



UPPSALA  
UNIVERSITET

UPTEC W 22005

Examensarbete 30 hp  
Mars 2022

# Salthaltigt grundvatten i Rådaås grundvattentäkt

En studie av förekomst, ursprung och hur  
brunnsdrift påverkar halten i uttagsvattnet

---

Erica Sigurdsson

# Referat

## **Salthaltigt grundvatten i Rådaås grundvattentäkt - en studie av förekomst, ursprung och hur brunnsdrift påverkar halten i uttagsvattnet**

*Erica Sigurdsson*

Lidköpings kommun i Västra Götalands län tar ut en del av sitt råvatten till dricksvattenproduktion från grundvattenmagasinet Rådaås. Det görs genom tre olika uttagsbrunnar (Brunn 1, Brunn 2 och Brunn 3) som körs en i taget. På senare tid har kommunen börjat misstänka att salthalterna i uttagsvattnet ökar, och det finns ett intresse för att förstå vad problemet beror på och vad som kan göras åt saken.

Syftet med detta arbete är att undersöka förekomst och ursprung hos saltvattnet i magasinet och att undersöka hur brunnsdrift i samband med grundvattennivåer påverkar halten i uttagsvattnet. Eftersom det sedan tidigare finns misstankar om att det rör sig om relik saltvatten utgör det en hypotes för detta arbete. Relikt saltvatten är salt grundvatten som avsatts under en tid då området varit täckt av salt hav, till exempel delar av Sverige under Östersjöns utveckling sedan den senaste istiden.

För att undersöka förekomst av saltvatten i magasinet funktionstestades och provtogs samtliga tillgängliga grundvattenrör för kloridhalt. Resultatet visar att kloridhalten ökar med grundvattenrörens djup och att de högsta salthalterna finns i en djuphåla eller ränna i berggrunden strax under Brunn 1 och 2. För att undersöka ursprunget hos det salta grundvattnet provtogs några av grundvattenrören och samtliga uttagsbrunnar för jodid. Med hjälp av jodid-/kloridkvoten kunde det fastställas att saltvattnet är av relik ursprung.

För att undersöka hur brunnsdrift påverkar salthalten i uttagsvattnet togs start- och slutprover på kloridhalt i början och slutet på varje driftsperiod och brunn under tre månader. Mönstret i kloridhalt jämfördes med grundvattennivåer. Resultatet visar att kloridhalterna i uttagsvattnet ökar under driftsperioden för samtliga brunnar, men återhämtar sig då brunnen är vilande. Generellt är salthalten högst för Brunn 2 och lägst för Brunn 3. Det kan bero på att Brunn 2 ligger sist av de tre brunnarna i grundvattnets strömningsriktning medan Brunn 3 ligger först samt längst bort från rännan i berggrunden.

Resultatet från detta arbete visar också på att grundvattenuttaget ur Rådaåsmagasinet sedan 1990-talet har orsakat en höjning av salthalterna i råvattnet. Rekommendationer som ges till Lidköpings kommun för att minska eller bibehålla nuvarande salthalt är att installera kontinuerlig övervakning av konduktivitet i uttagsbrunnarna och av grundvattennivå i de två rör som ligger brunnarna närmast. Detta för att i realtid kunna följa hur uttagssätt och grundvattennivå påverkar salthalten. En idé är också att strategiskt placera ut en eller flera nya uttagsbrunnar och på så sätt undvika saltansamlingar i djupa jordlager.

**Nyckelord:** salt grundvatten, grundvattenmagasin, grundvattennivåer, klorid, relik saltvatten, salthalt, grundvatten, vattentäkt, brunnsdrift

*Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, UU, Geocentrum,  
Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala, ISSN 1401-5765*

## **Abstract**

### **Saline groundwater in the Rådaås aquifer - a study of occurrence, origin and the effect of pumping well operation on the salinity of the raw water**

*Erica Sigurdsson*

Lidköping municipality in Västra Götaland county, Sweden, extracts some of its raw water for drinking water production from Rådaås aquifer. It is done by using three different pumping wells (Well 1, Well 2 and Well 3) which are run one at a time in a cyclic manner. Recently, the municipality personnel have started to suspect that the salinity of the raw water is increasing. They are therefore interested in understanding the cause of the problem and what could be done to mitigate it.

The purpose of this study is to investigate the occurrence and origin of saline groundwater in the Rådaås aquifer and to determine how operation of the pumping wells along with groundwater levels affect the salinity in the raw water. Since there is already a suspicion of the saline water being relict salt water, that is a hypothesis for this study. Relict salt water is saline groundwater deposited during times when an area was covered by marine water, for example some areas of Sweden during the development of the Baltic Sea since the latest ice age.

To investigate the occurrence of saline groundwater in the aquifer, all available piezometers were tested for functionality and sampled to analyse chloride concentration. The results show that the chloride concentration increases with the depth of the piezometer and that the highest concentrations are found in a depression or furrow in the bedrock just below Well 1 and 2. To investigate the origin of the saline groundwater, some of the piezometers and all pumping wells were tested for iodide. Using the iodide/chloride ratio, it was concluded that the salt water is relict.

To investigate how operation of the pumping wells affect the salinity of the raw water, samples of chloride concentration were extracted in the beginning and in the end of each pumping period and well during three months. The resulting pattern of chloride concentration was compared to groundwater levels. The results show that the chloride concentrations in the raw water increase during the pumping periods for all wells, but recover when the well is resting. In general, Well 2 shows the highest salinity and Well 3 shows the lowest. The reason may be that of the three, Well 2 is located last in the groundwater flow direction, while Well 3 is located first and is also furthest away from the furrow in the bedrock.

The results of this study also show that groundwater withdrawal from Rådaås aquifer since the 1990's has caused an increase of salinity in the raw water. Recommendations given to Lidköping municipality to reduce or maintain the salinity of the raw water are to install continuous surveillance of conductivity in the pumping wells and of groundwater levels in the two most adjacent piezometers. This is to enable live monitoring of how operating the

pumping wells along with groundwater levels affect the salinity. Another idea is to strategically place one or more new pumping wells to insure that they avoid deep layers of soil where salt water is accumulated.

**Keywords:** saline groundwater, aquifer, groundwater levels, chloride, relict salt water, salinity, groundwater, water supply, pumping well

*Department of Earth Sciences, Air, Water and Landscape Science, UU, Geocentrum,  
Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala, ISSN 1401-5765*

## Förord

Detta examensarbete avslutar civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik (300 hp) som ges universitetsöverskridande mellan Uppsala universitet (UU) och Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). Arbetet utgör 30 hp och examineras av Uppsala universitet.

Handledare för detta arbete har varit Amanda Andersson på Lidköpings kommun Teknisk Service Vatten-Avlopp. Ämnesgranskare har varit Fritjof Fagerlund, professor vid institutionen för geovetenskaper (UU).

Jag vill rikta ett stort tack till Amanda Andersson och hennes kollega Johan Stenholm som stöttat mig under hela arbetet, inte minst med provtagningarna, och för att jag fått värdefull insyn i det arbete som ni gör. Tack också till Fritjof vars goda ämneskunskaper har varit till stor nytta för mitt arbete.

Vidare vill jag tacka övriga kollegor på Vatten-Avlopp som tagit sig tid att välkomna mig, och för tillstånd att reproducera några av era figurer och att använda er data som underlag i mitt arbete. Jag tackar också SGU och Johan Anderberg (SGI) för ert tillstånd att reproducera figurer.

Tack till mina vänner och familj som stöttat mig längs vägen till ett färdigt arbete.

Sist men inte minst, tack till min katt Tuffs, som med sitt ständigt vakande öga och osviklig moralisk support sett till att jag rott det här arbetet i hamn.

## Populärvetenskaplig sammanfattning

Grundvattenstatus har på senare tid blivit ett alltmer aktuellt ämne i Sverige, då torra somrar har visat att bristande kvantitet eller kvalitet inte är helt ovanligt. Ett problem som kan inträffa i samband med att grundvatten pumpas ut för att renas till dricksvatten, är att det kan bli saltvatteninträngning i brunnarna. Det innebär att saltvatten förorenar grundvattnet och kan i värsta fall leda till att vattnet blir odrickbart. Detta är inte ovanligt i kustnära områden där det finns ett naturligt gränsskikt i marken mellan sött grundvatten och salt havsvatten.

Problemet kan även uppkomma i inlandet. Orsaken är då ofta relik salt grundvatten. Sådant grundvatten bildades då inlandsområdet låg under salt hav, vilket var fallet för delar av Sverige under skiftande tidsperioder efter den senaste inlandsisens avsmältning. Det salta grundvattnet blev kvar i djupa jordlager även efter att havet drog sig undan eftersom saltvatten har högre densitet än sötvatten. Det innebär att det är tyngre och inte så enkelt tvättas ut av sött grundvatten.

Lidköping är en kommun i Västra Götaland som börjat misstänka att det finns ett problem med just relik saltvatten i grundvattenmagasinet Rådaås, som man tar ut vatten ifrån för att producera dricksvatten. Kommunen misstänker att det kan vara så att salthalterna ökar över tid, och man är därför intresserade av att ta reda på vad problemet beror på och vad man kan göra åt saken. Som det ser ut nu använder kommunen tre olika brunnar; Brunn 1, 2, och 3, för att pumpa upp grundvattnet. Brunnarna körs en åt gången i cirka en veckas tid innan man stänger av och byter till nästa brunn.

Syftet med detta arbete är dels att undersöka var i grundvattenmagasinet salthalterna är högre och var de är lägre. Går det kanske att säga att det finns ansamlingar på vissa specifika platser? I arbetet undersöks också var det salta vattnet kommer ifrån. Stämmer det man misstänker om relik saltvatten i djupa jordlager? Vidare undersöks hur sättet man kör brunnarna eventuellt påverkar salthalten i det vatten man pumpar ut. Ökar salthalten när brunnarna körs? Blir det högre salthalt när man kör en särskild brunn jämfört med en annan? Syftet med arbetet inkluderar också att ge rekommendationer till kommunen om vad som skulle kunna göras i form av direkta åtgärder eller fler undersökningar för att minska problemet.

För att undersöka hur salthalterna varierar i magasinet togs vattenprover ut från grundvattenrör som finns utsatta i området och på vattnet som brunnarna pumpar upp. Grundvattenrör är smala rör, cirka 5 cm i diameter, som drivs ner i jorden till önskat djup och används främst för att mäta grundvattennivå. Längst ner på röret finns en perforerad intagsdel där grundvatten kan strömma in medan resten av röret är tätt. Proverna skickades till ett laboratorium som analyserade dem för bland annat kloridhalt, som är en av beståndsdelarna i vanligt koksalt. Resultatet visar att djupare grundvattenrör medför högre kloridhalt. Det visar också att de allra högsta halterna finns i jordlager inuti en djuphåla eller ränna i den underliggande berggrunden precis under området som Brunn 1 och 2 pumpar upp

grundvatten från. För att undersöka ifall saltvattnet är relikto togs det fler vattenprover på vissa av grundvattenrören, och på brunnarna, som analyserades för jodid. Jodid är en jonform av grundämnet jod. Med hjälp av ett diagram som konstruerats av SGU kunde jodidhalt tillsammans med kloridhalt användas för att avgöra saltvattnets ursprung. Resultatet visar att ursprunget är relikto.

För att undersöka hur sättet man kör brunnarna på påverkar salthalten i vattnet som pumpas ut togs det ut start- och slutprover på vattnet under tre månaders tid. Startprovet togs precis då brunnen sattes igång. Slutprovet togs då brunnen körts under 7-10 dagar, precis innan den stängdes av. Efter att nästa brunn satts igång togs ett startprov på grundvattnet från den. Proceduren fortsatte på samma sätt under hela mätperioden. Resultatet i form av kloridhalterna i vattnet för varje brunn ritades upp i en graf tillsammans med grundvattennivåer i tre olika grundvattenrör. Mönstret i kloridhalt visar att salthalten ökar för samtliga brunnar då de pumpas, men går ner till startnivån igen under tiden brunnen är vilande.

Generellt är salthalten högst för Brunn 2 och lägst för Brunn 3. En anledning till det kan vara att Brunn 2 ligger nedströms både Brunn 1 och 3 i grundvattnets strömningsriktning. Ordningsföljden hos brunnarna i strömningsriktningen är: 3, 1, 2. Det kan innebära att det uppflöde av salt grundvatten som Brunn 3 och 1 orsakar påverkar Brunn 2. Dessutom ligger Brunn 2 ovanför rännan eller djuphålan i berggrunden, där det finns ansamlingar av mycket salt grundvatten. Det gör även Brunn 1, medan Brunn 3 ligger något uppströms rännan och därför bör vara mest opåverkad av saltansamlingarna där.

Resultatet från detta arbete pekar också på att grundvattenuttaget från Rådaåsmagasinet har orsakat en ökning av salthalten hos det vatten som pumpas ut sedan 1990-talet. Rekommendationer som ges till Lidköpings kommun för att minska eller bibehålla den nuvarande salthalten är att installera kontinuerlig övervakning av konduktivitet i brunnarna och av grundvattennivå i de två grundvattenrör som ligger dem närmast. Konduktivitet är ett mått på elektrisk ledningsförmåga som kan påvisa hur mycket salter eller joner som finns i vattnet.

En sådan kontinuerlig övervakning skulle möjliggöra en direkt utvärdering av hur sättet brunnarna körs, tillsammans med grundvattennivå, påverkar salthalten i vattnet som pumpas ut. En annan idé är också att bygga en eller flera nya brunnar på strategiskt valda platser så att saltansamlingar i djupa jordlager undviks.



# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>1. INLEDNING</b>	<b>3</b>
1.1. SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR	3
1.2. HYPOTESER	3
1.3. BAKGRUND	4
1.3.1. Översiktlig områdesbeskrivning	5
1.3.2. Tidigare studier	7
1.3.3. En utförligare geologisk områdesbeskrivning	11
1.3.4. En utförligare hydrologisk områdesbeskrivning	17
1.3.5. Nyttjande av och framtidsplaner för Råda källor	18
1.3.6. Mer om uttagsbrunnarna	19
1.3.7. Mer om grundvattenrören	20
1.3.8. Vägsaltning	20
<b>2. TEORI</b>	<b>21</b>
2.1. SALT SOM FÖRORENING I GRUNDVATTEN	21
2.1.1. Gränsvärden för klorid i dricksvatten	21
2.1.2. Saltvatteninträngning vid grundvattenuttag	21
2.2. RELIKT SALTVATTEN	22
2.2.1. Relikt saltvatten och Östersjöns utvecklingsstadier	23
2.2.2. Lerområden och salthaltigt grundvatten	24
2.2.3. Grundvattenkemi hos relik saltvatten	25
<b>3. METOD</b>	<b>27</b>
3.1. LITTERATURSTUDIE	27
3.2. PROVTAGNING	28
3.2.1. Provtagning 3	28
3.2.2. Start-slutprovtagning	34
3.2.3. Jodid- och magnesiumprovtagning	35
3.3. DATABEARBETNING	35
3.3.1. Frågeställning 1	35
3.3.2. Frågeställning 2	36
3.3.3. Frågeställning 3	36
<b>4. RESULTAT</b>	<b>37</b>
4.1. FRÅGESTÄLLNING 1	37
4.1.1. Salthalter på olika platser i magasinet	37
4.1.2. Salthalter på olika djup i magasinet	38
4.2. FRÅGESTÄLLNING 2	39
4.2.1. Jodid-/kloridkvot	39
4.2.2. Magnesium-/kloridkvot	40
4.2.3. Klorid-/sulfatkvot	41
4.3. FRÅGESTÄLLNING 3	42
4.3.1. Start-slutprovtagning	42

4.3.2. Långsiktiga kloridhalter i uttagsvattnet	44
4.3.3. Brunnsdrift och kloridhalter	45
<b>5. DISKUSSION</b>	<b>46</b>
5.1. FRÅGESTÄLLNING 1	46
5.2. FRÅGESTÄLLNING 2	48
5.3. FRÅGESTÄLLNING 3	49
5.3.1. Start-slutprovtagning	49
5.3.2. Långsiktiga kloridhalter i uttagsvattnet	51
5.3.3. Brunnsdrift och kloridhalter	51
5.3.4. Rekommendationer och vidare undersökningar	52
5.3.5. Kort om vägsalt	53
<b>6. SLUTSATSER</b>	<b>54</b>
6.1. FRÅGESTÄLLNING 1	54
6.2. FRÅGESTÄLLNING 2	54
6.3. FRÅGESTÄLLNING 3	54
6.4. REKOMMENDATIONER OCH VIDARE UNDERSÖKNINGAR	55
<b>7. REFERENSER</b>	<b>56</b>
<b>APPENDIX</b>	<b>58</b>
A FÄLTPROTOKOLL ICKE-ARTESISKA GRUNDVATTENRÖR	59
B FÄLTPROTOKOLL ARTESISKA GRUNDVATTENRÖR	60

# 1. INLEDNING

Vatten är livsnödvändigt för alla människor och för de flesta levande organismer. Det avspeglas i att Sveriges riksdag har valt att sätta Grundvatten av god kvalitet som ett av de nationella miljökvalitetsmålen. För kommuner som förlitar sig på grundvatten för sin dricksvattenförsörjning är det särskilt viktigt att grundvattentillgången uppfyller krav på både kvantitet och kvalitet. Ett av kvalitetsproblemen som förekommer i grundvattentäkter är salt grundvatten. Där det förekommer finns förstås ett intresse för att ta reda på varifrån saltet kommer och vad man som dricksvattenproducent kan göra för att minska risken att salthalterna ökar och i värsta fall gör grundvattentäkten obrukbar.

## 1.1. SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR

Syftet med detta arbete är att undersöka förekomst och ursprung hos det saltvatten som påträffats i uttagsvattnet från de tre brunnarna i Rådaås grundvattenmagasin och att undersöka hur brunnsdrift i samband med grundvattennivåer påverkar salthalten i uttagsvattnet. Syftet är också att ge rekommendationer om vidare undersökningar och/eller åtgärder som kommunen kan vidta för att minska eller bibehålla den nuvarande salthalten.

Frågeställningarna som undersöks är:

1. Hur skiljer sig salthalterna åt på olika platser i form av position och djup i magasinet?
2. Vilket ursprung har salterna som finns i Rådaås grundvattentäkt?
3. Vilken inverkan har brunnsdrift i samband med grundvattennivåer på salthalterna i uttagsvattnet?
  - 3.1. Hur skiljer sig de tre brunnarna åt?

Resonemang rörande olika platsers djupläge i magasinet utgår från en nollnivå av noll meter över havet. Med större djup avses en plats närmare nollnivån. Med mindre djup avses en plats längre från nollnivån. Djupläge refereras inte till markytans topografi.

## 1.2. HYPOTESER

En hypotes för arbetet är att saltet som finns i grundvattenmagasinet har sitt ursprung från relik saltvatten (för definition se avsnitt 2.2.1) och att salthalten ökar med djupet eftersom saltvatten har högre densitet än sötvatten.

Förutsatt att det stämmer att salthalten ökar med djupet följer hypotesen att brunnsdrift, särskilt vid låga grundvattennivåer, orsakar saltare vatten från lägre djup att strömma uppåt mot brunnen och därmed leder till högre salthalt i råvattnet.

### **1.3. BAKGRUND**

Lidköpings kommun finns i Västergötland precis söder om Väneren. Läget för ytvattenuttag är optimalt och man tar därför ut det mesta, ca 90%, av råvattnet till dricksvattenproduktion från Väneren. Kommunen använder också grundvatten från Rådaås för att blanda råvattnet från sjön med 10% grundvatten. Detta för att öka alkalinitet och hårdhet i råvattnet för att få bättre dricksvattenkvalitet. Inblandningen förbättrar dricksvattnets smak och den ökade alkaliniteten minskar risken för att dricksvattnet blir för surt enligt Livsmedelsverket föreskrifter och för frätslitage på vattenledningar. Dessutom krävs det en betydligt mindre mängd kemikalier i framställningsprocessen till dricksvatten.

Grundvattnet från Rådaås är intressant även ur ett reservvattenperspektiv, i händelse att ytvattnet från Väneren skulle bli otjänligt. Grundvattentäkten består av tre olika uttagsbrunnar som styrs manuellt från vattenverket och körs en åt gången. En brunn körs under cirka en veckas tid innan byte. Uttagsbrunnarna benämns i denna rapport som Brunn 1, Brunn 2 och Brunn 3. Som samlingsnamn för de tre brunnarna används Råda källor. Det finns även en fjärde brunn i magasinet, Brunn 4, som också kallas Råda grundvattentäkt. Brunn 4 används inte i nuläget utan utgör en av kommunens reservvattentäkter.



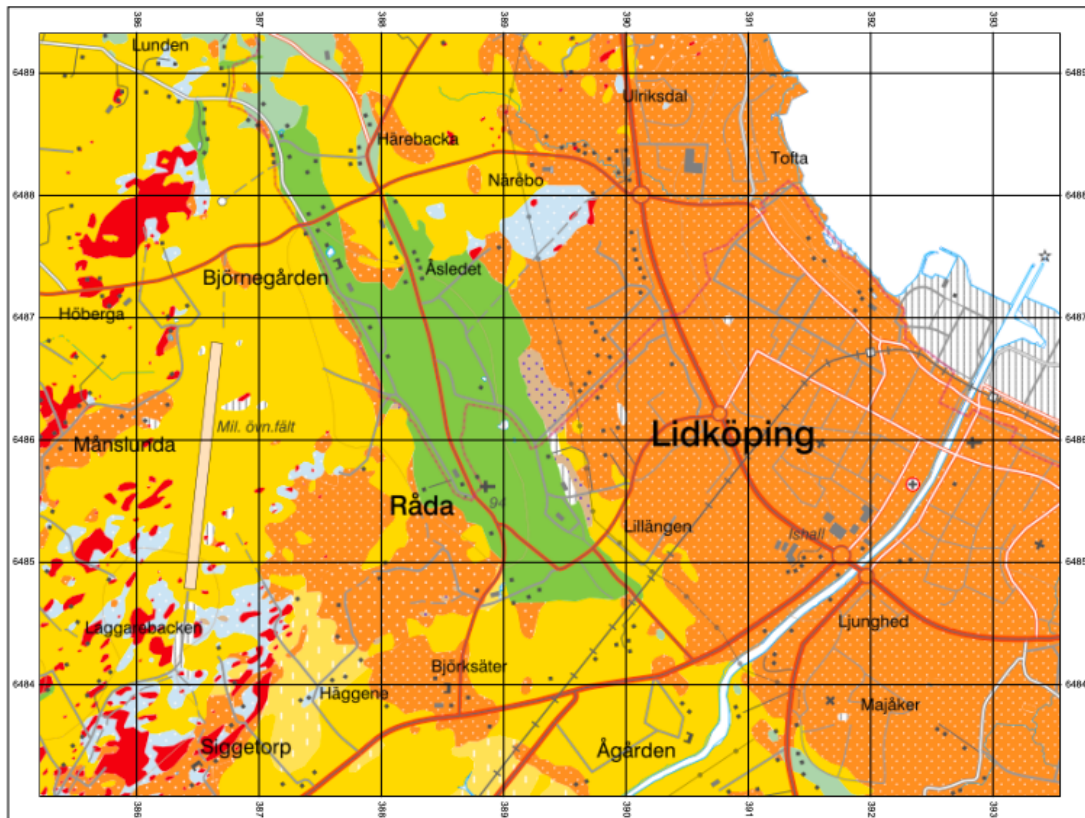
Figur 1. Lokalisering av Råda källor och Råda grundvattentäkt i grundvattenmagasinet Rådaås i Lidköping. Bildkälla: (Sweco 2021).

