvifererna som brunnarna placerades i antogs vara homogena och isotropa, med väl sorterat sediment, konstant tjocklek och oändlig utsträckning. Dessa antaganden är nödvändiga för både enkla och mer komplicerade metoder för att beräkna pumpningspåverkan. Utifrån den karterade jordarten som brunnarna placerades i uppskattades sedimentens hydrauliska konduktivitet ( $K$ ) i enlighet med litteraturvärden. För grus anger Knutsson och Morfeldt (1993, s. 27) ett spann mellan  $10^0$  till  $10^{-3}$  m/s och för mellan- till finsand  $10^{-3}$  till  $10^{-7}$  m/s. Då dessa erhållna värden av hydraulisk konduktivitet hade ett vitt spann presenterar denna studie tre beräknade influensradier för respektive enskild modellerad brunn. Dels beräknades influensradier baserade på den hydrauliska konduktivitetens två ytterlighetsvärden. Därtill beräknades en tredje influensradie baserat på ett valt mittvärde av dessa ytterlighetsvärden ( $10^{-1}$  för grus och  $10^{-5}$  för mellan- till finsand). För grus är det alltså inte medianen i spannet som har använts i beräkningarna utan ett valt mittvärde. I Tabell 2 visas jordart, jorddjup och

vald hydraulisk konduktivitet för respektive brunn. Det valda mittvärdet av hydraulisk konduktivitet presenteras inom parentes.

TABELL 2 visar jordart, jorddjup och vald hydraulisk konduktivitet för respektive modellerad brunn. Det valda mittvärdet av hydraulisk konduktivitet visas inom parentes.

ID Brunn	Jordart	Jorddjup (m)	Vald hydraulisk konduktivitet (m/s)
1	Postglacial sand	4	$10^{-3} - 10^{-7}$ ( $10^{-5}$ )
2	Postglacial sand	3	
3	Postglacial sand	2	
4	Svallgrus	4	$10^0 - 10^{-3}$ ( $10^{-1}$ )
5	Svallgrus	3	
6	Svallgrus	2	

Eftersom det även var av intresse att demonstrera säsongsskillnader i influensradie beräknades den för en antagen grundvattennivå under våren (då grundvattennivån är som högst) och en under sommaren (då den är som lägst). Det gjordes då avsänkningstrattens storlek varierar beroende på hur stor den saturerade tjockleken i akviferen är. Därför sattes den opåverkade grundvattennivån till 0,5 m respektive 1,5 m under markytan. I det tänkta scenariot sker pumpning med ett flöde ( $Q$ ) på  $5,8 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$  ur en brunn med radie ( $r_w$ ) 0,5 m under en period ( $t$ ) på 3 timmar (10 800 sekunder) alternativt 90 dagar (7 776 000 sekunder), eller tills den tid då systemet är i jämvikt. Anledningen är att två pumpningstider har valts är att två av formlerna presenterade i resultatet är tidsberoende. Perioden 3 timmar valdes eftersom en vanlig dricksvattenbrunn inte pumpas konstant under en längre period, ett par timmar åt gången är rimligt. Perioden 90 dagar valdes för att visa en någorlunda långsiktig influensradie vid konstant pumpning, även fast pumpning generellt inte sker konstant utan i intervall. Flödeshastigheten ( $Q$ ) baseras på ett hushåll med 5 personer där vattenanvändningen är 100 liter vatten per dygn och person. Siffran har bestämts eftersom Kosterborna använder väsentligt mindre vatten än medelsvensken. Avsänkning mellan den opåverkade grundvattennivån och vattennivån i den pumpande brunnen har bestämts till 0,10 m. Ett värde av 0,20 har valts från Bergström (2001, s. 51) som den effektiva porositeten ( $n_e$ ) för båda sedimenttyper. Grundvattenbildning per år har bestämts till 265 mm, taget från Merisalu (2017, s. 67) och som sedan omvandlas till meter per sekund enligt Formel 4. Samtliga parametrars valda värden redovisas i Tabell 3.

FORMEL 4

$$W(m/s) = \frac{\text{årsmedelnederbörd (mm/år)}}{(1000 * 365 * 24 * 60 * 60)}$$

TABELL 3 visar övriga nödvändiga parametrar som har antagits för att kunna beräkna influensradien av en grävd brunn.

Parameter	Värde
Opåverkad grundvattennivå, vår, $h_0$	b - 0,5 m
Opåverkad grundvattennivå, sommar, $h_0$	b - 1,5 m
Pumpningshastighet, $Q$	$5,8 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$
Brunnsradie, $r_w$	0,5 m
Kortvarig pumpningstid, $t_1$	10 800 s
Långvarig pumpningstid, $t_2$	7 776 000 s
Avsänkning, $s_w$	0,10 m
Effektiv porositet, $n_e$	0,20
Grundvattenbildning (W)	265 mm/år = $8,4 \times 10^{-9} \text{ m/s}$

De valda parametrarna applicerades sedan i de funna metoderna och influensradien beräknades slutligen i Excel. För metod 4 tillhandahölls en Excelfil skapad av Axel Barkestedt, mastersstudent på Göteborgs Universitet som arbetar med ett liknande projekt. Excelfilen är baserad på Krešić (2007) som beskrivs ytterligare i 3.3.1.4 Ekvation 4 – Krešić.

## 3 RESULTAT

### 3.1 INTERVJU STRÖMSTAD KOMMUN

Intervjun genomfördes med Karin Alexandersson, miljö- och hälsoskyddsinspektör vid Miljö- och byggförvaltningen, i Strömstads stadshus 2019-04-16. Syftet med mötet var att få en tydligare bild över hur kommunen ser på vattenproblemen på Koster, hur de hanteras och vilka förbättringar som efterfrågas. Intervjun följde strukturen av de fem teman som presenterades i metodikdelen och en sammanfattning av svaren på frågorna tillhörande respektive tema redogörs nedan.

#### 3.1.1 TEMA 1 BAKGRUND

Alexandersson är utbildad marinbiolog men har i sin utbildning även läst ett antal geologirelaterade kurser. Som miljö- och hälsoskyddsinspektör arbetar Karin Alexandersson bland annat med handläggning av ansökningar om borring alternativt grävning efter grundvatten. Hon förklarar att problematiken kring Kosteröarnas vattenförsörjning i grunden handlar om knappa vattenresurser som är ojämnt fördelade på öarna. Hela Kosteröarna ligger i ett vattenskyddsområde, vilket innebär att vattenutvinningen är reglerad och fastighetsägare är belagda med tillståndsplikt för att få gräva eller borra efter vatten. Vattenanvändningen och konsumtionen på Kosteröarna kan vara mycket knapp, där många hushåll enbart har en kallvattenkran i köket för matlagning. Man tvättar sig i havet, har mulltoa och under somrarna kan man behöva vara mycket restriktiv med sin vattenkonsumtion. Bristen av mer moderna bekvämligheter förhindrar året-runt-boende, vattnet kan vara missfärgat och brunnarna kan vara nära till att torka ut. Allt fler ägare önskar använda sina fastigheter som permanentbostäder vilket med säkerhet kommer öka trycket på vattenresurserna. Många vill också bygga gäststugor eller bygga ut sina bostäder, vilket sannolikt också skulle innebära vattenanvändningen skulle öka eftersom den ökade boytan utökar fastighetens inhysningskapaciteten. Därför är Miljö- och byggförvaltningen mycket restriktiv till att utfärda bygglov och vattenutvinningstillstånd på öarna. Problemet upplevs främst på Kosteröarna eftersom infrastrukturen på ön är mer utvecklad än andra öar i området och intresset att gräva eller borra efter vatten är därför större där.

Den ojämna fördelningen av vattenresurserna kan leda till missnöje, till exempel om en fastighetsägare nekas bygglov med hänvisning till risken för påverkan av grundvattnet när en närliggande granne fått tillstånd. Kommunala alternativ, till exempel en vattenledning från fastlandet, skulle innebära höga anslutningskostnader vilket skulle vara impopulärt bland vissa kosterbor, särskilt de vars vattentillgång är tillräcklig. Lagstiftning och direktiv upplevs vara för vaga och eftersom Alexandersson inte är utbildad hydrogeolog görs därmed beslutsprocessen komplicerad och svårbedömd.

#### 3.1.2 TEMA 2 ANSÖKNINGSPROCESS

En ansökan om tillstånd för att gräva eller borra efter vatten brukar vanligen inledas med ett inkommande telefonsamtal till Karin Alexandersson. Fastighetsägaren kan ha upplevt problem

som dålig vattenkvalitet eller kapacitet och önskar därför anlägga en ny brunn. Därefter ombeds fastighetsägaren skicka in en skriftlig ansökan med information om brunnens placering, dess tänkta kapacitet och användning, antal personer i hushållet, om brunnen ska vara grävd eller borrhåll samt en lista på grannar inom en radie på 150 meter.

### 3.1.3 TEMA 3 BESLUTSPROCESS

Beslutet om huruvida tillstånd ska utfärdas för att anlägga en ny grävd eller borrhåll brunn på Kosteröarna skulle kunna fattas av Alexandersson själv men eftersom frågan har blivit känslig görs själva beslutsfattandet av Miljö- och byggnämnden. Bedömningen utgår ifrån Miljöbalken som upplevs lämna för mycket utrymme för tolkning. Prövningen av placeringen av en grävd brunns lämplighet baseras främst på visuell analys av kartmaterial, där existerande brunnar, jordarter och jorddjup är faktorer som tas hänsyn till. För att undvika påverkan på befintliga brunnar utgör försiktighetsprincipen en utgångspunkt eftersom man hellre avslår ansökningar än riskerar brunnspåverkan, saltvatteninträngning eller uttorkning av akviferer. Fram tills nyligen har de flesta ansökningar avslagits. Grävda brunns influensområde bedöms vara mer lättförståeliga än borrhåll, vilket föranleder att såvida inte den tilltänkta brunnen finns alltför nära (inom en radie av 150 meter) en redan existerande brunn får den ett godkännande. Som exempel tar Alexandersson upp en grävd brunn på Sydkoster som tilldelats tillstånd då den var den enda brunnen lokaliserad i en viss akvifer. En borrhåll brunns påverkan anses mer osäker eftersom påverkan beror på spricksammansättningens orientering. Borrhåll brunnar anses inte heller av förvaltningen utgöra en risk på närliggande grävda brunnar, och vice versa, eftersom de ligger i olika akvifertyper. Fall där påverkansområde är oklart och det finns närliggande fastigheter behövs en oberoende grundvattenutredning utförd av en sakkunnig där också en provpumpning skulle ingå, likt den beskriven under rubriken 3.1.6 Exempelbeslut, en metod som nyligen börjat tillämpas.

