



UPPSALA
UNIVERSITET

W 17 011

Examensarbete 30 hp
Augusti 2017

Kartläggning av grundvatten i Uppsala stad

En metod för att beräkna grundvattennivåer
under ett normalår

Erik Kihlén

Referat

Kartläggning av grundvatten i Uppsala stad

Erik Kihlén

För att enstaka uppmätta grundvattennivåer ska kunna användas för att kartlägga grundvattennivån även i områden där långtidsmätningar saknas behövs en korrektionsmetod. Det övergripande målet med den här studien var att sammanställa och åskådliggöra grundvattennivåmätningar som inkommit till Länsstyrelsen i Uppsala län i samband med vattenskyddsdispenser. Syftet med arbetet var att undersöka hur grundvattennivån fluktuerat i olika jordarter och ta fram en metod för att korrigera punktvis uppmätta nivåer så att de speglar grundvattennivån ett normalår. Det normalårskorrigerade långtidsmedelvärdet på en viss plats ska vara detsamma oavsett om mätningarna av grundvattennivån utförts på våren, sommaren eller hösten och det ska inte heller spela någon roll om mätningarna utförts ett regnigt eller torrt år.

Långtidsmätningar av grundvattennivåer i olika jordarter studerades. Fokus låg på grundvattennivåns års- och månadsavvikelse från mätseriens uppmätta långtidsmedelvärde. Utifrån avvikelserna skapades korrektionsfaktorer som adderades till uppmätta punktmätningar av grundvattennivåer.

Grundvattennivåer beräknades med den framtagna korrektionsmetoden. Dessa jämfördes sedan mot uppmätta nivåer och grundvattennivåer beräknade med S-HYPE-modellen. Metoden testades även på ett oberoende dataset från Tärnsjö och implementerades på en mindre del av grundvattennivåmätningarna i och runt Uppsala stad. För grundvattennivån i jordarterna sand och grus var variationer mellan olika år viktigast att korrigera, då inomårsvariationerna var små. Grundvattennivåerna i morän varierade kraftigt inom ett och samma år vilket resulterade i att månadskorrekturen var den viktigaste faktorn.

Två typer av grundvattenkartor skapades utifrån uppmätta grundvattennivåer. Kartornas utbredning täcker Uppsala stad med omnejd. Den ena kartan visar grundvattennivån som meter under markytan. Den andra kartan visar grundvattennivån som en trycknivå i höjdsystemet RH 2000.

Nyckelord: Grundvatten, Grundvattennivåer, Normalårskorrigering, ArcGIS, ArcMap, Uppsala, Grundvattennivåkarta

Institutionen för geovetenskaper, Geocentrum, Villavägen 16, 752 36 Uppsala

ISSN 1401-5765

Abstract

Investigation of groundwater in Uppsala city

A method for estimating groundwater levels during a normal year

Erik Kihlén

In areas where long-term measurements are missing, a correction method is required in order to map groundwater levels based on single groundwater level measurements. The overall objective of this study was to compile groundwater measurements submitted to the County Administrative Board as part of water protection permit applications. The aim of this work was to investigate how the water table fluctuates in different types of soil and to develop a method to correct particular measured point levels to reflect the water table in an average year. The corrected long-term average value in a specific location should be the same regardless of whether the groundwater level measurements were performed in the spring, summer or autumn, nor should it matter if the measurements were done in a rainy or dry year.

Long-term measurements of groundwater levels in different soil types were studied. The focus was the annual and monthly deviation of groundwater levels from the long-term average. Based on the deviations correction factors were created that were applied to the point measured groundwater levels.

Groundwater levels calculated with the produced correction model were compared to the measured levels as well as the groundwater levels calculated by the S-HYPE model. The method was also tested on an independent data set from Tärnköping and implemented on a smaller portion of the groundwater level measurements in and around the city of Uppsala. For groundwater levels in sand and gravel formations, it was important to correct for the variations between years, while the variations within the same year were small. Groundwater levels in till varied widely within the same year, making the monthly correction the most important factor.

Two types of groundwater maps were created from measured groundwater levels. The map distribution covers the vicinity of Uppsala city. One map shows groundwater level as meters below surface. The second map shows groundwater level as an elevation above sea level in the height system RH 2000.

Keywords: Groundwater, Groundwater level, Groundwater level maps, ArcGIS, ArcMap, Uppsala

Department of Earth Sciences, Geocentrum, Villavägen 16, 752 36 Uppsala

ISSN 1401-5765

Förord

Detta projekt utgör den avslutande kursen på civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik. Programmet är ett samarbete mellan Uppsala universitet och Sveriges lantbruksuniversitet. Examensarbetet är på 30 högskolepoäng och har utförts i samarbete med Länsstyrelsen i Uppsala län.

Daniel Melin på Länsstyrelsens miljöskydds-enhet har varit min handledare och ämnesgranskare för arbetet var Roger Herbert vid institutionen för geovetenskaper vid Uppsala universitet.

Det finns många personer som stöttat mig och på andra sätt bidragit till detta projekt. Först vill jag tacka Daniel Melin och Tomas Waara för ert förtroende och att jag fick sitta på Länsstyrelsen och skriva mitt examensarbete. Jag vill tacka SGU, Lantmäteriet, SMHI och SLUs datatjänst GET för tillgången på öppna data. Jag vill tacka Karin Wertsberg för tillhandahållande av grundvattennivådata från Uppsala Vatten. Jag vill tacka Eva Jirner för data från SGUs 3D jordartsmodell över Uppsalaåsen. Anders Larsolle ska ha ett stort tack för en snabbt fixad licens till ArcGIS. Jag vill även tacka alla medarbetare på Länsstyrelsen, framför allt på miljöskydds-enheten som tagit emot mig med öppna armar och ett särskilt stort tack till min bänkgranne Camilla Ek.

Slutligen vill jag tacka min fantastiska sambo Therese Lindqvist och mina underbara föräldrar Fredrika och Mats Kihlén för stort stöd genom hela projektet.

Erik Kihlén

Uppsala 2017

Copyright © Erik Kihlén och Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet

UPTEC W 17 011, ISSN 1401-5765

Publicerad digitalt vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, 2017

Populärvetenskaplig sammanfattning

Kartläggning av grundvatten i Uppsala stad

Erik Kihlén

Många uppsalabor vet att stora delar av staden är byggd på lera. Men lika många är omedvetna om att ett av Sveriges största grundvattenmagasin breder ut sig under staden. Det är Uppsalaåsen som utgör detta gigantiska magasin. Åsen bildades efter den senaste istiden och det är härifrån som Uppsala tar sitt dricksvatten.

För att skydda åsens värdefulla grundvatten från föroreningar har Länsstyrelsen bestämt vad som är tillåtet och förbjudet att göra i olika områden. Flera av de känsligaste områdena finns där åsen och dess grova jordarter inte täcks av något lerlager. I några av dessa områden råder de striktaste bestämmelserna och enbart verksamheter som rör dricksvattenförsörjning är tillåtna.

I detta arbete undersöktes hur grundvattnets djup under markytan varierade i olika jordarter. I morän var variationerna snabba och stora. Inom ett år kunde grundvattennivån förändras flera meter. Ofta var grundvattennivån hög på våren för att sedan sjunka under sommaren och bli som lägst på sensommaren och tidig höst. I sand och grus förändrades grundvattennivån mycket långsammare och under ett år var skillnaden mellan högsta och lägsta grundvattennivå vanligen mellan några decimeter upp till en halvmeter.

En metod att justera punktvis uppmätta grundvattennivåer togs fram. Tanken med justeringen var att grundvattennivåer som mätts upp mycket blöta år eller extremt torra år skulle ändras så att de visade mer normala förhållanden. Metoden byggde på hur grundvattennivåerna varierat i olika jordarter under längre tidsperioder. För att visa att metoden fungerade testades den på en serie av grundvattennivåmätningar i Tärnsjö. Försöket visade att metoden fungerade bra eftersom de justerade nivåerna låg nära den grundvattennivå som vanligtvis uppmättes under en längre tidsperiod.

I detta projekt har även en kartläggning av befintliga grundvattennivåer i Uppsala stad utförts. Kartorna som togs fram visar hur djupt under markytan grundvattnet finns. Det finns många tillfällen då det är viktigt att veta var grundvattnet går att hitta. Tar du med en spade och en karta som visar hur djupt under markytan grundvattnet finns och går ut och gräver ett hål borde hålet vara ungefär så djupt som kartan anger innan vatten börjar rinna in och fylla hålets botten. Hur väl kartorna stämmer överens med verkligheten har varit svårt att testa.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	1
2	SYFTE, MÅL OCH FRÅGESTÄLLNINGAR	2
2.1	AVGRÄNSNINGAR.....	2
3	BAKGRUND OCH TEORI	2
3.1	GRUNDVATTEN	3
3.1.1	Grundvattenbildning.....	3
3.1.2	Grundvattenbildning i typjordar	4
3.1.3	Portryck	5
3.1.4	Grundvattnets årstidsvariationer.....	6
3.1.5	Snabb- och långsamreagerande grundvattenmagasin.....	8
3.2	OMRÅDESBESKRIVNING.....	9
3.2.1	Uppsala och Vattholmaåsen	9
3.2.2	Skydd av grundvatten	10
3.2.3	Jordarter och berggrund i Uppland.....	12
3.3	INDELNING AV JORDARTER.....	12
3.4	JORDARTSMODELL AV UPPSALAÅSEN.....	14
3.5	S-HYPE-MODELLEN	15
3.6	HÖJDSYSTEM	15
3.7	REFERENSSYSTEM.....	15
3.8	INTERPOLERINGSMETODER	16
4	METOD	17
4.1	DEFINITION AV BEGREPP	17
4.2	DATAKÄLLOR	17
4.2.1	Beslut och dispenshandlingar	18
4.2.2	Brunnsarkivet	18
4.2.3	Grundvattennätet	19
4.2.4	Långtidsmätningar från Uppsala Vatten.....	19
4.2.5	Kartor från Lantmäteriet.....	20
4.3	PROGRAM.....	20
4.3.1	Excel	20
4.3.2	Notepad++	20
4.3.3	ArcGIS.....	20

4.4	NEDERBÖRD I STUDIEOMRÅDET.....	21
4.5	NORMALÅRSKORRIGERING.....	21
4.5.1	Tillvägagångssätt för att ta fram en normalårskorrigerig	21
4.5.2	Validering av metoden för normalårskorrigerig.....	23
4.5.3	Tillvägagångssätt för att tillämpa normalårskorrigerigen	23
4.5.4	Implementering av normalårskorrigerigen	24
4.6	TILLDELA GRUNDVATTENNIVÅMÄTNINGARNA EN JORDART	24
4.7	INTERPOLERINGSMETODER	24
4.8	GRUNDVATTENKARTOR.....	24
5	RESULTAT.....	26
5.1	DATASAMMANSTÄLLNING	26
5.2	NORMALÅRSKORRIGERING.....	28
5.2.1	Nederbörd i studieområdet	28
5.2.2	Grundvattennivåvariationer i olika jordarter	30
5.2.3	Validering av metoden för normalårskorrigerig.....	33
5.2.4	Implementering av normalårskorrigerigen	35
5.3	ÅSKÅDLIGGÖRANDE AV DATA.....	36
5.3.1	Interpoleringsmetoder.....	36
5.3.2	Grundvattenkartor.....	37
5.4	NORMALÅRSKORRIGERING AV DISPENSPUNKTER	43
6	DISKUSSION	44
6.1	DATASAMMANSTÄLLNING	44
6.2	NORMALÅRSKORRIGERING.....	45
6.3	ÅSKÅDLIGGÖRANDE AV DATA.....	47
6.3.1	ArcGIS.....	47
6.4	FELKÄLLOR	48
6.5	FÖRSLAG TILL FRAMTIDA STUDIER.....	48
7	SLUTSATSER	49
8	REFERENSER.....	50
9	BILAGOR	1
9.1	BILAGA A – DATABEHANDLING I ARCGIS	1
9.2	BILAGA B – EXCELFORMLER.....	6
9.3	BILAGA C – TABELLER NORMALÅRSKORRIGERING.....	8

1 INLEDNING

Stora delar av Uppsala stad är belägen på Uppsalaåsen som är en rullstensås och en av Sveriges största grundvattentäkter. Vattenförsörjningen till staden är uppbyggd runt åsen som fungerar som vattentäkt, råvattenmagasin och naturlig reningsanläggning av ytvatten från Fyrisån (Uppsala Vatten, 2017). Grundvattentäkten skyddas bland annat av skyddsföreskrifterna för de kommunala grundvattentäkterna i Uppsala-Vattholmaåsen. I föreskrifterna står det att markarbeten inte får ske djupare än 1 meter över högsta grundvattenyta och att den som vill utföra markarbeten skall visa läget av denna vattenyta (03FS, 1990). Vid byggnation eller andra markarbeten i området krävs dispens från Länsstyrelsen om verksamheterna kommer utföras nära grundvattenytan.

För att stärka skyddet av grundvattnet i Uppsalaåsen skulle en modell som kan simulera grundvattenflöden vara värdefull för att förstå risken med utsläpp på olika platser då föroreningar ofta följer med grundvattenflödet. För att kunna skapa en grundvattenmodell som kan användas för att bedöma risker och konsekvenser av miljöfarliga utsläpp krävs bra indata. Information måste finnas både kring jordarter, grundvattennivåer, grundvattenbildning och andra randvillkor. Sveriges geologiska undersökningar (SGU) färdigställde under hösten 2016 en tredimensionell jordartsmodell över området kring Uppsalaåsen (Jirner et al., 2016).

När det gäller grundvattennivåer finns fluktuationer både inom och mellan år. På Länsstyrelsen har det en tid funnits en vilja att sammanställa data från handlingar som inkommit till Länsstyrelsen i Uppsala län under perioden 2003–2016 i samband med vattenskyddsdispenser (Melin pers. medd., 2017). I dispensansökningar finns information om både jordartsföljden och grundvattennivån. Både SGU och Uppsala Vatten och Avfall AB har mätningar av grundvattennivåer som sträcker sig under längre tidsperioder. En utmaning i detta arbete är att sammanställa och värdera geohydrologiska data och utreda om de är jämförbara och representativa.

Beroende på när på året och under vilket år grundvattennivån mäts fås olika resultat. Mäts grundvattennivån efter flera år av långvarig torka återfinns grundvattnet troligtvis på ett större djup i marken än under mer normala förhållanden. För att kunna använda enstaka uppmätta grundvattennivåer från ett specifikt område där det inte finns några långtidsmätningar bör resultaten korrigeras för att spegla variationer över år och månader. Med en fungerande korrektionsmodell skulle flera mätpunkter kunna användas med större säkerhet även i områden där långtidsmätningar saknas.

Arbetet med korrigerande av grundvattennivåer har beröringspunkter med flera tidigare genomförda projekt. Allan Rodhe har tillsammans med Göran Lindström, Jörgen Rosberg och Charlotta Pers genomfört ett projekt som behandlat grundvattenbildning i svenska typjordar och utformat en modell som beräknar grundvattennivåer och grundvattenbildning (Rodhe et al., 2006). Modellen bygger på beräkning av vattenbalansen i rotzonen med en modifiering av markvattenrutinen i HBV-modellen (Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning) (Rodhe et al., 2006). I modellen tillåts all nederbörd och vatten från snösmältning infiltrera i rotzonen. Där kan vattnet sedan

evaporera, lagras tillfälligt eller rinna ner och bilda grundvatten. Grundvattenbildningen sker då vatteninnehållet i markzonen överstiger jordens fältkapacitet, som är den mängd vatten en jordart kan hålla mot gravitationens inverkan (Rodhe et al., 2006).

Studier som syftar till att korrigera enstaka mätningar i tid (hädanefter kallade punktmätningar) av grundvattennivåer mot långtidsmätningar tycks inte förekomma i någon större utsträckning. Flera forskningsprojekt har dock med andra frågeställningar jobbat med att på olika sätt återspegla fluktuationer hos grundvattennivån i olika akviferstyper. Detta görs vanligen med hjälp av modeller med en önskan om att även kunna göra framtidsprediktioner. Ett av dessa projekt har resulterat i rapporten ”Grundvattennivåns tidsmässiga variationer i morän och jämförelser med klimatscenarier” som är skriven av Hanna Lagergren på SGU (Lagergren, 2015).

2 SYFTE, MÅL OCH FRÅGESTÄLLNINGAR

Syftet med arbetet är att undersöka hur grundvattennivån fluktuerar i olika jordarter och att ta fram en metod för att korrigera punktviss uppmätta nivåer så att de speglar grundvattennivån ett normalår. Arbetets frågeställningar är följande

- Går det att utifrån tidigare uppmätta data karaktärisera fluktuationsmönster för grundvattennivåer i olika jordarter?
- Går det att korrigera enstaka mätningar av grundvattennivåer (punktmätningar) utifrån långtidsmätningar som utförts på närbelägna platser?
- Kan uppgifter från dispenshandlingar som kommit in till Länsstyrelsen användas som en relevant källa för grundvattennivåmätningar?
- Går det att med hjälp av insamlade data åskådliggöra grundvattennivåer i Uppsala?

Det övergripande målet med studien är att sammanställa och åskådliggöra grundvattennivåmätningar som inkommit till Länsstyrelsen i samband med vattenskyddsdispenser och korrigera dessa så att de kan användas i vidare analyser och modellering av grundvattenflöden.

2.1 AVGRÄNSNINGAR

Projektet behandlar grundvatten, inte ytvatten eller dagvatten. Geografiskt behandlas Uppland med fokus på området i och kring Uppsala stad. Modellering av grundvattenflöden och transportmodellering för specifika ämnen är inte aktuellt i projektet.

3 BAKGRUND OCH TEORI

I arbetet behandlas flera aspekter av hur grundvattennivåer i olika jordarter varierar. I detta avsnitt beskrivs hur geologiska, hydrologiska och meteorologiska parametrar påverkar fluktuationer av grundvattennivåer. Det finns även en beskrivning av Uppsalaåsens skyddsområde och en områdesbeskrivning som behandlar jordarter i och kring Uppsala. För att få en grundläggande förståelse av de data som har använts vid kartbearbetning finns en kort beskrivning av de viktigaste referens- och höjdsystemen i Sverige.

3.1 GRUNDVATTEN

Ett grundvattenmagasin är en sammanhängande vattenförande geologisk bildning (Trembaly, 1990). Om ett ogenomträngligt lager av till exempel lera ligger ovanpå ett vattenförande moränlager bildas ett slutet magasin under leran. Ett öppet magasin förekommer om det grundvattenförande lagret inte överlagras av något tätt lager. Det förekommer även isolerade grundvattenmagasin. I områden med komplex följd av jordlager med varierande hydraulisk konduktivitet kan flera grundvattenmagasin förekomma i olika nivåer (Tremblay, 1990).

Miljö kvalitetsmålet *grundvatten av god kvalitet* behandlar två viktiga aspekter av grundvattnets betydelse. Den första är behovet av en hållbar och säker dricksvattenförsörjning. Den andra aspekten är att grundvattnet som rinner till källor, sjöar, våtmarker och bäckar ska bidra till att skapa en god livsmiljö för djur och växter (Naturvårdsverket, 1999). Det ställer alltså krav på en god kvalitet på grundvattnet vilket betyder att det inte får innehålla ämnen som är skadliga för människor, växter och djur i akvatiska miljöer. Även kvantiteten av grundvatten är viktig både som naturresurs för dricksvattenförsörjning och för att grundvattennivåer inte ska förändras på ett sätt som påverkar utströmningen till ytvattendrag negativt. Ett exempel på negativ påverkan är då utströmningen till ytvattendrag minskar och livsmiljöer för växter och djur torrläggs.

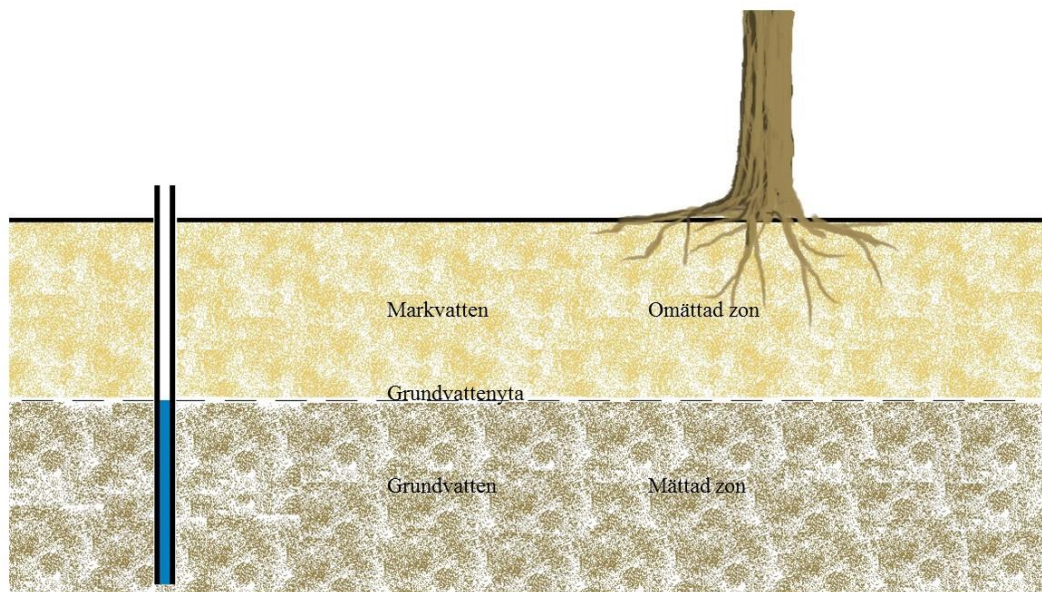
3.1.1 Grundvattenbildning

I Sverige nybildas grundvatten i öppna jordakviferer primärt när regnvatten eller smältvatten perkolerar ner från den ovanliggande omättade zonen (Rodhe et al., 2006). Områden där perkolation av nederbördsvatten skapar grundvattenbildning kallas inströmningsområden. Öppna jordakviferer fylls också på av vatten som kommer horisontellt från en anslutande akvifer. Det horisontellt flödande vattnet i grundvattenzonen har vanligtvis också bildats av nederbörd som perkolerat ner genom marken men på en annan plats.