Utifrån de kontinuerliga analyser som görs på råvattnet från Råda källor misstänker man på Vatten- Avlopp på Lidköpings kommun en förhöjning av kloridhalten.

Det har förekommit halter på upp till 90 mg/L (Lidköpings kommun 2021), att jämföra med Livsmedelsverkets gräns på 100 mg/L för tjänligt med anmärkning (Livsmedelsverket 2021). Det finns indikationer på en ökande trend men det är svårt att avgöra med säkerhet eftersom mätningar av kloridhalter inte gjorts eller återfunnits tidigare än 1992 och eftersom det finns en stor variation i halterna. Datamängden behöver också utökas för att med mer säkerhet kunna avgöra ifall det finns en ökande trend (Lidköpings kommun 2021). Klart är dock att man uppmärksammat att kloridhalterna är ett potentiellt problem och något som bör utredas vidare eftersom Rådaås grundvattentäkt är av stor vikt för Lidköpings vattenförsörjning.

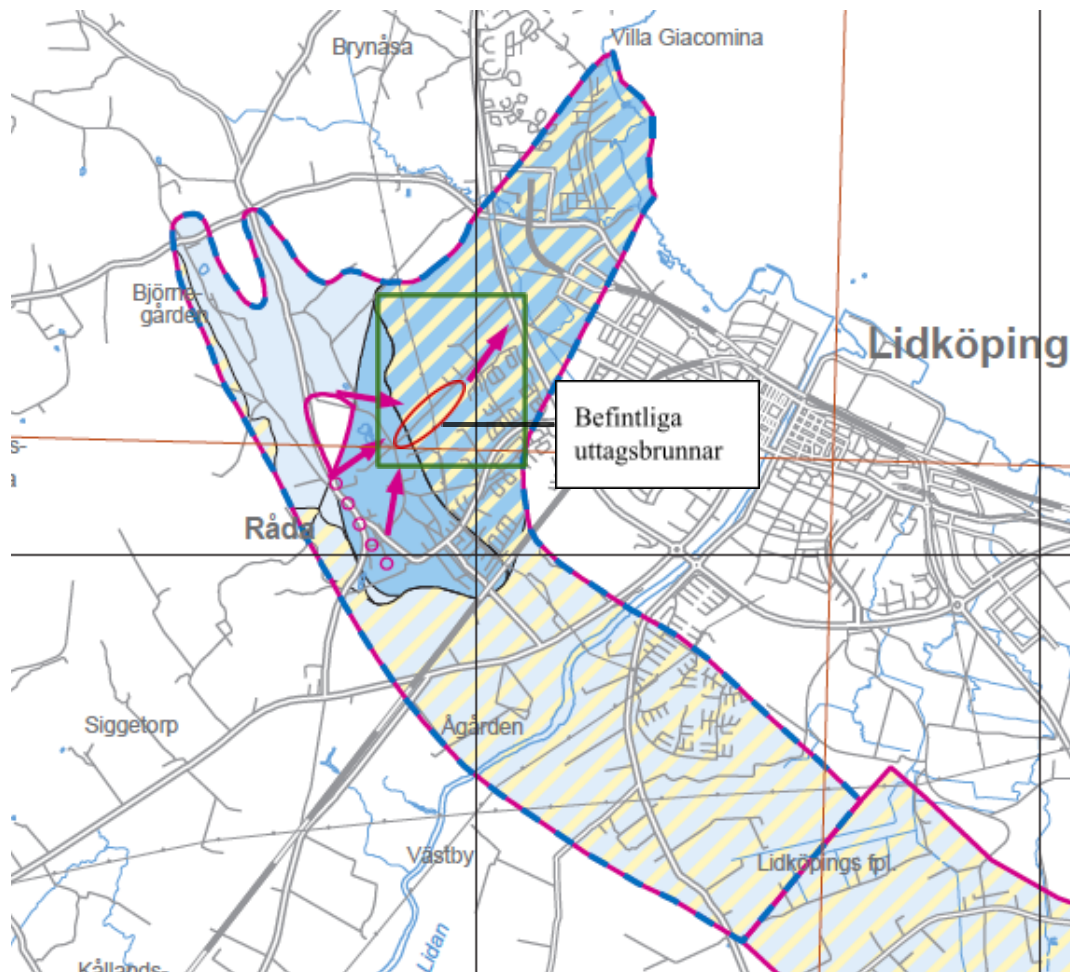
### 1.3.1. Översiktlig områdesbeskrivning

Rådaås grundvattenmagasin består av åsen i sig, vilken är uppbyggd av isälvsmaterial, och området nordost om åsen dit isälvsmaterialen fortsätter ända ut till Väneren. Nordost om åsen överlagras isälvsmaterialen dock av andra jordarter. Figur 2 nedan visar jordarterna i området.

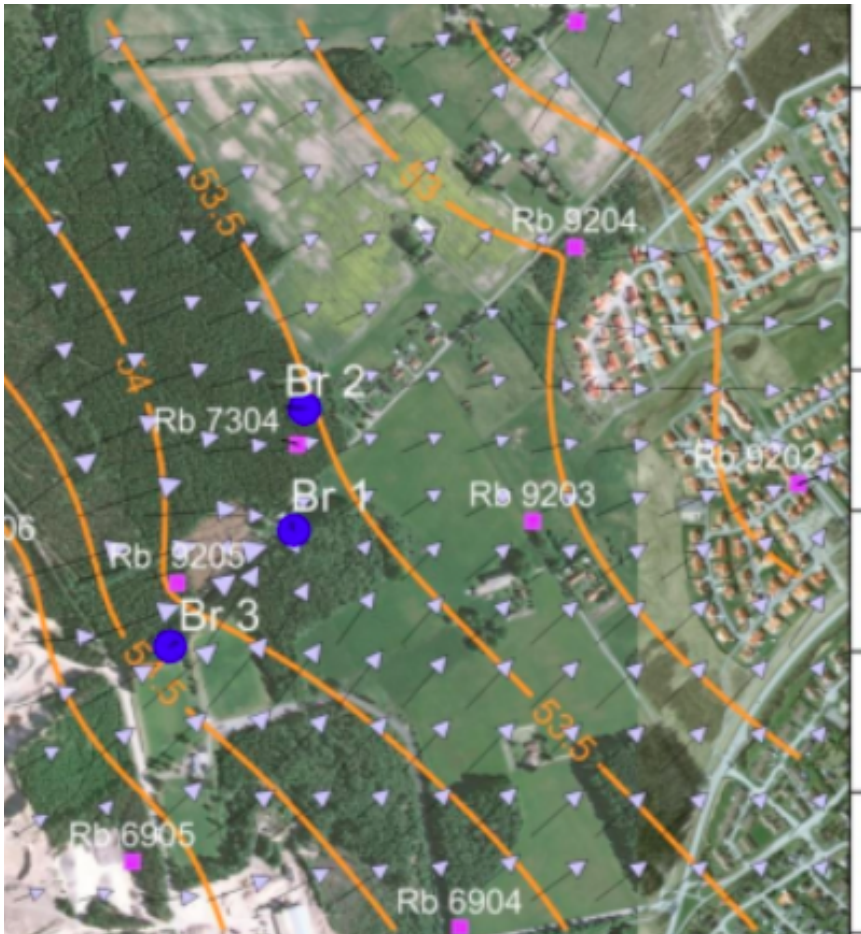


Figur 2. Jordartskarta för området runt Rådaås där det gröna isälvssedimentet utgör Rådaåsen. Bildkälla: (SGU 2022c).

Magasinets avgränsning är också dess tillrinningsområde. Ett tillrinningsområde är hela det område från vilket grundvatten tillförs magasinet. Grundvattnets strömningsriktning sker från Rådaås åt nordost mot Väneren, se Figur 3 och 4 nedan.



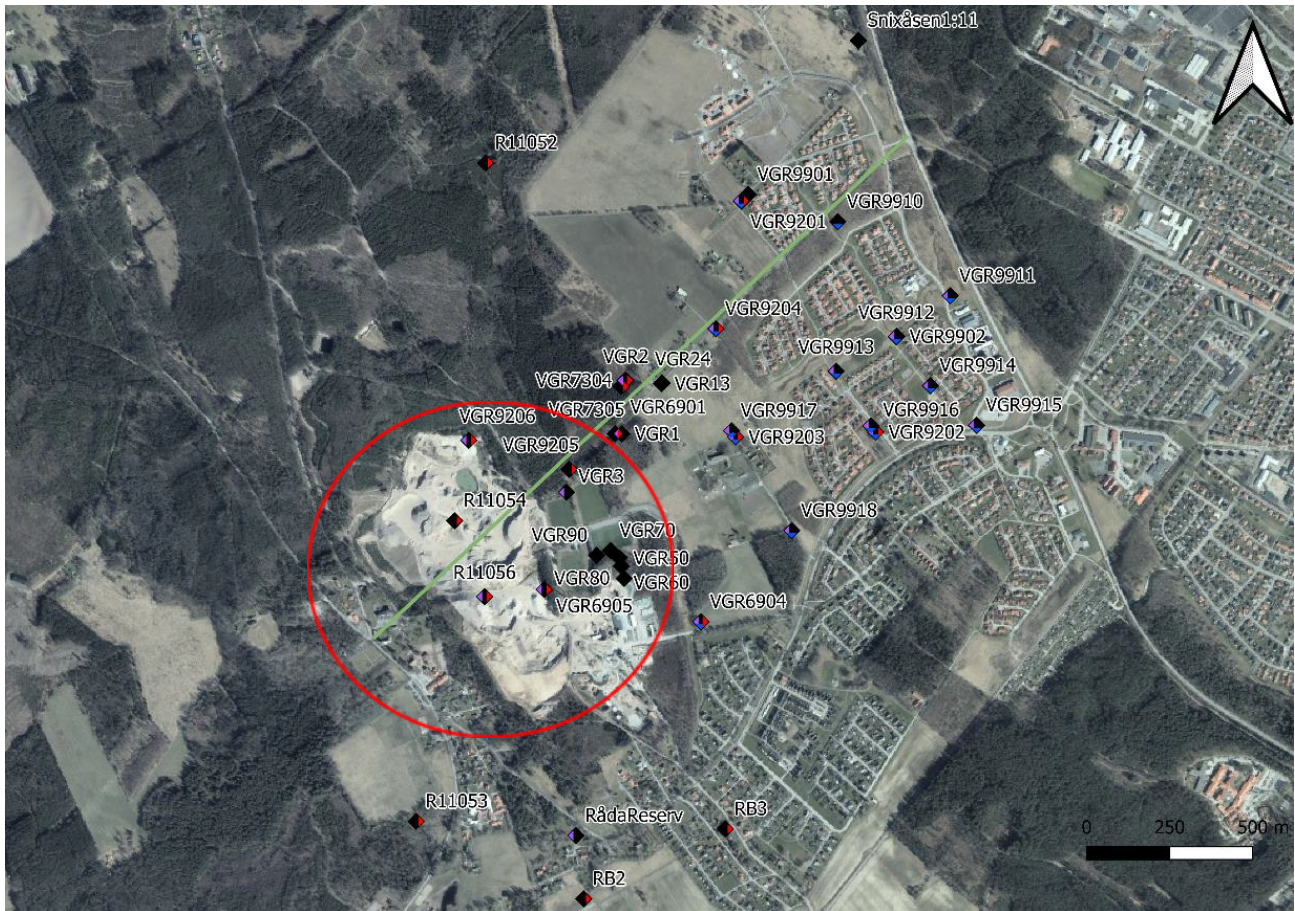
Figur 3. Tillrinningsområde till Rådaås grundvattenmagasin streckat i lila och blått. Den röda cirkeln ger uttagsbrunnarnas position. De lila pilarna visar grundvattnets strömningsriktning. Gult streckat område visar tätande jordlager ovanför magasin. Den gröna rektangeln visar utbredningen av Figur 4 som ger en mer detaljerad bild av grundvattnets strömningsriktning kring uttagsbrunnarna. Bildkälla: (SGU 2022b) och (Lidköpings kommun 2021).



Figur 4. Detaljerad strömningsriktning hos grundvattnet i området kring Råda källor. Flödespilarnas storlek är proportionell mot flödesmängden. Bildkälla: (Lidköpings kommun 2021).

Det finns ett antal grundvattenrör i magasinet. De allra flesta har lokaliserats och lagts in i en GIS-modell av Lidköpings kommun (Lidköpings kommun 2021). Figur 5 nedan visar placering av rör och brunnar.





Figur 5. Placering av grundvattenrör och uttagsbrunnar i magasinet Rådaås. Det öppna sandområdet inom den röda cirkeln är isälvsmaterial från Rådaås som går i dagen på grund av sandbrytning. Det gröna strecket märker ut en nordostgående profil. Brunn 3, Brunn 1 och Brunn 2 betecknas här med VGR 3, VGR1 och VGR2 i den riktningen längs profilen. RådaReserv avser Brunn 4 eller Råda grundvattentäkt som inte längre är i bruk. Övriga punkter märker ut grundvattenrör. Bildkälla: (Lidköpings kommun 2021).

### 1.3.2. Tidigare studier

Under 2020 och 2021 har Lidköpings kommun tillsammans med hydrogeologer från Sweco och i kontakt med SGU genomfört en utredning för att öka kunskapen om trenden för salter och grundvattennivåer samt salternas ursprung i grundvattentäkten i Rådaås (Lidköpings kommun 2021). Utredningen innefattade en inventering och lokalisering av grundvattenrören som finns utsatta i magasinet. Provtagning av grundvattnet i rören genomfördes vid två olika tillfällen, ett i september 2020 och ett i november 2020. Då analyserades parametrarna klorid, natrium, kalcium, sulfat och bromid.

Bromid analyserades under förhoppning om att kunna påvisa ifall salterna är av relikts ursprung (från tiden då området låg under salt hav), men det visade sig vara otillräckligt för att med säkerhet avgöra ursprunget. En annan metod krävs för att vidare undersöka det.

Kommunens undersökning visade dock att det fanns en skillnad i rörens klorid-, natrium- och bromidnivåer, där ett av rören som är markant djupare än de övriga uppvisade betydligt högre halter. Detta skulle kunna vara en indikation på relikts saltvatten (Lidköpings kommun 2021). Enligt Fritjof Fagerlund<sup>1</sup> är det dock väntat att saltare vatten återfinns på större djup på grund av saltvattens höga densitet i förhållande till sötvatten. Det behöver inte betyda att saltvattnet är relikts.

Inom ramen för kommunens undersökning hittades indikationer på en något stigande trend för kloridhalterna i uttagsvattnet. Man menar också att det är sannolikt att kloridhalten hör samman med uttagsmängden, alltså att kloridhalten bör minska om uttagsmängden minskar. (Lidköpings kommun 2021). Det genomfördes dock inga tester på sambandet mellan uttagsmängd och kloridhalt. I utredningen diskuterades också vägsalt som ett möjlig orsak till det salta grundvattnet i Rådaåsmagasinet. Resultatet tyder på att vägsalt inte är den primära orsaken men att påverkan från sådan aktivitet inte heller kan uteslutas (Lidköpings kommun 2021).

Det har inte gått att hitta andra studier före 2020 på specifikt salt grundvatten i Rådaåsmagasinet. Däremot är området flitigt utrett med avseende på geologiska och hydrologiska förhållanden. För kommunens räkning har Sweco, tidigare Sweco VIAK och ännu tidigare VBB VIAK genomfört flera olika undersökningar. Det har gjorts i syfte att undersöka de geohydrologiska förhållandena inför bygget av de tre nuvarande uttagsbrunnarna (VBB VIAK 1992), att föreslå skyddsområde och skyddsföreskrifter för vattentäkten (VBB VIAK 2000), att undersöka möjligheterna för förstärkt grundvattenbildning genom infiltration (Sweco VIAK 2005) samt att förnya vattenskyddsområdet och skyddsföreskrifterna (Sweco 2021).

Andra relevanta studier är ett projektarbete från 1991 som behandlar de hydrogeologiska förhållandena i området (Anderberg 1991) och ett examensarbete från 1972 som undersöker förekomsten av salt grundvatten på Västgötaslätten (Englöv & Malmberg 1972).

SGU står bakom flera rapporter som varit av intresse för detta arbete. En rapport av Helgi Lindewald för SGU har utgjort en mycket användbar översikt över den existerande problematiken med salt grundvatten i Sverige (Lindewald 1985).

---

<sup>1</sup> Fritjof Fagerlund, Professor vid Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära; Hydrologi möte 2021-10-29

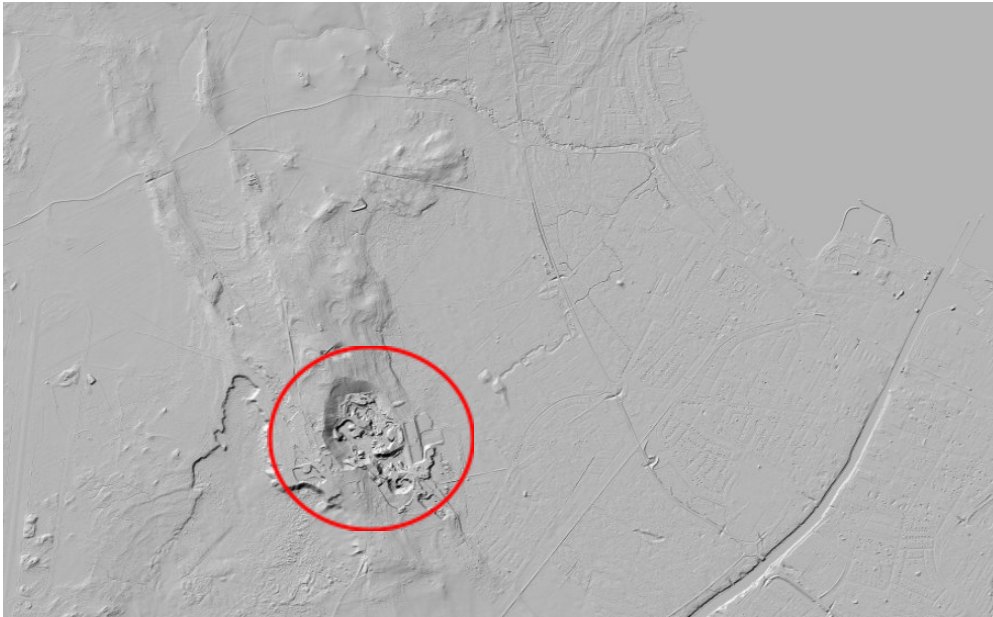
På uppdrag av Lidköpings kommun genomförde SGU en översiktlig bedömning av de hydrogeologiska förhållandena hos Rådaåsen (Carlsson & Carlstedt 1975). Som en del i ett SGU-projekt för att kartlägga grundvattentillgångar finns även en nyligare producerad rapport om Rådaås grundvattenmagasin (Persson 2015).

Carlsson & Carlstedt (1975) skriver att varierande salthalter i grundvattnet i områden som geologiskt liknar Rådaås har påträffats i andra delar av Västergötland. Det totala saltinnehållet har visat sig vara högt i mäktiga leravlagringar ovanför isälvsmaterial (> 1000 mg/L). Även kloridjonkoncentrationen är hög i sådana områden, särskilt där mer eller mindre slutna bassänger formats i berggrunden, där grundvattnets omsättningshastighet är mycket låg. Vattenanalyser utförda av VIAK 1973 tyder på en sådan situation i Rådaås grundvattenmagasin (Carlsson & Carlstedt 1975). VIAKs rapport från 1973 har inte kunnat hittas i detta arbete.

Långt innan de tre uttagsbrunnarna byggdes förutspådde SGU (Carlsson & Carlstedt 1975) att det fanns risk för försämrad vattenkvalitet vid ökat vattenuttag från Rådaås. Detta eftersom ett ökat uttag gör att stagnant grundvatten av dålig kvalitet som uppehållit sig i magasinets djupare delar kommer pumpas upp. Dessutom medför grundvattenavsänkning i närheten av brunnarna ett ökat läckage från täckande lerlager ovanför isälvsaterialet. Kloridjoner från lerlagret läcker då ut, vilket gör att kloridkoncentrationen i uttagsvattnet som brunnarna pumpar upp ökar. Eftersom större delen av Rådaås grundvattenmagasin är beläget under lera bedömdes det föreligga en risk för försämrad vattenkvalitet vid ökat grundvattenuttag (Carlsson & Carlstedt 1975).