### 3.1.4 TEMA 4 SYN PÅ RISKER

När Miljö- och byggförvaltningen uttrycker farhågor för en ny brunns påverkansområde är det just för risken att grannars vattentillgångar påverkas. Resultater grundvattensänkningar påverkan på ekosystemet är inget som upplevs som ett problem, utan det är specifikt en problematik på lokal nivå. Mikrobiologisk tillväxt i brunnar till följd av exempelvis närhet till betesmarker eller läckande avloppslösningar är inte en fråga som behandlats men som Alexandersson hade sett nytta i att vidare undersöka. Att göra en grundlig hydrogeologisk undersökning är ett kostsamt projekt för fastighetsägaren, men som anses som en befogad åtgärd på Koster. Detta eftersom det skulle innebära mer grava och långvariga konsekvenser om en akvifer som flera hushåll är beroende av torrlades eller drabbades av saltvatteninträngning.

### 3.1.5 TEMA 5 FÖRBÄTTRINGSOMRÅDEN

Som ovan nämnt spelar frågan om otydliga direktiv och otydlig lagstiftning stor roll i upplevd osäkerhet i hanteringen av vattenproblematiken på Koster. När inget tydligt regelverk finns att utgå från som visar hur dessa frågor ska hanteras är det svårt att motivera fattade beslut

för de berörda. Att utgå från försiktighetsprincipen när tidigare studier t.ex. Barthel m.fl. (2016) har visat att tillräckliga resurser *finns* på öarna är inte alltid populärt, även fast resurserna är ojämnt fördelade. Ett tydligare förhållningssätt från högre instanser är således önskvärt. En ny metod som utgår från lättillgänglig data för att avgöra en nyetablerad brunns influensradie, vilket är det här arbetets syfte att ta fram, behöver kunna ge en radie med ett rimligt spann. Är den beräknade influensradien 10 till 80 meter gör resultatet ingen nytta om det finns ett närliggande hus 40 meter från brunnen.

### 3.1.6 EXEMPELBESLUT

Miljö- och byggförvaltningen har nyligen börjat tillämpa en ny metod i hanteringen av ansökan om vattenutvinning i områden med befintliga brunnar i närheten. Tidigare har avslag skett per automatik med hänvisning till försiktighetsprincipen. Den nya metoden innebär att man i ett ärende istället har utfärdat ett tillfälligt tillstånd under perioden 2019-05-01 – 2019-09-30. En grundvattenutredning för två borrade brunnar har fått tillstånd att utföra en propumpning under den aktuella perioden för att se effekter på närliggande brunnar. Beslutet i sin helhet finns att läsa i Bilaga 1, men sammanfattas här kort. Brunnarna ska försörja sju fastigheter, varav fem är bebyggda, med vatten. Pumpningen i brunnarna ska ske sammanhängande under tre veckor under sommarperioden när grundvattenbildningen är som lägst. Under pumpningen mäts vattennivån i brunnen, volymen pumpat vatten samt klorhalten i vattnet kontinuerligt. Grannar vars brunnar ligger inom 150 meter har kontaktats och under pumpningsperioden ska deras vattennivåer och salthalter kontrolleras en gång i veckan. Skulle en markant påverkan av saltvatten eller grundvattensänkning påvisas i någon brunn skulle tillståndet återkallas och de nya brunnarna skulle behöva sättas igen. Om inte, skulle tillståndet göras permanent. Miljö- och byggförvaltningen vill på detta vis se det praktiska influensområdet de nyetablerade brunnarna skulle ha eftersom det finns möjlighet att brunnarna borrar in i ett annat spricksystem än grannarnas. Beroende på utfallet från sommarens pumpningar som ännu inte ägt rum kan förvaltningen komma att fortsätta med metoden och utfärda liknande tillfälliga tillstånd för både borrade och grävda brunnar.

## 3.2 LITTERATURSTUDIE

Under litteraturstudiens gång framkom en del insikter som är värda att notera. Det första är att det finns mycket litteratur tillgänglig där influensradien figurerar på något sätt i texten. Dock är det mycket sällan som influensradien utgör skriftens huvudfokus. Den omnämns istället oftast som ett sätt undersöka en akvifers hydrogeologiska egenskaper, så som att bestämma dess hydrauliska konduktivitet, transmissivitet eller magasin-koefficient. Ingen litteratur hittades som försökte bestämma influensradien utifrån de kriterier som detta arbete utgick ifrån: ingen tillgång till observationsbrunnar vid propumpning, viktiga hydrogeologiska parametrar som hydraulisk konduktivitet eller effektiv porositet okända och fälldata så som avsänkning okända. Merparten av de vetenskapliga artiklar som lästs har varit på engelska och har haft huvudsakligt fokus på bestämning av den hydrauliska konduktiviteten. Information på kommunala och statliga myndigheters hemsidor har inte berört frågor om

brunnsplaceringars lämplighet. Om influensradie har benämnts, har det snarare följts av en förklaring av vad det är än anvisningar om hur den beräknas.

Den mesta informationen om influensradieberäkningar har istället hittats i diverse hydrogeologiska böcker, såsom Fetter (2014), Krešić (2007), Bear (2007) och Cashman och Preene (2001). Ekvationer för att beräkna influensradier har då oftast listats upp i tabeller utan att ha vidare förklaringar om när de är tillämpliga och hur de har utvecklats. Anledningen till att Sichardts ekvation valdes ut i detta arbete är att den har angetts både i böcker och artiklar som vara den mest vanligt använda metoden bland hydrogeologer och är den ekvation som även omnämns oftast. Kusakins och Webers ekvationer förekommer i de flesta tabeller där olika sätt att beräkna influensradier radas upp, vilket föranledde att även de tillkom i detta arbete. Den enda ekvation vars härledning förklarades ingående var den som beskrevs i Krešić (2007). Därför togs även Krešićs ekvation med i arbetet. Metoder som valdes bort förekom också i de tabeller där Weber och Kusakin presenterades, men sållades bort eftersom de inte omnämndes lika ofta, eller i samma tappning i de olika källorna, som de två andra och inte heller förklarades vidare i texterna. Exempelvis är Lembkes ekvation som finns beskriven i Bears bok från 2007, eller ytterligare en metod som tillskrivs Kusakin som enligt Bear är omskriven i Chertousov (stavning varierar) från 1949. Merparten av de källor som i litteraturen angivs för metoderna är mycket gamla. Få är publicerade efter 1960 och de flesta originalkällorna verkar inte finnas tillgängliga på engelska eller svenska. Tyska, eller i fallet med Kusakin, ryska, är vanligt förekommande språk på originalkällor vilket försvårar metodsökningsprocessen avsevärt.

### 3.3 INFLUENSRADIE

I följande avsnitt presenteras de empiriska ekvationer som valts ut under arbetets gång för bestämning av en brunns influensradie. Genomgående för ekvationerna är att fysikaliska egenskaper hos akviferen alltid ingår, vilka enbart kan uppskattas utifrån litteraturvärden om fältdata inte finns tillgänglig. Inga ekvationer där fältparametrar inte ingår har hittats. Exempel på en sådan egenskap är den hydrauliska konduktiviteten. Beräkningsmetoderna är antingen framtagna för avsänkningstrattar som har nått sin fulla utsträckning eller avsänkningstrattar vars utbredning ökar med åtgången tid. Cashman och Preene (2001) framhäver vikten av att betrakta orealistiskt höga eller låga värden med viss skepsis och uppger att värden på influensradier lägre än 30 alternativt högre än 5 000 meter generellt är orealistiska. Notera att beteckningar för de olika parametrarna kan ha ändrats från originalkällorna så att samma beteckning används i detta arbete genomgående för en och samma parameter. Till exempel kan influensradien i litteraturen betecknas både med  $R$  eller  $r_0$ , men skrivs här enbart som  $R$  för att vara konsekvent. De olika parametrarnas beteckningar visas och förklarades tidigare i Figur 2.



### 3.3.1 FORMLER

#### 3.3.1.1 EKVATION 1 - SICHARDT

Sichardts ekvation, först utvecklad av Weber, är en av de vanligast förekommande empiriska metoderna för att beräkna influensradien hos en brunn (Cashman & Preene, 2001). Metoden utvecklades för att beräkna en brunns influensradie ( $R$ ) efter att stabila förhållanden uppnåtts. Ekvationen utgår från avsänkningen ( $s_w$ ) i brunnen när avsänkningstrattens utbredning är relativt stabil samt det porösa mediets hydrauliska konduktivitet ( $K$ ). Sichardts ekvation visas i Formel 5.

FORMEL 5 – Sichardt (Cashman & Preene, 2001)

$$R = 3000s_w\sqrt{K}$$

#### 3.3.1.2 EKVATION 2 - KUSAKIN

Kusakins ekvation är semi-empirisk och tidsberoende (Bear, 2007 s. 306). Den visar influensradien ( $R$ ) runt en brunn vid en viss tidpunkt efter pumpningens påbörjan beroende på den opåverkade grundvattennivån ( $h_0$ ), hydraulisk konduktivitet ( $K$ ), åtgångens tid ( $t$ ) och effektiv porositet ( $n_e$ ) samt en bestämd konstant (1,9).

FORMEL 6 – Kusakin (Bear, 2007)

$$R = 1,9\sqrt{h_0Kt/n_e}$$

#### 3.3.1.3 EKVATION 3 – WEBER

Ekvation 3 är mycket lik ekvation 2, Webers ekvation skiljer sig från Kusakins enbart i den valda konstanten på 2,45 istället för 1,9. Likt ekvation 2, är Webers ekvation semi-empirisk och tidsberoende (Bear, 2007 s. 306).

FORMEL 7 – Weber (Bear, 2007)

$$R = 2,45\sqrt{h_0Kt/n_e}$$

#### 3.3.1.4 EKVATION 4 – KREŠIĆ

Baserad på Thiem-Dupuit metoden har Krešić utvecklat en numerisk ekvation för att beräkna en brunns influensradie baserat på pumpningshastighet, infiltration, hydraulisk konduktivitet, nivåer för opåverkat grund- och brunnsvatten samt brunnsradie (Krešić, 2007 s. 644-648). Metoden utgår från brunnsekvationen framtagna av Thiem-Dupuit, Formel 8, och att pumpningshastigheten från en brunn enbart beror på infiltrationen ( $W$ ) och influensradien ( $R$ ) (s. 647) som syns i Formel 9. Det kan sedan förenklas till Formel 10 (s. 647).  $R$  ersätts därefter i Formel 8 av uttrycket i Formel 9 och bildar efter viss härledning sedan Formel 11. Formel 11 löses sedan numeriskt när man söker det värde på  $Q$  där högerledet i ekvationen motsvarar det i vänsterledet. Det funna värdet på  $Q$  appliceras slutligen i Formel 10 där brunns influensradie kan bestämmas (s. 648).