Ute i landskapets lågpunkter strömmar ofta grundvatten från grundvattenzonen mot markytan eller ut i sjöar och vattendrag (Rodhe et al., 2006). Dessa områden kallas utströmningsområden och är vanligtvis mindre än motsvarande inströmningsområden. Utströmningsområden kan kännetecknas av vegetation som trivs i fuktiga miljöer eller förekomsten av utsipprande vatten. In- och utströmningsområdenas utbredning varierar inom året och mellan åren. Vid höga grundvattennivåer ökar utströmningsområdenas utbredning (Knutsson & Morfeldt, 2002).

Marken kan delas upp i olika zoner. Den omättade zonen ligger över grundvattenytan och kan i sin tur delas upp i markvattenzonen, sjunkvattenzonen och kapillärzonen (Tremblay, 1990). Den mättade zonen är där grundvattnet finns, under grundvattenytan är porerna i marken fyllda med vatten. Grundvattenytans läge och zonindelningen av marken visas översiktligt i Figur 1. Definitionsmässigt är grundvattenytan den nivå i jorden där vattenytan i ett perforerat rör ställer sig. Grundvattenzonens övre gräns

sammanfaller med grundvattenytan i en öppen akvifer. Detta benämns även som en akvifer med fri grundvattenyta (Grip & Rodhe, 1985).



Figur 1. Marken kan delas upp i markvattenzonen och grundvattenzonen. Grundvattenytan återfinns där vattnets tryck är lika stort som atmosfärens. Under grundvattenytan är trycket högre än atmosfärstryck och alla porer i marken vattenfyllda. Över grundvattenytan i markzonen innehåller markporerna både luft och vatten (efter Grip & Rodhe, 1985).

Grundvattenbildningen i Uppland uttryckt som effektiv nederbörd är ca 200–300 millimeter per år (Naturvårdsverket, 1999). Effektiv nederbörd syftar på andelen av den totala nederbörden som bildar grundvatten och ytavrinning. Svenska jordar har generellt sett större infiltrationskapacitet än intensiteten hos regnet eller snösmältningen (Rodhe et al., 2006). Det sker alltså ingen ytavrinning och all nederbörd som faller på inströmningsområden infiltrerar i marken.

3.1.2 Grundvattenbildning i typjordar

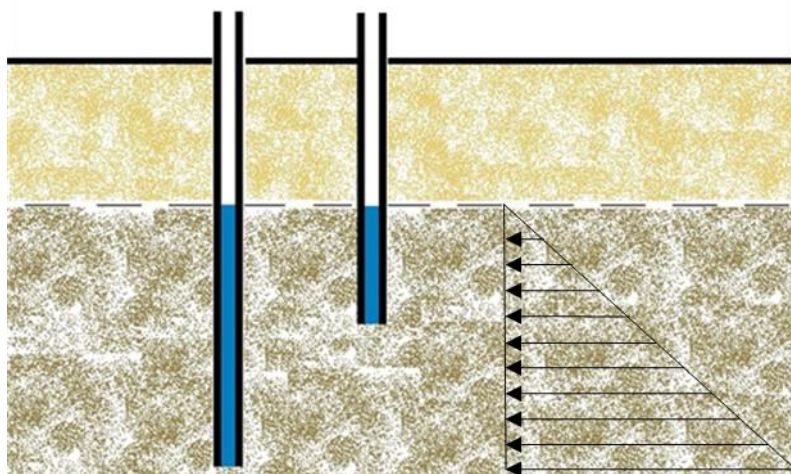
I en studie som undersökte avrinningen från ett stort antal avrinningsområden med olika markklasser visade Rodhe et al. (2006) att grundvattenbildningens storlek delvis beror på jordart. Den årliga grundvattenbildningen i Svealand var högre i grov jord jämfört med i morän. Grundvattenbildningen minskade då jordens fältkapacitet ökade och i fin jord var den årliga grundvattenbildningen lägre än i morän. Att grundvattenbildningen var stor i grova jordar beror på att markvattnet perkolerar snabbt genom den omättade zonen, vilket leder till en lägre avdunstning och därigenom större grundvattenbildning än i finkornigare jordar. Grundvattenbildningen i de tre markklasserna grov jord, morän och fin jord beräknades utifrån nederbörds- och grundvattendata från åren 1962–2003, se Tabell 1 (Rodhe et al., 2006).

Tabell 1. Grundvattenbildning i typjordar i Uppland (Rodhe et al., 2006).

	Grundvattenbildning [mm/år]
Grov jord	225–300
Morän	150–225
Fin jord	150–225

3.1.3 Portryck

Vanligtvis mäts grundvattennivåer genom mätning i friktionsjord, till exempel i sand och gruslager. Det antas att hydrostatisk portrycksfördelning råder i jorden under den uppmätta grundvattennivån (Tremblay, 1990). Antagandet är bra i friktionsjordar med stabila förhållanden men är osäkert om jordlagerföljderna växlar eller i kohesionsjordar som lera. Hydrostatisk portrycksfördelning inträffar bara om grundvattnet är stilla eller om grundvattenströmningen är horisontell (Tremblay, 1990). Hydrostatisk portrycksfördelning innebär att hydrostatiska trycket bara påverkas av vattnets egen tyngd på alla nivåer i marken vilket ofta förekommer i friktionsjordar med hög hydraulisk konduktivitet, se Figur 2.. Fördelningen kan även förekomma i tätare jordarter om grundvattenförhållandena hunnit stabilisera sig under lång tid.

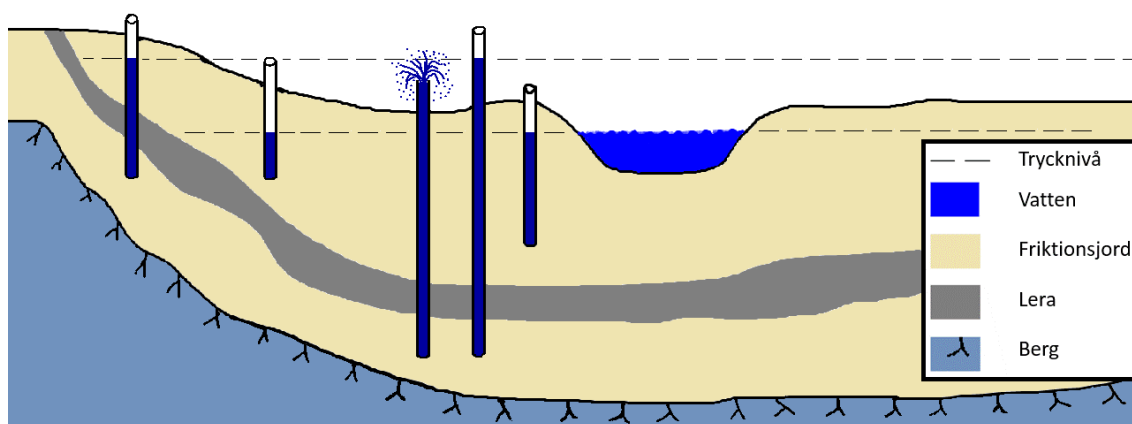


Figur 2. Hydrostatisk portrycksfördelning råder i denna friktionsjord. De svarta pilarna visar portrycket i marken (efter Tremblay, 1990).

Situationer när hydrostatisk portrycksfördelning inte förekommer är då grundvattnet strömmar i vertikalled och när ett vattenförande lager påverkar ett intilliggande lager av finkornig jord (Tremblay, 1990).

Hur portrycket ser ut i jorden beror på många faktorer och kan variera över tid. Portrycksfördelningen kan variera både horisontellt och vertikalt i marken och påverkas av jordarternas lagerföljd och egenskaper i form av till exempel hydraulisk konduktivitet, geologi och topografi (Tremblay, 1990). Portrycksfördelningen påverkas av väderförhållanden som nederbörd, snösmältning och evapotranspiration men även mänsklig påverkan vid dränering, dämning eller andra grund- och markvattenförändrande ingrepp.

Då en sandjord utgör en sluten akvifer kan porvattentrycket bli större i sanden än i ovanliggande jordlager som står i kontakt med atmosfären, se Figur 3. Då ett rör som är perforerat i den nedre delen trycks ner genom lerlagret och in i sandlagret stiger grundvattnet från sandlagret upp i leran och ibland även över markytan. Om grundvattnet stiger upp ovan markytan kallas det artesiskt (Tremblay, 1990). Grundvattennivån i sanden är en piezometrisk tryckhöjd. Tryckhöjden är på samma sätt som i den öppna akviferen den höjd där grundvattnet ställer sig i observationsröret (Grip & Rodhe, 1985).



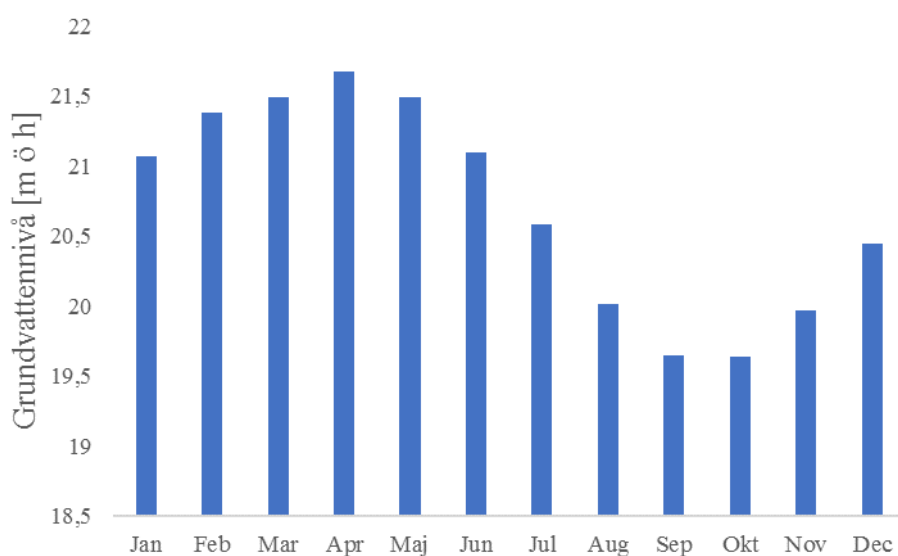
Figur 3. Grundvattentryck i två friktionsjordar som är separerade med ett tätt lerlager (efter Tremblay, 1990).

I leran ovan den slutna akviferen finns en fri grundvattenyta. Under naturliga förhållanden är lerans fria grundvattenyta djupare belägen än den slutna akviferens piezometrisk tryckhöjd det vill säga sandens grundvattenyta. Vattnet som rinner till den slutna akviferen kommer från nederbörd som infiltrerar i moränbackarna vid sidorna av dalgången, se Figur 3. Tryckhöjden i den slutna akviferen i dalgången beror till viss del av hur hög den fria grundvattenytan är i moränen vid sidan av leran. Dessa slutna akviferer som ofta återfinns i de mellansvenska dalgångarna har ibland en tryckyta som ligger högre än markytan det vill säga artesiskt grundvatten (Grip & Rodhe, 1985).

3.1.4 Grundvattnets årstidsvariationer

Hur grundvattennivåerna varierar över året beror på var i Sverige undersökningarna sker. De främsta naturliga faktorer som påverkar fluktuationer av grundvattennivåer är nederbördsmängd och avdunstning. I oktober till april sker den främsta grundvattenbildningen i mellersta och södra Sverige vilket beror på liten evapotranspiration (Naturvårdsverket, 1999). De nordligaste delarna av landet påverkas mer av djup tjäle och tjockt snötäcke vilket leder till stor grundvattenbildning i april och maj när tjälen tinar och snötäcket smälter.

Grundvattennivåerna i Uppland är vanligtvis lägst under sensommaren och tidig höst eftersom växterna på sommaren tar upp mycket av regnet som infiltrerar i marken och förhindrar därmed att det når grundvattnet. På hösten då växternas aktivitet avtar perkolerar en större andel av nederbörden ner till grundvattnet och bidrar till en stigande grundvattennivå. De högsta grundvattennivåerna uppkommer vanligtvis på våren (Knutsson & Morfeldt, 2002). De generella årstidsvariationerna för grundvattennivån i ett slutet grundvattenmagasin i jordarten morän visas i Figur 4. Mätningarna är från Sigtuna under perioden 2011-2016 och grundvattennivåmätningarna är hämtade från SGUs grundvattennät.



Figur 4. Grundvattnets generella nivåvariationer under året för ett moränmagasin i Sigtuna. Grundvattennivåerna motsvarar ett medelvärde som har beräknats månadsvis för perioden 2011–2016 (SGU, 2014).

Flera faktorer påverkar om ett nederbördstillfälle bidrar till en förändring av grundvattenytan. Regn som faller på en torr jord kan absorberas så att nederbördsvattnet inte direkt påverkar grundvattennivån. Teoretiskt sett måste fältkapaciteten i den omräknade zonen ovanför grundvattenytan vara uppnådd för att regnvatten ska kunna perkolera ner och påverka grundvattennivån. I praktiken krävs dock bara att jorden längs vattnets strömningsvägar är fuktiga (Knutsson & Morfeldt, 2002). Fältkapaciteten beskriver jordens vattenhållande förmåga i rotzonen, mer precist den vattenhalt en tidigare mättad jord har efter fri dränering, exempelvis efter en sänkning av grundvattennivån. Fältkapaciteten är den största vattenhalt jorden kan hålla kvar mot enbart gravitationen. En mer vetenskaplig definition av fältkapacitet är *markens vattenhalt vid pF 2,0*, vilket innebär ett undertryck av 100 centimeter (Grip & Rodhe, 1985).

I regel är det inte regnet vid ett nederbördstillfälle som når grundvattnet utan äldre vatten från tidigare nederbördstillfällen som flyttas nedåt via tryckfortplantningar. Hur lång tid det tar för en vattendroppe att nå grundvattnet beror på hur djupt i marken grundvattnet finns, vilka jordarter som förekommer i området, typ av vegetation,

jordens fuktighet samt jordens dränerbara och kinematiska porositet (Knutsson & Morfeldt, 2002).

Det finns också en förskjutning i tid mellan nederbördstillfället och förändringen av grundvattennivån. Längden på förskjutningen kan vara månader eller till och med år i mäktiga jordlager med djupt liggande grundvattenyta. I morän är tidsförskjutningen i storleksordning timmar till några dygn i ytligt grundvatten (Knutsson & Morfeldt, 2002).

Hur mycket grundvattennivån fluktuerar under året beror på grundvattenmagasinets storlek, mäktigheten hos den omättade zonen ovan magasinet, markens hydrauliska konduktivitet och klimatförhållanden. Generellt är fluktuationerna i grundvattennivå små i genomsläppliga jordarter och grundvattennivån varierar med större amplitud i tätare jordlager där jordens dränerbara porositet är liten (Trembaly, 1990). I stora grundvattenmagasin i grovkorniga jordar, till exempel i rullstensåsar, sker nivåförändringar ofta långsamt och årsfluktuationerna av grundvattennivån är liten eftersom grundvattennivån beror på avdunstningen och nederbörden under flera års tid och på grund av den stora dränerbara porositeten (Grip & Rodhe, 1985). Som jämförelse kan nämnas att grundvattennivån kan variera med en meter i grunda smala getåsryggar som är omgivna av morän eller torv. I små grundvattenmagasin med sandig eller moig morän med ytlig grundvattenyta kan nivåvariationerna vara flera meter under ett år (Knutsson & Morfeldt, 2002). Grundvattennivån varierar mindre i ett utströmningsområde än i ett inströmningsområde även om mätningar görs på samma akvifer. Förändringar i grundvattennivån är större i övre delen av sluttningar än nere vid sluttningens fot (Knutsson & Morfeldt, 2002).

Korttidsfluktuationer av grundvattennivån kan bero på intensiva och långvariga regn eller plötsliga förändringar hos närbelägna ytvattenmagasin som står i direkt hydraulisk förbindelse med grundvattnet (Knutsson & Morfeldt, 2002). Regelbundna dygnsvariationer av grundvattennivåer på en decimeter kan förekomma på grund av förändringar hos lufttrycket och tyngdaccelerationen. Tyngdaccelerationens variation med tiden påverkas av månens och solens rörelse.

3.1.5 Snabb- och långsamreagerande grundvattenmagasin

Små grundvattenmagasin är generellt snabbreagerande, det vill säga har en kort responstid när hydrologiska förhållanden ändras, medan stora magasin är långsamreagerande. Snabbreagerande grundvattenmagasin får snabba och stora förändringar av grundvattennivån över året. Moränakviferer utgör vanligen snabbreagerade grundvattenmagasin. Grundvattennivån påverkas i stor utsträckning av nederbörd, växternas upptag av vatten samt avdunstningen (Vikberg et al., 2015).

Långsamreagerande grundvattenmagasin är ofta mycket stora och har en lång responstid innan grundvattennivån påverkas av förändrade hydrologiska förhållanden. Det innebär att grundvattennivån får små amplitudförändringar över året. För långsamreagerande grundvattenmagasin är det primärt mellanårsvariationer som är viktiga för

grundvattennivån. Årstidsvariationerna är små men det är vanligt att grundvattennivåerna kan stiga eller sjunka flera år i följd (Vikberg et al., 2015).

3.2 OMRÅDESBESKRIVNING

Jan Sidenvall sammanställde på 1970-talet mycket av den information som fanns tillgänglig rörande Uppsalas vattenförsörjning, Uppsalaåsens utsträckning, mätningar av grundvattennivåer, källor och annan intressant information rörande grundvatten i och runt Uppsala (Sidenvall, 1970). I dalgångar vid Sävjaån finns vattenförande lager i friktionsmaterial i dalgången och runt närliggande höjder i landskapet. Nederbörd som perkolerar i morän eller annat friktionsmaterial på höjder strömmar i dessa lager under lertäcket och till lågzonen i dalgången (Sidenvall, 1970). Uppsalaåsen står i hydraulisk förbindelse med höjderna i landskapet via friktionsmaterial i dalgångarna. Uppsalas slätter och dalgångar är vanligtvis täckta med mäktiga lerlager. Dessa lerlager är oftast mycket täta så länge leran är genomfuktig (Sidenvall, 1970).

Gatorna runt kvarteret S:t Per fick kraftiga sättningar år 1969 efter att grundvattennivåerna förändrades. Förändringarna uppkom då grundvatten som trängt in i ett byggschakt pumpades ut i Fyrisån. Sättningarna var på vissa ställen mer än en halv meter och berodde på sänkningen av grundvattenytan. Att hålla grundvattennivån över en viss miniminivå är av stor vikt i Uppsala för att undvika att historiska byggnader skadas (Sidenvall, 1970). Den norra delen av domkyrkan är belägen ovanför en lerkörtel och om porvattentrycket i leran minskar riskerar leran att sätta sig och den gamla domkyrkan skadas. Enligt Sidenvall (1970) borde varje stadsdel ha en fastslagen miniminivå för grundvattnet för att undvika att problem uppstår.

I Uppsala innerstad och i dess närområde har bland andra konsultföretaget Bjerking observationsrör för grundvatten. Grundvattnets trycknivå mäts kontinuerligt i vattenförande jordlager under leran. Nivån som anges som grundvattnets trycknivå är därför ofta en fiktiv tryckyta i lertaget. Grundvattendata från år 1981 och fram tills idag pekar generellt på en medelnivå på +3 m i höjdsystemet RH 2000 (Bjerking, 2013).

3.2.1 Uppsala och Vattholmaåsen

Tvärprofiler genom Uppsalaåsen visar att den följer en förkastning som sträcker sig från Flottsund i södra Uppsala till Gamla Uppsala i norr. Åsryggen som tydligt syns i delar av staden följer berget under och markundersökningar har visat att kärnan av åsen ligger på förkastningsbranten som vetter mot öster (Sidenvall, 1970). Uppsala och Vattholmaåsen är cirka 45 kilometer lång och sträcker sig från Ydingsbo i norr till Kungshamn i söder. Grundvattenströmmen rinner mot söder och till åsen rinner grundvatten till från anslutande åsar och närliggande marker. Vatten kommer från Sävjaåns dalgång, Jumkilåns dalgång och biflöden till Vattholmaåsen (Sidenvall, 1970).

Under mitten av 1900-talet påverkade konstgjord ytinfiltrationen på Tunåsen och grundvattenuttag från flera vattentäkter vattennivån i många rör där grundvattennivåmätningar har skett. Det innebär att naturliga förändringar av

grundvattennivån över året dämpades och tidvis doldes förändringarna i grundvattennivå helt (Sidenvall, 1970).