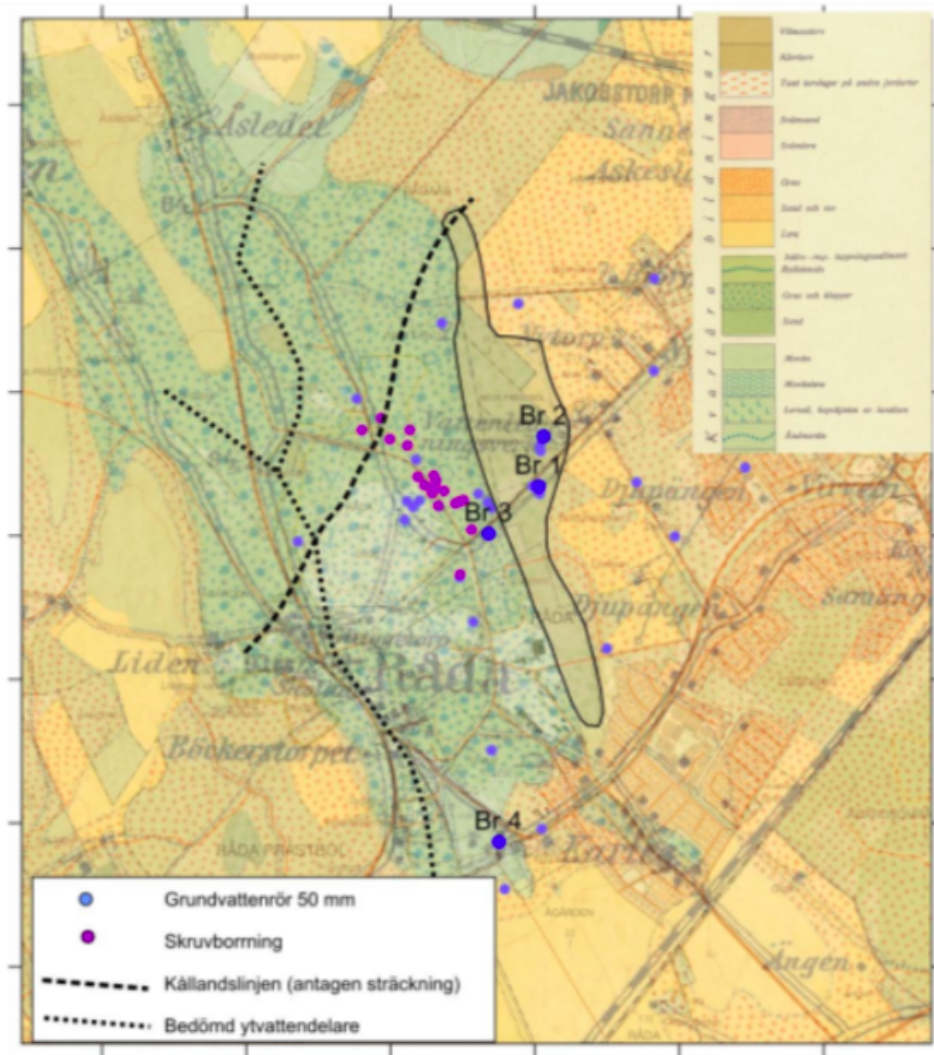
### **1.3.3. En utförligare geologisk områdesbeskrivning**

Rådaåsens högsta höjd är ca 100 m ö.h. Den sträcker sig i NNV-SSO riktning och urskiljer sig ur landskapet som en höjdrygg, se Figur 6 (VBB VIAK 2000). Mitt i åsen finns ett grustag där företaget Rådasand utviner sand. Där har man på vissa platser grävt ner till en höjd av 60 m ö.h. (Lantmäteriet 2021).



Figur 6. Terrängskuggning från lantmäteriet som visar åsen som en höjdrygg i NNV-SSO riktning. Den röda cirkeln märker ut Rådasand sandtag. Bildkälla: (Lantmäteriet 2021).

De tre uttagsbrunnarna är belägna öster om höjdryggen, se Figur 7. Markhöjden där brunnarna finns är ca 55 möh. Öster om källorna sluttar marken svagt österut mot Kinnevikens i Vänern (VBB VIAK 2000). Genom åsen i NNO-SSV riktning sträcker sig en förkastningslinje som kallas Kållandslinjen, se Figur 7 (VBB VIAK 2000). Med förkastning menas både förskjutningen av ett berggrundsblock i förhållande till ett annat och den brant, spricka eller sprickzon som rörelserna skett längs med (Fredén 2002). Längs Kållandslinjen har området öster om den sänkts i förhållande till området väster om den (Carlsson & Carlstedt 1975).

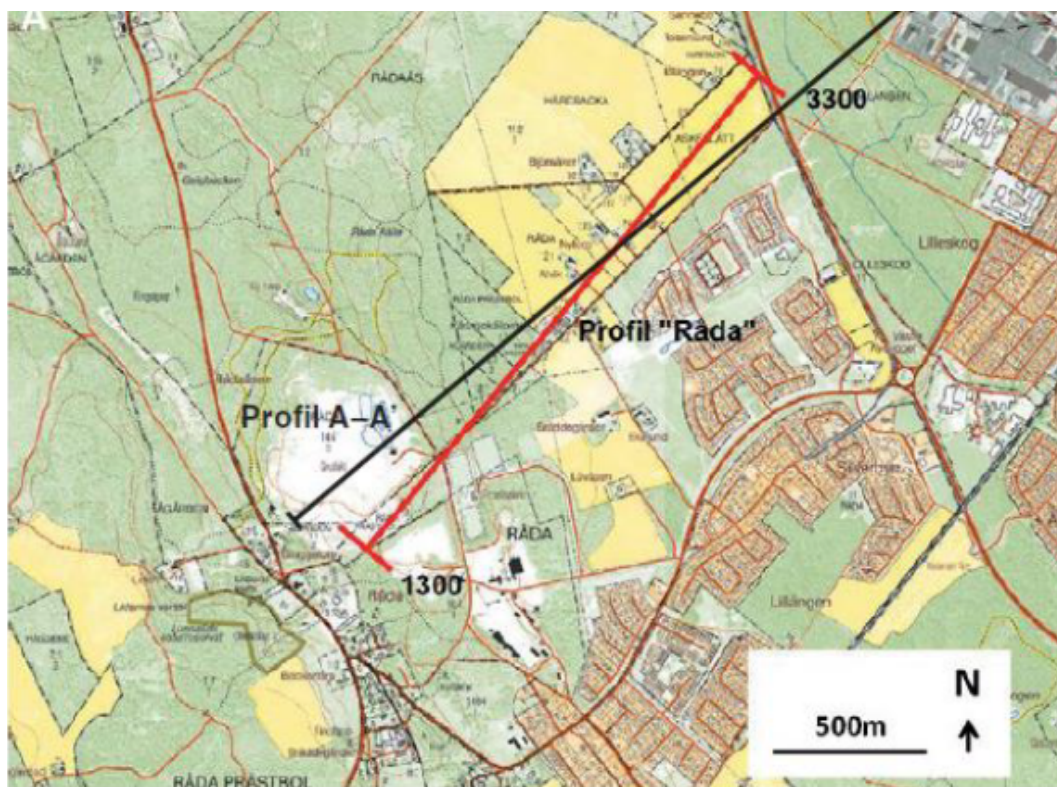
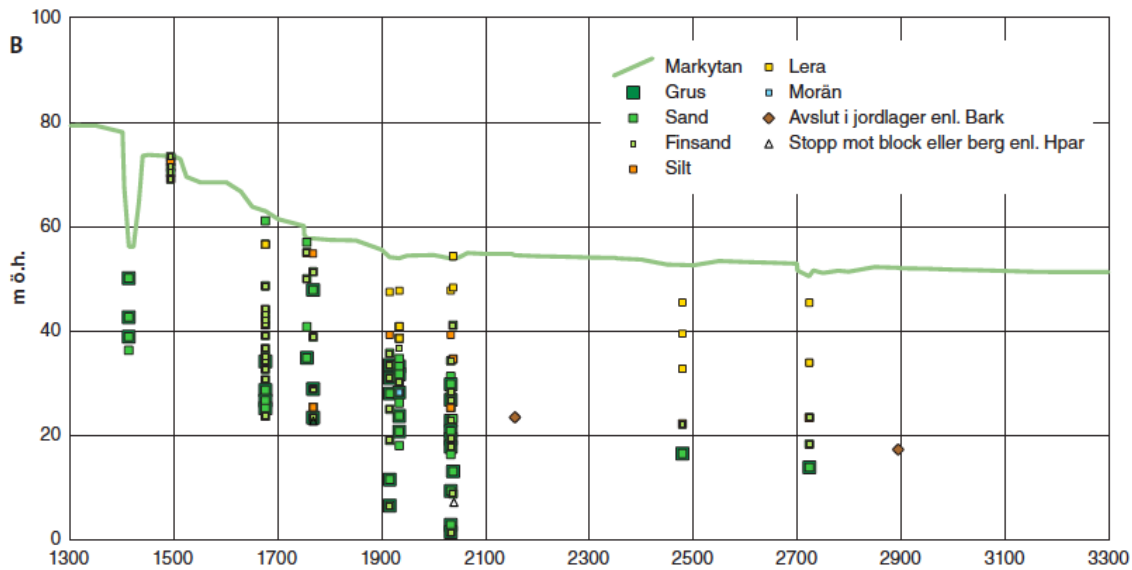


Figur 7. Placering av Brunn 1, 2 och 3 öster om Rådaås samt Brunn 4 längre söderut. Streckad linje visar bedömd ytvattendelare och streckad linje i fetstil visar Kållandslinjens förkastning. Bildkälla: (Lidköpings kommun 2021)

Rådaåsen är en israndbildning från avsmältningsskedet av den senaste inlandsisen (VBB VIAK 2000). Den är avlagrad uppe på Kållandslinjens förkastning (Persson 2015). En israndbildning är en geologisk avlagring som bildas vid iskanten på en glaciär, när kanten blir stillaliggande under en längre tid under avsmältningen (Nationalencyklopedin u.å.a). En israndbildning kan också kallas en randmorän och den avsätts parallellt med iskanten under avsmältningen. Rådaås är alltså till skillnad från vad namnet antyder ingen ås eller rullstensås, vilken har avsatts i isens rörelseriktning (Fredén 2002). Jordmaterialet i Rådaås är inte lika väl sorterat som i rullstensåsar.

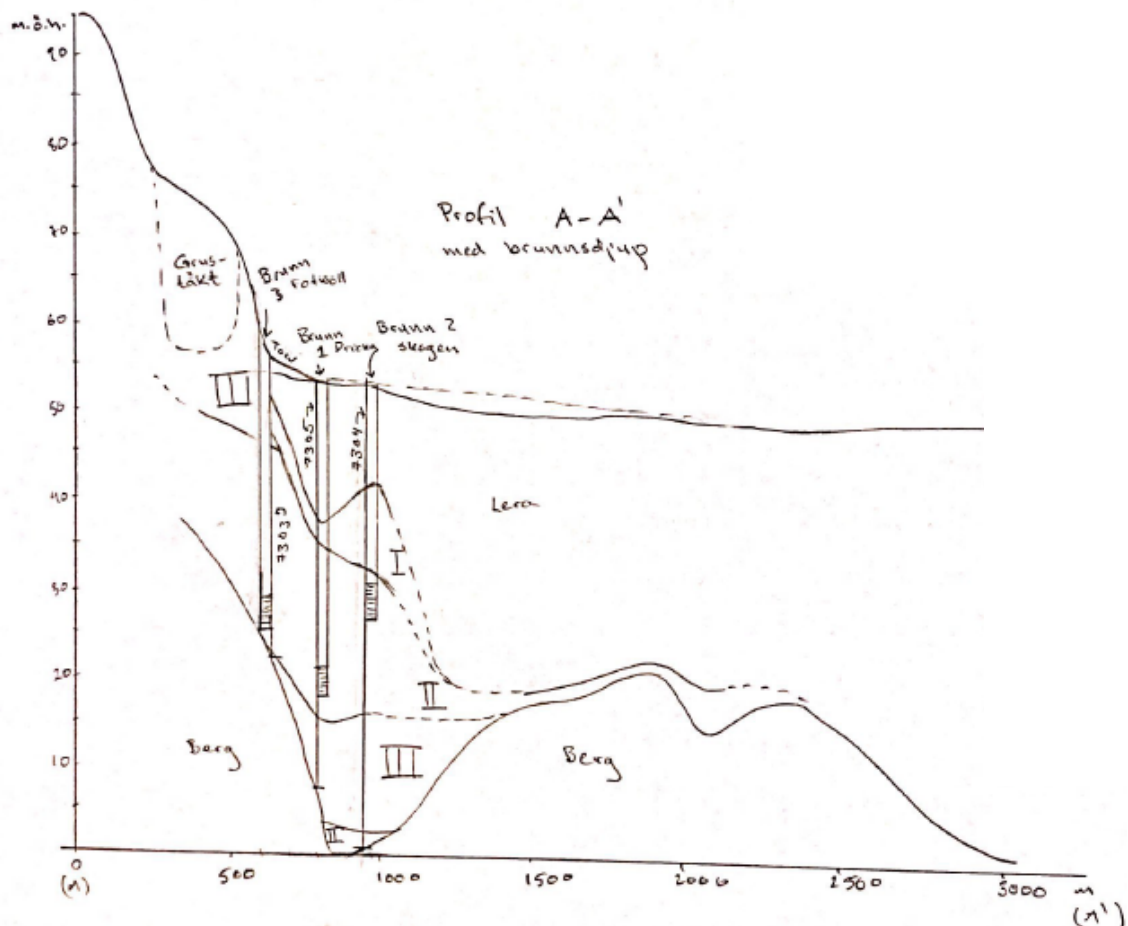
Den geologiska uppbyggnaden är komplex men generellt finns grus och sand, även kallat isälvsmaterial eller isälvs sediment, i nedre delen av Rådaåsen ovanför berggrunden. Isälvs materialet är vad som utgör grundvattenmagasinet. Lagren ovanför isälvs sedimentet består av silt och lera. Men det finns också flera inlagringar av lera och morän inuti övriga fraktioner (VBB VIAK 2000). På vissa ställen går lera på djupet och bildar så kallade lerkörtlar som gett sig tillkänna för Rådasand i samband med grusbrytning (Persson 2015). Isälvs materialet har sin största mäktighet i området runt uttagsbrunnarna. (Sweco VIAK 2005). I norr, nordväst och sydost begränsas isälvs materialet av morän. Isälvs materialet fortsätter från åsen åt öster men överlagras där av tjocka lerlager (VBB VIAK 2000).

Det översta markskiktet öster om åsen längs Vänerns kant utgörs av svallsediment (se Figur 2) som bildas då vågsvall bearbetar en kust (Nationalencyklopedin u.å.b). De tjocka lerlager som enligt VBB VIAK (2000) överlagras moränen öster om åsen överlagras alltså i sin tur av svallsediment enligt jordartskartan i Figur 2. Svallsediment förekommer i anslutning till isälvsavlagringar och moränområden under högsta kustlinjen (VISS u.å.). Uppifrån sett består jordlagret av 2-5 m silt och sand, vilket utgör svallsedimentet. Svallsedimentet överlagras 10-25 m lera, under vilken det finns mäktiga lager friktionsjord från israndbildningen (VBB VIAK 1992). Figur 8 illustrerar jordlagerföljderna öster om Rådaås såsom SGU kartlagt dem utmed profilen "Råda". En jordlagerföljd är den vertikala följderna av jordarter från markytan ner till ett visst borrhjup.



Figur 8. Jordlagerföljder längs profil "Råda", se rött streck i nedre bilden. Närmast åsen är lagerföljden komplicerad med inlagringar av olika fraktioner ovanför och mellan isälvs materialet, se övre bilden. Från Rådaås kant åt nordost mot Vänern fortsätter isälvs materialet i form av grus och sand men överlagras av mäktiga lera lager. Svallsedimentet i form av silt och sand finns inte med i jordlagerprofilerna längst åt nordost men utgör det översta lagret enligt jordartskartan (Figur 2). Bildkälla: (Persson 2015).

Johan Anderberg ritade i sitt examensarbete (1991) flera profiler över jordlagerföljder i grundvattenmagasinet. En av dem, profil A-A' återges i Figur 9. Profilens sträckning är densamma som A-A' i Figur 8. Profilen är baserad på få jordborrningar och det är oklart hur det valts att fylla i berggrundsytan där information saknas. I samband med borrningen för grundvattenrör 7303 som visas i bilden har dock berggrunden påträffats. Att både rör 7305 och 7304 når djupare tyder på att det mycket riktigt finns en djuphåla eller ränna i berggrunden åt nordost som i ritningen. Det stämmer också med tidigare information om att isälvs materialet har sin största mäktighet där brunnarna är placerade.



Figur 9. Jordlagerföljder längs profil A-A' (se Figur 8). Berggrundens djupläge finns utritat längs profilen, tillsammans med mäktighet av Lager I (silt och finsand), Lager 2 (finsandkombinationer) och Lager III (sand-sandigt grus). Ordningsföljden på lager I-III följer alltså ökande kornstorlek. I profilen finns också ungefärlig placering av Brunn 3, Brunn 1 och Brunn 2 i den ordningen, samt djup och läge hos brunnarnas intagsdel (streckad yta). Brunnarnas bredd i profilriktningen är inte skalenlig. Position och djup för de tre grundvattenrören 7303, 7305 och 7304 finns utritade. Figuren är baserad på Johan Anderbergs (1991) med egna tillägg i form av uttagsbrunnarna.



Enligt Carlsson & Carlstedt (1975) finns de största mäktigheterna av friktionslager (vilket måste antas vara samma material som isälvsmaterial) i en ränna i berggrunden något öster eller nordost om åsen. Rännan fortsätter åt norr mot Kållandslinjen där den länkas av och fortsätter i nordostlig riktning mot Vänern. Carlsson & Carlstedt hänvisar uppgifterna om rännan till en utredning av Vattenbyggnadsbyrån gjord 1931. När denna rapport skrivs har det dock inte varit möjligt att hitta utredningen, vilket gör att det inte heller gått att verifiera uppgifterna om rännan. Baserat på borrhprotokollen för grundvattenrör 7303, 7304 och 7305 är det dock inte omöjligt att det finns en ränna i berggrunden som är placerad där Carlsson & Carlstedt påstår och som ritats in i Anderbergs figur (se Figur 9).

#### **1.3.4. En utförligare hydrologisk områdesbeskrivning**

Området öster om ytvattendelaren och Kållandslinjens förkastning (se Figur 7) bedöms i huvudsak utgöra nybildningsområdet för det grundvatten som tas ur Råda källor. Det gäller de områden där den överst liggande jordarten är isälvsmaterial. Från omgivande finsediment sker troligen ett mindre tillskott till nybildningen, likaså från läckage från Kållandslinjens förkastning (VBB VIAK 2000). Isälvsmaterial bidrar starkt till grundvattenbildningen eftersom infiltrationen är mycket hög i sådant material. Det allra mesta av grundvattnet bedöms bildas genom infiltration i de stora sandområden som utgör Rådasands grustäcker (Sweco VIAK 2005).

Enligt uppmätning av grundvattenytor är grundvattenströmningen riktad mot Kinnevikens i Vänern i öster, se Figur 3 och 4 (VBB VIAK 2000). Artesiska förhållanden råder runt uttagsbrunnarna och i bostadsområdena Askeslätt och Silverbyn, mer generellt i området öster om åsen (Sweco VIAK 2005) där isälvs materialet överlagras av lera som ett tätande lock, se gult streckat område i Figur 3. I övergången mellan isälvs material och lera leder den uppåtriktade grundvattenströmningen till källflöden som orsakar torvbildning (VBB VIAK 2000), se östra kanten av Rådaås i Figur 2.

Enligt en utredning av Sweco VIAK kan grundvattenbildningen till Råda källor beräknas till 8 l/s baserat på en specifik avrinning av  $8 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$  i området och att tillrinningsområdets storlek uppskattas till ca 1 km<sup>2</sup>. Det motsvarar ca 700 m<sup>3</sup>/dag. Den uttagbara grundvattenmängden enligt en provpumpning 1991-92 bedömdes dock uppgå till ca 1000 m<sup>3</sup>/dag. I nuläget äger Lidköpings kommun rätt att ta ut 900 m<sup>3</sup>/dag enligt dom i vattenöverdomstolen 1997-10-30, med villkoret att grundvattentrycket i särskilda observationsrör inte får understiga fastställda lägstanivåer (Sweco VIAK 2005). De fem rören som ingår i detta kontrollprogram är 6904, 9201, 9202, 9203 och 9204, se Figur 5. I de fyra sistnämnda är grundvattnet artesiskt (Lidköpings kommun 2021).

Syftet med att inte ta ut för mycket är att förhindra sättningsskador i bostadsområden i Lidköpings sydvästra delar, där bostäderna byggts på lera (Persson 2015). Enligt Persson är den hållbara uttagskapaciteten 950 m<sup>3</sup>/dag, baserat på provpumpningen från 1992 och med hänsyn till risken för sättningsskador.

Kommunen övervakar också nivåerna i ett antal ytligt liggande grundvattenrör inne i bostadsområdena. Dessa har namn som börjar på 99-, se Figur 5. De ytligt liggande rören används för att avläsa grundvattennivån i det så kallade övre grundvattenmagasinet. Eftersom isälvs materialet överlagras av ett tjockt lerlager (10- 25 m) följt av ett tunnare lager silt och sand (2-5 m) finns det en akvifer även ovanför Rådaås magasinet. Därifrån tas dock inget dricksvatten. Syftet med 99-rören är enbart att övervaka nivåerna för att undvika sättningsskador.

### **1.3.5. Nyttjande av och framtidsplaner för Råda källor**

Lidköpings kommun tar i nuläget ut ca 900 m<sup>3</sup>/dag av grundvattnet i Rådaåsmagasinet, vilket motsvarar ca 10% av råvattenvolymen till vattenverket. Behovet av dricksvatten bedöms i framtiden öka och för att tillmötesgå efterfrågan och samtidigt bibehålla en god vattenkvalitet bedömde en tidigare studie att uttaget från Råda källor behövde öka med 200-300 m<sup>3</sup>/dag (Sweco VIAK 2005). Sweco VIAK har därför på uppdrag av Lidköpings kommun undersökt möjligheten för konstgjord infiltration i Rådaåsen. Kortfattat visar resultatet av undersökningen att förutsättningarna för konstgjord infiltration är mindre goda eftersom täta lager av silt och lera är allmänt förekommande inuti åsens lagerföljd (Sweco VIAK 2005).