FORMEL 8 (Krešić, 2007 s. 644)

$$h_0^2 - h_w^2 = \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{R}{r_w}$$

FORMEL 9 (Krešić, 2007 s. 647)

$$Q = \frac{R^2}{\pi W}$$

FORMEL 10 – Krešić lösning (Krešić, 2007 s. 647)

$$R = \sqrt{\frac{Q}{\pi W}}$$

FORMEL 11 (Krešić, 2007 s. 648)

$$h_0^2 - h_w^2 = \frac{Q}{\pi K} \cdot \left( \ln \frac{\sqrt{\frac{Q}{2We}}}{r_w} \right)$$

### 3.4 REDOVISNING AV BERÄKNINGAR

I följande avsnitt redovisas resultatet från ekvationer presenterade i 3.3.1 Formler. Resultaterande influensradier presenteras först i två tabeller där resultatet delats in efter säsongsvärde av grundvattennivån. Respektive ekvation har applicerats för varje brunn minimala, valda medeltal samt maximala hydrauliska konduktivitet. Spannet i influensradie för respektive ekvation och brunn visas därefter i två grafer.

#### 3.4.1 SÄSONGSVARIATIONER

Tabell 4 visar variationerna av beräknad influensradie för respektive ekvation för vårperioden. Resultatet presenteras indelat brunn för brunn samt för de olika valda värden för hydraulisk konduktivitet. Generellt går att utläsa att för de brunnar grävda i svallat grus (*s.g*) blir influensradien avsevärt större än för de brunnar grävda i postglacial sand (*p.s*). För ekvation 1, Sichardt, blir influensradien likadan för brunnar grävda i samma sedimenttyp. Brunn 1 – 3 respektive 4 – 6 följer detta mönster med samma resultat för samma använt värde av hydraulisk konduktivitet, oavsett djupet av akviferen. Sichardt uppvisar också konsekvent lägre värden för motsvarande hydraulisk konduktivitet jämfört med övriga ekvationer. Ekvationens lägsta influensradie är 0,1 meter och finns i brunn 1 – 3, emedan det högsta går att finna i brunn 4 – 6 på 300 meter.

Kusakin och Weber är båda transienta, alltså tidsberoende, ekvationer och influensradien har därför beräknats för en simulerad pumpning på tre timmar respektive 90 dagar för att se hur radien varierar med åtgången tid. De beräknade influensradierna för Kusakin och Weber följer liknande mönster, men Webervärdena är som väntat något större eftersom den ekvationen har ett större konstantvärde än Kusakin. Lägsta värde för Kusakin uppmäts i brunn 2 och 3 på 0,2 meter, högsta är 826 meter för brunn 4. Webers högsta värde förekommer också i brunn 4 på 1065 meter, och ett lägsta värde på 0,2 i brunn 3. För ekvation 4, Krešić, uppnås de största influensradierna av samtliga ekvationer. Det förefaller som att ekvationer vid låga eller höga värden på hydraulisk konduktivitet leder till att ett minimivärde på 31 uppnås i brunn 1 – 3 och ett maximivärde på 1376 i brunn 4 – 6.

TABELL 4 visar den beräknade influensradien ( $R$ ) i meter för vårperioden med hjälp av de funna ekvationerna. I kolumnen för ID Brunn finns utöver ID också jorddjup i meter och sedimenttyp angivet inom parentes. Postglacial sand är förkortat till p.s och svallgrus till s.g. Resultaten visar minimi-, medel- och maximivärden av influensradien i meter. Eftersom Kusakin och Weber är tidsberoende formler presenteras influensradier för en pumpningsperiod av 3 timmar samt 90 dagar i separata kolumner.

Vår ID Brunn		Sichardt (m)	Kusakin t = 3 timmar (m)	Kusakin t = 90 dagar (m)	Weber t = 3 timmar (m)	Weber t = 90 dagar (m)	Krešić (m)
1 (4 p.s)	Min.	0,1	0,3	7,0	0,3	9,0	31
	Medel	0,9	2,6	70	3,4	90	31
	Max.	9,5	26	701	34	904	127
2 (3 p.s)	Min.	0,1	0,2	5,9	0,3	7,6	31
	Medel	0,9	2,2	59	2,8	76	31
	Max.	9,5	22	459	28	763	111
3 (2 p.s)	Min.	0,1	0,2	4,6	0,2	5,9	31
	Medel	0,9	1,7	46	2,2	59	31
	Max.	9,5	17	459	22	592	87
4 (4 s.g)	Min.	9,5	26	701	34	904	127
	Medel	95	261	7009	337	9 038	1070
	Max.	300	826	22 164	1065	28 580	1376
5 (3 s.g)	Min.	9,5	22	592	28	764	111
	Medel	95	221	5 924	337	7 638	1070
	Max.	300	698	18 732	900	24 155	1376
6 (2 s.g)	Min.	9,5	17	459	22	592	87
	Medel	95	171	4 588	221	5 917	714
	Max.	300	541	14 510	697	18 710	1376

Tabell 5 visar variationerna av beräknad influensradie för respektive ekvation för sommarperioden. Resultatet presenteras indelat brunn för brunn samt för de olika valda värden för hydraulisk konduktivitet. Värden resulterande från ekvation 1 förblir desamma för sommarperioden som vårperioden. För Kusakin och Weber är influensradierna allmänt lägre under sommaren än våren, med ett minsta respektive största värde på 0,1 meter i brunn 3 och 698 meter i brunn 4 för Kusakin. Den största influensradien för Weber är 900 meter för brunn 4, den lägsta 0,1 för brunn 1. Samma trend om lägre influensradier under sommaren gäller för Krešić. Det lägsta respektive högsta värdet förblir dock oförändrat under sommaren: 31 för brunn 1 – 3 respektive 1376 meter för brunn 4 – 6 vilket kommer behandlas i diskussionen.

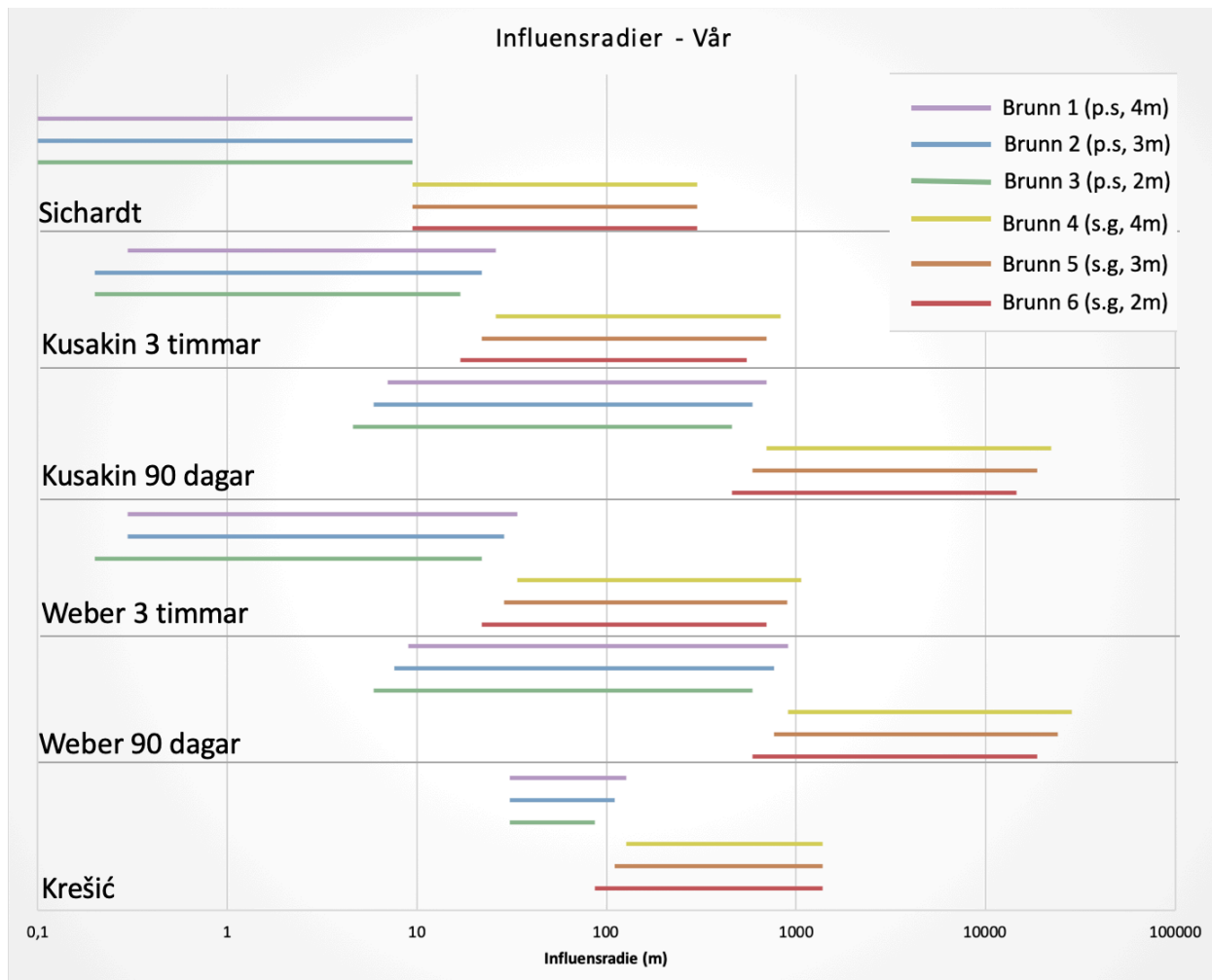
TABELL 5 visar den beräknade influensradien (R) i meter för sommarperioden med hjälp av de funna ekvationerna. I kolumnen för ID Brunn finns utöver ID också jorddjup i meter och sedimenttyp angivet inom parentes. Postglacial sand är förkortat till p.s och svallgrus till s.g. Resultaten visar minimi-, medel- och maximivärden i meter. Eftersom Kusakin och Weber är tidsberoende formler presenteras influensradier för en pumpningsperiod av 3 timmar samt 90 dagar i separata kolumner.