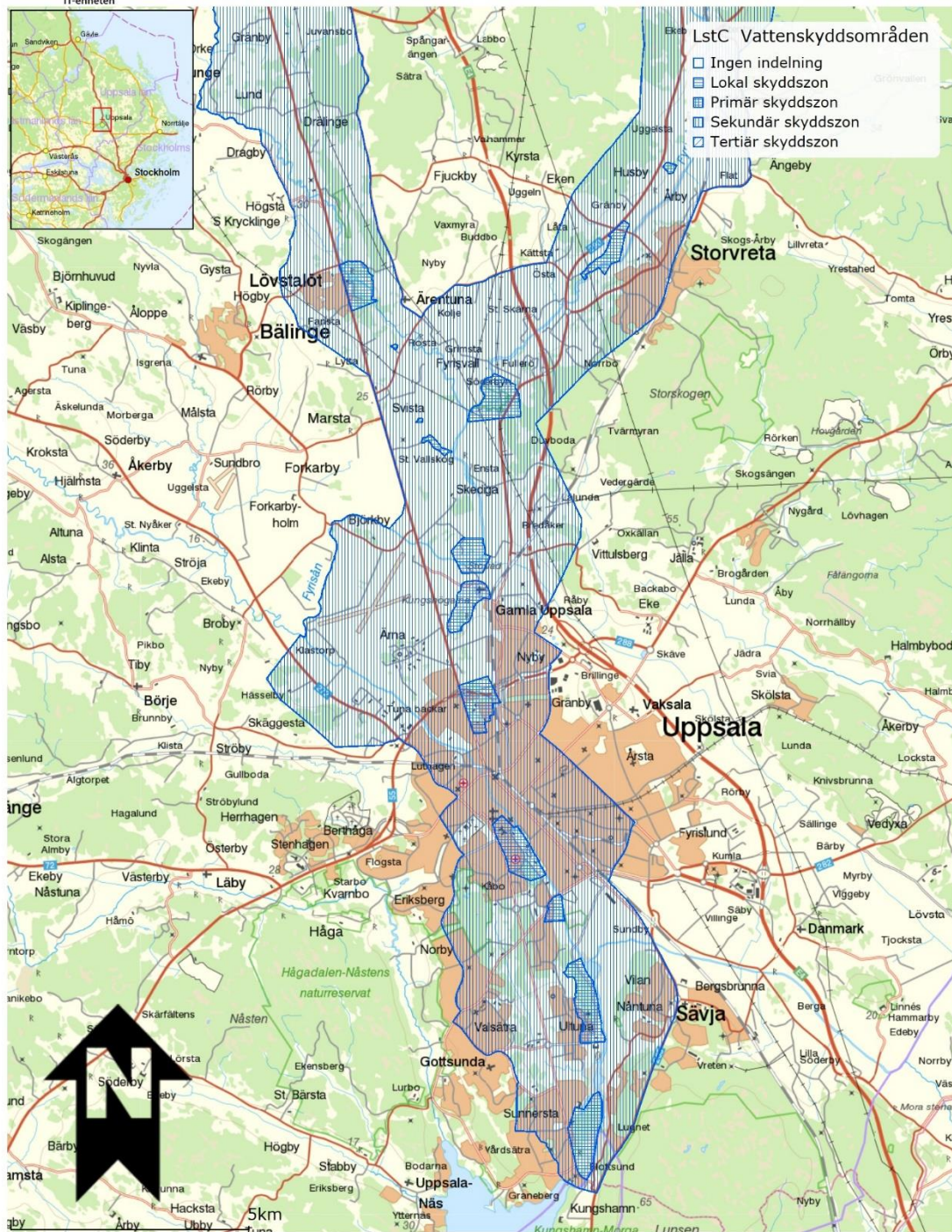
Redan år 1956 påbörjades försök med konstgjord infiltration av vatten från Fyrisån till Tunåsen och sedan år 1967 har en permanent infiltrationsanläggning varit i bruk (Sidenvall, 1970). Den konstgjorda infiltrationen vid Tunåsen bidrar till att den hydrauliska gradienten blir mycket stor mellan Tunåsen och Galgbacken. Skillnaden mellan högsta höggrundvatten och lägsta låggrundvatten är mycket större i de norra delarna av staden, vid Storvreta, Vallskog och Tunåsen, för att minska något vid Centralbadet och Stadsträdgården, skillnaderna är som minst vid Ultuna, Sunnersta och Kungshamn. Mönstret beror på att åsen i Uppsala och Kungsängen har en mycket stor vattenmagasinerande förmåga (Sidenvall, 1970).

Ytvatten tas idag från Fyrisån vid Storvad. Detta vatten renas och pumpas sedan upp till konstgjorda infiltrationsanläggningar vid Tunåsen och Stora Vallskog. Råvatten till vattenverken vid Bäcklösa och Gränby pumpas upp från grundvattenbrunnar vid Sunnersta, Stadsträdgården, Galgbacken och Storvad (Uppsala Vatten, 2017).

3.2.2 Skydd av grundvatten

Uppsala kommuns grundvattentäkter Uppsala- och Vattholmaåsarna skyddas sedan den 29 december 1989 av skyddsföreskrifter utfärdade av Länsstyrelsen i Uppsala län (03FS, 1990). Skyddsområdet illustreras i Figur 5 och består av tre skyddszoner där olika bestämmelser gäller. Det innersta området är brunnsområdet, som ska vara inhägnat och inom det får endast vattentäktsverksamhet bedrivas. De två andra områdena är inre skyddszonen (*primär*) och yttre skyddszonen (*sekundär*). I den inre skyddszonen får varken hantering eller lagring av kemikalier och petroleumprodukter förekomma. Krav ställs på att nya avloppsledningar och tillhörande brunnar regelbundet ska kontrolleras och underhållas; dessutom måste de vara täta. Det är även förbjudet att anlägga infiltrationsanläggningar för dagvatten eller hushållspillvatten. Totalt förbud råder för att etablera industriell verksamhet och släppa ut avloppsvatten. När det gäller markarbeten och täktverksamhet får de inte sänka grundvattennivån eller leda bort grundvatten. Arbetena får heller inte ske närmare än 3 meter över högsta grundvattenyta (03FS, 1990).

Inom den yttre skyddszonen får kemikalier och petroleumprodukter hanteras och lagras om inte något av substansen kan tränga ner i marken vid ett eventuellt läckage. Generellt kan sägas att yttre skyddszonen har liknande men mindre strikta regler än det som gäller den inre skyddszonen. Länsstyrelsen i Uppsala län kan bevilja dispens från skyddsföreskrifterna om synnerliga skäl föreligger (03FS, 1990). Syftet med skyddsområdet är att den värdefulla vattentäkten i Uppsala- och Vattholmaåsarna ska skyddas från föroreningar.

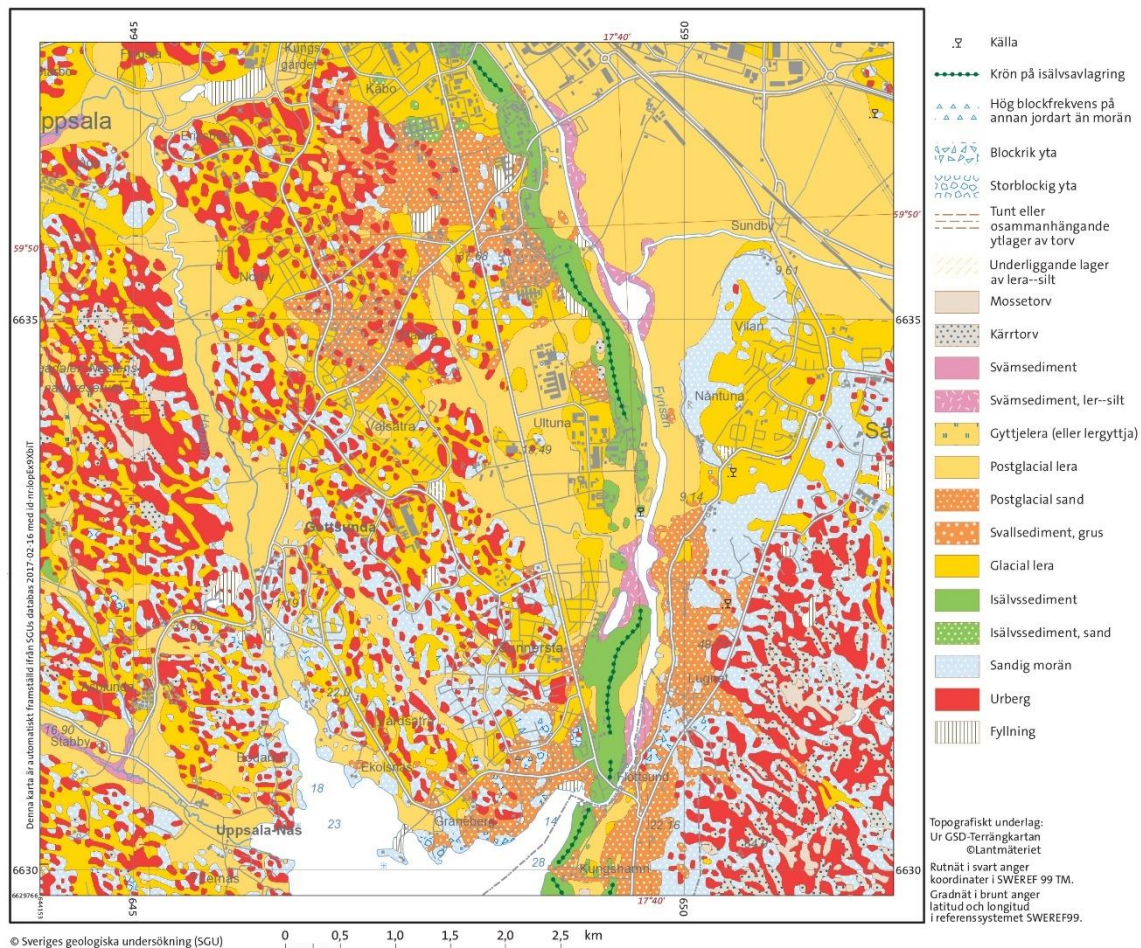


Figur 5. Vattenskyddsområdet och dess olika skyddszoner för Uppsala- och Vattholmaåsarna. Kartan är skapad med Länsstyrelsens WebbGIS (Länsstyrelsen, 2017).

3.2.3 Jordarter och berggrund i Uppland

Uppland är ett flackt landskap och berggrunden består i huvudsak av granit men även gnejs är vanligt förekommande närmare kusten. Landskapets utseende och dess jordarter har till stor del präglats av inlandsisen och den efterföljande landhöjningen. Rullstensåsar löper i nord-sydlig riktning genom landskapet och vid sidan av åsarna förekommer svallsediment bestående av mestadels sand och grovmo. I direkt närhet till isälvsediment dominerar ofta varvig lera med inslag av mo och mjäla. I Uppland täcker morän stora delar av berggrunden och i låglänta områden överlagras moränen ofta av lera (Fredén, 2002).

Från SGU går det att beställa jordartskartor. Jordarterna delas in efter bildningssätt och kornstorlekssammansättning och det är jordarternas utbredning i eller nära markytan som visas i kartan (SGU, 2017b). Jordartskartorna går att beställa i olika skalor och nedan visas en jordartskarta över södra Uppsala, se Figur 6.



Figur 6. Jordartskarta över södra Uppsala. Kartan är skapad med kartgeneratort från Sveriges geologiska undersökning (SGU) (SGU, 2017b).

3.3 INDELNING AV JORDARTER

Idag finns det två dominerande korngruppsskalor som beskriver hur mineralkorn i jorden delas in i storleksklasser, se Tabell 2. Den ena klassningen utformades av Albert Atterberg år 1908 och bygger på antagandet att kornen är sfäriska och klassindelningen

sker efter partiklarnas diameter (Eriksson et al., 2011). Den andra klassificeringen bygger på Atterbergs skala men är mer anpassad efter de tyska och brittiska skalorna och fastslogs av Sveriges geotekniska förenings laboratoriekommitté (SGF). SGU använder idag korngruppsskalan som SGF fastslog. Den största skillnaden mellan skalorna är att mo inte finns med i SGFs korngruppsskala. I SGFs skala ingår grovmo i fraktionen sand medan finmo och mjäla bildar fraktionen silt. Detta beror på att egenskaperna hos grovmo liknar de hos sand medan finmo har egenskaper som är snarlika mjälans. Utanför Sverige är silt en beteckning som är mer gångbar än fraktionsnamnet mjäla. En annan skillnad mellan Atterbergs och SGFs korngruppsskalor är att gränsen mellan fraktionerna block, sten och grus har ändrats något (Eriksson et al., 2011).

Tabell 2. SGFs korngruppsskala ses på rad ett och två, på rad fyra och fem ses Atterbergs korngruppsskala. Tabellen innehåller även mättad hydraulisk konduktivitet för jordens olika storleksklasser (Grip & Rodhe, 1985) och (Eriksson et al., 2011).

SGF	Block	Sten		Grus			Sand			Silt			Ler	
	Grovblock	Grov-sten	Mellan-sten	Grov-grus	Mellan-grus	Fin-grus	Grov-sand	Mellan-sand	Fin-sand	Grov-silt	Mellan-silt	Fin-silt		
	Kornstorlek	[mm]												
	2 000	200		20			2			0,2			0,002	
Atterberg	Block	Sten			Grus			Sand		Mo		Mjäla		Ler
				Grov-grus	Fin-grus		Grov-sand	Mellan-sand	Grov-mo	Fin-mo	Grov-mjäla	Fin-mjäla		
	Hydraulisk konduktivitet, vid mättad [m/s]			$10^{-1}-10^{-3}$			$10^{-2}-10^{-4}$	$10^{-3}-10^{-5}$	$10^{-4}-10^{-6}$	$10^{-5}-10^{-8}$	$10^{-7}-10^{-9}$	$10^{-8}-10^{-10}$	$<10^{-9}$	

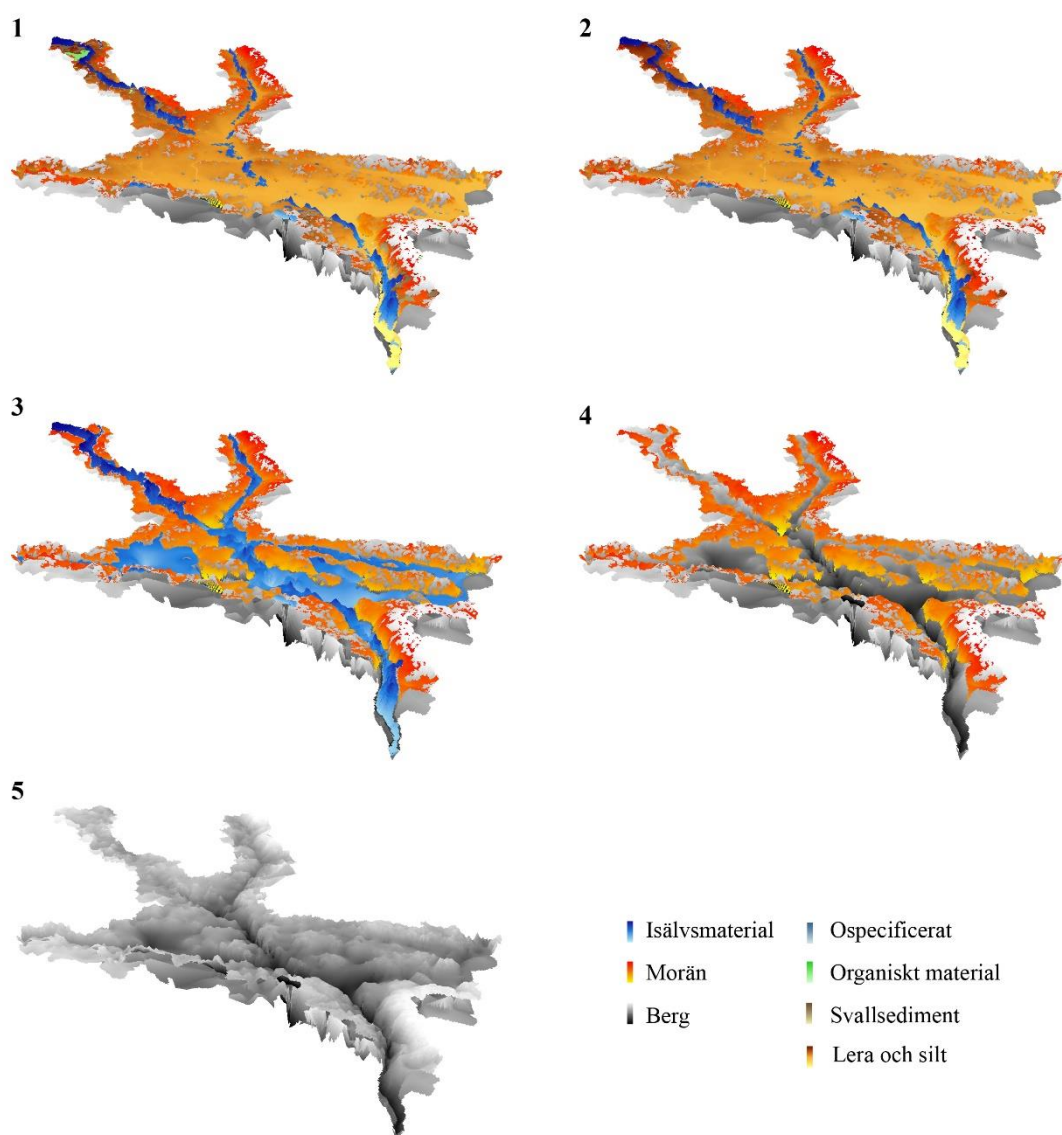
Vanliga jordarter innehåller vanligtvis partiklar som passar in i två eller flera kornstorleksklasser. Beroende på vilka fraktioner som ingår i en jord får den olika egenskaper. Jordarter som innehåller mycket sten, grus, grovsand och mellansand är vanligen mycket vattengenomsläppliga, men genomsläppligheten beror även på hur tätt materialet är packat (Eriksson et al., 2011). Jordarter som till stor del består av grovmo, sand och grus kallas friktionsjordar. Friktionsjordar som grävs upp och torkar faller lätt sönder i enstaka partiklar. Detta beror på att den mekaniska friktionen mellan markpartiklarna minskar.

Jordar som innehåller mycket av fraktionen ler har starkare sammanhållning mellan enskilda partiklar och kallas kohesionsjordar. En jordart som innehåller mer än 15 % av fraktionen ler kallas lera. Lerjordar kan hålla mycket vatten på grund av den höga porositeten och att vatten binds på de stora linsformade partikelytorna ger upphov till starka kapillära och adsorptiva krafter (Eriksson et al., 2011).

Morän är en osorterad jordart sett till kornstorleksfördelningen och materialet avsattes i samband med att den senaste inlandsisen smälte. Då materialet i de flesta moräner inte transporterats längre än några kilometer beror moränens mineralsammansättning på lokala och närliggande bergarter. Morän består oftast till största del av mo, sand och grus och vilar vanligen direkt på urberget (Eriksson et al., 2011). Under högsta kustlinjen har moränen utsatts för svallning vilket lett till att de minsta kornstorlekarna spolats iväg. Högre upp i landskapet kan moränen vara nästan helt bortspolad och berget exponerat. I dalgångar täcks ofta moränen av sedimentära jordarter som lera.

3.4 JORDARTSMODELL AV UPPSALAÅSEN

SGU har i ett samarbete med Uppsala Vatten och Avfall AB upprättat en digital jordlagermodell i 3D av Uppsalaåsen med hjälp av programmet SubsurfaceViewer (Jirner et al., 2016). Denna har skapats med information från Lantmäteriets GSD-höjddata 2+ för att skapa terrängen, en höjddmodell över bergets övre yta, jordartskartor, jordlager och jorddjup i punktform samt flera tvärsektioner. Denna jordartsmodell över åsens uppbyggnad och kringliggande markområde utgör ett bra underlag för att visualisera den komplexa jordlagerföljden i Uppsala. Generaliserade ytor och sektioner kan exporteras från SGUs modell i olika format (Jirner et al., 2016). Med data från SGU har en visualisering av modellen tagits fram i ArcScene, se Figur 7.



Figur 7. En visualisering av jordarter vid Uppsalaåsen. 1. Alla jordarter 2. Berg, morän, isälvsmaterial, lera och silt, 3. Berg, morän och isälvsmaterial 4. Berg och morän 5. Berg (Data från SGU)

3.5 S-HYPE-MODELLEN

SMHI har utvecklat en hydrologisk modell som simulerar flöden och beräknar omsättningen av vatten och näringsämnen. Modellen beräknar flera hydrologiska variabler och en av dessa är grundvattennivåer (SMHI, 2017a). Denna modell heter HYPE (HYdrological Predictions for the Environment) och den första versionen var färdigställd år 2008. HYPE-modellen som täcker hela Sverige gavs namnet S-HYPE.

SMHI utför beräkningar med S-HYPE för att visa förändringar av hydrologiska parametrar varje dygn för 37 000 områden i Sverige (SMHI, 2017a). Grundvattenmagasinen är uppdelade mellan snabb- och långsamreagerande. De snabbreagerande grundvattenmagasinen speglar förhållanden i moränakviferer medan de långsamreagerande ska spegla förhållanden i större grus- och sandmagasin. På SMHIs Vattenwebb redovisas grundvattenmagasinens fyllnadsgrad i procent. Dessa beräkningar går att ladda ner för olika avrinningsområden och beräkningar bygger på framräknade grundvattennivåer (SMHI, 2017a).

3.6 HÖJDSYSTEM

Sveriges nuvarande officiella höjdsystem togs i bruk år 2005 och heter Rikets Höjdsystem 2000, RH 2000 (Lantmäteriet, 2016a). Lantmäteriet har på samma vis som Sveriges grannländer och flera länder i Europa definierat höjdsystemets nollpunkt i en punkt i Amsterdam, Normaal Amsterdams Peil (NAP) (Lantmäteriet, 2016a). Detta möjliggör att flera nationella höjdsystem lätt kan jämföras och RH 2000 kan ses som en del i det europeiska höjdsystemet.