Täta lager orsakar att en stor del av tillfört vatten kommer avrinna utan att nå grundvattenmagasinet. Möjligheterna ser något bättre ut inom området där Rådasand utför sandbrytning, men konstgjord infiltration kommer i konflikt med sandbrytning. Därför kan konstgjord infiltration i Rådaåsen bli aktuellt först då Rådasand upphört sin täktverksamhet. Detta medför att det kanske inte är möjligt att öka uttagsmängden ur Rådaåsen över nuvarande vattendom på 900 m<sup>3</sup>/dag . Däremot är det enligt Sweco VIAK möjligt att under kortare tid öka uttaget till 3 000 m<sup>3</sup>/dag vilket utgör ca 30 % av den nuvarande vattenförbrukningen. Detta gör att det finns ett stort intresse av att använda Rådaås som reservvattentäkt i händelse att ytvattnet från Väneren blir otjänligt eller ifall det blir en driftstörning på vattenverket. Rådaåsvattnet kan då distribueras direkt på nätet. Vattenkvaliteten bör då vara så god som möjligt. (Sweco VIAK 2005).

### **1.3.6. Mer om uttagsbrunnarna**

Brunn 1, Brunn 2 och Brunn 3 som utgör Råda källor har sina vattenintag på ett djup av 36, 27 respektive 37,6 m under markytan. Det motsvarar en höjd över havet på 18, 27, respektive 24 m. På grund av pumpsystemets konstruktion i brunnarna bör de köras på full kapacitet för att inte riskera att systemet tar skada. Därför körs brunnarna en åt gången på full effekt under cirka en veckas tid istället för två eller tre samtidigt på lägre effekt.

De tre brunnarna byggdes under åren 1992-1993. Eftersom brunnarna är placerade i området där grundvattnet är artesiskt så är de tätade med bentonit längs borrörets utsida, för att förhindra det artesiska grundvattnet från att tränga upp längs borrörens utsidor. Brunn 4, eller Råda grundvattentäkt, byggdes troligen 1958 och var förr den brunn som försåg samhället Råda med vatten (VBB VIAK 2000).

Av Råda källor är det endast Brunn 3 som har kontinuerlig mätning av grundvattennivå i anslutning till brunnen. Ingen av brunnarna genomgår kontinuerlig mätning av klorid, konduktivitet eller andra kemiska parametrar. Fyra gånger per år görs dock en utvidgad analys av råvattnet där klorid ingår. Vid den utvidgade analysen provtas endast grundvatten från den brunn som råkar vara igång då mättillfället infaller.

Utöver den utvidgade analysen där klorid analyseras fyra gånger per år görs en normalkontroll av råvattnet åtta gånger per år. Normalkontrollen sker separat från den utvidgade analysen. I normalkontrollen ingår parametern konduktivitet men inte klorid. Även vid normalkontrollen provtas endast vatten från den brunn som råkar vara igång då det är dags för provtagning. Sedan början av 2018 har man börjat föra bok över vilken källa som varit i drift varje dag och hur mycket som tagits ut. Innan saknas i många fall information om vilken brunn råvattnet som provtagits för kommer från, både i den utvidgade analysen och i normalkontrollen.

### **1.3.7. Mer om grundvattenrören**

En gång i månaden mäts grundvattennivån manuellt i vissa av grundvattenrören. Det gäller rör 6904, 6905, 7304, 9201, 9202, 9203, 9204, 9205 och 9206 (se Figur 5) och inkluderar alltså de fem rör som ingår i villkoren för vattendomen samt två övriga. Inne på Rådasands område har SGU ett rör, 11056, som sedan 2019 mäter grundvattennivån kontinuerligt flera gånger per dag med logger. Det är det enda röret i magasinet med online mätning varje dag. Det sker ingen regelbunden analys av några kemiska parametrar i vatten från grundvattenrören.

Jordlagerföljden är känd där de flesta av grundvattenrören sitter då detta undersöktes i samband med rörneddningen. Även markytans höjdläge är känd för de flesta rör och deras djup under markytan. Merparten av grundvattenrören är av stål och 50 mm i diameter. Det finns i huvudsak två olika utföranden där den ena typen är perforerad med hål om 5 mm i diameter på en längd av 0,5 m från spetsen i dess ände. Den andra typen är perforerad med hål om 8 mm i diameter på en längd av 1 m från spetsen (Lidköpings kommun 2021).

### 1.3.8. Vägsaltning

I Lidköpings kommuns rapport (2021) har man angivit vilka vägar i Rådaåsens närområde som saltas, se Figur 10. Väg 2578 och 2577 är statliga vägar och saltas av Trafikverkets entreprenör ca 100 ggr om året vardera. Mängden salt som används kan variera men en uppskattning är 3 gram torrsalt per kvadratmeter. Väg 2577 som går genom åsens västra mer högt belägna del saltas i betydligt mindre omfattning. Kommunen saltar Kartedärvägen. Under säsongen 2019-2020 saltades den 12 gånger. Vid varje saltningstillfälle används max 6 gram per kvadratmeter. Sträckan inom vattenskyddsområdet är 950 m. Det ger en saltmängd på cirka 40 kg per saltning (Lidköpings kommun 2021).

Det är oklart hur ofta vägsaltning eller dammbindningsmedel förekommer på grusvägarna på Rådaås. Grusvägar på åsen används främst som transportväg av Rådasand AB (Sweco 2021).



Figur 10. Vägar som saltas i Rådaås närområde. Bildkälla: (Lidköpings kommun 2021).

## 2. TEORI

### 2.1. SALT SOM FÖRORENING I GRUNDVATTEN

#### 2.1.1. Gränsvärden för klorid i dricksvatten

Livsmedelsverket anger ett gränsvärde på 100 mg/L klorid i dricksvatten för tjänligt med anmärkning (Livsmedelsverket 2021). Orsaken är att vattnet inte bör vara ledningsangripande (aggressivt). Gränsen för att känna smak sätts ofta till 300 mg/L (SGU 2019).

#### 2.1.2. Saltvatteninträngning vid grundvattenuttag

Saltvatten är den vanligaste källan till förorening av grundvatten, särskilt i kustområden. Men det förekommer också i områden där relict saltvatten finns. Där salt grundvatten finns bildas ett skarpt horisontellt gränsskikt mellan salt- och sötvatten. Detta eftersom saltvatten är tyngre än sötvatten. Det söta vattnet flyter ovanpå saltvattnet och de blandas inte nämnvärt (Lindewald 1985).

Djupet till gränsskiktet där sött möter salt grundvatten kan förenklat beräknas med Ghyben-Herzbergs relation för saltvatteninträngning, se ekvation 1 nedan. Relationen, tillsammans med övriga ekvationer i detta avsnitt, är hämtade från Domenico & Schwartz (1998).

$$z = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f \quad (1)$$

Variabeln  $z$  står för gränsskiktets djup nedanför havsnivån (m),  $h_f$  för den söta grundvattenytans höjd ovanför havsnivån (m),  $\rho_f$  för det söta grundvattnets densitet ( $\text{kg/m}^3$ ) och  $\rho_s$  för det salta grundvattnets densitet ( $\text{kg/m}^3$ ). Ghyben-Herzbergs relation togs fram under antagande att hydrostatisk jämvikt råder, alltså att ingen grundvattenströmning sker (Domenico & Schwartz 1998).

Då grundvatten pumpas ut ur en akvifer sänks grundvattenytan i närheten av brunnen. Det gör att gränssnittet mot det salta grundvattnet stiger. Fenomenet kallas saltvattenuppträngning eller upconing. Stigningen  $z$  (ej att förväxla med gränssnittets djup i ekvation 1) kan beräknas enligt ekvation 2

$$z = \frac{Q\rho_f}{2\pi dK(\rho_s - \rho_f)} \quad (2)$$

där  $Q$  står för uttaget i ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $\rho_f$  för det söta grundvattnets densitet ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $\rho_s$  för det salta grundvattnets densitet ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $d$  för avståndet mellan brunnens botten och gränsskiktets ursprungliga nivå (m) och  $K$  för akviferens konduktivitet (m/s).

Jämvikt erhålls då uttaget orsakar en upconing på  $z \leq 0.3d$ . Detta ger ekvation (3)

$$Q_{max} = 0.6\pi d^2 K \left( \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} \right) \quad (3)$$

som kan användas för att beräkna det maximala uttaget  $Q_{max}$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) som kan göras utan att orsaka ett ständigt stigande saltvattengränsskikt.

Det finns flera metoder för att avhjälpa problem med saltvatteninträngning i kustnära brunnar. En är att infiltrera sötvatten nära kustlinjen för att skapa större tryck som håller nere saltvattenskiktet. En annan är att från början placera brunnar med jämna mellanrum och en tredje är att hålla ett jämnt grundvattenuttag för att undvika långa stopp och höga pumpflöden (Fagerlund & Basirat 2021).

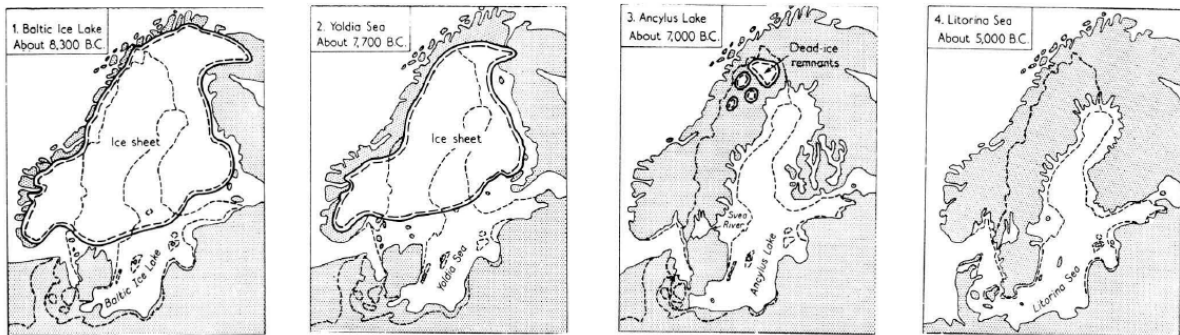
## 2.2. RELIKT SALTVATTEN

Det är inte ovanligt att det förekommer salt grundvatten i Sverige långt från havskusten. Eftersom stora landområden varit översvämmade av salt havsvatten sedan senaste istiden har det ofta antagits att det rör sig om relik saltvatten som influerar grundvattnet (Lindewald 1985). Relikt grundvatten, eller fossilt grundvatten, är sådant som uppehållit sig i en akvifer under mycket lång tid. I Sverige avser man ofta salt grundvatten från olika perioder av istid då delar av landet varit täckta med saltvatten av olika koncentration. Ifall uttaget är stort kan bräckt eller salt grundvatten riskera att komma upp i brunnar som byggts i områden som tidigare varit täckta av saltvatten. Det riskerar att göra vattnet odrickbart (SGU 2022a).

### 2.2.1. Relikt saltvatten och Östersjöns utvecklingsstadier

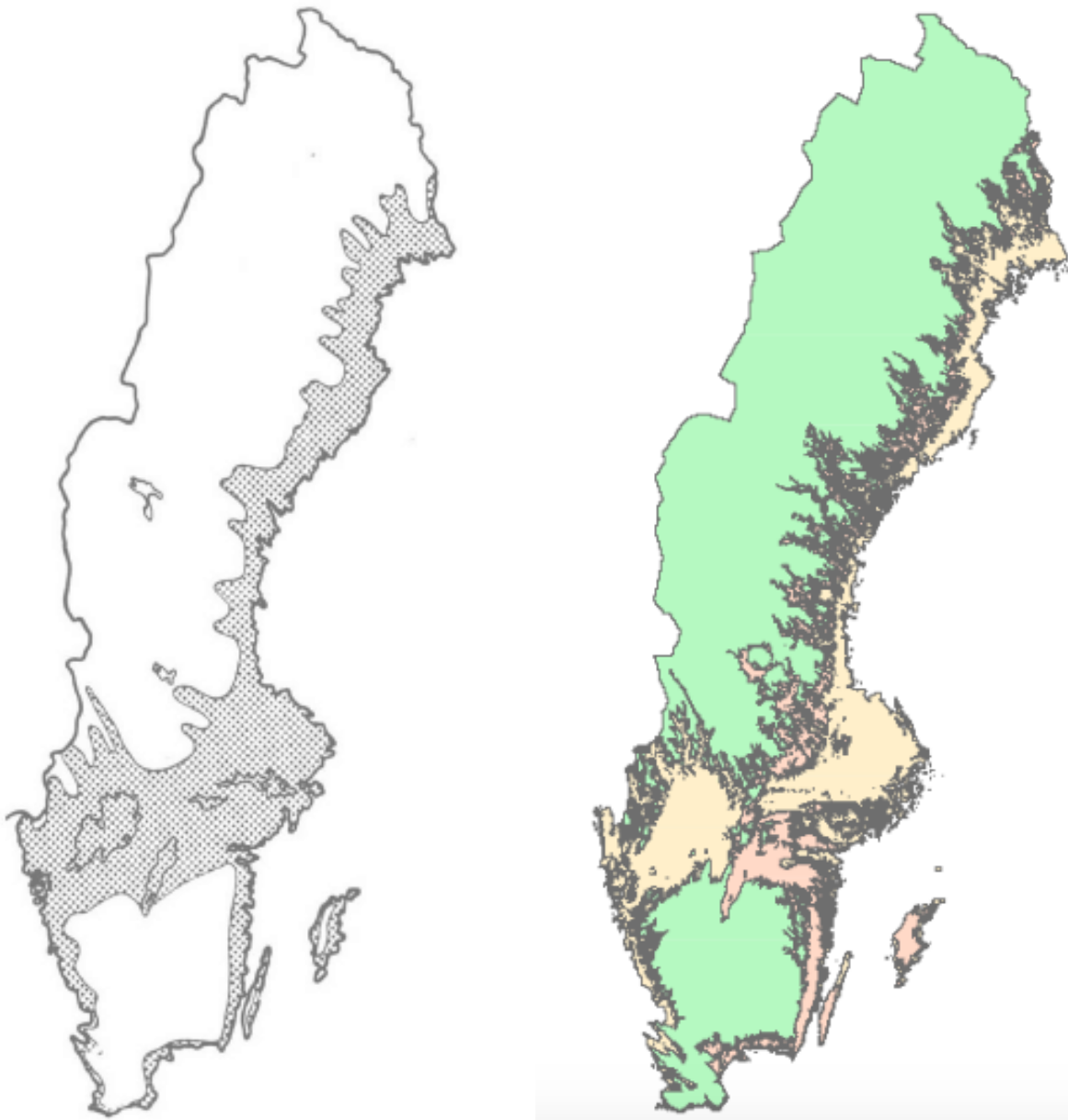
I Sverige förekommer salt grundvatten av högre halter än nuvarande Östersjön långt inne i landet. Där vet man att det inte är recent inträngande Östersjövatten som är orsaken. Däremot har samtliga områden i inlandet där salt grundvatten påträffats varit täckta av salta hav någon gång sedan den senaste istiden. Det finns därför anledning till att studera Östersjöns utvecklingsstadier i samband med förekomst av salt grundvatten (Lindewald 1985).

Salta hav har sedan inlandsisens avsmältning trängt in i Östersjöbassängen och täckt stora delar av de östra och mellersta delarna av nuvarande Sverige. Detta vid olika tillfällen sedan avsmältningen började för ca 12 000 - 14 000 år sedan. Salthalterna har varierat beroende på förbindelsen till havet. De olika östersjöstadierna sedan isens avsmältning kallas Baltiska issjön, Yoldiahavet, Ancylussjön, Litorinahavet och till sist Östersjön. Vattentypen var söt i Baltiska issjön, bräckt i Yoldiahavet, söt i Ancylussjön, och salt i Litorinahavet. Vattnet i nuvarande Östersjön är bräckt. De fyra första utvecklingsstadierna visas i Figur 11 nedan.



Figur 11. Östersjöns utvecklingsstadier sedan senaste inlandsisen från Baltiska issjön till Litorinahavet. Bildkälla: (Lindewald 1985).

Högsta kustlinjen är den högsta nivå till vilken havet eller någon av Östersjöns utvecklingsstadier nått sedan istiden (Lindewald 1985). Marina gränsen är den högsta nivå som havsvatten eller bräckt vatten nått under samma tidsperiod (Lång et al. 2006). Figur 12 nedan visar vilka områden i Sverige som befunnit sig över högsta kustlinjen, mellan högsta kustlinjen och marina gränsen samt vilka som befunnit sig under den marina gränsen. Områden mellan marina gränsen och högsta kustlinjen har varit täckta av sötvatten men inte saltvatten. Områden under marina gränsen har varit täckta av både saltvatten och sötvatten. Som framgår av Figur 12 har Lidköpings kommun där Rådaåsmagasinet finns varit täckt av saltvatten under Östersjöns utveckling.



Figur 12. Till vänster högsta kustlinjen i Sverige. Gråmarkerat område har varit täckt av hav eller sjö. Bildkälla: (Lindewald 1985). Till höger marina gränsen. Gröna områden finns ovanför högsta kustlinjen. Ljusare orange är områden under marina gränsen. Mörkare orange är områden nedanför högsta kustlinjen och ovanför marina gränsen. Bildkälla: (Lång et al. 2006).



### **2.2.2. Lerområden och salthaltigt grundvatten**

Förekomst av lera bidrar starkt till förlängd uppehållstid och nedsatt vattenrörelse. Det gäller både lerlinser, lerskikt och lerinnehåll i vissa jordarter. Av lerorna på slätterna runt Vänern har huvuddelen avsatts i det salta Yoldiahavet (Lindewald 1985). Hög halt av koksalt är ett utmärkande drag för grundvattnet i västra Sveriges lerområden eller hos de leror som avsattes i det salt havsvattnet. Den så kallade såplera håller kvar det salta havsvatten som lerpartiklarna avsattes i för flera tusen år sedan (Englöv & Malmberg 1972). Såplera är lera som är helt genomdränkt av grundvatten (KunskapsKokboken u.å.) och avser de djupare delarna av en lerjordsprofil (Berglund & Bjuréus 2008). Englöv & Malmberg (1972) förklarar vidare att medan salthalten är hög i såplera har koksaltet urlakats ur lerans övre lager där nederbörd infiltrerar. De menar dock att endast kloriden har helt urlakats ur de övre lagren eftersom natrium tvättas ur långsammare då natriumjonen absorberar starkt till lerpartiklarna. I dräneringsvattnet från leråkrarna är natriumhalten än idag hög och det kan spekuleras i huruvida deras jordbruksegenskaper påverkas av den höga natriumhalten (Englöv & Malmberg 1972).

### **2.2.3. Grundvattenkemi hos relik saltvatten**

Lloyd m. fl. (1982) har undersökt olika sätt att på enkel kemisk väg avgöra ifall saltvattnet har relik eller recent ursprung. Sedan tidigare är det känt att isotopanalyser kan användas för att bestämma ålder hos ett vatten, vilket i sin tur kan ge en fingervisning om dess ursprung. Provtagning för isotopanalyser kräver dock speciell kostsam utrustning och utpumpning av mycket stora mängder vatten (Lindewald 1985). Lloyd m. fl. (1982) fann att kvoten jodid-/kloridhalt i vattnet kunde användas för att skilja ut relikta från recenta havsvatten, med mycket enklare provtagningsförfarande och analysmetoder än isotopanalyser. Lindewald (1985) provade Lloyds metod på svenska salta grundvatten med känt ursprung med resultat som tyder på att metoden går att använda även under svenska grundvattenförhållanden. Figur 13 nedan visar Lloyds försök till vänster och Lindewalds till höger.

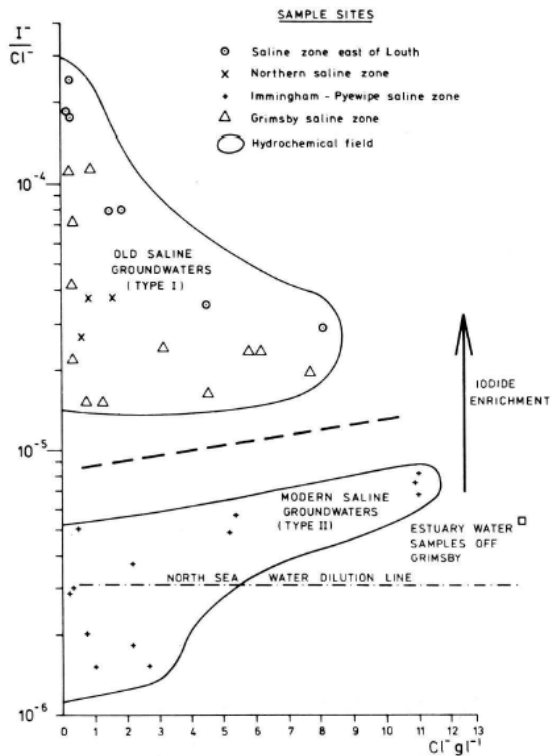


Fig. 28. På klorid - jodidförhållandet baserad indelning av salta grundvatten i en kalkstens akvifer, Lincolnshire England. (Lloyd m.fl. 1982.)