Sommar ID Brunn		Sichardt (m)	Kusakin t = 3 timmar (m)	Kusakin t = 90 dagar (m)	Weber t = 3 timmar (m)	Weber t = 90 dagar (m)	Krešić (m)
1 (4 p.s)	Min.	0,1	0,2	5,9	0,3	7,6	31
	Medel	0,9	2,2	59	2,8	76	31
	Max.	9,5	22	592	28	764	111
2 (3 p.s)	Min.	0,1	0,2	4,6	0,2	5,9	31
	Medel	0,9	1,7	46	2,2	59	31
	Max.	9,5	17	459	22	592	87
3 (2 p.s)	Min.	0,1	0,1	2,6	0,1	3,4	31
	Medel	0,9	1,0	27	1,3	34	31
	Max.	9,5	10	265	13	342	53
4 (4 s.g)	Min.	9,5	22	592	28	764	127
	Medel	95	221	5 924	285	7 638	1070
	Max.	300	698	18 732	900	24 155	1376
5 (3 s.g)	Min.	9,5	17	459	22	592	111
	Medel	95	171	4 588	221	5 917	912
	Max.	300	541	14 510	697	18 710	1376
6 (2 s.g)	Min.	9,5	10	265	13	342	87
	Medel	95	99	2 649	127	3 416	714
	Max.	300	312	8 377	403	10 802	1212

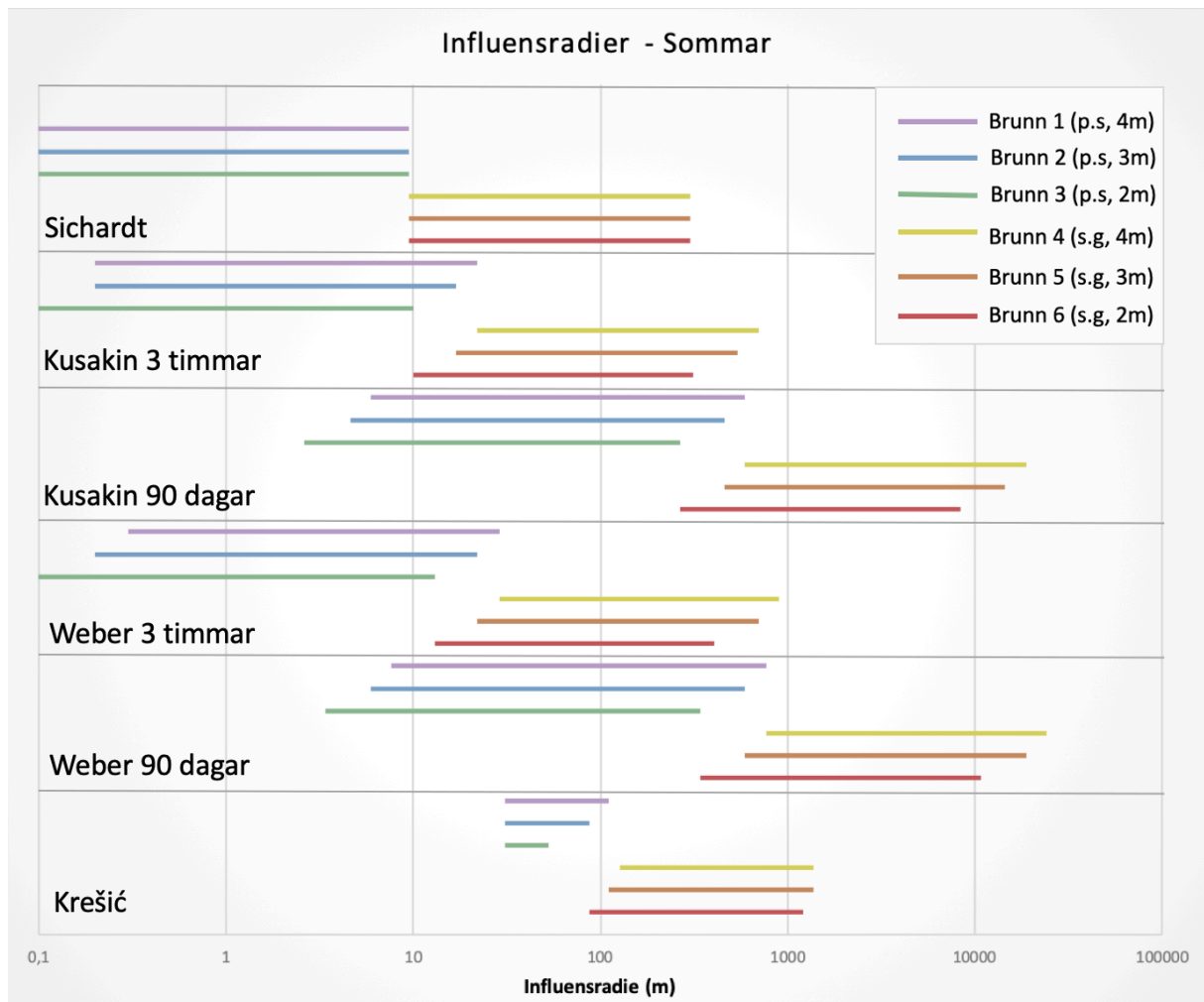
### 3.4.2 BRUNNSVARIATION AV INFLUENSRADIER

Variationer mellan vår och sommar för varje ekvation visade i Tabell 4 och 5 redovisas nedan i Figur 7 och Figur 8. Figur 7 visar influensradierna för respektive ekvation och brunn under vårförhållanden, där den opåverkade grundvattenytan antas finnas en halv meter under markytan. I Figur 8 visas istället sommarförhållanden, då den opåverkade grundvattenytan antas ligga en och en halv meter under markytan. För att lättare visualisera skillnaden i spann hos respektive ekvation influensradier för varje brunn med olika hydrauliska konduktivitet och jorddjup, visas de i samma diagram för de två olika säsongerna vår och sommar. Brunn 1 – 3 respektive brunn 4 – 6 uppvisar en tydlig likhet i de trender som visas i graferna vad gäller magnituden av beräknade influensradier och förhållanden mellan de olika ekvationerna. Jämförs brunn 1 – 3 med 4 – 6, är det tydligt att de brunnar grävda i svallat grus inte bara uppnår högre värden av influensradier, utan sträcker sig över större spann än de grävda i sand. Överlappet mellan Krešić och resterande ekvationer är också större i brunn 4 – 6 än i brunn 1 – 3. Influensradien ökar också med jorddjup för respektive

De tidsberoende ekvationerna Kusakin och Weber får ökad influensradie ju längre pumpningen pågår. Valda tider är 3 timmar och 90 dagar. Influensradierna är baserade på opåverkade grundvattennivåer för våren respektive sommaren och hur den varierar beroende på hur länge pumpningen pågår. Tydligt är att influensradierna växer med tiden då de efter 90 dagars pumpning är väsentligt större än efter 3 timmar. Influensradierna är också markant större i brunn 4 – 6 där brunnarna är grävda i grus än brunn 1 – 3 med brunnar grävda i sand. För respektive sediment är influensradierna som störst i de brunnar med störst saturerad tjocklek. Störst influensradie uppvisas för Webers ekvation i brunn 4, på 28 580 meter efter en pumpningstid på 90 dagar. Likt ovanliggande avsnitt resulterar Webers ekvation i större influensradier än Kusakins för motsvarande förhållanden.



FIGUR 7 visar de beräknade influensradierna för respektive ekvation och brunn under vårförhållanden. Legenden visar att brunn 1 till 3 är placerade i postglacial sand (märkt p.s) med ett antaget spann i hydraulisk konduktivitet på  $10^{-7} - 10^{-3}$  m/s, emedan brunn 4 till 6 är placerade i svallat grus (märkt s.g) med hydraulisk konduktivitetsspann på  $10^0 - 10^{-3}$  m/s. I legenden ses också att jorddjupet för brunn 1 och 4 är 4 meter, 3 meter för brunn 2 och 5, och 2 meter för brunn 3 och 6. Den antagna opåverkade grundvattennivån är en halv meter under markytan. Notera att skalan är logaritmisk.



FIGUR 8 visar de beräknade influensradierna för respektive ekvation och brunn under sommarförhållanden. Legenden visar att brunn 1 till 3 är placerade i postglacial sand (märkt p.s) med ett antaget spann i hydraulisk konduktivitet på  $10^{-7} - 10^{-3}$  m/s, emedan brunn 4 till 6 är placerade i svallat grus (s.g) med hydraulisk konduktivitetsspann på  $10^0 - 10^{-3}$  m/s. I legenden visas också att jorddjupet för brunn 1 och 4 är 4 meter, 3 meter för brunn 2 och 5, och 2 meter för brunn 3 och 6. Den antagna opåverkade grundvattennivån är en och en halv meter under markytan. Notera att skalan är logaritmisk.



## 4 DISKUSSION

### 4.1 LITTERATUR

Avsaknaden av litteratur som behandlar bestämmandet av brunnars influensradie tydliggjorde att detta är ett forskningsfält som behöver utvecklas. På undersökta kommunala och statliga instansers hemsidor, i Sverige och internationellt, fanns ingen information om hur en brunnslagerings lämplighet avgörs eller liknande. Det tyder på att det faktiskt inte finns direktiv om tillvägagångssätt, vilket också framgick i intervjun med Karin Alexandersson. I anslutning till att detta kandidatarbete färdigställdes, publicerade SGU en ny handledning kallad *Metod för kartläggning och påverkansbedömning av grundvatten* (SGU, 2019). Den har inte tagits i beaktning för detta arbete, men beskrivs kortfattat här. Handledningen är utvecklad för handläggare i grundvattenfrågor och beskriver det tillvägagångssätt som behövs när frågorna hanteras. Handläggningsprocessen ska delas in i tre stadier som är successivt mer djupgående och beroende på det problem som ska utredas beslutas om vilka stadier som är nödvändiga i processen. Stadierna är *inledande kartläggning*, *fördjupad kartläggning* och *hydrogeologiska undersökningar* och i varje stadie presenteras vilka former av frågor som ska besvaras. Anvisningarna förefaller beskriva vilka frågor som ska besvaras i respektive stadie, men verkar inte presentera specifika metoder för att svara på specifika frågor. Efter en initial genomläsning av handledningen har ingen ekvation för att beräkna grävda brunnars influensradie hittats, utan frågan om bestämning av influensradie verkar falla in under det sista undersökningsstadiet *hydrogeologiska undersökningar*. Där presenteras olika former av hydrogeologiska undersökningar som skulle ge en tydligare bild av grundvattenmagasinets egenskaper utan att gå närmare in på vilka parametrar som skulle kunna bestämmas.