I Sverige användes tidigare höjdsystemen RH 00 som relaterar till fixa höjder år 1900 och RH 70 som beskrev läget år 1970. Landhöjningen i Sverige gör att alla uppmätta höjder måste korrigeras för hur stor landhöjningen har varit på en specifik plats under en viss tidsperiod (Lantmäteriet, 2016a). På de 100 år som skiljer mellan RH 00 och RH 2000 är skillnaden i höjdlängd cirka en meter i norra delarna av Sverige där landhöjningen har varit som störst. En landhöjningsmodell har tagits fram för att alla uppmätta höjder ska kunna räknas om till normalhöjder som rådde år 2000. En geoidmodell finns kopplad till RH 2000 så att GPS-höjder, det vill säga en höjd över ellipsoiden kan konverteras till en höjd över havet (Lantmäteriet, 2009).

3.7 REFERENSSYSTEM

Ett geodetiskt datum är en matematisk modell av jorden. Då jorden har en oregelbunden form används olika matematiska modeller beroende på vilket geografiskt område på jorden som ska avbildas. Fasta punkter måste koordinatsättas med latitud, longitud och höjdlängd relativt en väldefinierad modelljord. För att avbilda jordytan på en platt karta krävs att avbildningen projiceras på en yta för att jordens krökning ska kunna beskrivas. Projektionen kan ske på olika ytor men vanligtvis används en kon eller cylinder. Vid projektionen förekommer alltid ett visst avbildningsfel (Lantmäteriet, 2012).

Geodesi går i huvudsak ut på att bestämma koordinatläge för punkter på jordytan men även punkternas tyngdkraftsvärden och höjd över havsytan måste bestämmas. För att kunna bestämma dessa värden finns geodetiska riksnät i Sverige med punkter som har

noggrant uppmätta höjd, plan och tyngdkraftsvärden i ett bestämt referenssystem. De geodetiska näten och referenssystemen används för att bygga upp moderna geografiska databaser (Lantmäteriet, 2012).

Sveriges nuvarande officiella referenssystem började användas i januari år 2007 och heter SWEREF 99 (Lantmäteriet, 2016b). SWEREF 99 är uppdelat i tre dimensioner och plan, RG 82 för tyngdkraftsvärden, RH 2000 i höjdled och SWEN08_RH 2000 för geoidhöjder. Tidigare hade nästan varje kommun ett eget referenssystem och ibland flera på grund av sammanslagningen av kommuner som skedde på 1970-talet. I den nationella geodatastrategin är ett av målen att de nationella geodetiska referenssystemen RH 2000 och SWEREF 99 ska användas av alla aktörer som använder, tillhandahåller, förvaltar och producerar geodata (Lantmäteriet, 2012). Detta för att statliga myndigheter, kommuner och privatpersoner lättare ska kunna använda information och data utan att behöva transformera koordinatuppgifter till ett annat referenssystem.

Innan Global Navigation Satellite Systems (GNSS) fanns tillgängliga var plankoordinater och höjdsystem åtskilda. Idag används globalt ett tredimensionellt referenssystem som definieras av fundamentalpunkter belägna vid fasta referensstationer för Global Positioning System (GPS). För att geografisk information lätt ska kunna användas över nationsgränser baseras det svenska referenssystemet på the European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS 89) (Lantmäteriet, 2008). ETRS 89 har fasta punkter på den eurasiska kontinentalplattan. Den 1 januari år 1989 hade ETRS 89 samma position sett till longitud- och latitudnätet som World Geodetic System 1984 (WGS 84). I vardagliga sammanhang används beteckningen WGS 84 ofta synonymt med ETRS 89.

3.8 INTERPOLERINGSMETODER

För att beräkna grundvattenytans nivå mellan mätpunkter kan olika metoder för interpolering användas. Det finns två kategorier av interpoleringsmetoder, dessa är deterministiska och geostatistiska (Söderström, 2010). Metoderna beräknar grundvattennivån mellan mätpunkterna på olika sätt och beskrivs kortfattat nedan.

Natural-Neighbor är en deterministisk interpoleringsmetod som bygger på att delmängder av de närmaste liggande mätpunkterna viktas utifrån proportionella områden för att beräkna fram en yta. Interpolerade värden ligger alltid inom intervallet för indatapunkterna. Natural-Neighbor skapar inga toppar, gropar eller åsar i den framräknade ytan såvida de inte finns i de uppmätta mätningarna. Ytan som skapas passerar genom mätpunkterna och är slät överallt utom vid mätpunkterna (ESRI, 2017).

IDW (Inverse Distance Weighting) är en deterministisk interpoleringsmetod som bygger på avståndsviktning (Söderström, 2010). Detta innebär att avståndet från uppmätta grundvattennivåer till de områden som ska tilldelas en uppskattad grundvattennivå avgör hur viktiga de olika mätpunkterna är. Närliggande mätpunkter är viktigare och får därmed större betydelse än punkter som ligger längre bort.

Kriging är en grupp av flera interpoleringsmetoder. Beräkningarna utförs i flera steg och bygger på statistiska samband mellan uppmätta grundvattennivåer (Söderström, 2010). Metoden används när det finns rumsliga samband mellan uppmätta datapunkter.

4 METOD

I den här delen presenteras hur variationer av grundvattennivåer i olika jordarter undersökts. Dessa undersökningar låg till grund för att ta fram en metod för normalårskorrigerings av grundvattennivåer i olika jordarter. Avsnittet behandlar även vilka datakällor som använts och hur dessa bearbetats. Slutligen presenteras program och tillvägagångssättet för hur grundvattennivåkartor tagits fram i projektet. Det exakta tillvägagångssättet för olika moment av kartbehandlingen i ArcGIS finns beskrivet i bilaga A. Viktiga funktioner för beräkningar i Excel som använts i detta projekt finns angivna i bilaga B.

4.1 DEFINITION AV BEGREPP

Här beskrivs viktiga begrepp som används frekvent i rapporten.

Normalårskorrigerings är en korrigerings av enstaka mätningar från en specifik tidpunkt. De uppmätta grundvattennivåerna korrigeras så att de återspeglar medelnivån på den studerade platsen över en längre tidsperiod.

Generella nivåvariationer under året för grundvattennivån har beräknats som medelvärdet över varje månad under hela tidsperioden, till exempel medelvärdet av alla mätpunkter på en plats tagna under juli månad under 10 år. När fler än en mätning utförts under en månad har medelvärdet av dessa mätningar beräknats innan medelvärdet över alla år.

Långtidsmedelvärde är ett medelvärde som beräknats för grundvattennivåmätningar under alla månader och alla år som grundvattennivån på en viss plats uppmätts. När fler än en mätning av grundvattennivån utförts under en månad har medelvärdet av dessa beräknats innan medelvärdet för hela mätserien. Det finns egentligen två långtidsmedelvärden för varje långtidsmätserie av grundvattennivåer men dessa är mycket lika. Skillnaden beror på att det ena medelvärdet beräknats utifrån alla årsmedelvärden medan det andra beräknades utifrån det generella månadsmedelvärdet. Årsavvikelser har jämförts mot långtidsmedelvärdet beräknad från årsmedelvärdet medan månadsavvikelser har jämförts mot långtidsmedelvärdet beräknad från det generella månadsmedelvärdet.

Punktvis uppmätta grundvattennivåer syftar på mätningar av grundvattennivåer som är uppmätta vid ett tillfälle vid en enstaka tidpunkt.

4.2 DATAKÄLLOR

Information om vilka datakällor som använts under projektet och var dessa funnits tillgängliga beskrivs i avsnitten nedan.

4.2.1 Beslut och dispenshandlingar

Det krävs dispens som söks hos Länsstyrelsen vid byggnation eller andra markarbeten nära grundvattenytan om de utförs inom Uppsalaåsens skyddsområde. Ofta gäller ärendena pålning vid uppförande av nya byggnader eller stabilisering av befintliga byggnader. I beslutet som beviljar eller avslår dispensansökan finns ett avsnitt med områdesbeskrivning som innehåller uppgifter om grundvattennivåns läge och markförhållandena på platsen. Data från 418 beslut mellan åren 2003 och 2016 har sammanställts. Beslut och dispensansökningar var tillgängliga via Länsstyrelsens ärendehanteringssystem Platina. Av dessa innehöll 255 information rörande grundvattennivåer eller grundvattnets trycknivå samt tillförlitliga data om platsens position. I de fall då koordinaterna för grundvattennivåmätningarna inte funnits tillgängliga i dispensansökan valdes vid datasammanställningen en punkt på fastigheten utifrån analys av en karta.

Även jordarter i marken har sammanställts i sex lager. Jordlagren delades in i skikten 0-2 m, 2-5 m, 5-10 m, 10-20 m, 20-30 m och 30 m och djupare under markytan. Jordarterna delades in i större fraktioner för att underlätta sammanställningen. Benämningarna som används för jordarterna i sammanställningen är fyllning, mo, lera (kohesionsjord), friktionsjord, isälvsmaterial och berg. Dessutom sammanställdes 58 spridda grundvattennivåmätningar runt om i Uppsala angivna i konsultrapporter och geohydrologiska undersökningar.

I de fall markytans nivå och grundvattnets trycknivå angivits i höjdsystemet RH 2000 har djupet till grundvattenytan beräknats som differensen mellan trycknivån och markytan. Majoriteten av data från beslut och dispensansökningarna saknar uppgifter om när grundvattennivåerna är uppmätta. I de fall flera mätningar av grundvattennivån har utförts har ett medelvärde av djupet till grundvattenytan beräknats.

4.2.2 Brunnsarkivet

Förordningen 1975:425 om uppgiftsskyldighet vid grundvattenundersökning och brunnsborrning klargör vilka uppgifter som ska skickas in till SGU av den som yrkesmässigt utför exempelvis brunnsborrningar eller grundvattenundersökningar (SFS, 1975). I SGUs brunnsarkiv finns uppgifter som rör brunnars läge, ort, fastighetsbeteckning, grundvattennivå, borrdatum och användningsområde för brunnen (SGU, 2017a). Mätningarna har utförts en gång per brunn och brunnsarkivet innehåller därmed inga långtidsserier. Punkterna från brunnsarkivet kommer från brunnsborrningar som utförts i samband med nya brunnar för vattenförsörjning samt energibrunnar för bergvärme eller bergkyla.

Totalt antal objekt i Uppsala med omnejd innan filtrering var 10 633. Filtreringen innebar att grundvattennivåmätningar som ej ansågs representativa togs bort, nedan följer en förklaring kring varför grundvattennivåmätningar uteslöts. Många av objekten saknade angivelser av grundvattennivå eller angav nivån som noll. Även objekt som saknade koordinater eller brunnar med samma koordinater och grundvattennivåer togs bort. Efter bortfiltrering av objekten som saknade grundvattennivåer eller

koordinatangivelser fanns grundvattennivåerna för 5179 objekt. Då även dubbletterna togs bort fanns 4140 unika mätpunkter med grundvattennivåer kvar. Brunnsarkivet innehöll både datum för mätning av grundvattennivån (*nivådatum*) och datum för när borrningen utfördes (*borrdatum*). I brunnsarkivet fanns punkter med grundvattennivå som låg under bergsytan. Dessa punkter togs bort då de inte ansågs vara representativa för grundvattennivån på platsen. Slutligen återstod 1774 punkter med angiven grundvattennivå och unika koordinater.

4.2.3 Grundvattennätet

SGU har långtidsmätningar av grundvattennivåer på flera platser i Sverige. Dessa mätningar benämns av SGU som grundvattennätet. Grundvattennätet innehåller långtidsmätningar av grundvattennivåer på ungefär 300 platser runt om i Sverige. Mätningarna har skett sedan slutet av 1960-talet men seriernas längd och datumintervall varierar kraftigt. När nivådata från långtidsmätningar används för referensändamål är det viktigt att både klimat- och jordartsförhållanden alltså de platsspecifika egenskaperna i största möjliga utsträckning är liknande på de två platserna (SGU, 2014). I detta projekt har långtidsmätningar av grundvattennivåer i Sala, Nántuna, Sigtuna, Lagga och Tärnsjö studerats. Grundvattennivåmätningarna har utförts i olika jordarter och akviferstyper med varierande topografiska lägen, dessa visas i Tabell 3. Serierna valdes utifrån närhet till Uppsala, tidsperiod och jordarter. Mätningar har utförts regelbundet varje månad och sträcker sig för några av platserna över fler årtionden.

Tabell 3. Platser där SGU har långtidsmätningar av grundvattennivåer.

Plats	Datumintervall	Jordart	Akvifertyp	Topografiskt läge	Nord	Öst	Måttillfällena	Avvikelse
Sala	1966-2016	Sand	Öppet magasin	Vattendelarläge	6634272	584256	1558	flera*
Sigtuna	2011-2016	Morän	Slutet magasin	Vattendelarläge	6615555	649167	11 874	inga**
Lagga	2012-2016	Morän	Slutet magasin	Utströmningsområde	6631576	656190	10 795	-
Nántuna	1986-2000	Morän	Öppet magasin	Inströmningsområde	6634364	650037	317	-
Tärnsjö_2	1970-2009	Sand	Öppet magasin	Inströmningsområde	6668016	605028	1001	inga**
Tärnsjö_20	1972-2009	Grus	Öppet magasin	Inströmningsområde	6661326	604583	1003	inga**
Tärnsjö_32	1988-2009	Morän	Öppet magasin	Inströmningsområde	6666196	602990	570	inga**

*flera avvikelser från naturliga tidsvariationer (enligt SGU)

**utan avvikelser från naturliga tidsvariationer (enligt SGU)

Nord och Öst avser den nordliga respektive östliga koordinaten i SWEREF 99 TM

4.2.4 Långtidsmätningar från Uppsala Vatten

Uppsala Vatten och Avfall AB har serier med långtidsmätningar av grundvattennivåer vid Storvad, Galgbacken, Stadsträdgården, Ultuna och Sunnersta (Tabell 4). Alla platser saknar mätvärden för november och december år 2016 för att databasen inte hade uppdaterats när detta projekt påbörjades. Mätserien i Sunnersta saknar även data för december år 2010 och januari-oktober år 2011. Grundvattennivåerna är angivna i Uppsalas lokala höjdsystem och för att konvertera dessa till RH 2000 adderas 0,225 meter till mätvärdet. Uppsala Vattens mätningar sträcker sig mellan åren 2008-2016 vilket är betydligt kortare än de längsta mätningarna från SGUs grundvattennät.

Tabell 4. Platser där Uppsala Vatten utför långtidsmätningar av grundvattennivåer.

Plats	Datumintervall	Rörnamn	Mättillfällen	Avvikelse
Storvad	2008-2016	LM20	3253	
Storvad	2008-2016	LM21	3253	
Galgbacken	2008-2016	LM120	3220	
Stadsträdgården	2008-2016	LM190	3253	
Ultuna	2011-2016	9806	2378	
Sunnersta	2008-2016	LM262	2904	År 2011 saknas

4.2.5 Kartor från Lantmäteriet

Bakgrundskarta över Sverige i skala 1:1 000 000 laddades ner i vektorformat från Lantmäteriet. Kartan innehåller bland annat vägar, järnvägar, vattendrag, Ortsnamn och markklasser. Denna karta är fritt tillgänglig för alla och laddas ner från Lantmäteriets hemsida under fliken hämta öppna geodata.

Höjdkarta från Lantmäteriet i form av Geografiska Sverigedata (GSD), GSD 2+ visar hur markens höjd i landskapet varierar. Kartan laddades ned via Sveriges Lantbruksuniversitetets (SLU) nedladdningstjänst Geodata Extraction Tool (GET). Mätningar har utförts med flygburen laserscanning och kartan levereras med upplösningen två gånger två meter och med en hög höjdnoggrannhet (Lantmäteriet, 2017). Denna karta kan levereras i olika format. I detta projekt valdes kartans referenssystem till plan SWEREF 99 TM och i höjddet RH 2000.

4.3 PROGRAM

Detta avsnitt ger en kort beskrivning av programmen som använts i detta projekt. Excel (2016), ArcGIS (10.4.1) och NOTEPAD++ (v7.3) har använts för att sammanställa, behandla och presentera data. Statistiska beräkningar och skapande av grafer samt tabeller har utförts i Excel medan kartbehandling har utförts i ArcGIS.

4.3.1 Excel

Excel är ett kalkylprogram som behandlar data i tabeller. Programmet har många inbyggda matematiska och statistiska verktyg. Långtidsdata över grundvattennivåer har bearbetats och medelvärden har beräknats med pivottabeller i Excel. Även sammanställningen av uppgifter från dispenshandlingar och grafer över nederbörd, grundvattennivåer, avvikelser och histogram har skapats i Excel. En utförlig beskrivning av de funktioner och statistiska verktyg som använts finns i bilaga B.

4.3.2 Notepad++

Notepad++ är en textredigerare som är fritt tillgängligt och stöder många olika dokumentformat. Programmet har använts för att konvertera data från Excel till textfiler som sedan förts in i ArcGIS.

4.3.3 ArcGIS

Ett geografiskt informationssystem (GIS) användes för att behandla geografiska data. Det finns många olika typer av mjukvara för att behandla geografiska data. I detta

projekt användes ArcGIS (10.4.1) från Environmental Systems Research Institute (ESRI) för bearbetning av kartor och geodata.

I bilaga A finns beskrivet steg för steg hur databehandlingen utförts för att lägga in grundvattennivåer i ArcMap från Excel. Även hur verktyg använts i ArcMap för alla delmoment i framtagandet av grundvattennivåkartor med konturlinjer finns beskrivet. ArcScene har använts för att visualisera data från SGUs jordartsmodell.

4.4 NEDERBÖRD I STUDIEOMRÅDET

Nederbördsdata för Tärnsjö, Vattholma, Sala och Uppsala flygplats under perioden 1972–2015 hämtades från SMHIs tjänst öppna data (SMHI, 2017b). För Sala saknades data i april och maj år 1975, detta korrigerades genom att lägga till nederbördens månadsmedelvärde under perioden 1972–2015 för respektive månad där data saknades. För Tärnsjö sträcker sig mätserien mellan åren 1987–2015. Data saknades i december år 1994 samt för januari och februari år 1995. I Vattholma saknades mätvärden från januari, februari och mars år 1998. De ofullständiga nederbördsserierna för Tärnsjö och Vattholma korrigerades på samma sätt som för Sala. Vid Uppsala flygplats finns mätningar fram till och med år 1997. Nederbörden påverkar grundvattenbildningen som är viktig för grundvattennivåer och nivåvariationer. Det finns ett samband mellan avrinning som bildar grundvatten och nederbörd (Wang, 2012).

4.5 NORMALÅRSKORRIGERING

En metod för att normalårskorrigera mätningar av grundvattennivåer togs fram. En normalårskorrigerad mätning genomfördes så att de uppmätta grundvattennivåerna skulle spegla medelgrundvattennivån sett över en längre tidsperiod. Detta för att mätningar som utförts under extrema våtar eller torrår inte ska ge en skev bild av grundvattennivåns läge. Normalårskorrigeringen ger en grov justering baserat på jordarterna grus, sand och morän.

4.5.1 Tillvägagångssätt för att ta fram en normalårskorrigerad mätning

Normalårskorrigeringen innehåller följande steg:

- Beräkning av generella månadsmedelnivåer för varje studerad jordart.
- Beräkning av årsmedelnivåer för de studerade jordarterna.

Första steget var att hitta tidsserier av grundvattennivåmätningar från SGUs långtidsmätningar som kunde anses vara representativa för Uppsala med omnejd. Platser där grundvattennivån var uppmätt minst en gång i månaden under minst fem års tid valdes ut. Dataserier som var korta eller ofullständiga valdes bort. Serier som saknade mätvärden för max två månader per år tilläts om serien i övrigt sträckte sig över minst två decennier. Mätplatser med olika jordarter och akviferstyper valdes ut. Utöver jordart fanns information kring mätplatsens topografiska läge, grundvattenmagasinets storlek och om akviferen var öppen eller sluten. För att fastställa om en tidsserie som uppmätts i Uppsalas närhet kunde tillämpas på mätningar från Uppsala jämfördes nederbördsmängder på de olika mätplatserna för att undersöka om nederbörden var i

samma storleksordning. En avvikelse på mindre än $\pm 15\%$ med avseende på månadsmedelnederbörd accepterades.

I största möjliga utsträckning har medelvärdet beräknats under tidsperioden 1972–2016 för mätserierna med grundvattennivåer. Då detta inte varit möjligt har data i den tillgängliga tidsperioden använts, exempelvis perioden 1986–2000 för Nåntuna.

Grundvattnets tidsmässiga variationer studerades med hjälp av data från SGUs grundvattennät. För varje enskild mätplats beräknades medelvärdet för grundvattennivån varje år (Tabell 5). Avvikelsen på årsbasis beräknades genom att ta de olika årsmedelvärdena och subtrahera grundvattennivåns långtidsmedelvärde taget över samtliga år för mätserien. Genom denna typ av analys undersöktes om ett år var torrare eller blötare än normalt.

För varje månad beräknades medelvärdet sett över hela mätperioden, så att ett medelvärde för varje månad erhöles, se Tabell 5. För att få fram avvikelsen jämfördes månadsmedelvärdet sedan mot mätseriens långtidsmedelvärde. För de serier som utgjordes av kortare tidsperioder beräknades medelvärdet över de år som data fanns tillgängliga. Analysen av månadsmedelvärdena beskriver grundvattennivåns generella nivåvariationer under året på en och samma plats, det vill säga hur grundvattennivån generellt sett varierar mellan olika månader.

Tabell 5. Mätvärden för grundvattennivån i Sigtuna angivna som meter över havet.