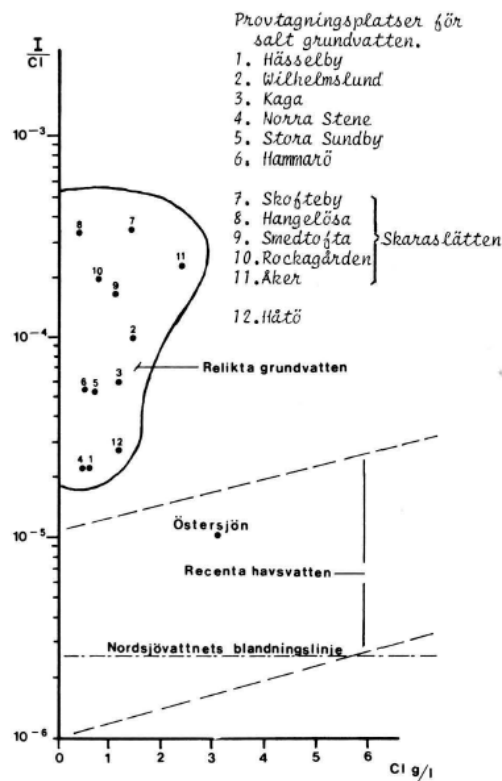


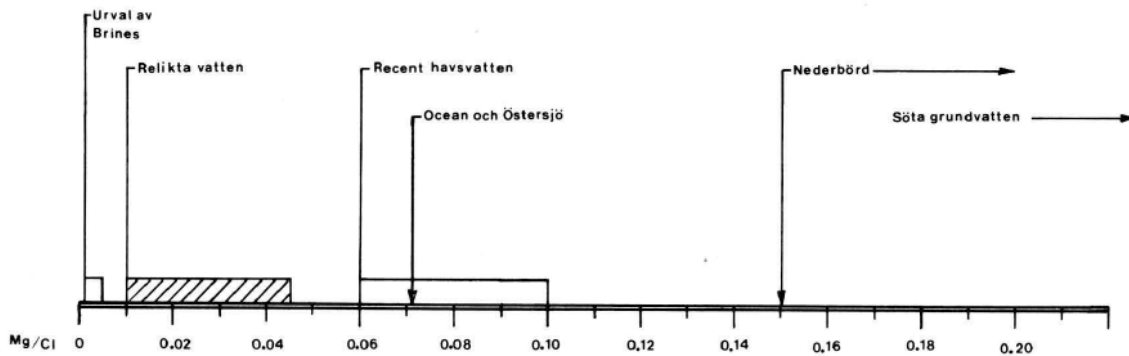
Fig. 29. På klorid - jodidförhållandet baserad indelning av salta vatten i Sverige. (Enligt Lloyd m.fl., se fig. 28.)

Figur 13. Diagram över jodid-/kloridhalt från olika provpunkter i grundvatten. Det vänstra diagrammet visar provpunkter i England och det högra visar provpunkter i Sverige. Bildkälla: (Lindewald 1985).

Figur 13 visar att relikta grundvatten i Sverige hamnar inom det inringade området med avseende på kloridhalt och kvoten mellan klorid-/jodidhalt. Särskilt kan noteras att relikta grundvatten från Skaraslätten relativt närliggande grundvattenmagasinet Rådaås hamnar inom det inringade området.

Lindewald (1985) har även undersökt hur kvoten mellan magnesium-/kloridhalt skiljer sig åt mellan olika vatten. Vattentyperna som undersöktes var brines (mycket salta vatten med totalsalthalt över 100 g/L), relikta havsvatten, recent havsvatten, oceanvatten, östersjövatten, nederbörd och söta grundvatten. Lindewald skriver inte uttryckligen vad som särskiljer oceanvatten från recent havsvatten.

Möjligen avser oceanvatten de tre världshaven Stilla havet, Atlanten och Indiska oceanen och recent havsvatten avser även övriga havsvatten (havet.nu 2021). Lindewalds studie fann att vattentyperna grupperar sig längs den skala som visas i Figur 14 nedan.



Figur 14. Indelningsskala för vatten av olika ursprung baserat på magnesium - kloridförhållandet. Bildkälla: (Lindewald 1985).

Pomper (1981) beskriver hur vatten med olika ålder i samma akvifer kan särskiljas genom att undersöka kvoten mellan klorid och sulfat. Vattnets ålder är intressant eftersom högre ålder indikerar längre uppehållstid och lång uppehållstid är en egenskap hos relik salt grundvatten. Eftersom sulfat reduceras minskar sulfathalten med vattnets ålder. Sulfat kan antingen fällas ut som järnsulfid eller avgå i gasform som svavelväte efter sulfatreduktion. Enligt Lindewald (1985) är kvoten i allmänhet hög för svenska relikta vatten och Pompers metod kan därför vara användbar för att skilja mellan relikta och recenta vatten.

### 3. METOD

Metoden som använts i detta arbete är dels en litteraturstudie av redan kända undersökningar om Rådaås grundvattenmagasin samt relevant teoretisk litteratur om salthaltigt grundvatten. Därefter gjordes en datainventering för att samla känd data och undersöka vilka möjligheter som fanns för att utöka datan på sådant sätt att frågeställningarna kunde besvaras. Dataunderlaget utökades genom provtagningar i fält. Data som framkommit i detta arbete och i tidigare studier bearbetades, sammanställdes och analyserades sedan i Excel.

#### 3.1. LITTERATURSTUDIE

Till att börja med samlades allt arkiverat pappersmaterial om Rådaås grundvattenmagasin ihop från kommunens arkiv. Allt som bedömdes vara relevant för en undersökning om salthalter i magasinet plockades därefter ut från samlingen. Bedömningen om materialets relevans gjordes tillsammans med arbetets handledare.

Eftersom magasinet redan är noggrant undersökt med avseende på hydrogeologiska förhållanden fanns mer än tillräckligt med material i arkivet för att skriva en bakgrund om detta, vilket behövs för att förstå saltproblematiken. Det relevanta materialet utgjordes främst av rapporter från undersökningar och studier gjorda av Sweco (2021) och dess föregångare Sweco VIAK (2005), VBB VIAK (2000) och VBB VIAK (1992). Det utvalda pappersmaterialet kompletterades med digitalt material från kommunens samlingar som handledare med kollegor hade tillgång till och ansåg relevant. Ett exempel är Perssons (2015) rapport samt förstås Lidköpings kommuns (2021) egna utredning. Även det digitala materialet användes som källa till bakgrundsbeskrivningen av området.

Från referenser som nämndes i kommunens fysiska och digitala arkivmaterial eftersöktes ytterligare litteratur om såväl Rådaås grundvattenmagasin som generell teori om salt grundvatten som bedömdes vara användbar för detta arbete. Från Perssons (2015) rapport hittades examensarbetet av Anderberg (1991) från vilket Carlsson & Carlstedts (1975) rapport hittades. Båda var användbara för bakgrundsförståelse och som teoretisk grund för detta arbete. Efter tips från en hydrogeolog som tidigare arbetat med Rådaås för kommunens räkning gjordes också eftersökningar i SGUs öppna digitala rapportsamling GeoLagret vilket ledde fram till Lindewalds (1985) mycket användbara rapport om salthaltigt grundvatten i Sverige, se Teori. Bland Lindewalds referenser fanns Englöv & Malmberg (1972) som också använts i teoriavsnittet i denna rapport.

Som nästa steg gjordes en inventering av vilka data kommunen har att tillgå rörande salthalter från Råda källor. Vad som framkom redogörs för i Bakgrund under avsnitten 1.3.6. Mer om uttagsbrunnarna och 1.3.7. Mer om grundvattenrören.

## **3.2. PROVTAGNING**

### **3.2.1. Provtagning 3**

För att besvara den första frågeställningen om hur salthalterna skiljer sig åt på olika platser i magasinet utformades en plan för provtagning i grundvattenrören. Rören som ingick i planen var 9206, 6905, 6904, 7305, 7304, 9203, 9202, 9204, 9201 och 11056. Parametrarna som det provtogs för var konduktivitet, pH, klorid, kalcium, natrium, bromid och sulfat. Detta är samma rör och samma parametrar som kommunen tidigare provtagit under september och november 2020, för att kunna jämföra ifall resultaten är likartade vid de olika mättillfällena. Kommunens mätning i september 2020 kallas härefter för provtagning 1, mätningen i november 2020 kallas för provtagning 2, och mätningen som genomförts inom detta arbete kallas provtagning 3. För resultat se Figur 23-25.

Då det sedan tidigare är känt att det mycket djupa grundvattenröret 7304 har allra högst salthalt av de platser som provtagits, framkom misstanke om att även rör 7305 skulle uppvisa hög salthalt. Röret har inte provtagits av kommunen på mycket lång tid men letades dock upp inom detta examensarbete. Grundvattenrör i det övre magasinet som kommunen tidigare provtagit vid ett tillfälle exkluderades här eftersom detta arbete fokuserar på salthalter i det undre dricksvattenmagasinet. Fältprotokollet som användes vid provtagningen finns i Appendix. Ett protokoll fylldes i för varje grundvattenrör och det gjordes två olika varianter, den ena för artesiska grundvattenrör och den andra för icke-artesiska.

Innan provtagning i de icke-artesiska rören genomfördes ett funktionstest för att avgöra ifall tillströmningen till rören är tillräckligt god. Det är nödvändigt för att provtagning ska ge tillförlitliga resultat av vattenkemin i magasinet där rörets intagsdel sitter. Funktionstestet genomfördes genom att vattennivån i röret avsänktes några meter genom pumpning. Djupet till grundvattenytan mättes med ett ljuslod, se Figur 15, 16 och 17. De rör där ytan steg till ursprunglig nivå inom 15 min, eller åtminstone steg märkbart bedömdes vara funktionsdugliga enligt Björkman (2020).



Figur 15. Ljuslod på måttband sänks ner i grundvattenrör 7305 för att mäta djupet till grundvattennivå inför funktionstest. Ljuslodet piper då det når vattenytan och djupet från rörets kant till vattenytan kan avläsas på måttbandet.



Figur 16. Mätning av grundvattennivå med ljuslod i grundvattenrör 6904.



Figur 17. Mätning av grundvattennivå i SGUs grundvattenrör 11056 på Rådasands täktområde.

Pumpen som användes visas i Figur 18. Pumpen är ansluten till en slang som leder vattnet ut ur röret och en strömsladd som kopplas till ett medtagbart batteri.



Figur 18. Dränkbar pump (svart stav) som kan sänkas ner i grundvattenröret.

Figur 19 och 20 visar kopplingsladd och batteri till pumpen.



Figur 19. Kopplingsladd mellan pumpens strömsladd och batteri.



Figur 20. Medtagbart batteri till pumpen.

Som nästa steg, efter att röret bedömts vara funktionsdugligt, omsattes vattnet i det. Vattenvolymer som från början fanns i röret beräknades med hjälp av att dess djup, diameter och grundvattnets nivå under rörkanten var känd. Denna volym kallas en rörvolym. Två sådana rörvolym pumpades ut för att ordentligt omsätta grundvattnet i röret. En murarhink rymmande 17 liter, se Figur 21, användes för att mäta upp volymen och säkerställa att minst två rörvolym pumpades ut. Omsättningen är nödvändig för att få ett rättvisande prov på grundvattenkemin. Annars kan resultatet bli missvisande på grund av att vatten stått stilla i röret under en längre tid.





Figur 21. Murarhink för uppmätning av utpumpad vattenvolym under omsättning av grundvattenrören. Hinken rymmer 17 liter.

Efter att rören omsatts två gånger ansågs grundvattnet i dem vara representativt för läget och djupet där intagsdelen är placerad. Då fylldes en provflaska à 500 mL från varje grundvattenrör. Flaskorna lämnades efter provtagning in till Eurofins Environment Testing Sweden AB för analys. Även Brunn 1 och 2 provtogs. Detta genom att öppna en manuell kran hos vardera brunn och låta vattnet rinna en stund för omsättning i kran och rörkoppling innan provflaskorna fylldes. Brunn 3 provtogs ej eftersom den inte var i drift under de två dagarna som Provtagning 3 genomfördes.

De artesiska grundvattenrören behövde ej funktionstestas då de är självrinnande, se Figur 22. För att omsätta två rörvolym i dem öppnades deras kran och flödes hastigheten räknades ut genom att ta tid på hur snabbt en 500 mL flaska fylldes. Därefter räknades det ut hur länge källan behövde stå på rinn för att omsätta motsvarande två rörvolym. Antal liter som motsvarar två rörvolym beräknades på samma sätt som för icke-artesiska rör, med skillnaden att hela rörets djup är vattenfyllt.



Figur 22. Det artesisiska grundvattenröret 9202 då kranen är öppen. Grundvattnet självrinner ur röret och dess tryckyta befinner sig ovanför marknivån.

### 3.2.2. Start-slutprovtagning

För att besvara den tredje frågeställningen om hur brunnsdriften påverkar salthalterna i uttagsvattnet tillsammans med grundvattennivåerna gjordes en serie provtagningar på grundvattnet från Brunn 1, 2 och 3. Ett så kallat startprov togs på Brunn 3 kl 10:45 den 24 september 2021. Brunn 3 hade då varit igång cirka en timma. Provet togs genom att en 500 mL provflaska fylldes manuellt från en liten kran på brunnens sida. Slutprovet på Brunn 3 togs 4 oktober. Därefter (men under samma dag) ombads vattenverket att byta aktiv källa från Brunn 3 till Brunn 2. Minst 10 min efter bytet togs ett startprov på uttagsvattnet från Brunn 2. Tiden 10 min bedömdes räcka för att eventuellt stillastående vatten i Brunn 2 sedan den senast kördes skulle omsättas. Tio dagar senare togs ett slutprov på Brunn 2 innan aktiv källa byttes till Brunn 1.

På samma sätt fortsattes det att ta start- och slutprov på den aktiva brunnen till 21 december 2021. Det byttes aktiv brunn med ett mellanrum på ca 7-10 dagar eftersom det motsvarar perioden som vattenverket i normalfall kör en brunn.

Mot slutet av provperioden valdes 7 dagar oftare än 10 eftersom resultatet visade sig vara intressant och det motiverade till en önskan att hinna med så många provomgångar som möjligt inom detta arbete. Vid samtliga startprover tilläts brunnen köra minst 10 min innan provtagning.

Vid samtliga start- och slutprover stod kranen vid brunnen på rinn en kort stund (30 s-1 min) innan provflaskan fylldes för att skölja ur eventuellt stillastående vatten i den. Provflaskorna skickades till laboratoriet för analys av parametrarna konduktivitet, pH, klorid, kalcium, natrium, bromid och sulfat. För resultat från start-slutprovtagningarna se Figur 28-30.

### **3.2.3. Jodid- och magnesiumprovtagning**

För att besvara den andra frågeställningen om salternas ursprung i vattentäkten provtogs vissa av grundvattenrören och samtliga uttagsbrunnar för jodid och magnesium (se Figur 13 och 14 i avsnitt 2.2.3.). Rören som provtogs var 7304, 7305, 9203 och 9917. Rör 7304 och 7305 provtogs eftersom de uppvisat högst salthalt i provtagning 3, se Figur 23 i Resultat. Rör 9203 provtogs eftersom det också har sin intagsdel i det undre magasinet men ligger längre bort från den förmodade djuphålan. Det var därför av intresse att ta reda på huruvida salterna där är av samma ursprung som salterna vid 7304 och 7305. Rör 9917 provtogs eftersom det befinner sig mycket nära 9203 men har sin intagsdel i det övre grundvattenmagasinet. Det har en viss salthalt (se Figur 24 i Resultat) men avsevärt lägre än 9203. Det tyder på att salterna i det övre magasinet är av annat ursprung än i det undre och 9917 provtogs för jodid och magnesium för att undersöka den saken. Grundvattenrören provtogs enligt samma tillvägagångssätt som beskrivs i stycket Provtagning 3 ovan, då två rörpolymer pumpades eller tilläts rinna ur innan provtagning. Dock gjordes endast funktionstest på 9917 eftersom de andra funktionstestats strax innan, i samband med provtagning 3.

Prov på Brunn 3 togs precis innan den stängdes av i samband med ett slutprov. Därefter startades Brunn 1 en kort stund för att kunna ta ut prov, innan den stängdes av och Brunn 2 startades. Startprov på Brunn 2 togs precis efter att den satts igång.

## **3.3. DATABEARBETNING**

### **3.3.1. Frågeställning 1**

Data i form av analysresultat från provtagningarna utförda inom ramen för detta arbete sammanställdes, bearbetades och analyserades i Excel tillsammans med äldre data som kommunen har tillgång till.

För att besvara den första frågeställningen gjordes ett stapeldiagram över analysresultaten från provtagning 3, ett annat med kloridhalterna från provtagning 3 tillsammans med dem från kommunens båda provtagningar, och ett diagram över kloridhalt plottat mot höjdläget hos rörets intagsdel, se Figur 23-25.

### 3.3.2. Frågeställning 2

För att besvara den andra frågeställningen plottades jodid-/kloridkvoten mot kloridhalten för de prover som tagits och diagrammet lades ovanpå Lindewalds (se Figur 26) för att se ifall punkterna hamnade inom det avgränsade relikta området. Dessutom beräknades magnesium-/kloridkvoten för vatten från de tre uttagsbrunnarna, se Tabell 1. Vidare gjordes ett stapeldiagram över klorid-/sulfatkvoten på de olika provpunkterna vid de tre provtagningstillfällena för att jämföra vattnets uppehållstid, se Figur 27.

Samtliga kvoter är viktsbaserade ( $\frac{g}{L} / \frac{g}{L}$ ) då det är så Lindewald (1985) beräknar dem i sin rapport. Pomper (1981) har inte specificerat ifall det är en viktsbaserad eller molbaserad klorid-/sulfatkvot som avses, men då Lindewald tolkar det som en viktsbaserad kvot är det också vad som beräknas i detta arbete.

### 3.3.3. Frågeställning 3

För att besvara den tredje frågeställningen gjordes tre olika diagramvarianter där start-slutprovernas resultat med avseende på kloridhalter plottades mot tid, se Figur 28-30. En sekundär y-axel lades till där grundvattennivån i tre olika mätpunkter plottades i respektive diagram.

Ett annat diagram, också för att besvara den sista frågeställningen, gjordes där samtliga kloridhalter i uttagsvattnet som kunnat hittas sedan 1990-talet plottades mot tid och separerades med avseende på vilken uttagsbrunn de hör till, se Figur 31. Linjär regression användes för att lägga till en trendlinje för vardera uttagsbrunn. Ett t-test genomfördes därefter för att beräkna ett 95 % konfidensintervall för lutningen i vardera linje. Detta i syfte att se ifall det finns en ökande trend i kloridhalt, och att undersöka ifall det finns långsiktiga skillnader mellan kloridhalterna i de tre brunnarna.

Ett tredje diagram för att besvara sista frågeställningen gjordes med tid sedan mars 2018 på x-axeln och uttagsmängd grundvatten på primär y-axel, se Figur 32. På en sekundär y-axel plottades kloridhalter. Både uttagsmängder och kloridhalter separerades med avseende på vilken uttagsbrunn de tillhör.

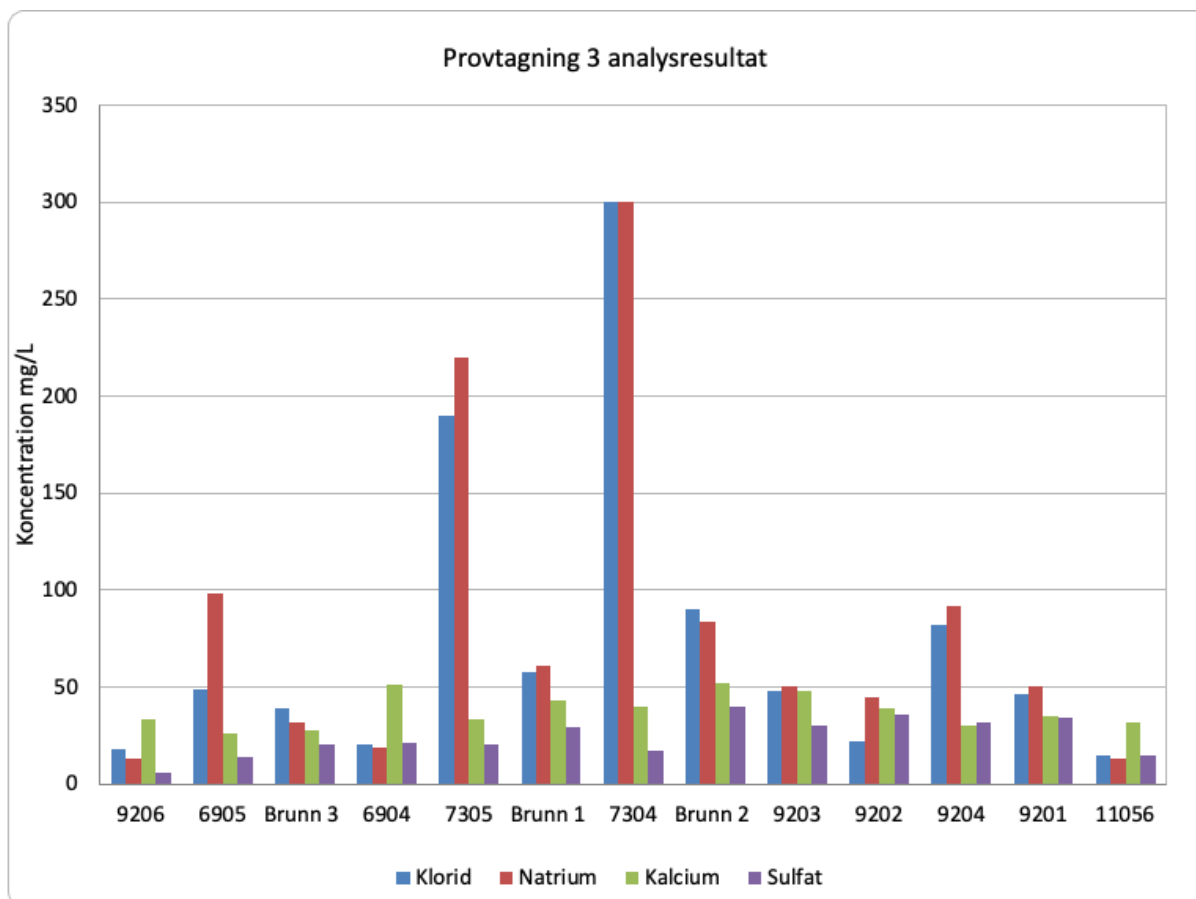
Data plottades sedan mars 2018 eftersom det var då som det började föras noggrann statistik över vilken brunn som varit igång varje specifik dag och därmed även vilken brunn en viss kloridhalt hör till. Detta för att se hur brunnsdrift påverkar kloridhalterna och huruvida det verkar finnas någon skillnad mellan de tre brunnarna.