I den funna litteraturen fanns ingen ekvation för att beräkna influensradien runt en pumpad brunn som inte krävde att någon form av fältparametrar var kända, så som grundvattennivåer, avsänkning i brunnen eller i synnerhet hydraulisk konduktivitet. Samtliga formler efterfrågade den hydrauliska konduktiviteten, vilket endast kan bestämmas utifrån någon form av prövning i fält eller laboratorier. När dessa fältparametrar inte finns tillgängliga utan måste uppskattas, vilket är fallet när enbart lättillgänglig data ska användas, blir funna ekvationer ineffektiva för att bestämma en brunnars influensradie. Ekvationer diskuteras vidare i 4.3.2 Valda ekvationer.

### 4.2 INTERVJU

Från intervjun med Karin Alexandersson framgår det klart att nuvarande lagstiftning inte fungerar som tillräckligt tydlig vägledning i grundvattenfrågor i känsliga miljöer för kommuner. Detta beskrivs även i masteruppsater skrivna av Jillerö (2018) och Geuze (2018), som båda tar upp behovet av tydligare direktiv och vägledning i kommunal handläggning. Vattenfrågan på Kosteröarna har blivit känslig och handläggarna behöver därför direktiv över hur uppkomna frågor ska hanteras. Det behövs en metod som tillhandahåller ett tillvägagångssätt för handläggningsprocessen som är baserad på en hydrogeologisk grund för att minimera den osäkerhet som handläggare upplever. Även om handläggarna kan ha viss erfarenhet inom

geologi- eller vattenfrågor är de sällan hydrogeologer. Det tydliggörs bland annat när det i intervjun nämns att borrhade brunnar inte bör ha en påverkan på grävda brunnar och vice versa, vilket inte nödvändigtvis är fallet. Sundqvist m.fl. (2009) visar att akviferer i sediment och berggrund kan vara sammanlänkade och vatten kan flöda däremellan. Att ge tillstånd till en borrhad brunn som ligger nära en grävd är därmed förenat med risker då det finns en chans att akvifererna inte är helt separerade från varandra. Sådana fall behöver undersökas ordentligt innan ett tillstånd utfärdas.

Den nya metod som presenteras i 3.1.6 Exempelbeslut samt Bilaga 1 har både för- och nackdelar. Ur ett praktiskt perspektiv, där syftet är att komma underfund med huruvida en nyetablerad brunn påverkar närliggande redan befintliga brunnar om en 150 meters radie, kan det vara rimligt att utfärda ett tillfälligt tillstånd för pumpning där påverkan, alltså en markant sänkning i brunnens vattennivå, undersöks direkt i grannbrunnarna. Ur ett hydrogeologiskt perspektiv kan vissa brister i metoden dock hittas. Bland annat är det långa intervallet i kontroll av närliggande brunnars vattennivåer och salthalt en faktor som skulle kunna orsaka problem. Eftersom pumpning sällan sker kontinuerligt i privatbrunnar, kommer också influensradien att fluktuera, vilket skulle kunna innebära att påverkan missas om kontrolleringstidpunkten inte infaller vid den tid där påverkan är som störst. En kontinuerlig mätning, som den i den pumpande brunnen, hade varit att föredra så att ändringar i vattennivå loggas löpande. Provpumpningen ska enligt beslutet avslutas så fort eventuell påverkan i grundvattennivå eller salthalt upptäcks, men i fallet med saltvatteninträning finns det en risk att pumpningen kan ha närmast oåterkalleliga effekter. Om den ökade salthalten inte upptäcks i tid och pumpningen fortgår kan akviferens lämplighet för dricksvattenutvinning fördärvas för den överskådliga framtiden (Barthel m.fl., 2016).

Ytterligare en faktor att ha i åtanke är längden av den period som det tillfälliga tillståndet har utfärdats för. Även fast den stipulerade pumpningsperioden på tre veckor ska ske under sommarhalvåret då påverkan blir mest märkbar, är det av vikt att notera att den sker under relativt kort tid. Skulle provpumpningsperioden präglas av låga temperaturer och mycket nederbörd, hade den resulterande influensradien varit annorlunda än om perioden inföll mitt under en torrperiod. Eventuell påverkan på närliggande brunnar skulle även kunna ske smygande, där en gradvis påverkan inte noteras inom den angivna pumpningsperioden, utan kanske efter några månader eller år. Ett utfärdande av tillstånd för vidare grundvattenutvinning baserat på den angivna pumpningsperioden på tre veckor skulle kunna vara förhastat.

Ur ett kostnadsperspektiv för den enskilde, kan den framtagna metoden också uppfattas som problematisk. Detta då själva brunnsborrningen och provpumpningen omfattar höga kostnader utan att ett permanent tillstånd är kan garanteras i slutändan. Det medför risken att brunnens placering kan komma att dömas som olämplig och därmed behöva tätas. Som fastighetsägaren skulle en sådan situation sannolikt inte uppskattas. En metod som inte beror på att brunnen borrhävs (eller grävs) och pumpas hade varit att föredra för att undkomma dessa

problem. Ett exempel på det hade varit en mer avancerad hydrogeologisk modell som framtagits utifrån fältdata.

### 4.3 INFLUENSRADIER

Följande avsnitt behandlar de parametrar som valts och deras påverkan på resultatet för respektive metod. Generellt kan sägas att ingen av de metoder som hittats gav tillräckligt noggranna eller tillförlitliga resultat utifrån de data som fanns tillgängliga i jordarts- och jorddjupskartor. Det beror främst på den stora variansen av hydraulisk konduktivitet som uppkommer när  $K$  inte bestämts för lokalen utan uppskattats utifrån litteraturvärden. De resulterande spannen i influensradie blir inte användbara i bedömningsprocessen som ensam metod på grund av den medförande osäkerheten. Dock skulle de eventuellt kunna användas som ett första steg i bedömningsprocessen om brunnplaceringens lämplighet. Om spannet var lägre än avståndet till närmaste redan etablerade brunn, skulle processen kunna fortgå i vidare steg, så som provpumpningar. Om avståndet till närmaste brunn befann sig inom spannet, eller närmre, skulle ansökan kunna avslås direkt enligt försiktighetsprincipen. De ekvationer som hittats i detta arbete skulle också behöva utvärderas i fält för att avgöra vilken som bäst skildrar situationen på Koster.

#### 4.3.1 ANTAGANDEN OCH VALDA PARAMETRAR

Under arbetets gång har vissa antaganden och förenklingar gjorts. Bland annat gjordes antagandet att de modellerade brunnarna placerades i akviferer med oändlig utsträckning och konstant tjocklek, antaganden som samtliga funna metoder i resultatet förutsätter. I själva verket är dessa förmodanden inte sanningsenliga, vilket bland annat ses i brunn 6 i Figur 6. Området brunn 6 är placerad i en smal ränna mellan berggrund i dagen som inte är bredare än 0,5 kilometer. Det innebär att influensradien runt brunnen inte kommer vara jämn då berggrunden agerar som en barriär. Influensradien kommer sannolikt att breda ut sig i led med rännan förbi de beräknade värdena, emedan den kan komma att bli kortare vinkelrätt från rännan. Om akviferens tjocklek inte är konstant kommer influensradien också att variera.

Frågan om hur jordartens egenskaper påverkar den resulterande influensradien är också relevant. Två parametrar som faller in under detta paragraf är den hydrauliska konduktiviteten och den effektiva porositeten. Utöver det som diskuterats ovan gällande den hydrauliska konduktiviteten, påverkas den liksom den effektiva porositeten av jordartens kornstorleksfördelning. Jordarterna som de modellerade brunnarna har placerats i har antagits vara homogena för enkelhets skull, men det är inte alltid fallet på Kosteröarna. Mycket av sedimenten lär vara väl sorterade eftersom de svallats, men på Sydkoster förekommer tunna slitlager i den postglaciala sanden (Nilsson m.fl., 2013) som skulle påverka jordartens permeabilitet. Det blir sannolikt att till exempel brunn 6, belägen i ett av dessa områden, inte skulle vara placerad i isotropa flödesförhållanden. Den hydrauliska konduktiviteten påverkas därav, och likaså den effektiva porositeten. Det blir således allt viktigare att de lokala flödesförhållandena undersöks grundligt före modellering påbörjas då risken att de antaganden som görs leder till helt andra influensradier än de faktiska resultaten.

De beräknade influensradier som presenteras i resultatet visar den stora variansen som uppkommer när den hydrauliska konduktiviteten är okänd och bara antas utifrån litteraturvärden. Skulle den hydrauliska konduktiviteten kunna bestämmas närmre i fält eller i laboratorium hade den resulterande influensradien kunna preciseras ytterligare och vara mer tillförlitligt eftersom spannet skulle minska. För den effektiva porositeten användes emellertid bara ett värde, detta eftersom den antogs inte ha lika stor effekt på resultatet i de formler som den applicerades i.

Att presentera hur influensradien varierar till följd av säsongvariationer var också av intresse eftersom avsänkningstrattens form beror på jordlagrets transmissivitet (som syns i Figur 3) som i sin tur beror på den saturerade tjockleken och hydrauliska konduktiviteten. Under sommaren, när grundvattennivån sjunker minskar också transmissiviteten, vilket innebär en avsänkningstratt som är djupare och smalare, jämfört med vårens grundare och bredare tratt. Det syns tydligt i resultatet, där sommarvärden för respektive metod är nästan genomgående lägre än vårvärden. Undantaget är Krešić, vilket kommer diskuteras nedan. De värden som antagits i detta arbete, med en grundvattennivå på en halv meter under markytan för våren och en och en halv meter för sommaren, är rent teoretiska och på grund av den varians som uppkommer beroende på rådande grundvattennivå är det nödvändigt att den är känd när modelleringen utförs.

#### 4.3.2 VALDA EKVATIONER

Följande avsnitt ämnar diskutera de olika metoder som valts ut för att jämföras i detta arbete. Samtliga metoder omfattade vissa brister som mer eller mindre påverkar deras tillförlitlighet. Före varje metod behandlas var för sig, kan nämnas att litteraturen som presenterar respektive metod ofta är bristfällig. Flertalet artiklar och böcker (bland annat Bear, 2007; Fileccia, 2015; Cashman & Preene, 2001) hänvisar antingen till källor för Sichardt, Kusakin och Weber som inte verkar finnas tillgängliga på annat språk än sitt originalspråk eller utan källhänvisningar alls. Exempel på ofta citerade arbeten med otydlig källa är för Kusakins metod är Aravin och Numerov från 1953 som författare till detta kandidatarbete inte har lyckats hitta på annat språk än ryska. Frågan är om de författare som refererat till Aravin och Numerov har läst texten på originalspråket, om de har en översatt version eller om de bara har refererat till dem eftersom det är en allmänt vedertagen källa som används i annan litteratur. Hur metoderna är framtagna, vilka antaganden som förutsatts och härledningarna av ekvationerna presenteras inte, vilket blir ett problem när deras lämplighet ska avgöras och originalkällan inte kan lokaliseras.