År	Medel av Jan	Medel av Feb	Medel av Mar	Medel av Apr	Medel av Maj	Medel av Jun	Medel av Jul	Medel av Aug	Medel av Sep	Medel av Okt	Medel av Nov	Medel av Dec	Års-medelvärde
2010											19,75	20,26	20,00
2011	20,60	21,09	21,24	21,81	21,37	20,94	20,58	19,93	19,60	19,56	19,61	20,36	20,56
2012	21,56	21,36	21,53	21,78	21,62	21,23	20,74	20,19	20,15	20,87	21,49	21,57	21,17
2013	21,83	21,46	21,23	21,63	21,54	20,99	20,28	19,63	19,13	18,74	18,59	18,65	20,31
2014	20,03	21,23	21,66	21,58	21,45	21,06	20,47	19,85	19,43	19,28	19,69	20,30	20,50
2015	21,09	21,71	21,82	21,71	21,61	21,53	21,13	20,77	20,45	20,32	20,33	21,38	21,15
2016	21,30	21,52	21,54	21,50	21,34	20,89	20,32	19,71	19,23	18,81	18,63		20,44
Månads-medelvärde	21,07	21,39	21,49	21,68	21,49	21,10	20,59	20,02	19,65	19,64	19,97	20,45	20,59

För att konvertera en avvikelse från en tidsserie som visar grundvattennivån som meter under markytan och jämföra mot en tidsserie som visar grundvattennivån som meter över havet multiplicerades avvikelsen med minus ett.

Grundvattnets inomårsvariationer har jämförts statistiskt för olika jordarter i Sala, Tärnsjö, Nåntuna, Sigtuna och Lagga. Dataanalyser och beräkningar har utförts för inomårsvariationer under perioden 1972–2009. Inomårsvariationerna syftar på att undersökningen har utförts genom att jämföra grundvattennivåns månadsmedelvärden för varje enskilt år. Fokus låg på skillnaden mellan högsta och lägsta uppmätta grundvattennivå under ett år men även standardavvikelsen för inomårsvariationerna beräknades. Slutligen jämfördes den högsta och lägsta uppmätta grundvattennivån

under hela mätperioden för respektive mätplats. För grundvatten i jordarten morän i Tärnsjö har tidsperioden 1988-2009 undersökts. För Sigtuna, Nántuna och Lagga har de tillgängliga dataserierna använts, alltså betydligt kortare tidsperioder, se Tabell 3.

Årskorrigeringsfaktorer har tagits fram med data från långtidsmätningar från mätplatser i Sala och Tärnsjö då dessa platser hade betydligt längre mätserier av grundvattennivåer än övriga platser. Månadskorrigeringen bygger på data från Sala, Tärnsjö, Lagga, Nántuna och Sigtuna. Grundvattennivåerna i Sigtuna och Lagga är uppmätta mer frekvent än på övriga mätplatser men under kortare tidsperioder. Års- och månadskorrigeringsstabeller finns i bilaga C. För att spegla friktionsjord slogs korrektionsfaktorerna för sand och grus samman. En generell korrektionsfaktor för morän, som kan tillämpas då information kring magasinystyp saknas, erhöles genom att de olika korrektionsfaktorerna för morän i öppna och slutna magasin slogs samman.

4.5.2 Validering av metoden för normalårskorrigerings

Avvikelsen för årsmedelvärdet hos uppmätta grundvattennivåer i sand och grus från SGUs grundvattennät jämfördes mot årsavvikelsen framtagen med SMHIs S-HYPE-modell. För S-HYPE-modellen var det årsavvikelsen av fyllnadsgraden i stora magasin (isälvs-material) som jämfördes mot långtidsmedelvärdet under perioden 1972-2009.

För att utreda om metoden med en månadskorrigeringsfaktor och en årskorrigeringsfaktor kunde återge en uppmätt grundvattennivå utfördes ett försök där uppmätta grundvattennivåer i morän jämfördes mot fyllnadsgraden i små magasin för samma plats framtagen med S-HYPE-modellen. Även en baklängesberäkning som speglade normalårskorrigeringen jämfördes. Baklängesberäkningen adderar den uppmätta årsavvikelsen för ett specifikt år och seriens generella månadsavvikelse samt långtidsmedelvärdet för hela mätserien. Detta försök utfördes på grundvattennivådata från Lagga och Tärnsjö. Grundvattennivådata som speglar metoden för normalårskorrigerings kom alltså från respektive mätplats.

4.5.3 Tillvägagångssätt för att tillämpa normalårskorrigerings

Normalårskorrigerings bygger på att ett enskilt mätvärde (UG) adderat med en årskorrigeringsfaktor (ÅK) och en månadskorrigeringsfaktor (MK) ska spegla medelvärdet för grundvattennivån sett över en längre tidsperiod (KLM). Årskorrigeringsfaktorn är grundvattnets avvikelse det specifika året jämfört med hela mätserien. Månadskorrigerings bygger på avvikelsen för de olika månadernas medelvärden sett över en längre tidsperiod. Både års- och månadskorrektionsfaktorerna var jordartsspecifika.

Korrigerat långtidsmedelvärde: KLM

Uppmätt grundvattennivå, angiven som meter under markytan: UG

Årskorrigeringsfaktor: ÅK

Månadskorrigeringsfaktor: MK

$$KLM = UG + \text{ÅK} + \text{MK} \quad (1)$$

4.5.4 Implementering av normalårskorrigeringen

För ett slumpvis utvalt år genomfördes normalårskorrigeringen på en oberoende mätserie. Mätserien fanns i ett öppet grundvattenmagasin i Tärnsjö. Denna serie med grundvattennivåmätningar användes inte för att ta fram korrektionsfaktorer. Års- och månadskorrektionsfaktorer för morän adderades till uppmätta grundvattennivåer. Som månadskorrektionsfaktor användes det generella moränvärdet det vill säga den specifika månadskorrektionsfaktorn för morän i öppna magasin användes ej (bilaga C). Då mätningar utförts fler än en gång under samma månad har ett medelvärde för grundvattennivåerna beräknats och använts som mätvärde för månaden. Långtidsmedelvärdet för serien baseras på mätningar under tidsperioden 1989-2009.

4.6 TILLDELA GRUNDVATTENNIVÅMÄTNINGARNA EN JORDART

Data från brunnsarkivet saknade initialt information kring jordart där borrhningen utförts. Utifrån en jordartskarta från SGU tilldelades alla grundvattennivåpunkter jordart. Att tilldela mätpunkterna för grundvattennivåer olika jordarter från SGUs jordartskarta resulterade i att de 2084 mätpunkterna tilldelades någon av de 19 olika jordarterna. Ett tiotal punkter kunde inte tilldelas jordart då de låg utanför det giltiga kartområdet. Jordarterna sand, grus, lera och morän var indelade i flera olika underkategorier av SGU, exempelvis lera som var indelad i kategorierna gyttjelera, postglacial lera, postglacial finlera och glacial lera. De tre dominerande jordarterna som tilldelades punkterna där spridda grundvattennivåmätningar utförts var postglacial lera, glacial lera och sandig morän.

4.7 INTERPOLERINGSMETODER

Där det saknats mätningar av grundvattennivån användes spatial interpolering för att beräkna grundvattennivåns läge. Metoden IDW har använts för att interpolera fram grundvattennivåer i andra forskningsprojekt (Wang, 2012). Tre olika interpoleringsmetoder testades för att påvisa att det finns olika metoder som beräknar grundvattennivåerna mellan mätpunkterna på varierande sätt. För IDW användes exponenten 2, och interpoleringen baserades på 12 punkter. Sökradien som punkterna valdes efter varierade. En utförlig beskrivning av val för respektive metod finns i bilaga A.

I denna studie valdes IDW som interpoleringsmetod då det fanns relativt täta mätningar av grundvattennivån i kombination med en granskning av kartor framtagna med IDW, Ordinary Kriging och Natural Neighbor. Granskningen visade på likartade grundvattennivåer från de olika metoderna där det fanns täta mätningar av grundvattennivån. I områden med långt avstånd mellan mätpunkterna gav metoderna mer varierande utseende på de beräknade grundvattennivåerna.

4.8 GRUNDVATTENKARTOR

I detta projekt har flera typer av kartor som visar grundvattennivåns läge tagits fram. En karta visar grundvattennivån som meter under markytan. En annan visar grundvattennivån angiven i höjdsystemet RH 2000. Båda kartorna bygger på uppmätta

grundvattennivåer. Kartorna bygger på information från dispenshandlingar och brunnsarkivet.

De mätpunkter från dispenshandlingar där grundvattennivån angivits som trycknivåer i höjdsystemet RH 2000 beräknades om så att grundvattennivån angavs som meter under markytan. Detta utfördes genom att subtrahera mätpunkternas trycknivåer från markhöjden i RH 2000. När alla punkter hade grundvattennivån angiven på samma form interpolerades grundvattennivåkartan fram med metoden IDW i ArcMap. Då skapades ett raster med grundvattennivån angiven som meter under markytan. Utifrån den nya grundvattennivåkartan skapades konturlinjer med grundvattennivån angiven som meter under markytan.

Trycknivåkartan togs fram genom att först ange alla grundvattennivåer som meter under markytan. Med hjälp av höjdkartan (GSD 2+) från Lantmäteriet tilldelades varje mätpunkt en markhöjd i höjdsystemet RH 2000. Grundvattennivåns tryckhöjd (RH 2000) i varje mätpunkt beräknades genom att subtrahera grundvattennivån från markhöjden. Grundvattenytans trycknivå mellan datapunkterna beräknades sedan för ett stort område i Uppland med hjälp av interpolationsmetoden IDW. Då skapades ett raster med grundvattennivån angiven som trycknivå i RH 2000. Rastret beskars då några av punkterna i ytterkanten på kartan låg utanför höjdnivåkartans utbredning. Utifrån det framtagna rastret skapades konturlinjer i ArcMap.

Till båda kartorna kan flera skikt med information kring byggnader, ortsnamn, vägar, järnvägar, vattendrag med mera väljas för att hjälpa kartanvändaren att orientera sig. Även information rörande jordlagerföljd, fastighetsbeteckning och diarienummer kan fås fram för dispenspunkterna.

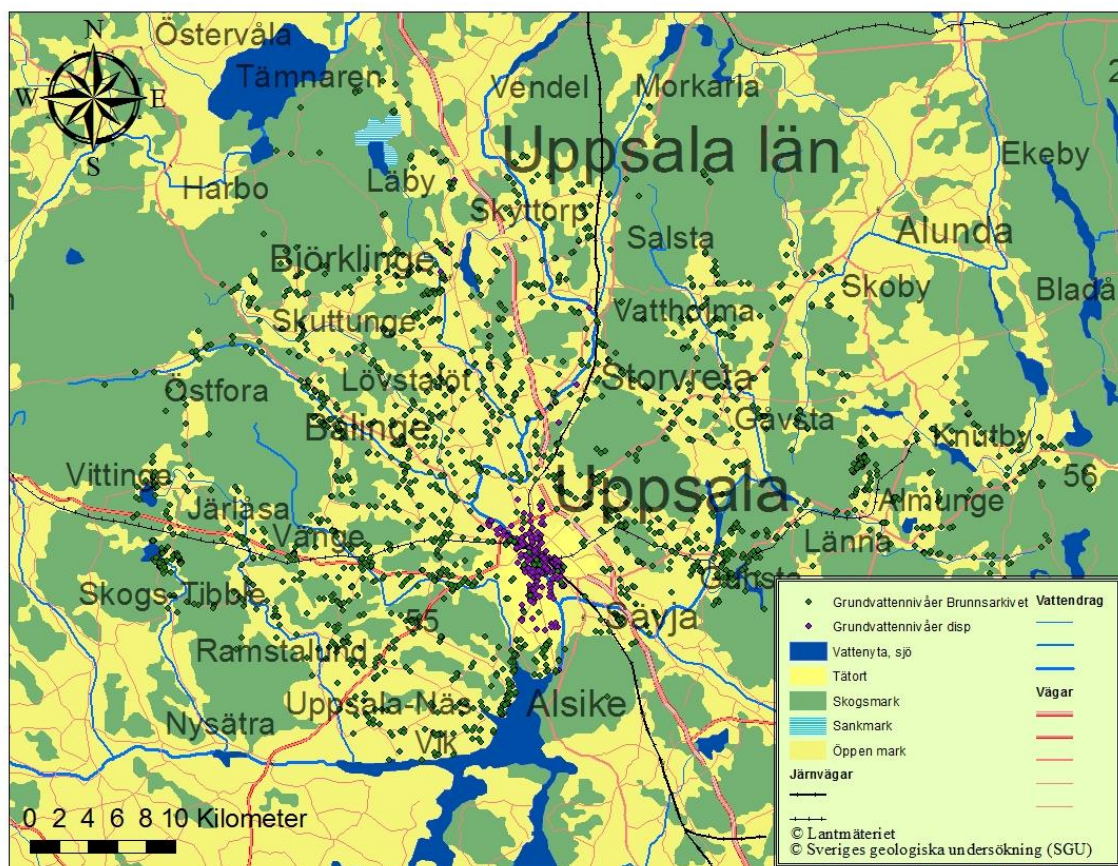
En tredje karta togs fram som visar normalårskorrigerade grundvattennivåer som meter under markytan. De uppmätta grundvattennivåerna från dispenshandlingar normalårskorrigerades med den framtagna korrektionsmetoden. Då enbart datum fanns angivet som år då dispensansökan kom in till Länsstyrelsen utfördes en korrigering enbart på årsbasis. Då sand, grus och morän var angivna som friktionsjord i datasammanställningen användes värdena för friktionsjord vid normalårskorrigeringen.

5 RESULTAT

I den här delen presenteras resultaten från datasammanställningen och hur grundvattennivåer varierar i olika jordarter. Grundvattennivåer framtagna med den nya metoden för normalårskorrigerig jämförs mot S-HYPE-modellen. Även visualiseringar av de sammanställda grundvattennivåerna presenteras.

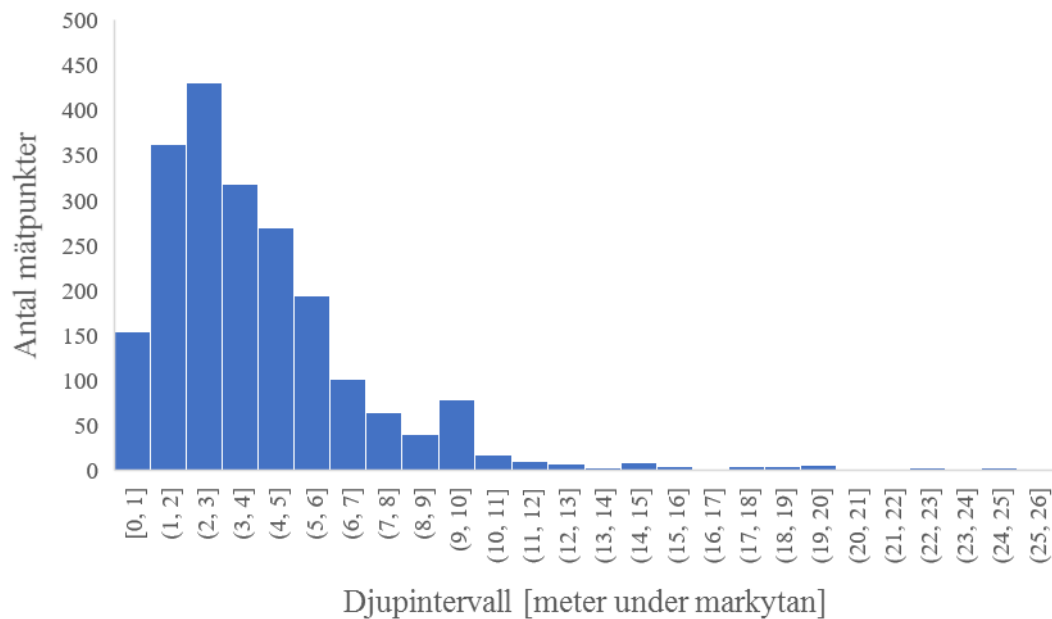
5.1 DATASAMMANSTÄLLNING

Spridningen av datapunkter med grundvattennivå angiven som meter under markytan eller som trycknivå i RH 2000 från brunnarsarkivet och dispensansökningar visas i Figur 8. Grundvattennivåmätningar som tagits från dispenshandlingar kallas dispenspunkter. Att dispenspunkternas spridning är centrerad till Uppsala tätort beror på vattenskyddsområdets utbredning i kombination med att dispenser oftast söks i samband med nybyggnation eller förstärkning av befintliga byggnader. Det är främst vid uppförande av större byggnader som flerfamiljshus och industrilokaler där markarbeten sker nära grundvattenytan och alltså kräver dispens från Länsstyrelsen. Punkterna från brunnarsarkivet har en stor spridning över hela Uppland och tycks ofta förekomma i samband med en- och två familjsbostadshus.



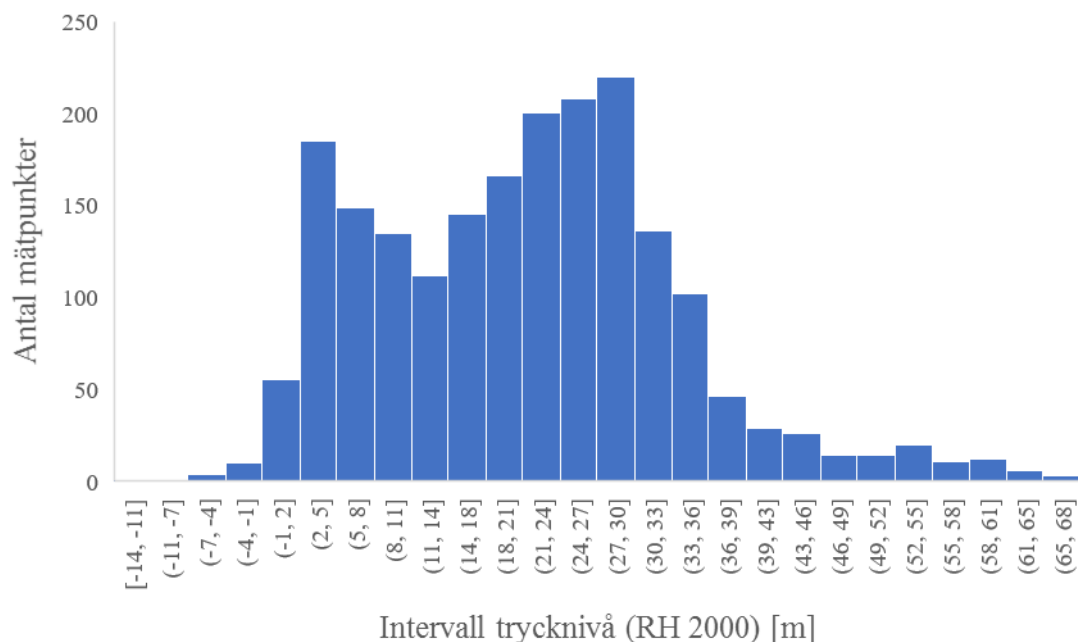
Figur 8. Grundvattennivåmätningarnas spridning i Uppland.

Ett histogram med grundvattennivån angiven som meter under markytan visas i Figur 9. Histogrammet baseras på data från brunnarsarkivet och dispenshandlingar.



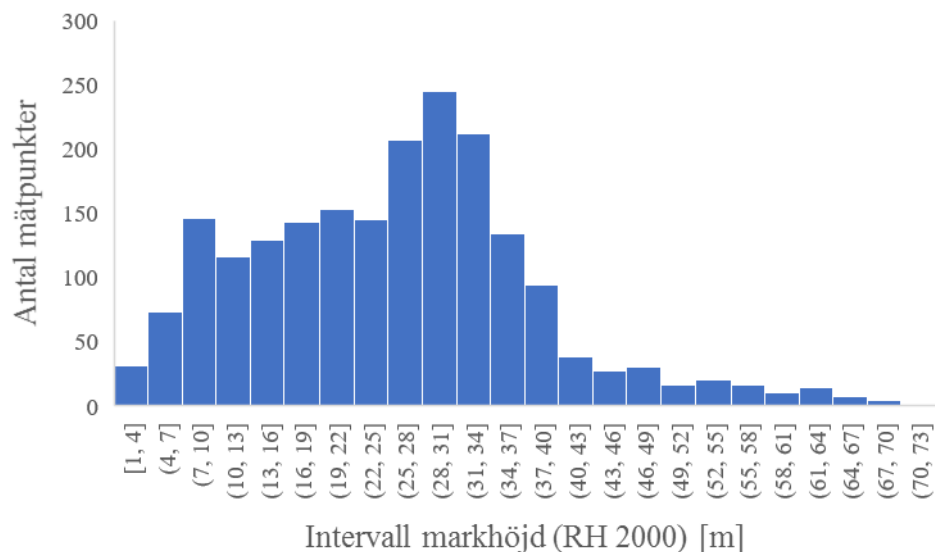
Figur 9. De uppmätta grundvattennivåernas spridning i djupled med grundvattennivån angiven som meter under markytan. Mätningarna av grundvattennivån kommer från dispenshandlingar och brunnarsarkivet.

Ett histogram med grundvattennivån angiven som en trycknivå i höjdsystemet RH 2000 visas i Figur 10.



Figur 10. Grundvattennivåns trycknivåer i höjdsystemet RH 2000. Mätningarna av grundvattennivån kommer från dispenshandlingar och brunnarsarkivet.

Ett histogram med markhöjder i höjdsystemet RH 2000 visas i Figur 11.