## 4. RESULTAT

### 4.1. FRÅGESTÄLLNING 1

#### 4.1.1. Salthalter på olika platser i magasinet

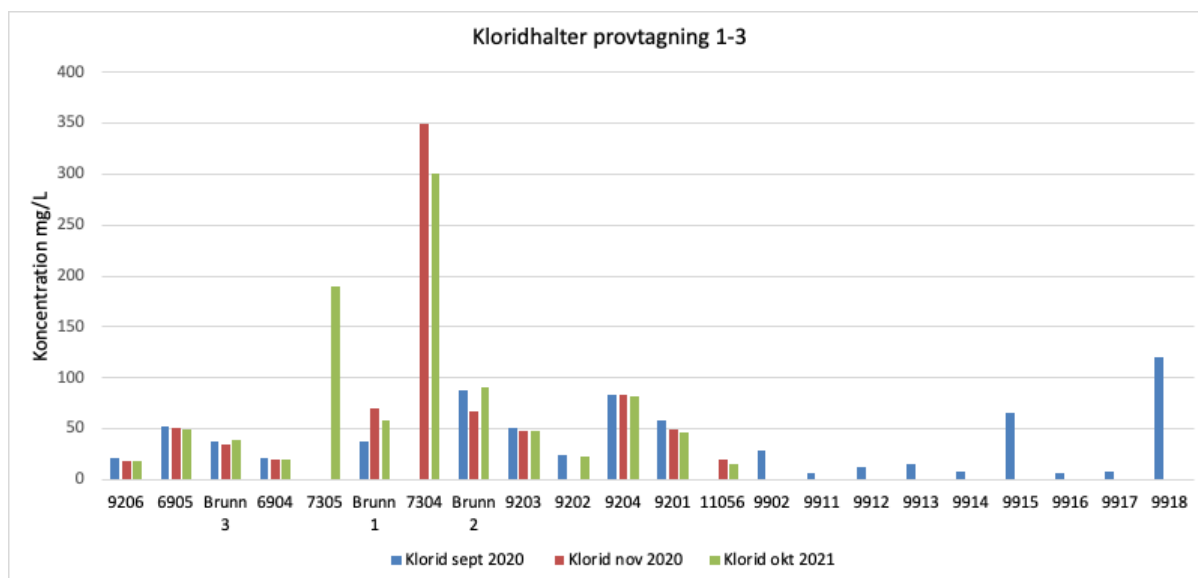
Resultatet från de parametrar som grundvattenrör och uttagsbrunnarna 1 och 2 provtogs för under provtagning 3 presenteras i Figur 23 nedan. Analysresultatet för Brunn 3 är hämtat från start-slutprovtagningen som genomfördes 4 oktober. Detta eftersom Brunn 3 inte var i drift under provtagning 3. Parametrarna är klorid, natrium, kalcium och sulfat.



Figur 23. Koncentration av klorid, natrium, kalcium och sulfat från Provtagning 3 av grundvattenrör och uttagsbrunnar 14-15 oktober 2021. Analysresultatet från Brunn 3 är dock hämtat från 4 oktober.

Figuren visar att kloridhalten är allra högst i rör 7304 som också är det djupaste. Även 7305 har en mycket hög salthalt i jämförelse med övriga.

Resultatet med avseende på kloridhalt från provtagning 1-3 (där provtagning 1 och 2 avser de som utförts av kommunen i september och november 2020) visas i Figur 24 nedan.

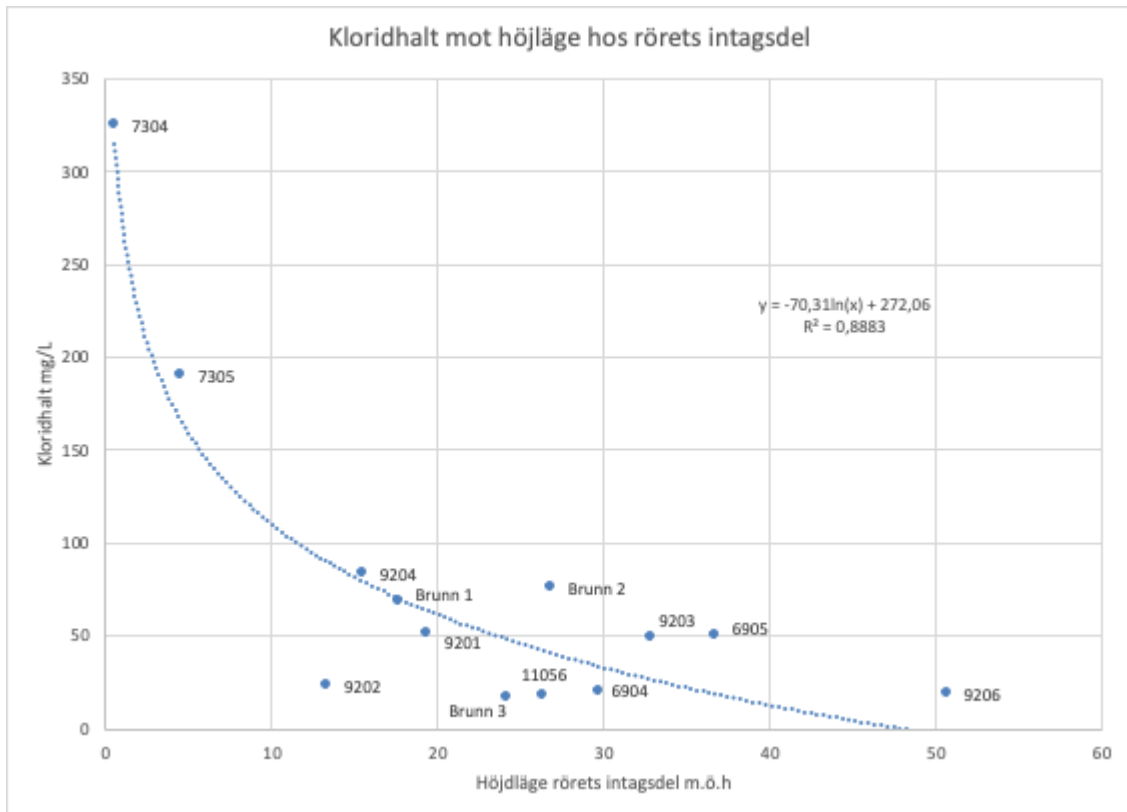


Figur 24. Koncentration av klorid hos grundvattenrör och uttagsbrunnar vid tre mättillfällen under september 2020 till oktober 2021. Analysresultatet från Brunn 3 är hämtat från 4 oktober. Rör med namn som börjar på 99- finns i det övre grundvattenmagasinet.

Figur 24 visar att kloridhalterna i rör och uttagsbrunnar i de flesta fall är likartade vid samtliga mättillfällen. Halterna i uttagsbrunnarna skiljer sig mer åt vid provtagningstillfällena än halterna i grundvattenrören, särskilt Brunn 1 och 2. Även rör 7304 skiljer sig åt från november 2020 till oktober 2021 då salthalten var betydligt lägre 2021. Rör 7304 och 7305 visar återigen betydligt högre salthalter än övriga rör och brunnar. Rör 9915 och 9918 finns i det övre grundvattenmagasinet och visar betydligt högre kloridhalt än övriga i samma magasin.

#### 4.1.2. Salthalter på olika djup i magasinet

I Figur 25 har kloridhalt plottats mot höjdläge hos grundvattenrörens och brunnarnas intagsdel.



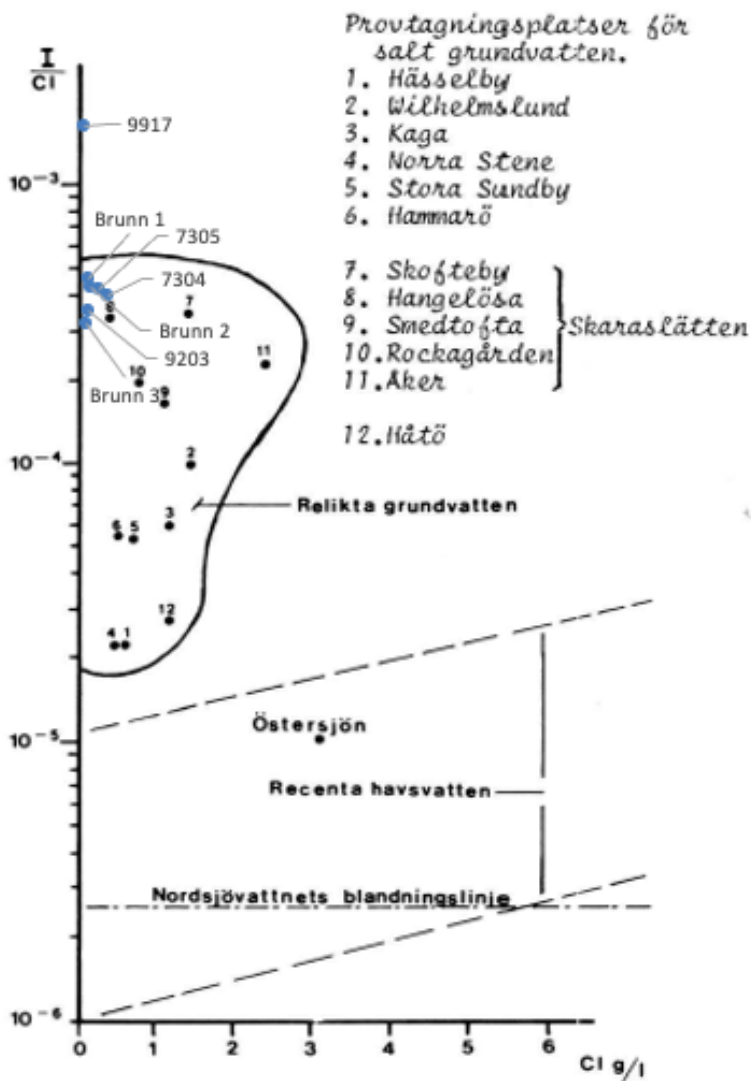
Figur 25. Kloridhalt plottad mot höjdläge hos intagspunkten hos grundvattenrör eller uttagsbrunn. Höjdläget anges i meter över havet. Kloridhalterna för grundvattenrören är beräknade medelvärden från provtagning 1-3. Kloridhalterna för brunnarna är beräknade medelvärden för de startprover som tagits inom studien.

Figur 25 visar en tydlig trend att lägre intagsdel medför högre salthalter.

## 4.2. FRÅGESTÄLLNING 2

### 4.2.1. Jodid-/kloridkvot

Resultatet från jodid- och kloridprovtagningen visas i Figur 26 nedan, där massbaserade jodid-/kloridkvoter beräknats (g/L).



Figur 26. Diagram med kloridhalt i g/L på x-axeln och massbaserad jodid-/kloridkvot (g/L) på y-axeln för de tre uttagsbrunnarna, grundvattenrör 7304, 7305, 9203 i det undre magasinet samt 9917 i det övre magasinet ovanpå Lindewalds (1985) diagram.

Figur 26 där Lindewalds (1985) diagram använts som förlaga visar att grundvatten från uttagsbrunnarna, och grundvatten från samtliga grundvattenrör i det undre magasinet, hamnar i det relikta området. Endast rör 9917 i det övre magasinet hamnar utanför området.

#### 4.2.2. Magnesium-/kloridkvot

Resultatet från beräkningarna av magnesium-/kloridkvot för uttagvattnet från Råda källor visas i Tabell 1.



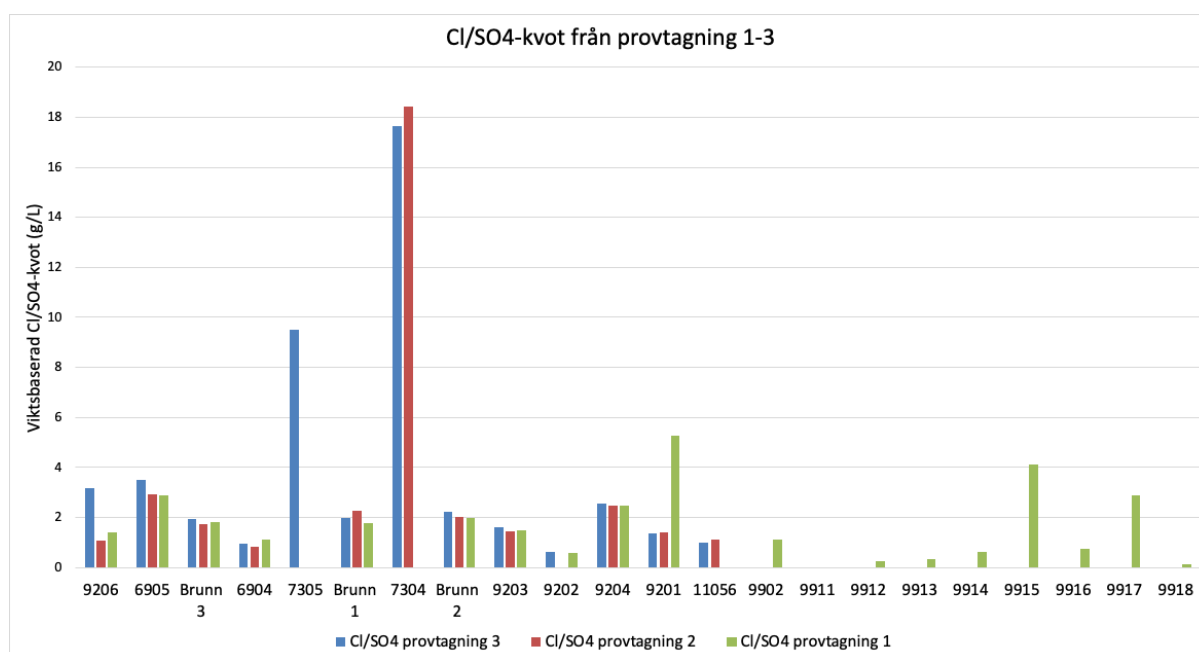
Tabell 1. Magnesium-/kloridkvot för uttagsvattnet i Brunn 1,2 och 3. Kvoten som anges är ett beräknat medelvärde av massbaserad koncentration (g/L) från start- och slutproverna för respektive brunn i de fall där magnesium analyserats (från och med 17 nov).

Provtagningspunkt	Mg/Cl ( $\frac{g/L}{g/L}$ )
Brunn 1	0,18271312
Brunn 2	0,19752133
Brunn 3	0,43561559

Resultatet i Tabell 1 visar att magnesium-/kloridkvoten är högre än 0,18 för alla tre uttagsbrunnarna, vilket indikerar nederbörd eller söta grundvatten, jämför Figur 14.

#### 4.2.3. Klorid-/sulfatkvot

Resultatet från beräkningarna av klorid-/sulfatkvoten i grundvattenrören och uttagsbrunnarna visas i Figur 27 nedan. Kvoten är massbaserad och det beräknades en kvot för varje provtagning 1-3. Eftersom Brunn 3 inte provtogs under provtagning 3 är klorid- och sulfathalterna hämtade från slutprovtagningen 4 oktober.



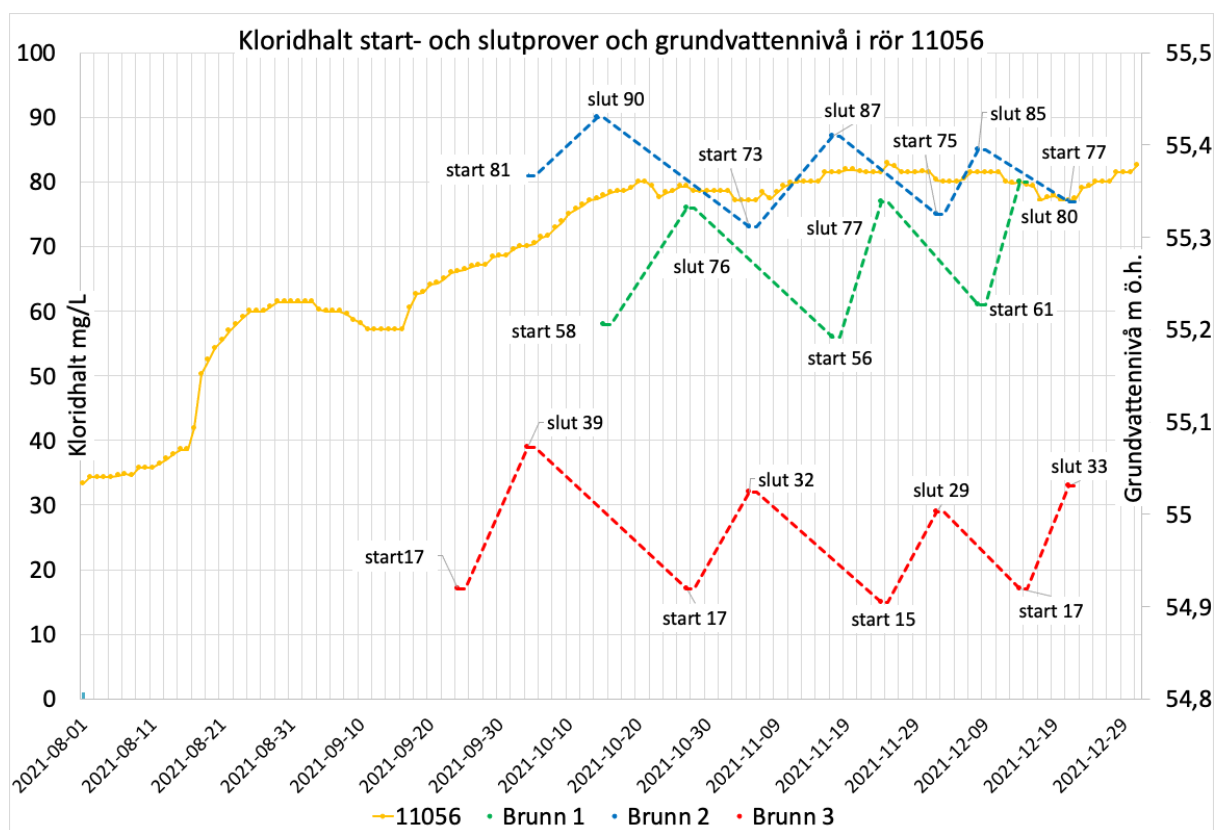
Figur 27: Klorid-/sulfatkvot för grundvattenrör och uttagsbrunnar i Rådaås grundvattenmagasin under Provtagning 1-3. För Brunn 3 är kvoten som anges för provtagning 3 beräknad utifrån analysresultatet från slutprovtagningen 4 oktober. Rör med namn som börjar på 99- finns i det övre grundvattenmagasinet.

Resultatet i Figur 27 visar att uppehållstiden är längst i de djupaste grundvattenrören 7304 och 7305 eftersom klorid-/sulfatkvoten är högst för dem. Rör 9201 visar lång uppehållstid i första provtagning men inte andra och tredje. Rör 9915 och 9917 visar också lång uppehållstid.