Sichardts ekvation beror enbart på avsänkningen i brunnen och den hydrauliska konduktiviteten vid det tillfälle där avsänkningstratten stabiliserats. Då avsänkningen sattes till 0,10 meter i samtliga brunnar blev resulterande influensradier likadana för de brunnar vars hydrauliska konduktivitet valdes vara samma, oavsett djup för akviferen. Det innebär att de beräknade influensradierna inte förändrades mellan säsongerna eftersom den saturerade tjockleken inte ingick i formeln, vilket rimligen borde ske på grund av avsänkningstrattens

ändrade form vid lägre transmissivitet. Avsänkningen i brunnen vid pumpning kan endast fastställas genom en faktisk mätning av brunnens vattennivå. Ekvationen förutsätter således att en pumpning utförts eller noggrant modellerats i tillförlitlig modell och att den hydrauliska konduktiviteten är känd. Den skulle emellertid kunna utföras utan närvaron av observationsbrunnar, vilket är av intresse då inga sådana finns att tillgå på Koster och det skulle innebära högre kostnader att etablera nya. Det hade vidare varit av intresse att hitta originaltexten där Sichardts ekvation härleddes för att se vilka situationer den varit ämnad för att tillämpas i och därmed bedöma dess lämplighet. Influensradierna i resultatet för de fall där hög hydraulisk konduktivitet användes var som väntat högre än för de där hydraulisk konduktivitet var låg. Högst influensradie uppnåddes i brunn 4 – 6, placerade i svallgrus, där radien beräknades till 300 meter. Maximumvärdet i de brunnar placerade i postglacial sand (brunn 1 – 3) var 9,5 meter, ett värde som skulle kunna vara tillämpligt i bedömningsprocessen. Detta då om den nya brunnen ligger 30 meter bort från närmaste grannbrunn, skulle Sichardts värde mena att brunnens placering är acceptabel. Ekvationen skulle dock behöva utvärderas i fält först för att avgöra dess tillförlitlighet.

Kusakin och Weber är båda transienta ekvationer, vilket innebär att spannet blir ofantligt stort beroende på vilka pumpningstider som anges i ekvationen. Pumpningstiden 90 dagar ledde till influensradier på 28 580 meter i brunn 4, vilket uppenbarligen är orimligt eftersom påverkansområdet skulle bli över 2 500 kvadratkilometer och Sydkoster bara är 8 kvadratkilometer stort. Metoderna förutsätter förstås oändlig utsträckning av akviferer, men så stora radier är inte rimliga. Transienta ekvationer för att bestämma brunnars influensradier är bara applicerbara så länge avsänkningstratten ökar i storlek. Eftersom avsänkningstratten vanligtvis stabiliseras vid en viss tidpunkt efter påbörjad pumpning, är de transienta ekvationerna inte applicerbara efter den tiden. Den tidpunkt där avsänkningstratten stabiliserats kan enbart fastställas genom observationer av grundvattennivån i observationsbrunnar eller med hjälp av omfattande modellering. Provområdets hydrauliska konduktivitet och effektiva porositet måste vara kända, likaså den opåverkade grundvattennivån. Både Kusakin och Weber tar dock grundvattennivån i akviferen i beaktning, vilket Sichardt inte gör. Som visas i Figur 3, påverkas influensradiens utbredning av akviferens transmissivitet, alltså hydrauliska konduktivitet och vattensaturerad tjocklek. Ju lägre  $h_0$ , desto mindre influensradie. Att detta ingår i både Kusakins och Webers ekvationer borde utgöra en fördel till deras tillförlitlighet över Sichardts, men det behöver fastställas i fält på Koster för att riktigt kunna avgöra vilken som passar bäst.

Krešićs ekvation resulterade i allmänt högre influensradier än resterande ekvationer (bortsett från de transienta metoderna vid 90-dagars intervallet). Resultatet visade att ekvationen hade en miniminivå på 31 meter och maximinivå på 1376, som verkar ha varierat beroende på hydraulisk konduktivitet och jorddjupet. Förklaringen till att så var fallet ligger i naturen av Formel 11, som med sina naturliga logaritmer leder till att formeln inte är tillämplig för höga alternativt låga hydrauliska konduktiviteter. Infiltrationens påverkan för metoden är också tydlig. Är den okänd, vilket den ofta är, kan stora skillnader uppstå beroende på vilket värde

som används. Om infiltrationen och övriga parametrar i formeln är kända, å andra sidan, kan den visa sig vara mer effektiv än resterande tre metoder. Det skulle bara kunna avgöras med hjälp av omfattande hydrogeologiska undersökningar och jämförelser.

## 5 SLUTSATS

Detta arbete har inte funnit någon metod som fyller kriterierna från i frågeställningen: vilka metoder som kan beräkna en grävd brunns influensradie inom ett rimligt spann utifrån lättillgänglig data så som jordarts- och jorddjupskartor. Samtliga metoder förutsätter att den hydrauliska konduktiviteten är känd, vilken enbart kan beräknas efter någon form av provtagning eller provpumpning. Litteraturvärden för hydraulisk konduktivitet för olika jordarter är inte tillräckligt specifika för att kunna ge ett praktiskt användbart resultat. Någon form av hydraulisk undersökning i fält är därmed oundviklig för att kunna bestämma en grävd brunns influensradie. Dock skulle metoderna eventuellt kunna användas som ett första steg i bedömningsprocessen om de resulterande spannet agerar som en avgränsande faktor. Grannbrunnar vars avstånd är kortare än, eller inom, spannet skulle enligt försiktighetsprincipen få avslag direkt, men brunnar placerade utanför det möjliga influensradespannet skulle kunna gå vidare i ansökningsprocessen för vidare undersökningar. Vilken av de fyra metoderna som bäst lämpar sig för förhållande på Kosteröarna skulle behöva fastställas med hjälp av fältarbete. Detta kandidatarbete har också funnit att det faktiskt saknas tillräckliga direktiv för handläggare i bedömningar om brunnsplaceringars lämplighet för att minimera risk för påverkan på befintliga anläggningar.

## 6 TACK

Jag skulle vilja börja med att säga ett stort tack till professor Roland Barthel som har varit min handledare under arbetets gång. Tack också till doktor Markus Giese, som hjälpt mig på vägen med förklaringar och val av lämpliga parametrar. Till Michelle Nygren, tack för att på kort varsel hoppat in och korrekturläst mitt arbete.

Ett stort tack riktas även till Karin Alexandersson vid Miljö- och byggförvaltningen, Strömstad Kommun, som ställde upp på att intervjuas och därmed vidare hjälpte belysa problematiken kring vattenfrågan på Kosteröarna.

Tack till Ida Kling Jonasson, Robert Müller och Axel Barkestedt, mastersstudenter på Geovetarcentrum som tagit sig tid att förklara och diskutera den hydrogeologiska situationen på Koster. Axel ska även ha tack för hans hjälp att förklara Krešićs metod och utlåandet av Excel-filen som möjliggjorde beräkningarna.

Tack Anders Eriksson, Beatrice Nyberg och Gabriela Carvalho Nejstgaard för att ni hjälpt mig korrekturläsa arbetet och kommit med nyttig och bra feedback. Till Camp Ljuskåden, tack för samarbete, stöttning och gemenskap.



## 7 REFERENSER

Aravin V., Numerov S.N. (1953). Theory of motion of liquids and gases in undeformable porous media, Gostekhizdat, Moscow.

Andersson, H. & Engdahl, H. (2017). *Evaluation of the potential of artificial groundwater recharge on a small island in west Sweden – a pilot study*. (Kandidatuppsats). Göteborg: Institutionen för geovetenskap, Göteborgs Universitet.

Barthel, R., Banzhaf, S., Granberg, M., Pokorny, S., & Merisalu, J. (2016). *Grundvatten på Koster – status och framtida utveckling*. Göteborg: Göteborgs Universitet, Institutionen för Geovetenskaper.

Bear, J. (2007). *Hydraulics of groundwater*. Mineola: Dover Publications.

Bergström, S. (2001). *Sveriges Hydrologi – grundläggande hydrologiska förhållanden*. (4e upplagan). Norrköping: SMHI.

Cashman, P., & Preene, M. (2001). *Groundwater lowering in construction: a practical guide*. London & New York: Spon Press.

Dahlberg, N., & Sundh, M. (2008). *Beskrivning till jordartskartan 10A Svinesund SO & 9A Strömstad NV/NO*. Uppsala: Sveriges geologiska undersökning, SGU.

Fetter, C. (2014). *Applied Hydrogeology* (fourth ed.). Essex: Pearson Education.

Fileccia, A. (2015). *Some simple procedures for the calculation of the influence radius and well head protection areas (theoretical approach and a field case for a water table aquifer in an alluvial plain)*. Italian Journal of groundwater, 7-23. DOI 10.7343/AS-117-15-0144

Freeze, A., & Cherry, J. (1979). *Groundwater*. Englewood Cliffs; Prentice-Hall.

Geuze, I. (2018). *Standardising coastal groundwater resource assessments in Sweden – a feasibility study* (Master's thesis). Göteborg: Institutionen för geovetenskaper, Göteborgs universitet. Hämtad från

[https://studentportal.gu.se/digitalAssets/1703/1703974\\_b1018.pdf](https://studentportal.gu.se/digitalAssets/1703/1703974_b1018.pdf)

IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.