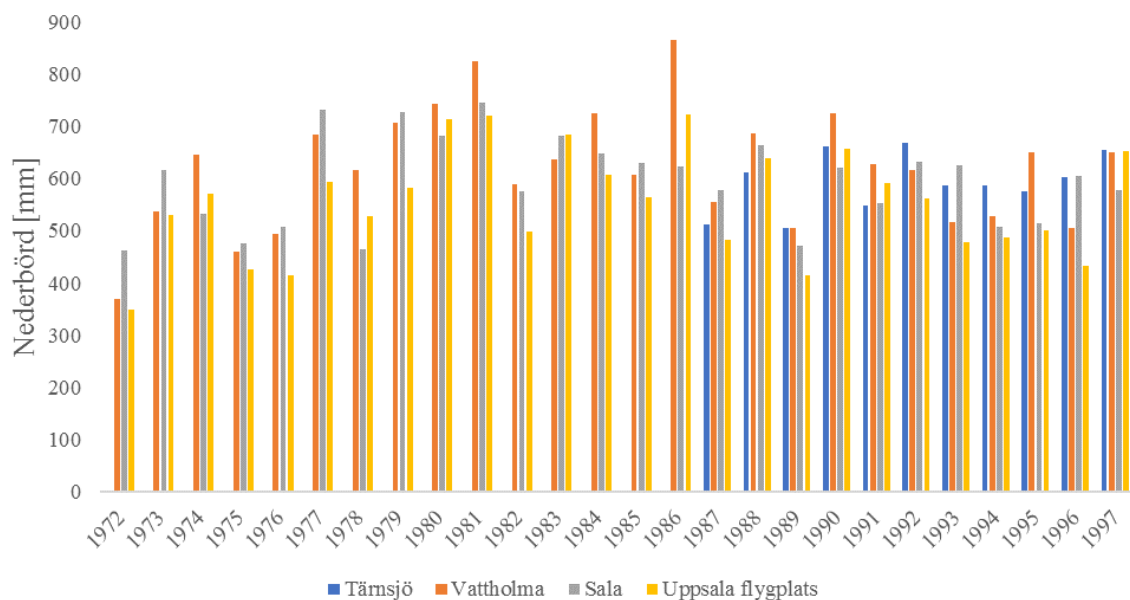


Figur 11. Markytans höjd vid de uppmätta grundvattennivåerna är indelade i intervall och angivna i höjdsystemet RH 2000.

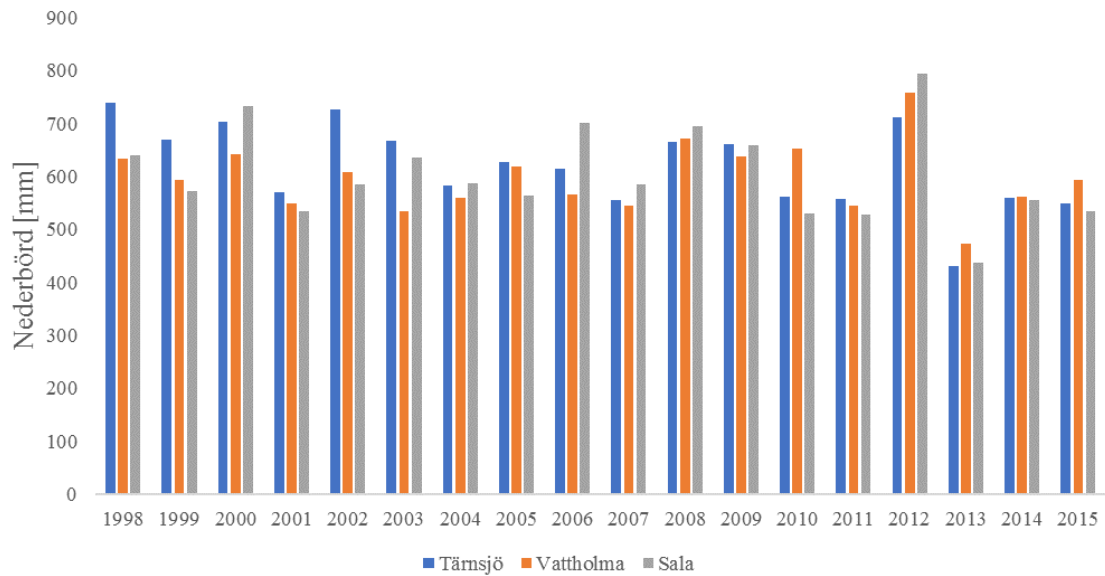
5.2 NORMALÅRSKORRIGERING

5.2.1 Nederbörd i studieområdet

Nederbördsdata för Tärsjö, Vattholma, Sala och Uppsala flygplats under perioden 1972–2015 visas i Figur 12 och Figur 13.

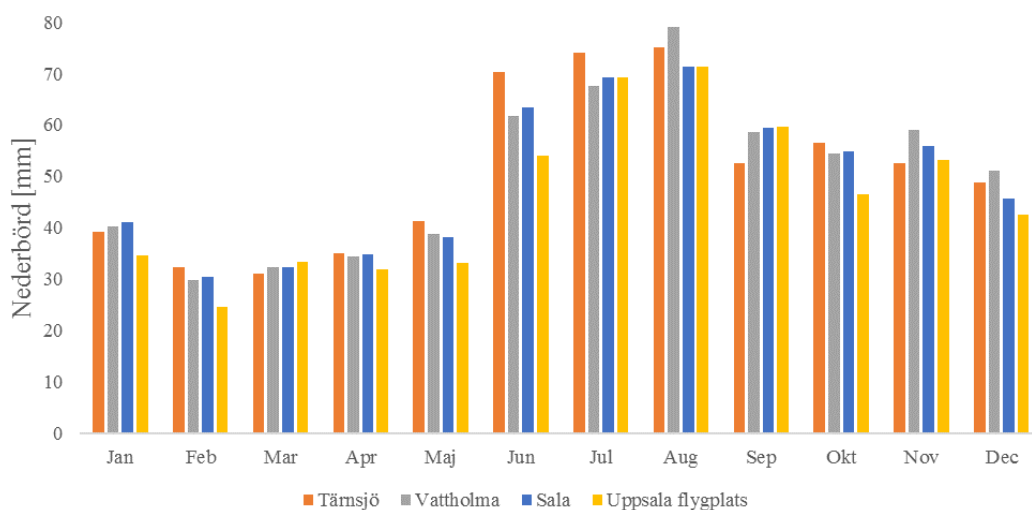


Figur 12. Årsnederbörd under perioden 1972–1997 i Tärsjö, Vattholma, Sala och Uppsala flygplats.



Figur 13. Årsnederbörd under perioden 1998–2015 i Tärsjö, Vattholma och Sala.

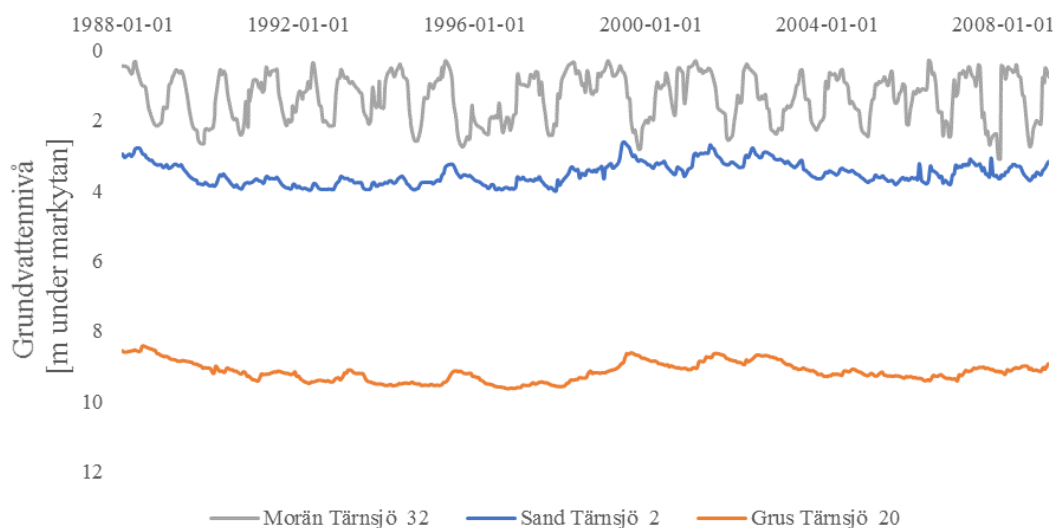
Nederbördens månadsmedelvärden under perioden 1972–2015 för platserna Tärsjö, Vattholma, Sala och Uppsala flygplats åskådliggörs i Figur 14. Nederbördsdata visade att platserna har likartade nederbörds mängder och därmed var det rimligt att jämföra grundvattennivåvariationer mellan platserna. För februari underskred (- 15,9%) månadsmedelnederbörden för Uppsala flygplats gränsen $\pm 15\%$ vilket ändå ansågs acceptabelt. Medelårsnederbörden under perioden 1972-2015 var i Vattholma och Tärsjö 609 mm, Sala 598 mm och vid Uppsala Flygplats 554 mm.



Figur 14. Nederbördens månadsmedelvärde under perioden 1972-2015.

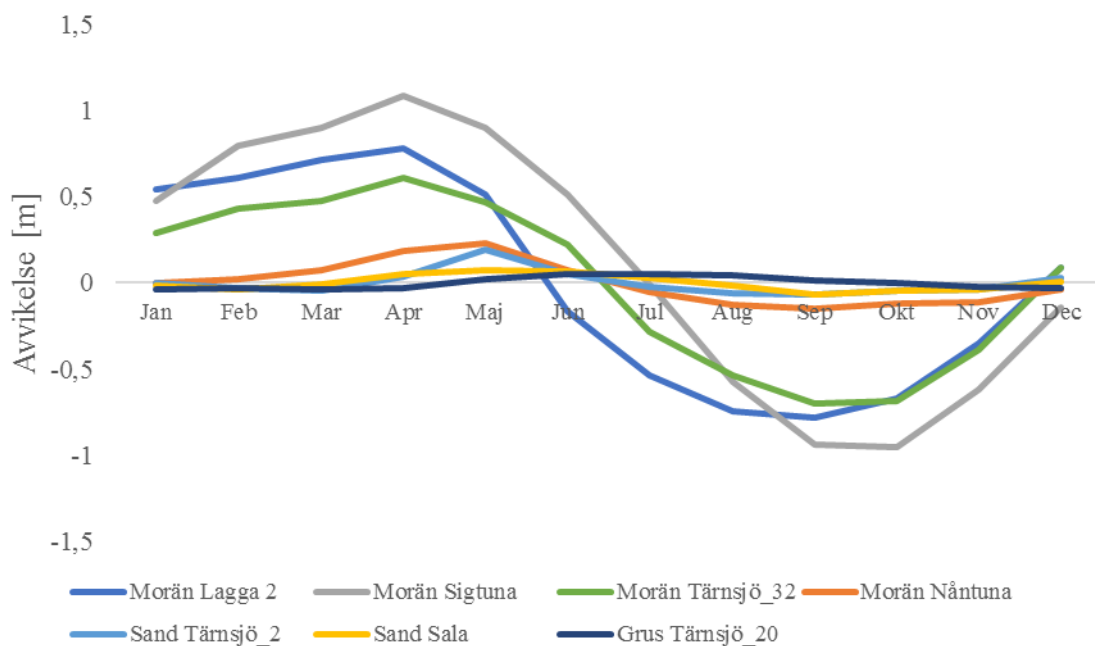
5.2.2 Grundvattennivåvariationer i olika jordarter

Variationerna i grundvattennivå för tre olika mätserier från Tärnsjö under perioden 1988–2008 visas i Figur 15. Grundvattennivån i morän visade snabbast amplitudförändringar. Grundvattnets nivåvariationer i sand och grus var snarlika men grundvattennivån i sand hade något snabbare variationer.



Figur 15. Variationer av grundvattennivån för tre olika akviferstyper i Tärnsjö under perioden 1988-2008. Mätningar av grundvattennivåer är hämtade från SGUs grundvattennät (SGU, 2014).

Avvikelsen för månadsmedelvärden för de jämförda platserna under perioden 1972-2016 visas i Figur 16. Grundvattennivån i jordarten grus påvisade minst amplitudutslag och avvikelsen hos det generella månadsmedelvärdet var spegelvänd jämfört med grundvattennivån i de andra jordarterna. Grundvattennivåer i morän uppvisade en mycket större månadsavvikelse från årsmedelvärdet taget över alla år än grundvattennivåer i sand och grus. Det beräknade medelvärdet för månadsavvikelsen hos grundvatten i morän följer ett mönster med högre grundvattennivåer på våren med maximivärden i april och maj. För moränakvifererna sjönk grundvattennivån kraftigt i juli och augusti och var som lägst i september och oktober. De två serierna som uppvisade störst amplitudutslag var Lagga och Sigtuna vilka båda utgörs av slutna moränmagasin.



Figur 16. Avvikelsen för grundvattennivåns generella månadsmedelvärden för de olika jordarterna och mätplatserna.

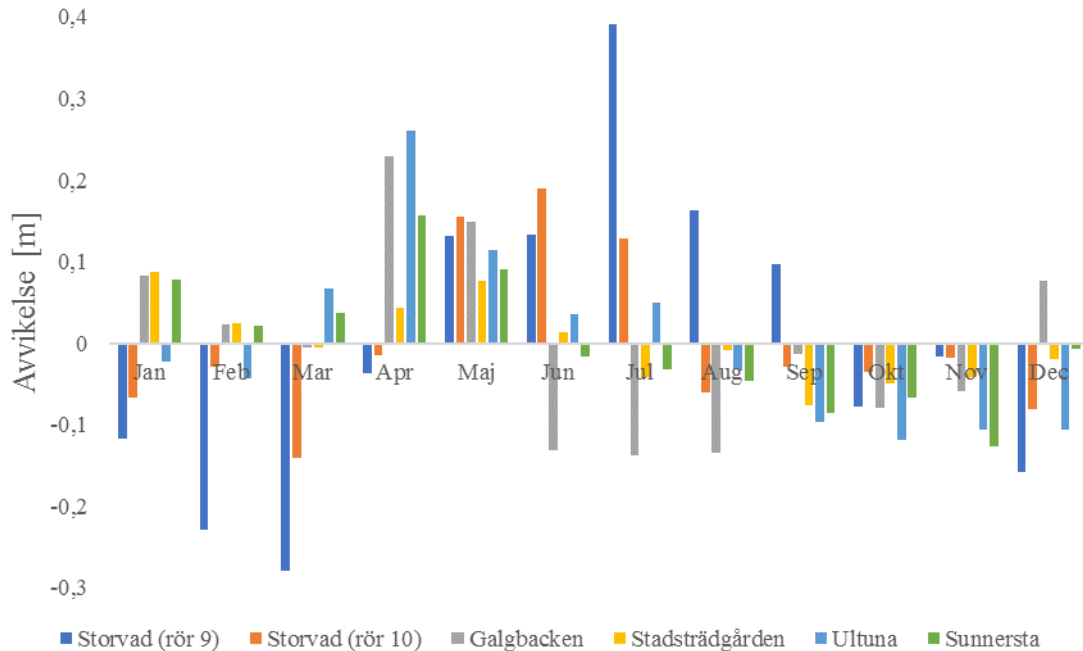
Den största uppmätta skillnaden i grundvattennivå under ett år var mycket högre för morän än för sand och grus. Variationerna under ett år var mindre för grus än för sand och i morän var variationerna i grundvattennivå vanligen stora, se Tabell 6. Den minsta uppmätta skillnaden under ett år förekom i grus. Skillnaden mellan högsta och lägsta uppmätta grundvattennivå under ett år kallas i Tabell 6 skillnad. Skillnaden mellan högsta och lägsta uppmätta grundvattennivå under ett år var som mest ”skillnad (max-min) max”, som minst ”skillnad (max-min) min” och i medeltal ”skillnad (max-min) medel”. Den högsta grundvattennivån som uppmätts under tidsperioden visas för respektive serie som ”Max av max”, medan den lägsta grundvattennivån som uppmätts anges som ”Min av min”. Skillnaden mellan högsta och lägsta uppmätta grundvattennivå på respektive mätplats under perioden anges som ”Diff mellan max och min”.

Tabell 6. Inomårsvariationer hos grundvattennivån för de undersökta mätplatserna.

		Sala	Törnsjö_2	Tärnsjö_20	Tärnsjö_32	Nántuna	Sigtuna	Lagga
		Sand	Sand	Grus	Morän	Morän	Morän	Morän
Skillnad (max-min) [m]	max	0,77	0,86	0,95	2,63	0,96	3,24	2,42
Skillnad (max-min) [m]	medel	0,33	0,45	0,28	1,74	0,59	2,32	1,94
Skillnad (max-min) [m]	min	0,11	0,20	0,08	0,87	0,17	1,50	1,56
Standardavvikelse [m]	max	0,30	0,31	0,37	0,90	0,28	1,23	0,80
Standardavvikelse [m]	medel	0,10	0,14	0,09	0,58	0,18	0,83	0,66
Standardavvikelse [m]	min	0,03	0,05	0,02	0,27	0,05	0,53	0,52
Max av max [m ö h]*		61,67	66,56	71,80	3,09	8,77	21,83	2,92
Min av min [m ö h]*		60,40	64,66	70,18	0,10	7,46	18,59	0,41
Diff mellan max och min [m]		1,27	1,90	1,61	2,99	1,31	3,24	2,50

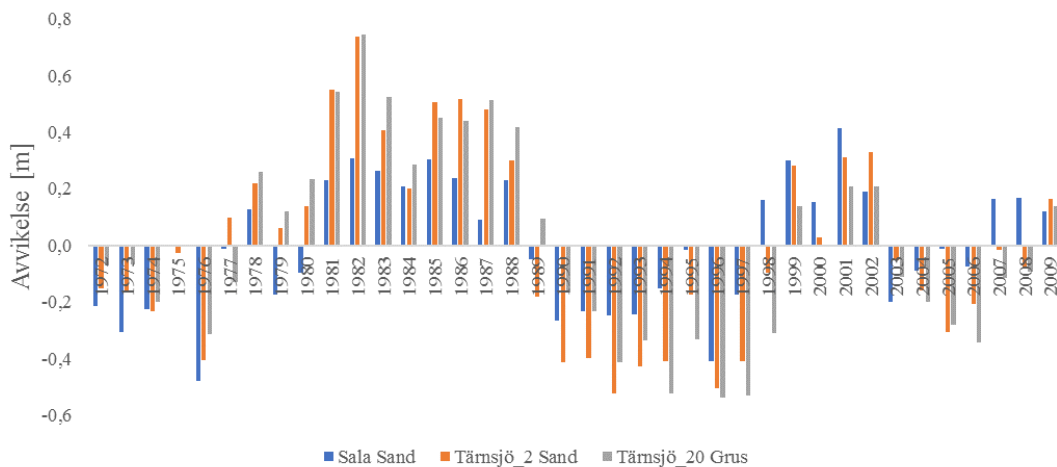
*För Tärnsjö_32 och Lagga är enheten [m under markytan]

Månadavvikelsen för platserna där Uppsala Vatten utför långtidsmätningar av grundvattennivåer åskådliggörs i Figur 17. För platserna Storvad (rör 9 och 10) och Galgbacken följde inte nivåvariationerna ett naturligt årstidsmönster. Med ett naturligt årstidsmönster menas att grundvattennivån generellt sett är hög under sen vår, sjunker under sommaren och är som lägst tidigt på hösten.



Figur 17. Grundvattennivåns generella månadsavvikelse på flera platser i Uppsala under tidsperioden 2008-2016.

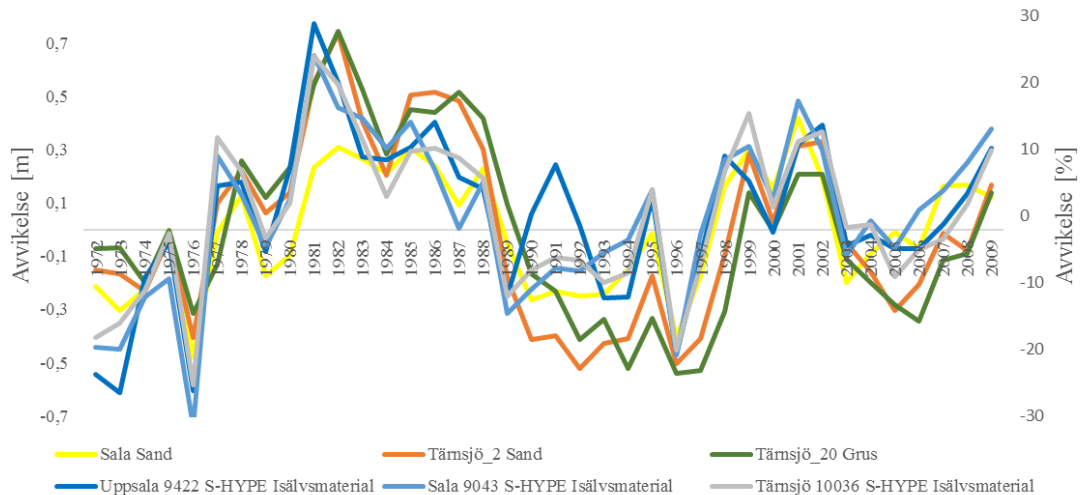
Årsavvikelsen hos grundvattennivån i sand och grus visas i Figur 18. Grundvattennivåerna låg ofta över eller under långtidsmedelvärdet flera år i rad. Avvikelsen hos grundvattennivån i sand och grus visade att blöta år i Sala också var blöta i Tärn sjö. Medan torra år i Sala också var torra i Tärn sjö men amplituden av avvikelsen varierade.



Figur 18. Grundvattennivåns årsavvikelse från långtidsmedelvärdet under perioden 1972-2009.