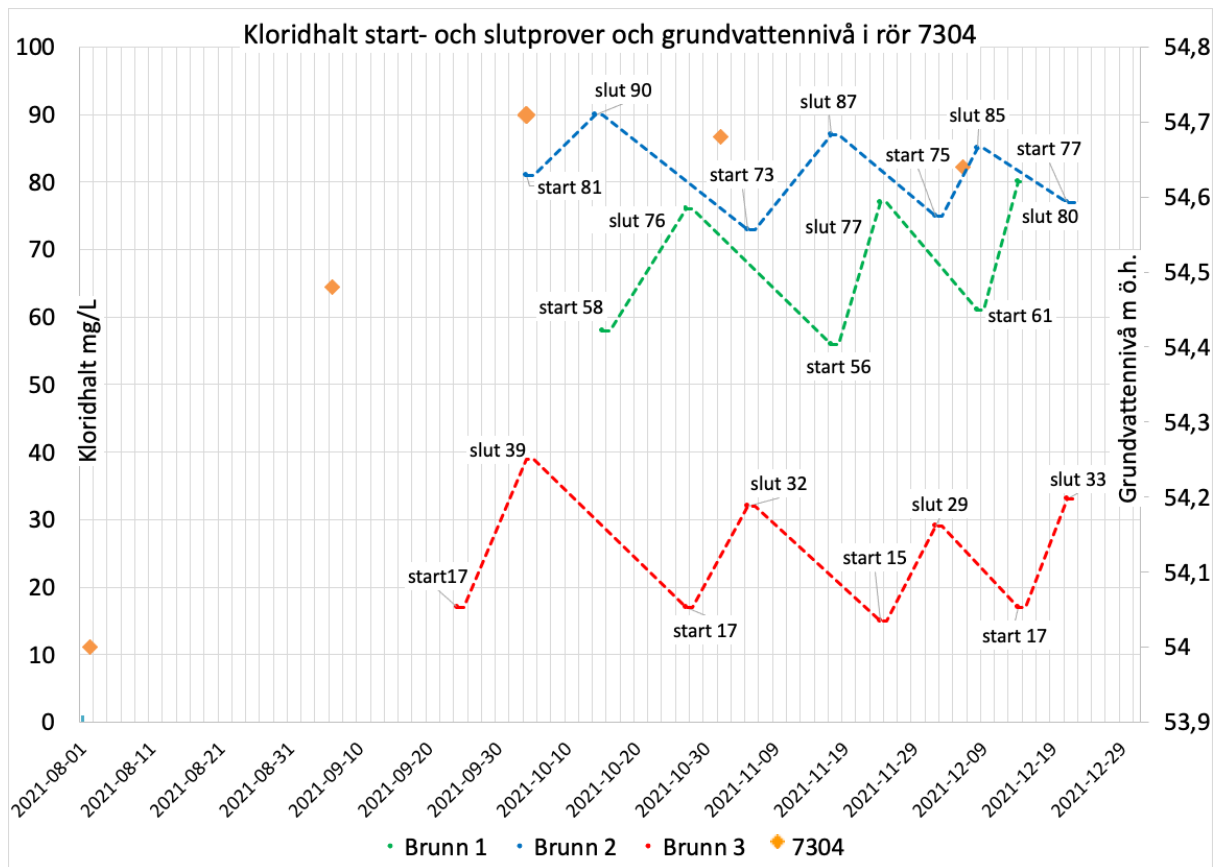
### 4.3. FRÅGESTÄLLNING 3

#### 4.3.1. Start-slutprovtagning

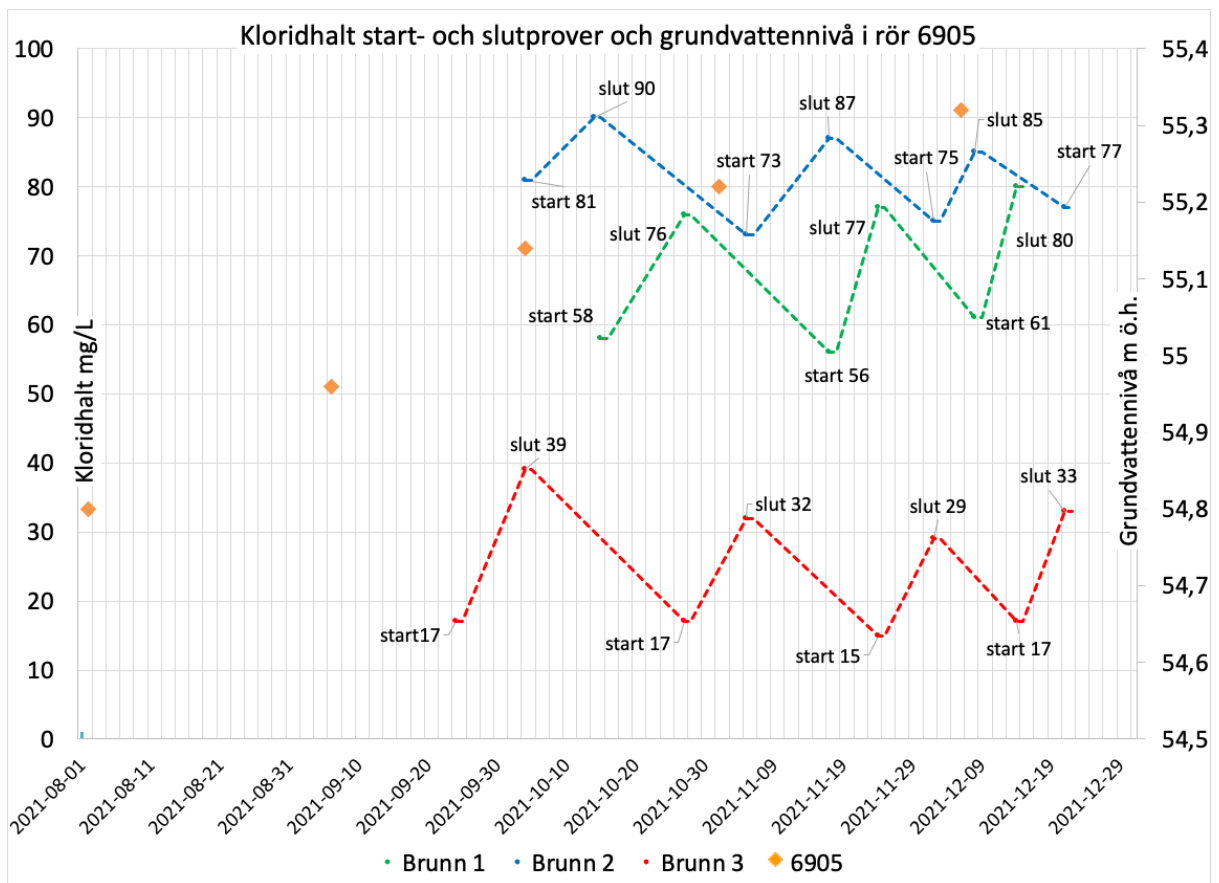
Resultatet från start-slutprovtagningarna av kloridhalt visas i Figur 28-30 nedan. Utöver kloridhalter kopplat till driftsperioden visar de tre figurerna grundvattennivåer i tre olika mätstationer. Det är SGUs rör 11056 (Figur 28) som avläses automatiskt flera gånger per dag, rör 7304 (Figur 29) samt rör 6905 (Figur 30) vilka båda avläses manuellt en gång i månaden.



Figur 28: Start-slutprover av kloridhalt i mg/L för vardera uttagsbrunn under perioden 24 september till 31 december 2021. En förbindelse mellan två punkter i seriedrammet visar antingen en period då brunnen är i drift eller en period då den är vilande, se dataetiketter som också visar kloridhalt. Diagrammet visar även grundvattennivå i rör 11056 på Rådasands täktområde.



Figur 29: Start-slutprover av kloridhalt i mg/L för vardera uttagsbrunn under perioden 24 september till 31 december 2021. En förbindelse mellan två punkter i seriedrammet visar antingen en period då brunnen är i drift eller en period då den är vilande, se dataetiketter som också visar kloridhalt. Diagrammet visar även grundvattennivå i rör 7304.



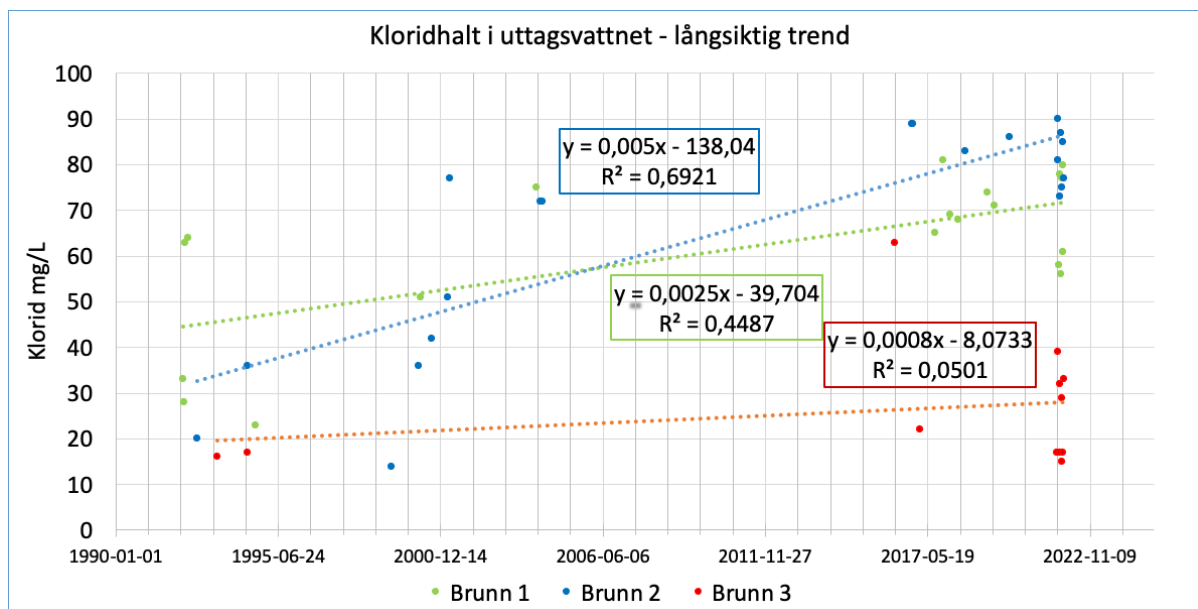
Figur 30: Start-slutprover av kloridhalt i mg/L för vardera uttagsbrunn under perioden 24 september till 31 december 2021. En förbindelse mellan två punkter i diagrammet visar antingen en period då brunnen är i drift eller en period då den är vilande, se dataetiketter som också visar kloridhalt. Diagrammet visar även grundvattennivå i rör 6905.

Figur 28-30 visar att salthalterna ökar vid brunnsdrift. Samtliga startvärden och samtliga slutvärden är likartade, särskilt för Brunn 3. Under analysperioden uppvisar Brunn 2 högst salthalter. Brunn 1 uppvisar något lägre salthalter och analysresultatet från Brunn 3 visar betydligt lägre salthalt än övriga två.

Grundvattennivån i rör 11056 ökar markant innan mätperioden av start- och slutproverna för att sedan ligga på en ganska jämn nivå. Även nivån i rör 7304 ökar innan, och minskar något under mätperioden. Nivån i 6905 ökar innan mätperioden och fortsätter att öka något under den.

### 4.3.2. Långsiktiga kloridhalter i uttagstvattnet

Figur 31 nedan visar resultatet från sammanställningen av samtliga kloridhalter i uttagstvattnet från Råda källor som kunnat hittas sedan 1990-talet med en trendlinje för varje brunn framtagen med linjär regression.



Figur 31: Kloridhalter i uttagstvattnet från Brunn 1, 2 och 3 sedan 1990-talet och framåt. En linjär trendlinje med ekvation och  $R^2$ -värde har ritats in för varje brunn.

Resultatet från t-testet för tillförlitligheten i lutningens storlek anges i Tabell 2 nedan.

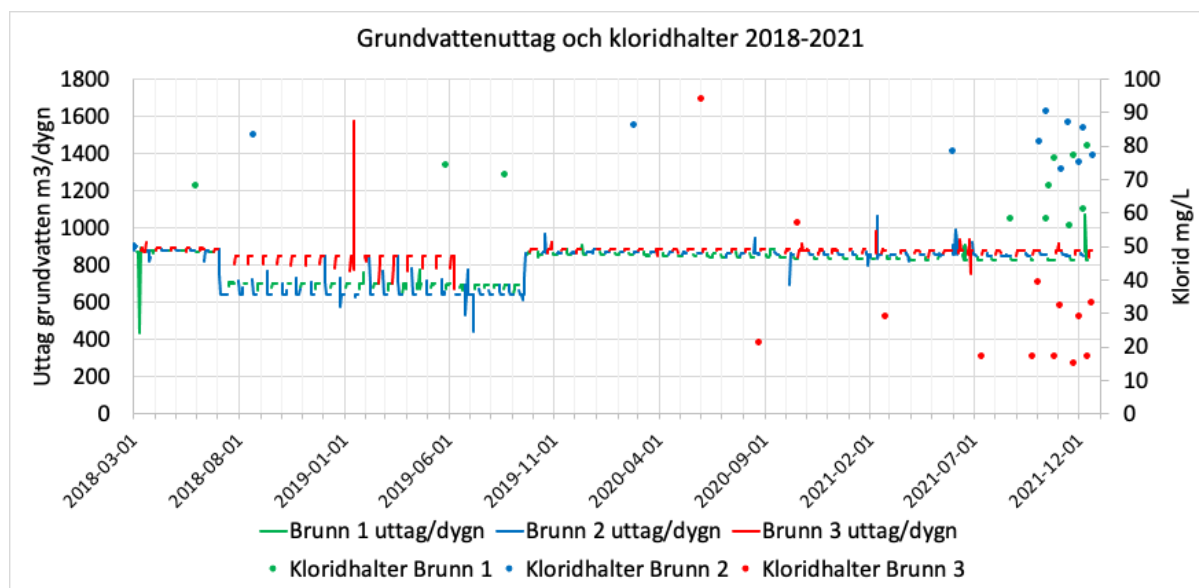
Tabell 2. Lutning hos vardera brunns trendlinje för förändring i kloridhalt över tid samt undre och övre gräns för ett 95 % konfidensintervall kring lutningen.

Brunn	Lutning	Undre gräns 95 % konfidensintervall	Övre gräns 95% konfidensintervall
Brunn 1	0,0025	0,0011	0,0039
Brunn 2	0,0050	0,0034	0,0067
Brunn 3	0,0008	-0,0017	0,0033

Enligt resultatet från t-testet som visas i Tabell 2 ligger ökningen i salthalt för Brunn 1 med 95 % sannolikhet mellan 0,0011 och 0,0039 mg/L och dag. För Brunn 2 ligger ökningen med 95 % säkerhet mellan 0,0034 och 0,0067 mg/L och dag. För Brunn 3 ligger förändringen mellan -0,0017 och 0,0033 mg/L och dag, med 95 % säkerhet.

### 4.3.3. Brunnsdrift och kloridhalter

Figur 32 nedan visar driftsmönstret av brunnarna med avseende på vilken brunn som varit igång och när, samt hur stor mängd vatten som tagits ut per dag sedan mars 2018. Detta tillsammans med tillgängliga kloridhalter.



Figur 32: Uttagsmängder av grundvatten i m<sup>3</sup>/dag och driftmönster för de tre uttagsbrunnarna tillsammans med kloridhalter i mg/L i uttagsvattnet.

Resultatet i Figur 32 indikerar att kloridhalterna generellt är lägre för Brunn 3 trots att den körs under ungefär lika långa tidsintervall och tar ofta ut mer vatten än de övriga två (se från oktober 2019). Under tidsserien varierar resultatet mer för Brunn 1 och 2 än för Brunn 3. Det har dock förekommit mycket höga halter för även Brunn 3, se juni och oktober 2020.

## 5. DISKUSSION

### 5.1. FRÅGESTÄLLNING 1

**Hur skiljer sig salthalterna åt på olika platser i form av position och djup i magasinet?**

Enligt resultatet från provtagning 1-3 (se Figur 23 och 24) uppvisar rör 7304 och 7305 betydligt högre salthalter än övriga grundvattenrör. Detta stämmer med hypotesen att salthalten ökar med djupare liggande jordlager (närmare havsytans), vilket också stöds av Figur 25. De höga kloridhalterna i 7304 och 7305 tyder också på att det finns en ränna eller djuphåla där Carlsson & Carlstedt (1975) påstår, se Figur 9, där salt grundvatten har ansamlats i högre koncentration.

Enligt dem fortsätter rännan åt norr mot Kållandslinjen, där den sedan länkas av och fortsätter åt nordost mot Vätern. Detta ger också en förklaring till varför kloridhalterna generellt är högre i Brunn 1 och 2 än i Brunn 3, då de båda ligger närmare eller strax ovanför rännan där salt grundvatten har ansamlats i högre koncentration. Brunn 3 är inte lika djup som Brunn 1 och i grundvattnets strömningsriktning ligger den före de andra två (se Figur 4), vilket innebär att tillströmningen till Brunn 3 i huvudsak sker i form av grundvatten som är opåverkat av det salta vattnet i djuphålan.

Positionen hos Brunn 3 i grundvattnets strömningsriktning och dess relativt låga kloridhalt tyder på att mindre av det djupa grundvattnet från rännan pumpas upp vid drift av Brunn 3 i jämförelse med de andra två. Ifall intresse finns hos Lidköpings kommun att vidare utreda var de största saltansamlingarna finns i magasinet kan geofysiska metoder användas för att undersöka om det finns en ränna i berggrunden där Carlsson & Carlstedt påstår och huruvida det i så fall finns saltansamlingar av hög koncentration längs denna. Detta kan vara värdefull kunskap i händelse att kommunen vill installera fler eller nya uttagsbrunnar på platser där risken för ökade kloridhalter är mindre i uttagsvattnet än de är idag.

När det gäller övriga grundvattenrör i det undre magasinet är skillnaden mellan kloridhalterna mindre då 7304 och 7305 exkluderas, se Figur 24. Dock finns vissa mindre skillnader. Nordost om Råda källor i grundvattnets strömningsriktning (se Figur 3, 4 och 5) finns de fyra grundvattenrören 9203, 9202, 9204, 9201. Av de fyra verkar salthalten i 9204 vara högst och salthalten i 9202 lägst. En anledning till att salthalten är som högst i 9204 kan vara att den ligger mest i linje med grundvattnets strömningsriktning efter de tre uttagsbrunnarna, se Figur 4. En möjlighet är att salthaltigt grundvatten pumpas upp av uttagsbrunnarna, kanske främst Brunn 1 och 2, och fortsätter i grundvattnets strömningsriktning mot 9204. Salthalten blir lägre i de övriga tre eftersom en mindre mängd högkoncentrerat saltvatten från rännan når dem. I 9202 blir salthalten som lägst eftersom mycket lite av det vatten som Råda källor pumpar upp når det röret, följ flödespilarna i Figur 4.

De rör som är belägna innan Råda källor sett från grundvattnets strömningsriktning är 9206, 6905 och 11056. Av dem uppvisar 6905 högst salthalt, se Figur 24. Anledningen bör inte vara uppumpning av högkoncentrerat salt grundvatten från Råda källor eftersom röret befinner sig uppströms dem. Kanske beror den högre halten på att rännan som ska gå i syd-nordlig riktning finns även under 6905. Dock är 6905 ett av de grundare rören (se Figur 25) och dess intagspunkt bör inte närma sig berggrunden.

När det gäller grundvattenrören i det övre magasinet (se Figur 24) finns det två som tydligt urskiljer sig från de andra. Det är rör 9915 och 9918 som uppvisar betydligt högre kloridhalt.

Förmodligen är de två påverkade av föroreningar, vilket diskuteras i Lidköpings kommuns (2021) rapport. Rör 9915 ligger nära Kartegårdsvägen som saltas av kommunen och rör 9918 ligger nära en grusväg, se Figur 5. Det är oklart ifall grusvägen vid rör 9918 saltas. Om så är fallet är det möjligt att både rör 9915 och 9918 är förorenade av vägsalt. Rör 9918 skulle också kunna vara påverkat av gödselmedel från jordbruk.

Eftersom det övre grundvattenmagasinet inte täcks av något skyddande lerlager bör risken för föroreningar i de övre rören vara högre än för grundvattenrören i det djupare magasinet. På grund av de tjocka lerlager som skiljer det övre grundvattenmagasinet från det undre bör inte resultaten med avseende på salthalter i det övre magasinets grundvattenrör påverka slutsatserna kring saltförekomst i det undre magasinet. För att stärka resonemanget kring att rör 9915 och 9918 är påverkade av föroreningar är en god idé till vidare studier att undersöka jodid-/kloridkvoten även i dem.

## **5.2. FRÅGESTÄLLNING 2**

### **Vilket ursprung har salterna som finns i Rådaås grundvattentäkt?**

Enligt resultatet från jodidprovtagningen (se Figur 26) är det salta grundvattnet i samtliga provtagningspunkter i det undre grundvattenmagasinet av relikts ursprung. Möjligen bör även isotopanalyser utföras för att ytterligare stärka den slutsatsen, då det har hittats få andra studier där denna metod använts för att ursprungsbestämma salt grundvatten. Analysvärdena från detta arbete hamnar dock nära flera av provpunkterna på den närliggande Skaraslätten i Lindewalds rapport, vilket stärker resultatet.

För att säkerställa att salterna på samtliga platser i magasinet är av relikts ursprung kan samtliga grundvattenrör provtas för jodid och inkluderas i en figur liknande Figur 26. Det bedöms dock mycket troligt att i alla fall den huvudsakliga saltförekomsten i magasinet är av samma ursprung. Detta eftersom uttagsbrunnarna pumpar ur grundvatten från hela magasinet och jodid-/kloridkvoten hos dem i viss mån bör vara representativ även för resten av magasinet. Grundvattentäkten placerades i Rådaås just på grund av goda uttagsmöjligheter och god genomströmning i isälvs materialet.

Rör 9917 i det övre grundvattenmagasinet hamnar inte inom det relikta området, vilket visar på att den låga kloridhalten i röret kommer från en annan källa än relikts havsvatten. Möjligen kan eventuellt relikts saltvatten tvättats ut från dessa övre jordlager av nederbörd, alternativt har de aldrig innehållit salt havsvatten då de kan ha avsatts under ett sött skede av Östersjöns utveckling.



När det gäller magnesium-/kloridkvoten indikerar resultatet från provtagningen av Råda källor nederbörd eller söta grundvatten, se Tabell 1. Det är oväntat eftersom jodid-/kloridkvoten så tydligt visar relikta saltvatten. En möjlig förklaring till magnesiumresultatet kan vara att det relikta saltvattnet blandas ut med nyligen perkolerat grundvatten och att det finns mycket magnesiuminnehållande lera i området kring Rådaås. Utspädningen som sker gör att en mycket liten del av det relikta havsvattnet når Råda källor och blir till uttagsvatten. Utspädningen påverkar klorid- och jodidhalterna lika mycket eftersom jonslagen båda förväntas finnas i djupare jordlager nära berggrunden. En annan möjlighet är förstås att resultatet från magnesiumprovtagningen inte är tillförlitligt på grund av mätfel eller likande.

Magnesium är dock vanligt förekommande i ytliga jordlager och i grundvatten. Eftersom det finns gott om lera i området och lerpartiklar är negativt laddade kan det finnas mycket magnesium bundet till leran, vilket i viss utsträckning läcker ut med grundvattnet. I fallet magnesium-/klorid späds alltså det salthaltiga relikta grundvattnet ut med sött grundvatten, medan magnesiumhalten snarare ökar i och med inblandning av nyligen bildat grundvatten. För att vidare undersöka saken vore det intressant att provta de djupa grundvattenrören 7304 och 7305 för magnesium. Detta för att se ifall kvoten magnesium/klorid hamnar inom det relikta området då inblandningen av sött grundvatten är låg.

Resultatet från klorid-/sulfatkvotsberäkningarna (se Figur 27) visar att vattnets uppehållstid är absolut längst i anslutning till rör 7304. Därefter följer rör 7305, i vars närhet uppehållstiden också är lång. Detta påvisar återigen förekomsten av en djuphåla eller ränna i berggrunden under dessa rör, där grundvatten blir stagnant under lång tid. Om 7304 och 7305 exkluderas visar 6905 och 9204 något högre uppehållstid än övriga rör. Det kan jämföras med diskussionen ovan kring den första frågeställningen, där det även framkom att 6905 och 9204 har något högre salthalt än övriga rör (exkluderat de två djupaste). Detta skulle kunna tyda på att det finns svårgenomträngliga jordlager i närheten av rören och/eller att de precis som 7304 och 7305 är belägna ovanför en djuphåla i berggrunden.

Rör 9915 och 9917 i det övre magasinet visar också lång uppehållstid. I rör 9915 finns misstanke om föreningar enligt tidigare resonemang. Rör 9917 visar däremot likartad kloridhalt som övriga rör i det övre magasinet, men avsevärt längre uppehållstid än de flesta av dem. Eftersom det övre grundvattenmagasinet är mer åtkomligt och lättpåverkat av olika slags föroreningar finns det mycket som skulle kunna påverka klorid-/sulfatkvoten i dem och resultatet för dem bör därför inte ges alltför stor tyngd. Syftet med klorid-/sulfatkvotsberäkningarna är främst att jämföra uppehållstid hos grundvatten på olika platser i det undre magasinet.