Jillerö, I. (2018). *Enskilda brunnar och dricksvattenförsörjning - En fallstudie med fokus på att generera en överblick av problem, handläggning, reglering och kunskap i en västsvensk kustkommun* (Masteruppsats). Göteborg: Institutionen för geovetenskaper, Göteborgs universitet. Hämtad från

[https://studentportal.gu.se/digitalAssets/1703/1703995\\_b1022.pdf](https://studentportal.gu.se/digitalAssets/1703/1703995_b1022.pdf)

- Kjellström, E., Abrahamsson, R., Boberg, P., Jernbäcker, E., Karlber, M., Morel, J., & Sjöström, Å. (2014). *Klimatologi 9 - Uppdatering av det klimatvetenskapliga kunskapsläget*. Norrköping: SMHI, Energimyndigheten & Naturvårdsverket.
- Knutsson, G. & Morfeldt, C.O. (1993). *Grundvatten – teori och tillämpning*. Stockholm: Svensk Byggtjänst.
- Krešić, N. (2007). *Hydrogeology and groundwater modeling (second ed.)*. Boca Raton: CRC Press.
- Merisalu, J. (2017). *Sustainability of groundwater resources in coastal areas – a case study on the Koster islands, Sweden*. (Master's thesis). Gothenburg: Department of Earth Sciences, University of Gothenburg.
- Nilsson, L., Nordmark, O., Leissner, C., Wallgren, G. (2013). *Masterplan 2*. Vänersborg: SWECO.
- Nyström, F., & Wall, K. (1993). *Grundvattenprospektering på Nordkoster, Strömstads kommun* (Kandidatuppsats). Göteborg; Institutionen för geovetenskap, Chalmers Tekniska Högskola & Göteborgs Universitet.
- Kosteröarna Nord & Syd. (u.å.). *Kosteröarna*. Hämtad 2019-04-29 från <http://kosteroarna.com/koster-info/kosteroarna/>
- Länsstyrelsen, Västra Götalands län. *Skyddsområde och skyddsföreskrifter för Kosters grundvattentäkter i Strömstad kommun*. Vänersborg: Länsstyrelsen.
- Pleijel, C. (2017). *Kosteröarnas vatten- och avloppssystem. Strategi för utbyggnad av vatten och avloppssystem, tillägg till MasterPlan 2013-06-19. Utredning kompletterad med alternativ 3*. Strömstad: Strömstad kommun, Länsstyrelsen och Kosternämnden.
- Sundqvist, U., Graffner, O., Lindblad, T., Borg, C., Wallroth, T., Holmström, P., ... & Håkansson, K. (2009). *Undersökningar av föroreningar i berggrund*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- SMHI. (2018). *Hydrologiska ord och begrepp*. Hämtad 2019-05-06 från: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologiska-begrepp-1.29125?fbclid=IwAR0iPjENCLyCcOpWo3Y6t78d9VIBsDT9nQBKofWRvITGMUp7MMqIFICjims>
- SGU. (2019). *Metod för kartläggning och påverkansbedömning av grundvatten*. Hämtad 2019-05-27 från: <https://www.sgu.se/handledningar/kartlaggning-och-paverkansbedomning-grundvatten/hydrogeologiska-undersokningar/4.3/>

## BILAGOR

## BILAGA 1

 <p>STRÖMSTADS KOMMUN</p>	<p><b>SAMMANTRÄDESPROTOKOLL</b> Miljö- och byggnämnden Sammanträdesdatum 2019-03-21</p>	8 (55)	
Dnr MBN-2018-2531			
<b>MBN § 71</b>	<b>Nord-Koster 1:59 - Ansökan om tillstånd att borra efter vatten</b>		
<b>Miljö- och byggnämndens beslut</b>			
<ol style="list-style-type: none"><li>1. att medge tidsbegränsat tillstånd att inrätta två borrhål grundvattentäkter inom det område som angivits i ansökan.</li><li>2. att tillståndet att ta ut vatten från täkten börjar gälla 2019-05-01 och förfaller 2019-09-30.</li><li>3. att förena tillståndet med följande villkor:<ol style="list-style-type: none"><li>a. En oberoende grundvattenutredning ska utföras av sakkunnig och i grundvattenutredningen ska en provpumpning av grundvattnet på rubricerad fastighet ingå. Grundvattenutredningen ska innehålla följande information:<ol style="list-style-type: none"><li>i. Provpumpning av grundvatten ska ske under minst tre sammanhängande veckor under perioden 1 juni till 30 september, det vill säga de månader när det inte sker någon nybildning av grundvattnet.</li><li>ii. Provpumpning ska ske så att den vattenmängd som tas ut ska vara samma som det förväntade uttaget. Man räknar då att det är 5 personenheter per hushåll och varje person gör åt med ca 140 liter vatten/ dygn.</li><li>iii. Av redovisningen ska framgå om alla fastigheter inom 150 meter är bebodda under provpumpningstiden och om vattentäkten är i bruk.</li><li>iv. Från det att vatten börjar tas ur brunnen till dess att provpumpningen är gjord så ska vattenytan i brunnen, uttagen vattenvolym samt kloridhalt mätas dagligen</li><li>v. Bakgrundsvärde vad gäller salthalt samt nivå i de brunnar som ligger inom en radie på 150 meter från de nya borrhålen ska dokumenteras innan vatten börjar tas ut de nya brunnarna</li><li>vi. Influensområde, vattendelare, topografi, nederbörd, bergets beskaffenhet med sprickighet, stupning, strykning, infiltrationskapacitet samt vattenuttag etc. ska tas hänsyn till i utvärderingen av undersökt brunn lämplighet som konsumtionsvattentäkt för de fastigheter den ska kopplas till.</li><li>vii. Brunnar inom en radie på 150 meter ska följas upp i avseende på nivåskillnad och salthalt, förändringar ska</li></ol></li></ol></li></ol>			
Justerandes signatur	Strömstads kommun Miljö- och byggnämnden 452 80 Strömstad	E-post: mbn@stromstad.se Webb: www.stromstad.se	Tel: 0526-196 90 Fax: 0526-191 10

STRÖMSTADS  
KOMMUN

## SAMMANTRÄDESPROTOKOLL

9 (55)

Miljö- och byggnämnden

Sammanträdesdatum

2019-03-21

dokumenteras minst en gång i veckan, från det att vatten börjar tas ur brunnen tills dess att provtagningsperioden är över.

- viii. Skulle vattenuttag eller provpumpningen visa på avvikelser i omgivande brunnar som kan anses vara betydande så ska vattenuttaget eller provpumpningen omedelbart avbrytas och kontakt ska tas med miljö- och hälsoskyddsavdelningen. Detta tillstånd är då inte längre giltigt.
- b. Grundvattenutredningen och brunnsprotokoll ska vara miljö- och hälsoskyddsavdelningen tillhanda snarast efter att provpumpning har skett, dock senast 2019-11-30.
- c. Visar provpumpningsresultatet på otillräckligt flöde- och kvalitet är detta tillstånd inte längre giltigt och borrhålet måste tätas.
- d. Anläggningens pump ska vara höj- och sänkbar.
- e. Brunnens anläggning ska utföras i enlighet med kriterierna i Normbrunn 16.
- f. Borrning samt hantering av damm, borrhax och spolvatten får inte ske så att olägenhet uppstår för människors hälsa och miljön. Spolvatten från borrningen får inte släppas ut till avloppsanläggning, dagvattenbrunnar, diken eller andra vattendrag.
- g. Det vatten som uppstår vid borrningen ska avslamas med minst en container.
- h. Anläggningen betraktas som godkänd först när brunnsintyg och anmälan om färdigställande skickas in till miljö- och hälsoskyddsavdelningen och brunnsuppgifter insänds till Sveriges Geologiska Undersöknings (SGU) brunnsarkiv.

## Avgift

Prövning av ansökan, 6 timmar 5 580:-

**Summa** 5 580:-

Faktura skickas separat.

Beslutet fattas med stöd av 2 kap. 2, 3 §§, 9 kap. 10 §, 26 kap. 9, 22 §§ och 27 kap 1 § miljöbalken (1998:808), 9 kap. 5 § förordning (1998:940) om avgifter för prövning och tillsyn enligt miljöbalken och av kommunfullmäktige antagen taxa.

**Beslutsmotivering**

Enligt 2 kap. 3 § miljöbalken (1998:808) ska alla som avser en att vidta en åtgärd utföra de skyddsåtgärder, iaktta de begränsningar och vidta de försiktighetsmått i övrigt som behövs för att förebygga, hindra eller motverka att åtgärden medför skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön.

Justerandes signatur

Strömstads kommun  
Miljö- och byggnämnden  
452 80 StrömstadE-post: mbn@stromstad.se  
Webb: www.stromstad.seTel: 0526-196 90  
Fax: 0526-191 10



Dessa försiktighetsmått ska vidtas så fort det finns skäl att anta att en åtgärd kan medföra skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön.

Det har utförts utredningar gällande Kosteröarnas tillgång på vatten. Den senast utförda utredningen *Grundvatten på Koster- status och framtida utveckling, Slutrapport 2016-11-14 av Prof. Roland Barthel et al., Göteborgs universitet* konstaterar att i de mest tätbefolkade områdena på ön är det osannolikt att många fler brunnar kan borraras. Anläggning av grävda brunnar bör ske med stor försiktighet för att undvika infiltration av vatten med dålig kvalitet. Sökanden har uppgett att inom en radie på 100 meter från det område där man ansökt om att få borra två grundvattentäkter ligger sex stycken borrhålen vilka förser omgivande fastigheter med vatten.

Risken för saltvatteninträngning ökar med ökat grundvattenuttag och ökat brunnsdjup. Fler brunnar inom ett begränsat område innebär större uttag och större risk för saltvatteninträngning. Även om uttaget i detta fall inte bedöms öka då den nuvarande brunnen kopplas bort från de fastigheter som är påkopplade till den och istället får en ny vattenförsörjning så ligger brunnarna tätt i området och nya borrhål med uttag av vatten kan komma att riskera kvalitén i omkringliggande brunnar.

Då det är en risk att omkringliggande brunnar påverkas negativt av inrättandet av nya borrhålen i området så bedömer miljö- och byggförvaltningen att en grundvattenundersökning är skälig. Risken för saltvattenpåverkan är relativt stor på Kosteröarna med hänsyn till det geografiska läget. I genomsnitt blir grundvattnet salt 60-80 meter under havsnivån, som medelvärde enligt *Grundvatten på Koster- status och framtida utveckling, Slutrapport 2016-11-14 av Prof. Roland Barthel et al., Göteborgs universitet*. Det är därför viktigt att dokumentera förändringar i vattenkvalitén i förhållande till borrhålsdjup för att kunna vidta relevanta åtgärder eller avbryta borrhållningen.

Enligt skyddsföreskrifter för Kosters grundvattentäkter krävs tillstånd för att borra och nyttja en ny grundvattentäkt inom tertiärt skyddsområde vilket omfattar hela Nord-Koster. Innan permanent tillstånd för borrhållning på fastigheten Nord-Koster 1:59 kan medges bedömer miljö- och byggförvaltningen att en grundvattenundersökning innehållande en provpumpning av borrhålen ska ske. En provpumpning redovisar risken för saltvatteninträngning samt flödet av vatten och påverkan på omkringliggande brunnar, vilket gör att ett tidsbegränsat tillstånd är skäligt att ge. Visar provpumpningsresultatet på otillräckligt flöde och kvalitet måste borrhålet täppas igen. Detta försiktighetsmått skall vidtas så snart det finns skäl att anta att en åtgärd kan medföra skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön.