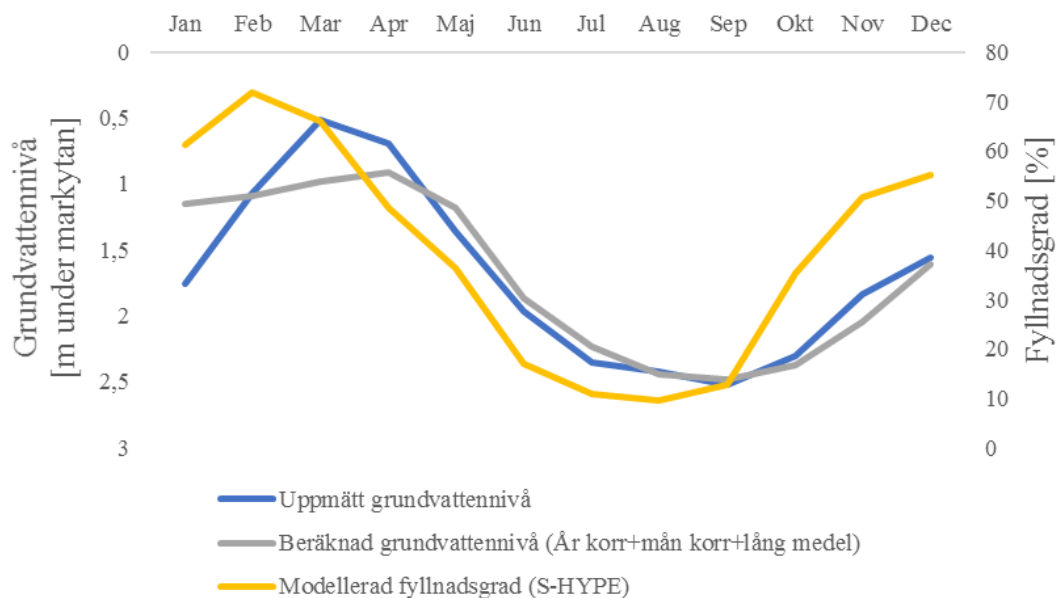
5.2.3 Validering av metoden för normalårskorrigerig

Avvikelsen för årsmedelvärdet hos den uppmätta grundvattennivån jämfört med årsavvikelsen framtagen med S-HYPE-modellen visas i Figur 19. Detta innebär att de uppmätta nivåerna och de modellerade är plottade på axlar med olika skala. Överlag följs kurvorna på den uppmätta årsavvikelsen och årsavvikelsen från fyllnadsgraden väl åt utom år 1972-1973 och 1995. År 1991 avviker det modellerade värdet för Uppsala (delavrinningsområde 9422).



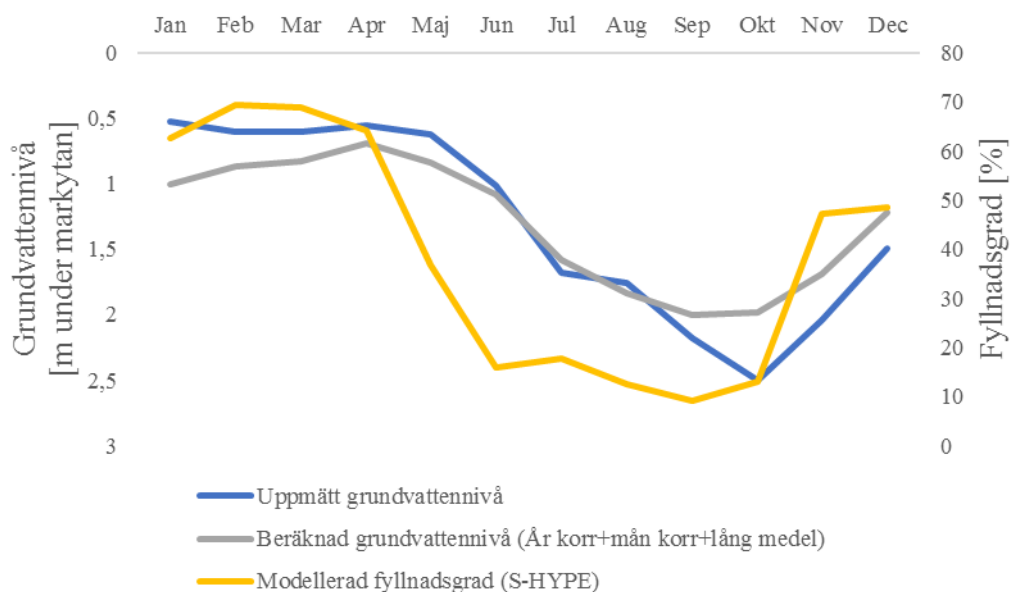
Figur 19. Årsavvikelsen från långtidsmedelvärdet visas på den vänstra Y-axeln. Årsavvikelsen från modellerad fyllnadsgrad (S-HYPE) är plottad på höger Y-axel.

Under ett slumpvis valt år jämfördes den uppmätta grundvattennivån mot en beräknad grundvattennivå och ett modellerat värde på magasinets fyllnadsgrad. Månadsmedelvärden för uppmätta grundvattennivåer i morän vid Lagga (Figur 20) och Tämsjö (Figur 21) jämfördes mot de framtagna års- och månadskorrektionsfaktorerna och grundvattenmagasinets fyllnadsgrad beräknad med S-HYPE-modellen. Värdena från S-HYPE-modellen hämtades från delavrinningsområde 9239 i Lagga och är plottade på en separat Y-axel (höger Y-axel). Korrigeringskurvan som visas i figuren är en korrigerig som bygger på att årskorrektionsfaktorn adderas med månadskorrektionsfaktorn och långtidsmedelvärdet för hela mätserien.



Figur 20. Vid Lagga år 2014 är grundvattennivåns uppmätta månadsmedelvärden i en moränakvifer plottad mot magasinets fyllnadsgrad beräknad med S-HYPE-modellen och en metod som ska spegla normalårskorrigerig. Metoden bygger på en separat års- och månadskorrigering.

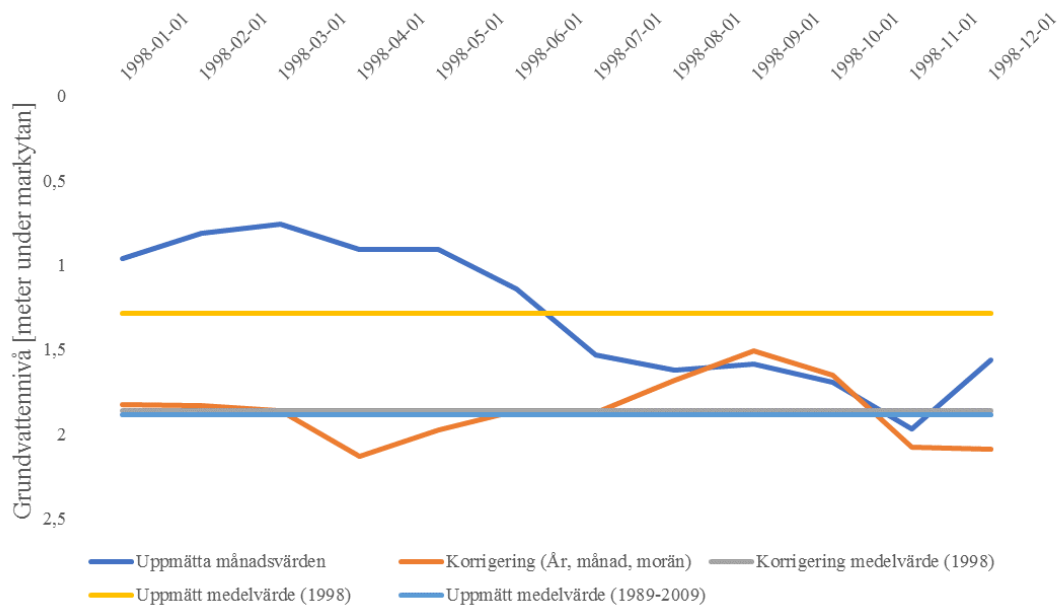
För Tärnsjö var indata till S-HYPE-modellen troligtvis taget från ett närliggande grundvattenmagasin (Tärnsjö, delavrinningsområde 10050) i morän men ej exakt samma som de plottade mätvärdena. Kurvan som ska spegla normalårskorrigeringen har samma form varje år för ett specifikt grundvattenmagasin. Årskorrelationsfaktorn tillsammans med mätseriens långtidsmedelvärde avgör startvärdet i Y-led. Korrigeringskurvan har mjukare övergångar mellan månadsvärdena än månadsvärdena från S-HYPE.



Figur 21. Vid Tärnsjö år 2001 är grundvattennivåns uppmätta månadsmedelvärden i en moränakvifer plottad mot magasinets fyllnadsgrad beräknad med S-HYPE-modellen och en metod som ska spegla normalårskorrigerig. Metoden bygger på en separat års- och månadskorrigering.

5.2.4 Implementering av normalårskorrigeringen

Normalårskorrigeringen genomfördes på uppmätta grundvattennivåer från Tärnsjö år 1998, se Figur 22. År 1998 var ett mycket blött år med en grundvattennivå som låg högt jämfört mot ett långtidsmedelvärde. Ett medelvärde beräknades för de uppmätta punkterna år 1998 och ett medelvärde beräknades för de korrigerade värdena år 1998. Årsmedelvärdet för de korrigerade punkterna ligger mycket nära långtidsmedelvärdet för mätserien med grundvattennivåer.



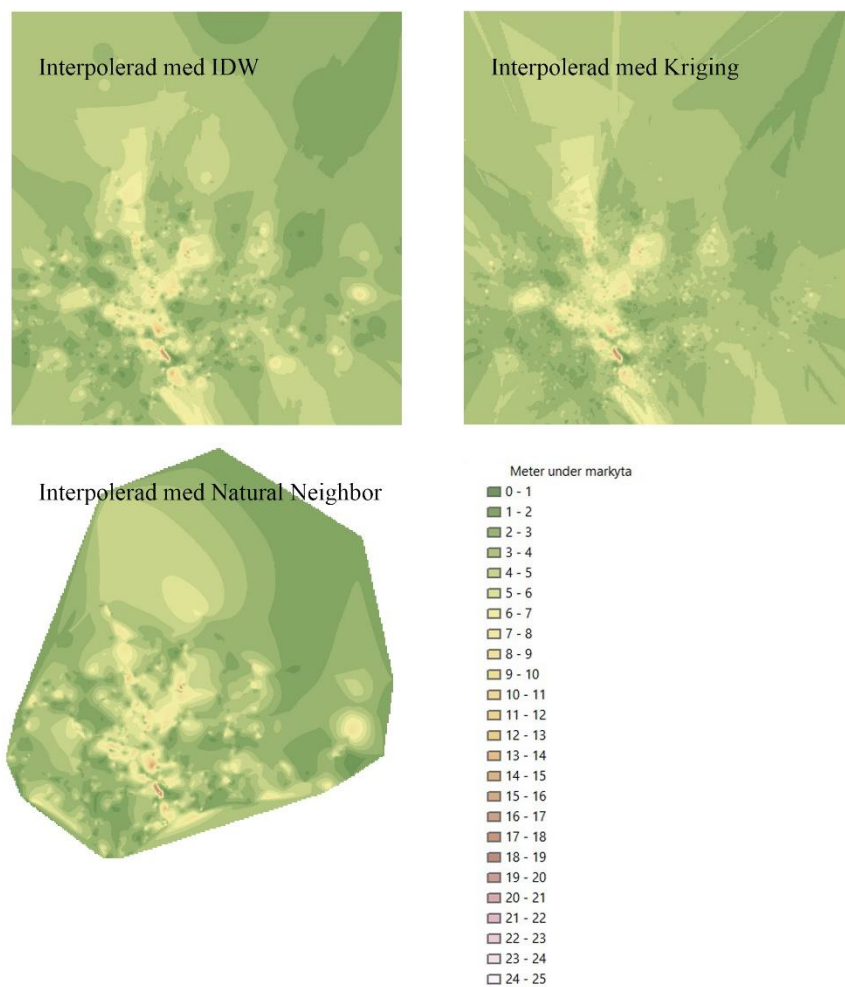
Figur 22. Normalårskorrigeringen har implementerats på en oberoende mätserie i ett öppet grundvattenmagasin i Tärnsjö.

5.3 ÅSKÅDLIGGÖRANDE AV DATA

Alla kartor i detta projekt skapades i referenssystemet SWEREF 99 TM och höjder angavs i RH 2000.

5.3.1 Interpoleringsmetoder

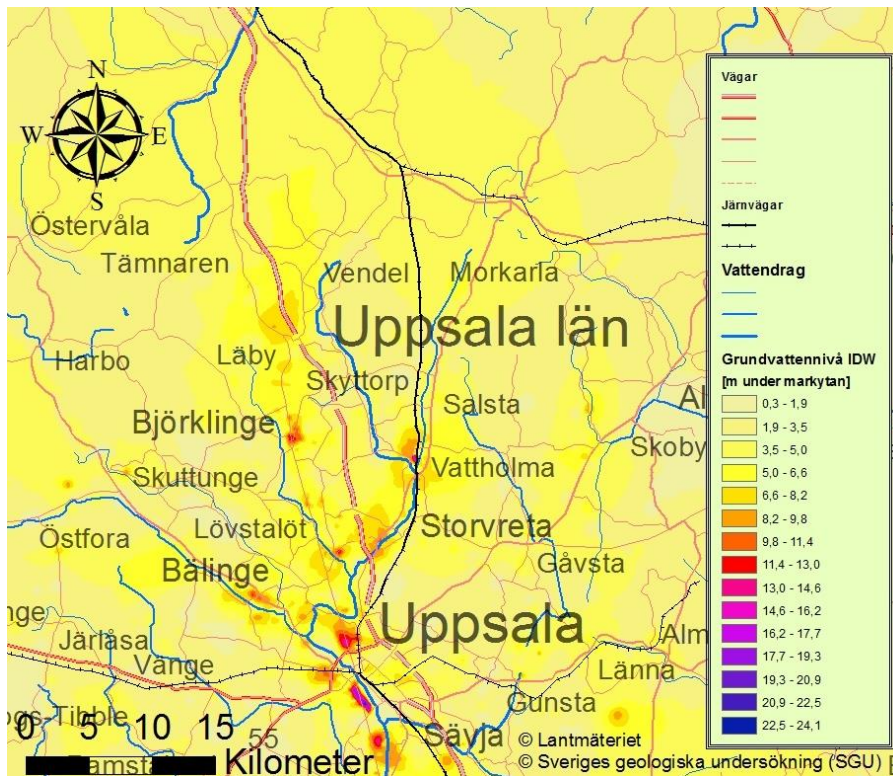
Flera interpoleringsmetoder testades för att ta fram grundvattennivån respektive trycknivån mellan de uppmätta punkterna. För att beräkna grundvattennivåns läge mellan mätpunkterna testades interpolationsmetoderna IDW, Kriging (ordinary) och Natural Neighbor, resultaten visas i Figur 23.



Figur 23. Grundvattennivån interpolerad med IDW, Kriging och Natural Neighbor.

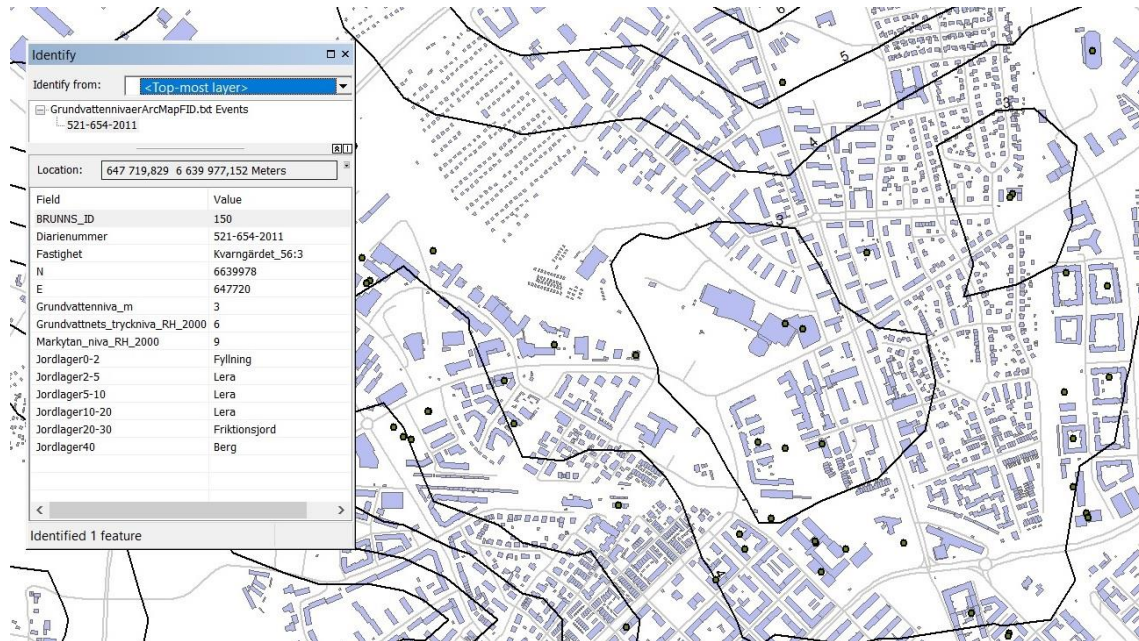
5.3.2 Grundvattenkartor

Utifrån den interpolerade grundvattennivåkartan går det att utläsa att den genomsnittliga grundvattenytan ligger kring 3,25 meter under markytan med en standardavvikelse på 1,2 meter. Som djupast ligger grundvattennivån runt 25 meter under markytan. För stora delar av Uppsala län har en karta skapats med grundvattennivån angiven som meter under markytan, kartan visas i Figur 24.



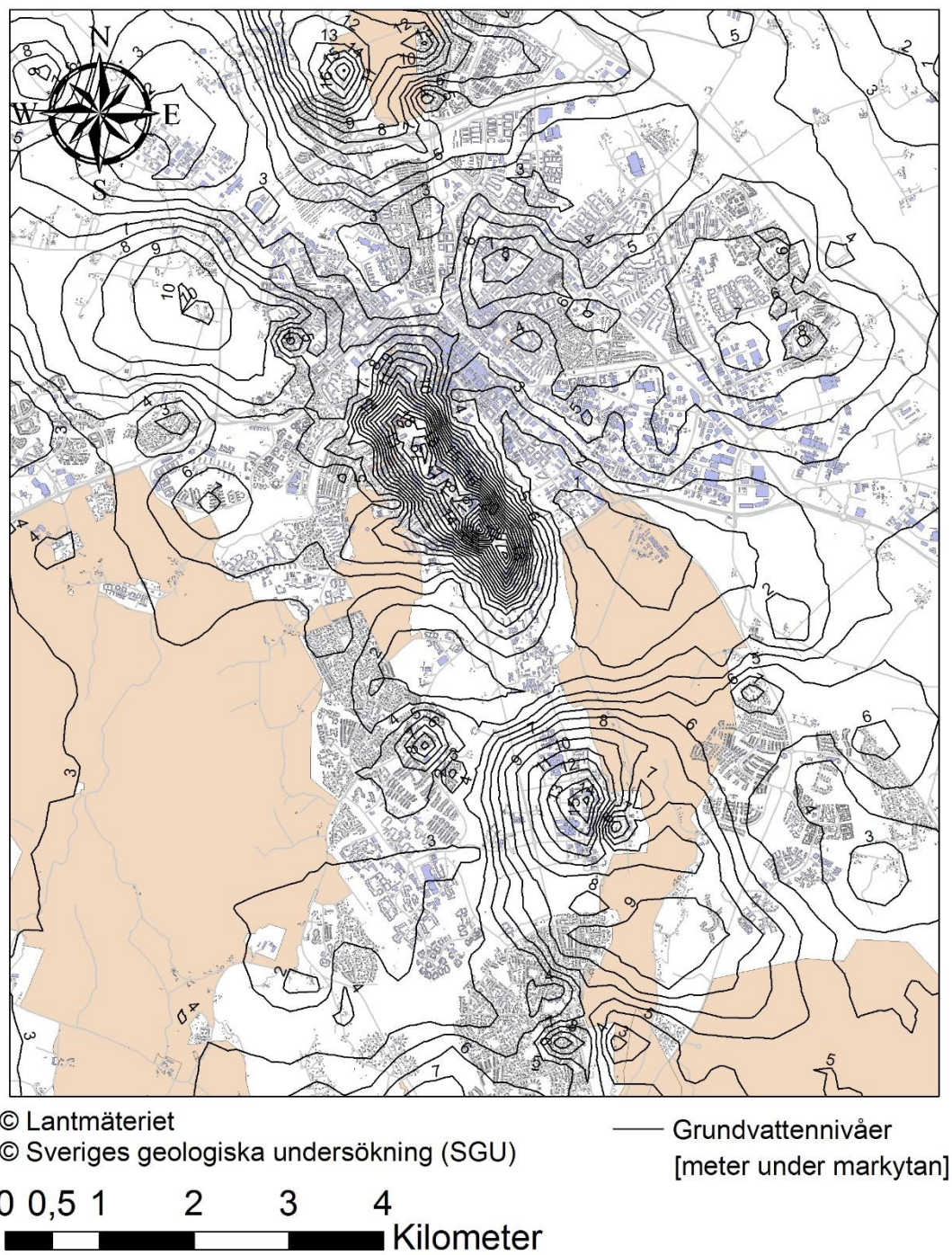
Figur 24. Grundvattennivån angiven som meter under markytan. Interpolation av grundvattennivåer mellan mätpunkter har utförts med interpolationsmetoden IDW.

I ArcGIS är det möjligt att zooma in till ett område av intresse på den framtagna kartan och med hjälp av verktyget *identify* välja en av de inlagda dispenspunkterna och få fram information rörande grundvattennivån och jordlagerföljden i den punkten, se Figur 25. Även grundvattennivåerna mellan mätpunkterna har interpolerats fram. Valfri punkt på kartan kan väljas med verktyget *identify* för att få information om ungefär hur djupt under markytan grundvattennivån är belägen eller grundvattennivåns läge i höjdsystemet RH 2000.