### 5.3. FRÅGESTÄLLNING 3

**Vilken inverkan har brunnsdrift och grundvattennivåer på salthalterna i uttagsvattnet?  
Hur skiljer sig de tre brunnarna åt?**

#### 5.3.1. Start-slutprovtagning

Resultatet som framkommer i Figur 28-30 visar att salthalterna följer ett tydligt mönster vid brunnsdrift. Då Råda källor tas i bruk, en i taget, ökar kloridhalten i uttagsvattnet. Detta bör bero på att då brunnarna körs bildas en grundvattenavsänkning kring dem som leder till att vatten från djupare områden i magasinet strömmar uppåt och det blir en saltvattenuppträngning. Resultat som framkom i samband med första frågeställningen visade att grundvatten på större djup i magasinet innehåller mer salt. I synnerhet djuphålan eller rännan under Brunn 1 och 2 (se Figur 9). Förklaringen till att salthalten är lägre i Brunn 3 bör återigen vara att den inte är lika djup som Brunn 1 och att den ligger uppströms de andra två i grundvattnets rörelseriktning. Det innebär att huvuddelen av det grundvatten som pumpas upp ur Brunn 3 är opåverkat av det relikta saltvattnet i berggrundsrännan då det strömmar dit från övriga delar av tillrinningsområdet. Det står dock klart att även Brunn 3 orsakar ett uppåtflöde av salt grundvatten då salthalten ökar under varje driftsperiod. Återhämtningen för Brunn 3 förefaller dock vara god då samtliga startvärden ligger runt samma nivå.

Brunn 1 uppvisar högre kloridhalt än Brunn 3, vilket bör bero på en kombination av att den är djupare, att intagsdelen finns närmare rännan och möjligen även att drift av Brunn 3 orsakar en uppåtriktad grundvattenströmning som flyttar saltvattengränsskiktet närmare intagsdelen hos både Brunn 1 och 2. Att Brunn 2 uppvisar allra högst salthalt kan beror på att den i grundvattnets strömningsriktning ligger nedströms både Brunn 3 och 1, vilket innebär att den påverkas av höjningen av saltvattengränsskiktet som orsakas av båda två. Återhämtningen verkar dock vara god för Brunn 1 och 2 precis som för Brunn 3, då start- och slutvärdena är likartade under driftsperioderna.

Eftersom grundvattennivåerna varit ganska konstanta under hela mätperioden, se Figur 28-30, är det svårt att avgöra vilken påverkan de haft på salthalterna i uttagsvattnet. Möjligen utgör den något lägre grundvattennivån som föreligger då det första slutprovet på Brunn 3 togs (se Figur 28) en anledning till att värdet är något högre för det slutprovet än för övriga slutprover tagna på samma brunn. Lägre grundvattennivåer bör leda till att en större mängd djupare och därmed saltare grundvatten behöver utnyttjas då man vill upprätthålla samma uttagsmängd. Det första paret av start- och slutvärden för Brunn 2 är något högre än övriga, vilket också kan bero på att grundvattennivån är något lägre vid tiden då de togs.

För att undersöka grundvattennivåernas påverkan noggrannare skulle undersökningen kunna göras om med start redan runt 1 augusti, se Figur 28, för att säkerställa att det sker större förändringar i grundvattennivå under mätperioden. Då skulle man kunna jämföra start-slutvärdena i en period med stora grundvattennivåfluktuationer med motsvarande värden utan fluktuationer. Detta för att få en tydligare bild av grundvattennivåernas påverkan tillsammans med brunnsdriftens påverkan.

### **5.3.2. Långsiktiga kloridhalter i uttagsvattnet**

Resultatet i Figur 31 tyder på att det finns en ökande trend för salthalter i samtliga brunnar. Resultatet från t-testet, som genomfördes för att bedöma tillförlitligheten hos förändringstakten, styrker att kloridhalterna ökar för Brunn 1 och 2. För Brunn 1 ligger ökningen med 95 % säkerhet mellan 0,0011 och 0,0039 mg/L och dag. För Brunn 2 ligger den med samma säkerhet mellan 0,0034 och 0,0067 mg/L och dag. Det är därför möjligt att med 95 % säkerhet påstå att det finns en ökande trend för salthalterna i grundvattnet från Brunn 1 och 2. För Brunn 3 innefattar det 95-procentiga konfidensintervallet alla värden mellan -0,0017 och 0,0033 mg/L och dag. Det innebär att det inte är säkert att det finns en ökande trend för salthalten i Brunn 3.

Med en ökning av kloridhalt på 0,005 mg/L och dag som trendlinjen ger för Brunn 2 kommer Livsedelsverkets gränsvärde på 100 mg/L år överskridas redan år 2028. Motsvarande för Brunn 1 med en ökning på 0,0025 mg/L och dag blir år 2051. För Brunn 3 med en ökning på 0,0008 mg/L och dag dröjer det ca 240 år innan gränsvärdet överskrids. Med hänsyn till osäkerheten i ökningsgraden för brunnarna kan gränsvärdet komma att överstigas tidigare eller senare. Resultatet tyder på att det är angeläget att vidta åtgärder mot de stigande salthalterna, i synnerhet för Brunn 2 där gränsvärdet i bästa fall överskrids om nio år och i värsta fall överskrids redan om fyra år.

Att ökningstakten är störst för Brunn 2 kan bero på tidigare resonemang om att Brunn 2 påverkas av den höjning av saltvattengränsskiktet som både Brunn 3 och 1 ger upphov till.

### **5.3.3. Brunnsdrift och kloridhalter**

Trots att man ofta tar ut mer vatten per dag från Brunn 3 än övriga (men under likartat långa tidsintervall, se Figur 32) är kloridhalterna generellt lägre för Brunn 3. Detta stöder återigen resonemanget att Brunn 3 är mest opåverkad av det relikta saltvattnet eftersom den ligger uppströms rännan och de andra två brunnarna. Från start- och slutproverna står det dock klart att även Brunn 3 orsakar ett uppåttflöde av salt grundvatten då halten ökar under varje driftsperiod.

Figur 32 visar att det har förekommit mycket höga halter vid ett fåtal tillfällen för Brunn 3, se juni och oktober 2020. Detta överensstämmer dåligt med mönstret i start- och slutproverna. Möjligen kan det blivit fel i provmärkningen vid dessa båda tillfällen och kloridhalterna egentligen hör till Brunn 1 eller 2. Särskilt för juni 2020 då halten är mer än dubbelt så hög som övriga halter för Brunn 3 (exkluderat oktober 2020).

#### **5.3.4. Rekommendationer och vidare undersökningar**

För att få till ett uttagsätt ur Rådaås grundvattenmagasin som är långsiktigt hållbart med avseende på salthalter behöver fler undersökningar utföras. Något som vore intressant att undersöka är som tidigare nämnt att ta start- och slutprover under en längre tidsperiod där grundvattennivån genomgår större fluktuationer. Detta för att erhålla mer kunskap om hur både brunnsdrift och grundvattennivåer påverkar salthalten då båda variabler samverkar. En god idé kan vara att installera kontinuerlig onlinemätning av konduktiviteten i uttagsbrunnarnas vatten. Detta för att i realtid kunna följa hur salthalten varierar, då konduktivitet bör vara en god indikator på kloridhalt och det finns enkel utrustning för att mäta konduktivitet på plats. I start- och slutproverna, se Figur 28-30, går det inte att veta hur salthalten förändras mellan mätpunkterna. Kanske är förändringen linjär eller så följer den en kurva som blir brantare eller flackare med tiden.

Det vore också användbart att installera automatisk mätning av grundvattennivå i åtminstone några av grundvattenrören i magasinet som ligger nära Råda källor, till exempel 7304 och 7305. I nuläget finns endast automatisk mätning i rör 11056 som tillhör SGU och ligger längre bort från uttagsbrunnarna. Mätning kunde ske en eller flera gånger om dagen för en mer högupplöst bild av hur nivåerna varierar. Det vore användbart om ett system skapades som automatiskt samlar in och plottar data från kontinuerlig grundvattennivåmätning av 11056, 7304 och 7305 och från konduktivitetmätningar av uttagsbrunnarna. I systemet kunde även daglig uttagsmängd och vilken brunn det gäller inkluderas. Då skulle man i realtid kunna utläsa i en graf hur salthalterna varierar beroende på grundvattennivå och uttagsmängd för respektive brunn.

Möjligen finns det ett annat sätt eller mönster att driva uttagsbrunnarna som leder till mindre saltvatteninträngning. För att testa detta kan olika driftstester genomföras. Ett automatiskt system som det beskrivs i stycket ovan för att i realtid kunna följa konduktivitet, grundvattennivåer och uttagsmängder i en graf vore ett användbart sätt att analysera resultat av driftstester. Resultatet som framkommit i detta arbete tyder på att alla tre uttagsbrunnar orsakar ett uppåtflöde av salt grundvatten. Även om halten är lägst för Brunn 3 så visar Figur 28-30 att även den behöver en viss tid till återhämtning för att nå ner till den låga startnivån.

Exakt hur lång tid som behövs har dock inte undersökts men vore enkelt att utläsa ur en graf där konduktiviteten plottas en eller flera gånger per dag.

Driftstester som skulle kunna genomföras är till exempel att byta brunn varje dag, för att se hur det påverkar salthalter och återhämtning. Möjligen är kortare tid bättre för att inte lika mycket salt grundvatten ska flöda uppåt, möjligen är längre tid bättre för att brunnarna ska hinna återhämta sig. Med driftstester och möjlighet att analysera resultatet skulle en optimal tid för driftsperiod kunna hittas. Det vore även intressant att undersöka vilken påverkan drift av alla tre brunnar samtidigt skulle få på salthalterna, men då det riskerar att skada pumpsystemet att köra dem på lägre kapacitet än de är byggda för är det inget som är genomförbart i nuläget.

Vidare kan nyttan med att sätta ut en eller flera nya uttagsbrunnar diskuteras. Råda källor är i nuläget placerade ovanför en ränna i berggrunden där relict saltvatten har ansamlats. Brunn 1 och 2 som ger mest salt i uttagsvattnet är placerade nedströms Brunn 3 i grundvattnets strömningsriktning. En idé är att undersöka möjligheten att placera en eller flera nya brunnar som tillsammans med Brunn 3 hamnar på en linje som är vinkelrät mot grundvattnets strömningsriktning. Detta för att komma åt så mycket som möjligt av det mer nyligen bildade grundvattnet. Det är dock inte omöjligt att det finns fler saltansamlingar i till exempel andra djuphålur i berggrunden i Rådaåsmagasinet. Detta bör undersökas noga innan nya brunnar planeras. Även uttagkapaciteten på de tilltänkta platserna bör förstas utredas, då den är en grundläggande egenskap för att täcka kommunens behov av grundvatten.

### **5.3.5. Kort om vägsalt**

Då resultatet från jodidprovtagningen visar att det salta grundvattnet i Rådaåsmagasinet är av relict ursprung samt att stora delar av magasinet täcks av ett tjockt lerlager bedöms risken för att magasinet ska vara förorenat av vägsalt som låg. I Figur 26 hamnar rör 9917 i det övre magasinet utanför det relikta området medan rör 9203 som befinner sig bara ett par meter bort men går ner till det undre magasinet hamnar innanför. Detta tyder på att vägsalt eller annan saltkälla i det övre magasinet inte nått ner till det undre på grund av leran som skyddande skikt. Där isälvmaterialen går i dagen och inte skyddas av lera är risken högre. Dock är yt- och grundvattenströmningen riktad bort från det området, vilket betyder att vägsalt inte bör transporteras dit med vattenströmningen. Risken bör vara som störst på grusvägarna uppe på Rådaås där det är oklart hur ofta vägsalt eller dammbindningsmedel används, ifall det förekommer.

Ett förslag på vidare undersökning är att provta jodid- och kloridhalt i samtliga grundvattenrör i det undre magasinet för att se om resonemanget ovan stämmer och huruvida samtliga provpunkter hamnar inom det relikta området i Figur 26.

## **6. SLUTSATSER**

### **6.1. FRÅGESTÄLLNING 1**

#### **Hur skiljer sig salthalterna åt på olika platser i form av position och djup i magasinet?**

Resultaten från detta arbete pekar tydligt på att salt grundvatten har ansamlats i djupare jordlager, i synnerhet i en djuphåla eller ränna i berggrunden strax under rör 7304, 7305 samt Brunn 1 och 2. Vidare geofysiska undersökningar krävs för att avgöra huruvida rännan fortsätter åt norr och ifall salthalterna fortsätter att vara höga längs rännan. Brunn 1 och 2 uppvisar högre salthalter än Brunn 3, vilket kan bero på att intagsdelen till Brunn 3 ligger uppströms de övriga och inte lika djupt som Brunn 1. Grundvattenrör 9204 uppvisar hög kloridhalt jämfört med de övriga då 7304 och 7305 exkluderats, vilket kan bero på att den ligger i linje med grundvattnets strömningsriktning nedströms Råda källor.

### **6.2. FRÅGESTÄLLNING 2**

#### **Vilket ursprung har salterna som finns i Rådaås grundvattentäkt?**

Det salta grundvattnet som påträffats i Rådaås grundvattenmagasin är enligt resultaten som framkommit i detta arbete av relikts ursprung.

### **6.3. FRÅGESTÄLLNING 3**

#### **Vilken inverkan har brunnsdrift och grundvattennivåer på salthalterna i uttagsvattnet? Hur skiljer sig de tre brunnarna åt?**

Vid brunnsdrift ökar kloridhalterna i uttagsvattnet för samtliga brunnar. Start-slutproverna visar dock god återhämtning, då kloridhalten vid driftstart är ungefär lika som vid föregående driftsperiod, för alla tre brunnar. Salthalten i uttagsvattnet är högst för Brunn 2 och lägst för Brunn 3. Möjligen orsakar drift av Brunn 3 och 1 att en större mängd salt grundvatten når Brunn 2 då den befinner sig nedströms de andra två. Det är svårt att säga något om grundvattennivåernas påverkan på salthalten eftersom de varit nära nog konstanta under mätperioden. Resultaten indikerar dock att något lägre grundvattennivåer ger något högre salthalter, men undersökningen skulle behöva göras över en längre tid för att se hur större fluktuationer i grundvattennivå påverkar salthalten.

Resultatet från detta arbete pekar på att kommunens uttagssätt av grundvatten i Rådaåsmagasinet har orsakat en höjning av salthalterna i Råda källor sedan 1990-talet. Det finns en ökande trend för Brunn 1 och 2, där ökningen för Brunn 2 är störst. För Brunn 3 kan det inte säkerställas att det finns en ökande trend. Om förändringen i kloridhalt fortsätter enligt trendlinjerna kommer Livsmedelsverkets gränsvärde på 100 mg/L överskridas redan år 2028 för Brunn 2. För Brunn 1 beräknas det ske 2051, medan det dröjer ca 240 år innan det överskrids för Brunn 3.

Trots att man ofta tar ut mer vatten från Brunn 3 än övriga är salthalten generellt lägre för Brunn 3, vilket tillsammans med möjligheten att dess salthalt inte följer en ökande trend pekar på att Brunn 3 är mest opåverkad av det relikta saltvattnet. Detta eftersom den ligger uppströms rännan och de andra två brunnarna. Från start- och slutproverna står det dock klart att även Brunn 3 orsakar ett uppåtlöde av salt grundvatten då halten ökar under varje driftsperiod.

#### **6.4. REKOMMENDATIONER OCH VIDARE UNDERSÖKNINGAR**

Det rekommenderas att kommunen installerar onlineutrustning som automatiskt mäter konduktiviteten i uttagsbrunnarna en eller flera gånger om dagen. Vidare rekommenderas även kontinuerlig onlinemätning av grundvattennivån i några fler grundvattenrör, till exempel 7304 och 7305. Det vore användbart om konduktivitet, grundvattennivåer och uttagsmängd hos respektive brunn kunde avläsas i realtid i en graf. En sådan graf kunde användas för att analysera effekten av driftstester då brunnarna körs i olika långa tidsintervall. Detta för att undersöka ifall det finns ett optimalt tidsintervall med avseende på låg salthalt i uttagsvattnet. Möjligen kan en eller flera nya uttagsbrunnar placeras ut strategiskt för att undvika saltvatteninträning. Förekomst av eventuella andra saltansamlingar och uttagskapacitet bör då utredas noggrant innan.

## 7. REFERENSER

- Anderberg, J. (1991). *Sammanställning och modellering av de hydrogeologiska förhållandena vid Lidköpings vattentäkt öster om Rådaåsen, Lidköping, Skaraborgs län.* (Projektarbete). Göteborgs universitet.
- Berglund, K. & Bjuréus, A.G. (2008). *"Markstrukturtest i fält" Beskrivning och instruktioner.* Uppsala: SLU Institutionen för markvetenskap.
- Carlsson, L. & Carlstedt, A. (1975). *Rådaåsen. Översiktlig bedömning av de hydrogeologiska förhållanden.* (542045–0). Stockholm: Sveriges geologiska undersökning.
- Domenico, P.A. & Schwartz, F.W. (1998). *Physical and Chemical Hydrogeology.* 2. uppl.
- Englöv, P. & Malmberg, P.-E. (1972). *Salt grundvatten inom området mellan Kedumsbergen och Lidan, Västergötland.* (Examensarbete). Chalmers Tekniska Högskola.
- Fagerlund, F. & Basirat, F. (2021). Grundvatten Föreläsning 4 Geologiska gränser, saltvatteninträngning, hydrauliska tester. Föreläsning, .
- Fredén, C. (red.) (2002). *Sveriges nationalatlas Berg och jord.*
- havet.nu (2021). *Fakta om världens hav.* <https://www.havet.nu/varldens-hav> [2022-01-20]
- KunskapsKokboken (u.å.). *Jordarter, matjord - Kunskapskokboken.se.* <http://www.kunskapskokboken.se/4.19360/varufakta/jordarter-matjord/> [2022-01-20]
- Lantmäteriet (2021). *Min Karta.* <https://minkarta.lantmateriet.se/> [2021-09-08]
- Lidköpings kommun (2021). *Utredning av saltförekomst och trend för grundvattennivå i Rådaås.* Teknisk Service Vatten och Avlopp.
- Lindewald, H. (1985). *Salt grundvatten i Sverige.* (Rapporter och meddelanden nr 39). Uppsala: SGU.
- Livsmedelsverket (2021). *Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten.* <https://www.livsmedelsverket.se/globalassets/om-oss/lagstiftning/dricksvatten---naturl-mineralv---kallv/livsfs-2001-30-kons-2021-10.pdf> [2021-01-18]
- Lång, L.-O., Olofsson, B., Mellqvist, E., Ojala, L., Maxe, L. & Thorsbrink, M. (2006). *Miljömålsuppföljning av grundvatten i kustområden - statusbeskrivning och diskussionsunderlag.* (2006:24). SGU.



- Nationalencyklopedin (u.å.a). *Israndbildning*.  
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/israndbildning>  
[2021-08-31]
- Nationalencyklopedin (u.å.b). *Svallsediment*.  
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/svallsediment>  
[2021-09-09]
- Persson, T. (2015). *Grundvattenmagasinet Råda ås*. (K 492). SGU.  
<http://resource.sgu.se/produkter/k/k492-rapport.pdf>
- SGU (2019). *Bedömningsgrunder för grundvatten*. (2013:01).  
<http://resource.sgu.se/produkter/sgurapp/s1301-rapport.pdf> [2021-01-18]
- SGU (2022a). *Frågor och svar*. <https://www.sgu.se/om-sgu/fragor-och-svar/> [2022-01-18]
- SGU (2022b). *SGUs kartvisare Grundvattenmagasin*.  
<https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-grundvattenmagasin.html?zoom=380740.3919236121,6482365.378454759,399262.42896768625,6491801.397326796>
- SGU (2022c). *SGUs kartvisare Jordartskartan*.  
<https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-jordarter-25-100.html> [2022-01-11]
- Sweco (2021). *Råda källor och Råda grundvattentäkt Tekniskt underlag med avgränsning av vattenskyddsområde samt skyddsföreskrifter*. Göteborg.
- Sweco VIAK (2005). *Rådaåsen Möjligheter för förstärkt grundvattenbildning genom konstgjord infiltration*. Vänersborg.
- VBB VIAK (1992). *Lidköpings kommun Rådaåsen Geohydrologisk undersökning*. Vänersborg.
- VBB VIAK (2000). *Råda källor och Råda grundvattentäkt Tekniskt underlag och förslag till skyddsområde och skyddsföreskrifter*. Vänersborg.
- VISS (u.å.). *Grundvattenmiljö*.  
<http://extra.lansstyrelsen.se/viss/Sv/detta-beskrivs-i-viss/allmanna-uppgifter-gv/Pages/grundvattenmiljo.aspx> [2021-09-09]

## **APPENDIX**

## Fältprotokoll icke-artesiska grundvattenrör 14-15 okt

Mätpunktens ID:

Datum:

Rörkantens höjd över marken:

### Grundvattennivå

Ursprunglig grundvattendjup under rörkant (m)		Tidpunkt	
---	--	----------	--

**Funktionstest** (*Avsänk några meter. Grundvattnet bör stiga till ursprunglig nivå inom 15 min, åtminstone ska ytan stiga tydligt i röret.*)

Rörets djup (svarta tejpar)			
Nivå efter utpumpning (m)		Tidpunkt	
Nivå efter stigning (m)		Tidpunkt	
Stigningshöjd		Stigningstid	

Vid funktionstestet steg grundvattennivån \_\_\_\_\_ m på \_\_\_\_\_ min

### Kommentarer:

--

### Grundvattenprovtagning:

*2-3 rörvolymmer bör pumpas ut innan provtagning.*

Vattenfylld längd = rörets djup - vattnets djup	
Önskad utpumpningsvolym = vattenfylld längd x 4 liter (för 2 rörvolymmer)	
Önskat antal hinkar = utpumpningsvolym/17 liter	
Faktiskt antal hinkar	
Tidpunkt för provtagning (inkl konduktivitet)	
Konduktivitet mS/m	

### Kommentarer:

## Fältprotokoll artesiska grundvattenrör 14-15 okt

Mätpunktens ID:

Datum:

Rörkantens höjd över marken:

### Grundvattennivå

Ursprunglig grundvattenhöjd över rörkant (m)		Tidpunkt	

### Kommentarer:

--

### Grundvattenprovtagning:

*2-3 rörvolymmer bör släppas ut innan provtagning. Öppna därför kranar till artesiska rör 14 okt och provtag 15 okt. Mät tillrinningshastighet genom att se hur fort ett liter- eller decilitermått fylls upp för att verifiera.*

Tidpunkt kranöppning	
Tidpunkt start uppfyllning	
Tidpunkt slut uppfyllning	
Tillrinningshastighet l/min eller l/s	
Tidpunkt för provtagning 15 okt (inkl kond.)	
Konduktivitet mS/m	

### Kommentarer:

--