Med anledning av att den enda vattenförsörjningen i det här området i dagsläget sker med enskilda dricksvattentäkter bedöms det vara rimligt att en oberoende grundvattenutredning utförs för att förhindra olägenhet för människors hälsa. Grundvattenutredningen syftar till att säkerställa att den nya brunnen har tillräckligt flöde och kvalitet på vatten samt att de nya brunnarna inte påverkar omkringliggande brunnar negativt. Det är inte säkert att man träffar på samma

Justerandes signatur

Strömstads kommun  
Miljö- och byggnämnden  
452 80 StrömstadE-post: mbn@stromstad.se  
Webb: www.stromstad.seTel: 0526-196 90  
Fax: 0526-191 10

STRÖMSTADS  
KOMMUN

## SAMMANTRÄDESPROTOKOLL

11 (55)

Miljö- och byggnämnden

Sammanträdesdatum

2019-03-21

vattenåder/spricka som grundvattentäkten på närliggande fastigheter har. Det innebär att även om grannfastigheten har gott om vatten i sin brunn behöver det inte per automatik innebära att det finns gott om vatten på rubricerad fastighet då det kan vara ur andra sprickor i berggrunden uttaget sker. En spricka i berggrunden kan delas med andra fastigheter nedströms och ökar vattenuttaget kan fastigheterna nedströms få mindre vatten och vatten av sämre kvalitet.

En provpumpning ska ske under de månader när det inte sker någon nybildning av grundvatten då vattentillgången är som minst under den perioden. Den perioden är vanligtvis mellan juni och september, beroende på väder. Oftast är det som högst belastning på vattenmagasinet i området då fritidshusen också är bebodda och deras vattenförbrukning är igång.

Enligt 2 kap. 7 § miljöbalken (1998:899) ska de försiktighetsmått vidtas som krävs för att förhindra att människors hälsa eller miljön skadas så länge det inte kan anses orimligt att uppfylla dem. Vid denna bedömning ska särskild hänsyn tas tillnyttan av skyddsåtgärderna och andra försiktighetsmått jämfört med kostnaderna för sådana åtgärder.

Ovanstående villkor bedöms vara skäligen efter övervägning enligt miljöbalkens allmänna hänsynsregler eftersom dricksvatten på en fastighet har ett högt och avgörande värde.

**Sammanfattning av ärendet**

En ansökan om att få borra två nya grundvattentäkter på fastigheten Nord-Koster 1:59 inkom till miljö- och hälsoskyddsavdelningen 2018-12-27, ansökan kompletterades med en karta där placeringen av de ansökta brunnarna var utmärkta den 20 januari 2019. De fastigheter som ska kopplas till brunnen ligger inom detaljplanelagt område. Planen medger sju bostadshus, i dagsläget är fem av dem bebyggda. I detaljplanen så anges att området ska förses med kommunalt vatten och avlopp. I dagsläget så är området endast kopplat till det kommunala reningsverket på Syd-koster, någon kommunal anslutning för vatten finns inte. De fastigheter som ska kopplas till de två brunnarna har idag sin vattenförsörjning från sjöfartsverkets brunn, det finns inget servitut och sjöfartsverket har sagt upp det avtal som tidigare medgett vattenförsörjningen för fastigheterna. Sökanden har nu för avsikt att borra två nya brunnar för att säkra vattenförsörjningen för de fem bebyggda fastigheterna. Miljö- och byggförvaltningen har varit i kontakt med sjöfartsverket för att se om deras avtal kan förlängas så att vattenförsörjningen för fastigheterna kan säkras till dess att en annan vattenkälla finns att tillgå. Sjöfartsverket har varit tydlig i sin kommunikation, att det inte har för avsikt att förlänga avtalet eller har intresse av att avyttra vattentäkten.

Grannhörande skickas ut och svar på dessa inväntas den 5 mars.

Justerandes signatur

Strömstads kommun  
Miljö- och byggnämnden  
452 80 StrömstadE-post: mbn@stromstad.se  
Webb: www.stromstad.seTel: 0526-196 90  
Fax: 0526-191 10

STRÖMSTADS  
KOMMUN

## SAMMANTRÄDESPROTOKOLL

12 (55)

Miljö- och byggnämnden

Sammanträdesdatum

2019-03-21

**Beslutsunderlag**

Ansökan om uttag för grundvatten, ankomststämplad 2018-12-17

Tjänsteskrivelse 2019-02-28

Rapport Koster, Alternativ för vattenförsörjning, 2006-01-31, SWECO

Rapport Kosteröarna, Strategi för utbyggnad av va-system, 2011-07-15, SWECO

Grundvatten på Koster- status och framtida utveckling, Slutrapport 2016-11-14 av

Prof. Roland Bartehel et al., Göteborgs universitet

Koster Grundvatten 20130214, Sweco

Skyddsområde och skyddsföreskrifter för Koster grundvattentäkter

**Miljö- och byggförvaltningens förslag till beslut**

1. att medge tidsbegränsat tillstånd att inrätta två borrade grundvattentäkter inom det område som angivits i ansökan.
2. att tillståndet att ta ut vatten från täkten börjar gälla 2019-05-01 och förfaller 2019-09-30.
3. att förena tillståndet med följande villkor:
  - a. En oberoende grundvattenutredning ska utföras av sakkunnig och i grundvattenutredningen ska en provpumpning av grundvattnet på rubricerad fastighet ingå. Grundvattenutredningen ska innehålla följande information:
    - i. Provpumpning av grundvatten ska ske under minst tre sammanhängande veckor under perioden 1 juni till 30 september, det vill säga de månader när det inte sker någon nybildning av grundvattnet.
    - ii. Provpumpning ska ske så att den vattenmängd som tas ut ska vara samma som det förväntade uttaget. Man räknar då att det är 5 personenheter per hushåll och varje person gör åt med ca 140 liter vatten/ dygn.
    - iii. Av redovisningen ska framgå om alla fastigheter inom 150 meter är bebodda under provpumpningstiden och om vattentäkten är i bruk.
    - iv. Från det att vatten börjar tas ur brunnen till dess att provpumpningen är gjord så ska vattenytan i brunnen, uttagen vattenvolym samt kloridhalt mätas dagligen
    - v. Bakgrundsvärde vad gäller salthalt samt nivå i de brunnar som ligger inom en radie på 150 meter från de nya borrhålen ska dokumenteras innan vatten börjar tas ur de nya brunnarna
    - vi. Influensområde, vattendelare, topografi, nederbörd, bergets beskaffenhet med sprickighet, stupning, strykning, infiltrationskapacitet samt vattenuttag etc. ska tas hänsyn till i utvärderingen av undersökt brunn

Justerandes signatur

Strömstads kommun  
Miljö- och byggnämnden  
452 80 StrömstadE-post: mbn@stromstad.se  
Webb: www.stromstad.seTel: 0526-196 90  
Fax: 0526-191 10

STRÖMSTADS  
KOMMUN

## SAMMANTRÄDESPROTOKOLL

13 (55)

Miljö- och byggnämnden  
Sammanträdesdatum  
2019-03-21

lämplighet som konsumtionsvattentäkt för de fastigheter den ska kopplas till.

- vii. Brunnar inom en radie på 150 meter ska följas upp i avseende på nivåskillnad och salthalt, förändringar ska dokumenteras minst en gång i veckan, från det att vatten börjar tas ur brunnen tills dess att provtagningsperioden är över.
- viii. Skulle vattenuttag eller provpumpningen visa på avvikelser i omgivande brunnar som kan anses vara betydande så ska vattenuttaget eller provpumpningen omedelbart avbrytas och kontakt ska tas med miljö- och hälsoskyddsavdelningen. Detta tillstånd är då inte längre giltigt.
- b. Grundvattenutredningen och brunnsprotokoll ska vara miljö- och hälsoskyddsavdelningen tillhanda snarast efter att provpumpning har skett, dock senast 2019-11-30.
- c. Visar provpumpningsresultatet på otillräckligt flöde- och kvalitet är detta tillstånd inte längre giltigt och borrhålet måste tätas.
- d. Anläggningens pump ska vara höj- och sänkbar.
- e. Brunnens anläggning ska utföras i enlighet med kriterierna i Normbrunn 16.
- f. Borrning samt hantering av damm, borrhax och spolvatten får inte ske så att olägenhet uppstår för människors hälsa och miljön. Spolvatten från borrningen får inte släppas ut till avloppsanläggning, dagvattenbrunnar, diken eller andra vattendrag.
- g. Det vatten som uppstår vid borrningen ska avslamas med minst en container.
- h. Anläggningen betraktas som godkänd först när brunnsintyg och anmälan om färdigställande skickas in till miljö- och hälsoskyddsavdelningen och brunnsuppgifter insänds till Sveriges Geologiska Undersöknings (SGU) brunnsarkiv.

## Avgift

Prövning av ansökan, 6 timmar 5 580:-

**Summa** 5 580:-

Faktura skickas separat.

Beslutet fattas med stöd av 2 kap. 2, 3 §§, 9 kap. 10 §, 26 kap. 9, 22 §§ och 27 kap 1 § miljöbalken (1998:808), 9 kap. 5 § förordning (1998:940) om avgifter för prövning och tillsyn enligt miljöbalken och av kommunfullmäktige antagen taxa.

Justerandes signatur

Strömstads kommun  
Miljö- och byggnämnden  
452 80 StrömstadE-post: mbn@stromstad.se  
Webb: www.stromstad.seTel: 0526-196 90  
Fax: 0526-191 10



STRÖMSTADS  
KOMMUN

## SAMMANTRÄDESPROTOKOLL

14 (55)

Miljö- och byggnämnden  
Sammanträdesdatum  
2019-03-21**Beslutet skickas till**

Reservatet Nordkoster AB/ Göran Lyth, Korsholmsvägen 29 B, 452 04  
Nordkoster(delgivningskvitto)  
Lennart Nordberg Oljekvarnsgatan 14 B lgh, 1404, 414 65 Göteborg  
(delgivningskvitto)  
Gunnel Nordberg, Södra Bergsgatan 6B lgh 1102, 452 30 Strömstad  
(delgivningskvitto)  
Rosita Ebbesson, Timmermansvägen 1,lgh 1103, 452 36 Strömstad  
(delgivningskvitto)  
Akten

**Information om hur beslutet kan överklagas**

Överklagande ställs till Länsstyrelsen i Västra Götalands län men skickas in till  
Miljö- och byggnämnden i Strömstads kommun inom tre veckor från den dag du  
fick ta del av beslutet.

**Upplysningar**

Beslutet har vunnit laga kraft först tre veckor efter det att alla sakägare tagit del  
av ärendet.

Justerandes signatur

Strömstads kommun  
Miljö- och byggnämnden  
452 80 StrömstadE-post: [mbn@stromstad.se](mailto:mbn@stromstad.se)  
Webb: [www.stromstad.se](http://www.stromstad.se)Tel: 0526-196 90  
Fax: 0526-191 10