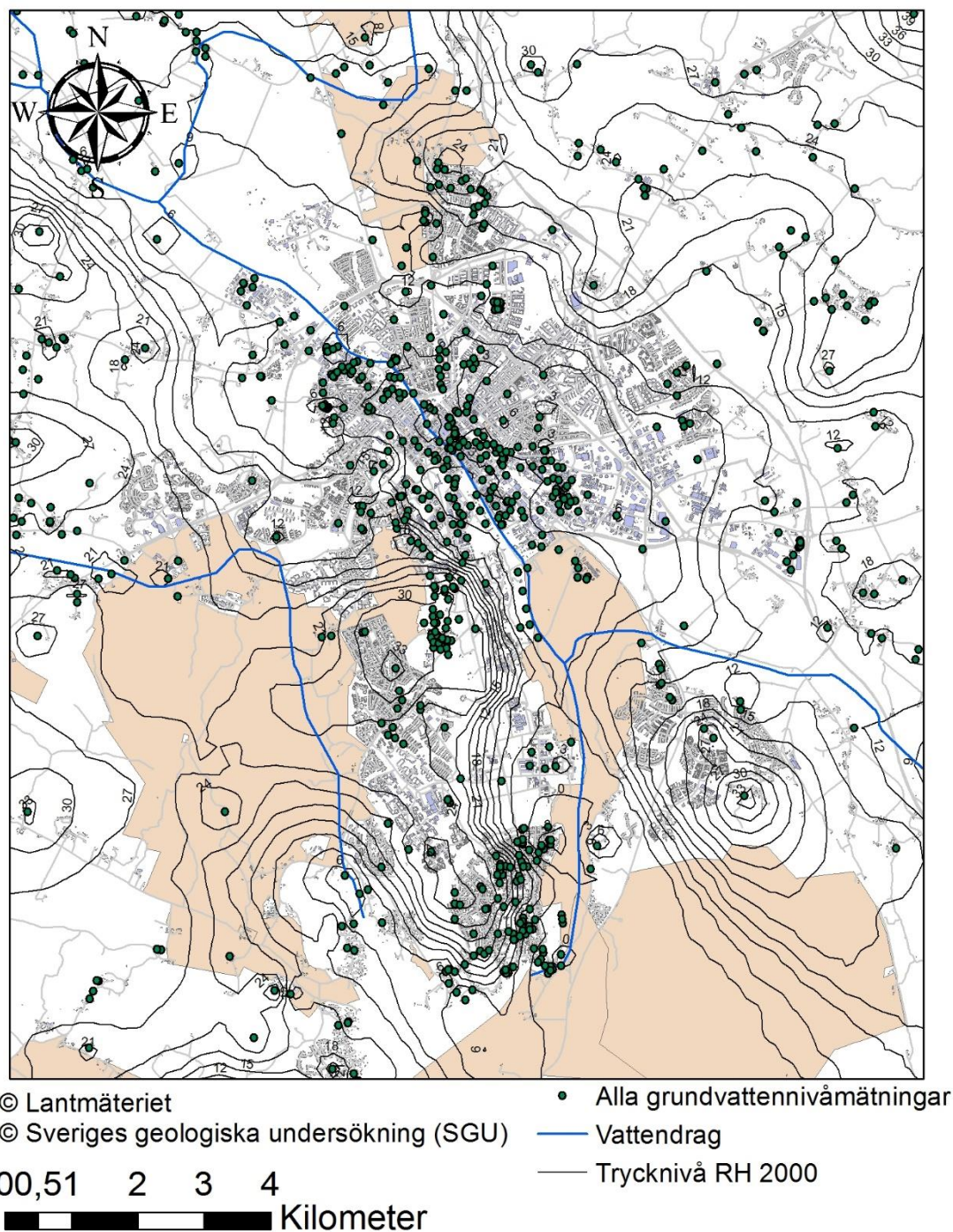
Figur 25. Utdrag från ArcGIS där ett lager med sammanställda grundvattennivåer visas. Verktyget *identify* visar information om en specifik mätpunkt. I mitten av kartan ligger Fyrishov.

En grundvattennivåkarta skapades för Uppsala där grundvattennivån visas som meter under markytan, kartan visas i Figur 26.



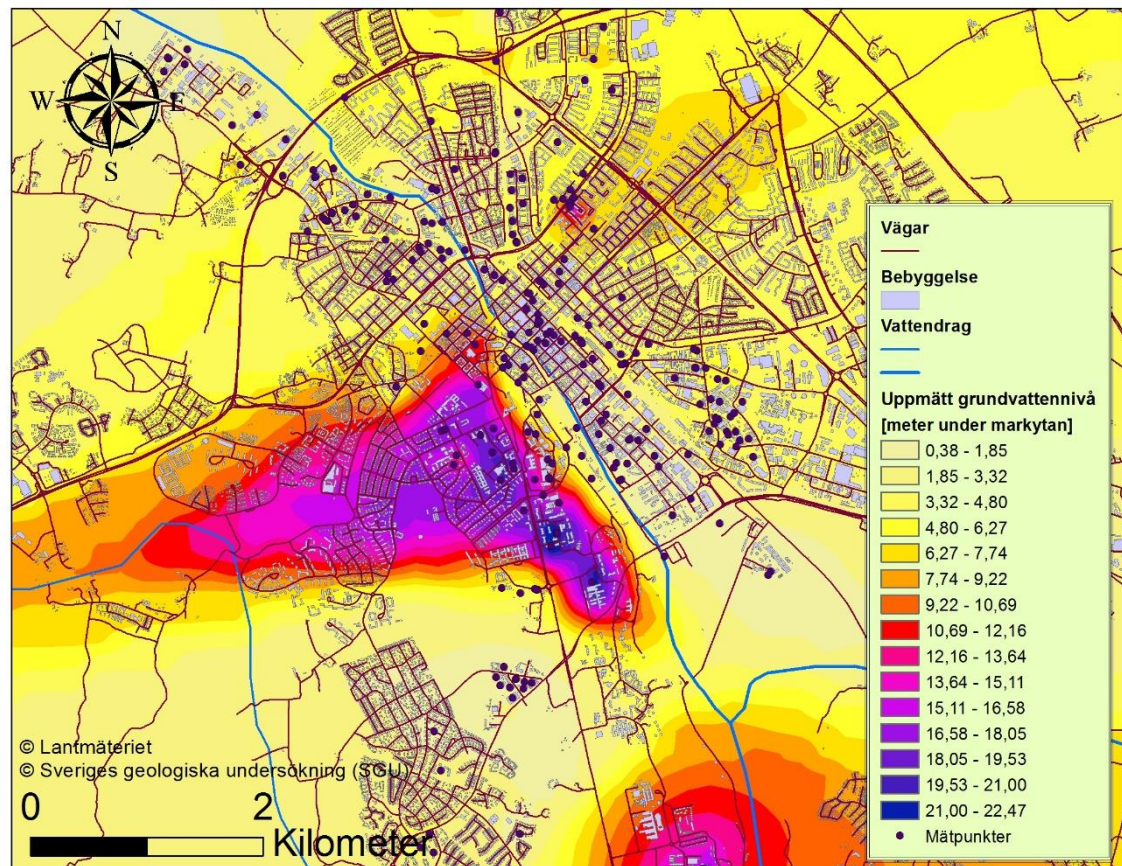
Figur 26. Grundvattennivåkarta över Uppsala där grundvattennivån visas som meter under markytan. Kartan är skapad med uppmätta data det vill säga ingen normalårskorrigering av grundvattennivåerna har utförts.

En karta med grundvattnets trycknivå i RH 2000 visas i Figur 27.



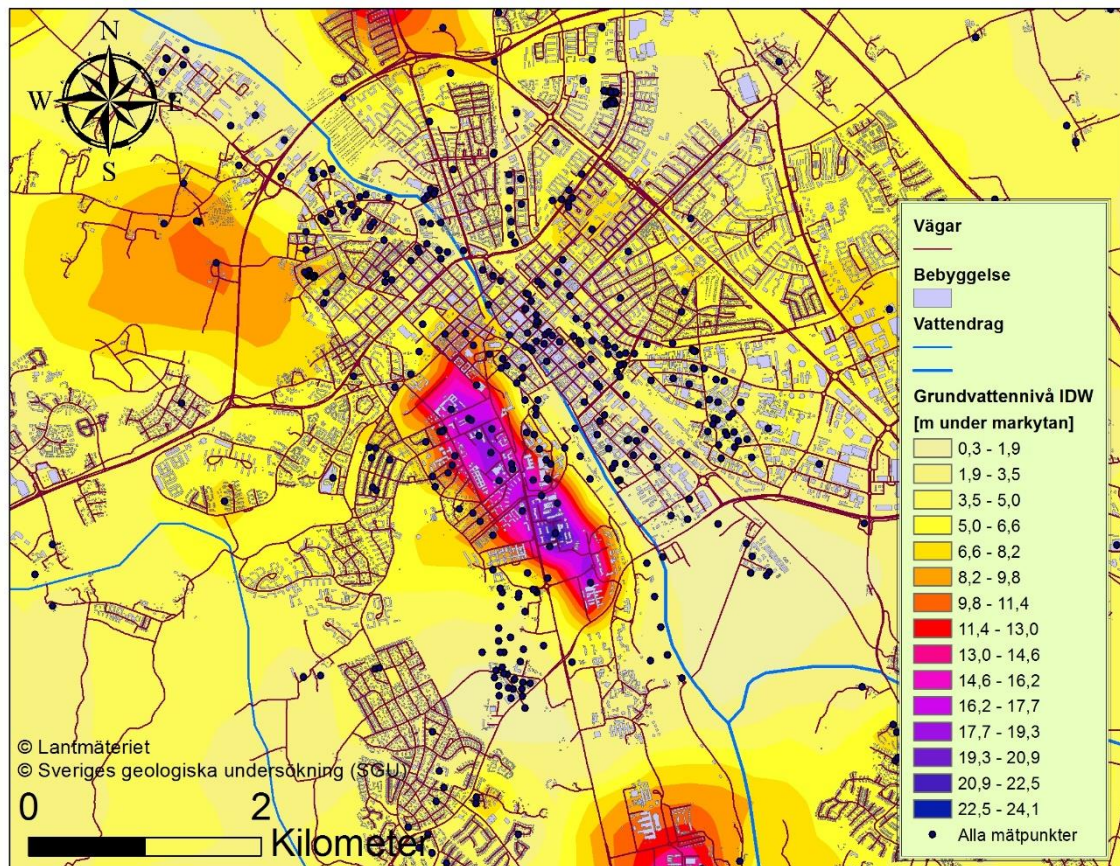
Figur 27. Trycknivåkarta över Uppsala där grundvattnets trycknivå är angiven i höjdsystemet RH 2000. Kartan är baserad på uppmätta data vilket innebär att ingen normalårskorrigerig av grundvattennivåer har utförts.

En karta över grundvattennivån i de centrala delarna av Uppsala baserad enbart på uppmätta grundvattennivåmätningar från dispenspunkter visas i Figur 28.



Figur 28. En grundvattennivåkarta över de centrala delarna av Uppsala med grundvattennivån angiven som meter under markytan. Kartan är framtagen med uppmätta grundvattennivåer från dispenshandlingar vilket innebär att ingen normalårskorrigerings av grundvattennivåer har utförts.

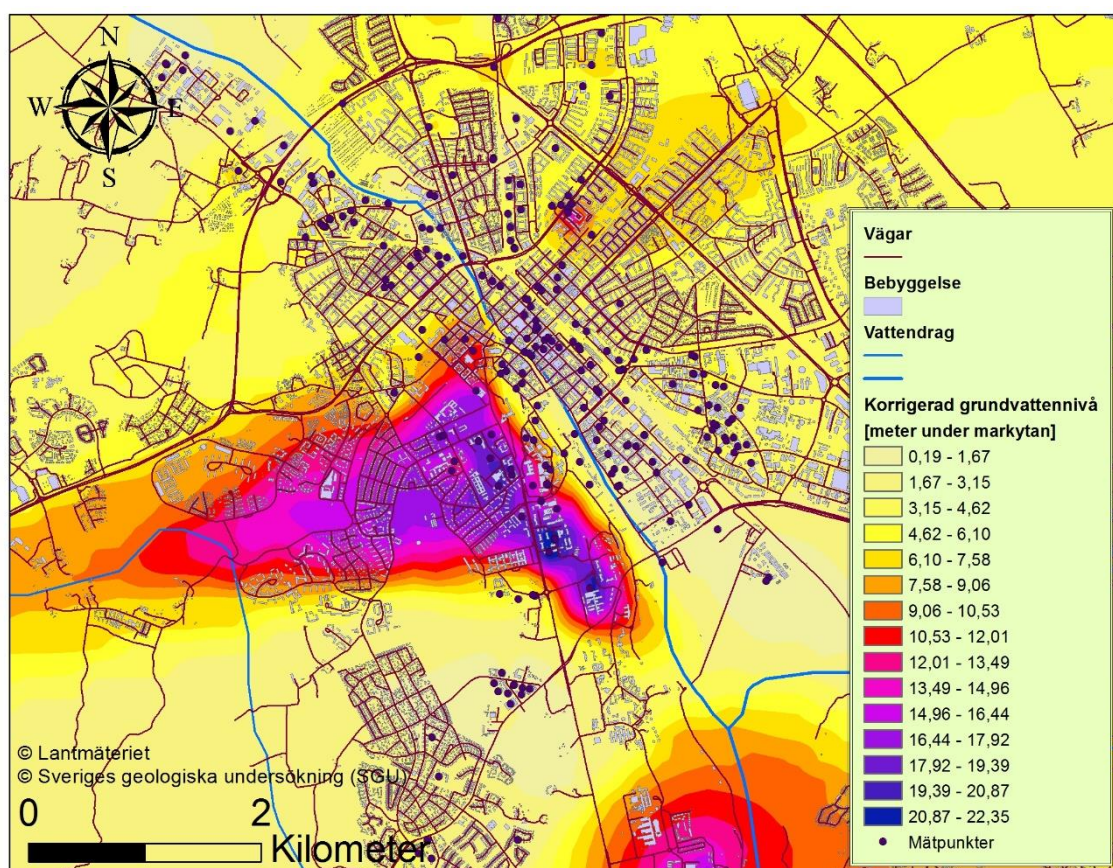
En karta som visar grundvattennivån i de centrala delarna av Uppsala baserad på alla tillgängliga grundvattennivåmätningar visas i Figur 29.



Figur 29. En grundvattennivåkarta över de centrala delarna av Uppsala med grundvattennivån angiven som meter under markytan. Kartan är framtagen med uppmätta data från dispenshandlingar och brunnarsarkivet vilket innebär att ingen normalårskorrigerings av grundvattennivåer har utförts.

5.4 NORMALÅRSKORRIGERING AV DISPENSPUNKTER

Försöket med att korrigera grundvattennivåmätningarna från dispenshandlingar utifrån det år de kom in till Länsstyrelsen påverkade grundvattennivåerna på decimeternivå. Under åren 2003 till 2016 var årskorrektionsfaktorn som mest plus 0,16 meter och som minst -0,36 meter för friktionsjord. Grundvattennivåkartornas utseende förändrades inte nämnvärt av korrektionen men det gick att urskilja nivåförändringar med hjälp av verktyget *identify*. Om morän hade angivits separat från friktionsjord i datasammanställningen och om mättillfällena av grundvattennivån angivits med månad och år hade normalårskorrigeringen påverkat grundvattennivåerna i en mycket större utsträckning. En grundvattennivåkarta över de centrala delarna av Uppsala baserad på normalårskorrigerade grundvattennivåer från dispenshandlingar visas i Figur 30.



Figur 30. En grundvattennivåkarta över de centrala delarna av Uppsala med grundvattennivån angiven som meter under markytan. Kartan är framtagen med normalårskorrigerade grundvattennivåer från dispenshandlingar. Normalårskorrigeringen kunde enbart ske på årsbasis utifrån de år dispensansökan kom in till Länsstyrelsen.

6 DISKUSSION

I den här delen förs en diskussion kring de olika datakällornas för- och nackdelar. Även hur antaganden påverkat resultatet samt styrkor och svagheter i den framtagna metoden för normalårskorrigerings. Avslutningsvis förs ett resonemang kring felkällor och åskådliggörandet av grundvattennivåer.

6.1 DATASAMMANSTÄLLNING

Grundvattennivåmätningarna från dispenshandlingar och brunnsarkivet kompletterar varandra väl sett till punkternas spridning i Uppland, detta visas i Figur 8. Grundvattennivåer som angivits i dispensansökningar är troligtvis mycket noggrant uppmätta då de flesta uppgifterna kommer från välrenommerade konsultföretag. Trots det saknas oftast datum för när mätningen är utförd. Detta faktum innebär att en normalårskorrigerings kunde utföras utifrån det år dispensansökan kom in till Länsstyrelsen men hänsyn kunde inte tas till grundvattnets årstidsvariationer. Det är inte ens säkert att ansökan kom in samma år som mätningarna utfördes. Krav borde därför ställas på att tidsangivelser för mätningar av grundvattennivåer redovisas i dispensansökan. Från datasammanställningen av dispenspunkter gick det inte att skilja på jordarterna sand, grus och morän då dessa i sammanställningen angavs som friktionsjord. För att på ett bra sätt kunna använda den framtagna metoden för normalårskorrigerings måste uppgifterna som lämnas i dispensansökan separera sand, grus och morän och alltså inte klumpa ihop dessa till en och samma jordartskategori.

Data som kommer från SGUs brunnsarkiv har angivelser för när grundvattennivåerna är uppmätta i de flesta fallen. Det möjliggör att en normalårskorrigerings kan utföras. När grundvattennivåerna mäts vid borring av brunnar är inte det primära syftet att mäta grundvattennivån. Det kan potentiellt ha påverkat hur noggrant djupet till grundvattenytan är uppmätt. Av de punkter från brunnsarkivet som hade unika värden för koordinater och angiven grundvattennivå togs många bort innan kartläggningen. I brunnsarkivet fanns punkter med grundvattennivå som låg under bergsytan. Den angivna grundvattennivån var alltså en vattenförande spricka eller annan vattenförande zon i berget och inte representativ för på vilket djup grundvattnet finns i jorden. Att antalet mätpunkter minskade från totalt 10 000 till ungefär 1700 användbara tyder på att mätningar av grundvattennivån inte prioriterats av alla verksamhetsutövare. Data från brunnsarkivet saknar uppgifter kring jordart, topografiskt läge och akviferstyp. Denna information måste samlas in på annat vis om jordartsspecifik korrigerings av grundvattennivåer ska vara möjlig.

Jordartskartan från SGU användes för att tilldela mätpunkter olika jordartsklasser. Jordartskartan gav information rörande jordarten vid markytan eller i djupare liggande jordarter. Ett val av jordart måste följaktligen göras utifrån jordlagret som anses vara mest representativt om syftet är att normalårskorrigerings grundvattennivån i de spridda mätpunkterna. Det är viktigt att valet överensstämmer med jordarten där grundvattennivåmätningen utfördes för att rätt korrektionsfaktor ska kunna väljas. Om fel jordart väljs riskerar denna typ av indelning att ge en normalårskorrigerings som blir

missvisande. I detta arbete utfördes ingen normalårskorrigerings av grundvattennivåer baserat på jordarterna som tilldelats från SGUs jordartskarta.

6.2 NORMALÅRSKORRIGERING

För Uppsala Flygplats var nederbörden oftast något lägre än i Sala, Vattholma och Tärnsjö under åren 1972-2015, detta visas i Figur 12 och Figur 13. Platserna har likartade nederbördsmängder och därmed ansågs det vara rimligt att jämföra grundvattennivåerna mellan platserna. Nederbörd har inte använts för att korrigera grundvattennivåerna utan jämförelsen var ett sätt att verifiera att det inte var orimligt stora skillnader i nederbörd mellan platserna.

Grundvattennivåerna i morän varierade mycket snabbare än i sand och grus (Figur 15). Detta stämmer bra överens med det förväntade utfallet. I Figur 16 framgick att grundvatten i morän har mycket större avvikelse inom åren än grundvatten i sand och grus. Detta stämmer med hydrologisk teori eftersom moränmagasin ofta är snabbreagerande med liten dränerbar porositet och alltså tydligare påverkas av snösmältning, regn och växternas vattenupptag under växtsäsongen.

I sand- och grusakviferer varierade grundvattennivån vanligtvis några decimeter under ett år, se Tabell 6. För ett fåtal år förekom större inomårsvariationer. Under hela tidsperioden var den största skillnaden sett till högsta och lägsta uppmätta grundvattennivå 1,3 till 1,9 meter för grundvattennivån i sand och grus. Utifrån dessa fakta dras slutsatsen att årskorrigeringsfaktorn är viktigare än månadskorrigeringsfaktorn för långsamreagerande grundvattenmagasin. Resultaten visade att grundvattennivån i moränmagasinet i Nántuna uppvisade egenskaper som var ett mellanting mellan morän och sand (Tabell 6 och Figur 16). Inomårsvariationerna i Nántuna var betydligt mindre än för övriga grundvattennivåer i moränmagasin.

Flera av de långtidsmätningar av grundvattennivåer som utförts av Uppsala Vatten var förmodligen kraftigt påverkade av mänsklig aktivitet i form av infiltration av ytvatten eller uttag av grundvatten. Grundvattennivåns månadsavvikelse för Uppsala Vattens mätserier visas i Figur 17. Långtidsmätningar av grundvattennivåer från Uppsala Vatten har i detta projekt inte använts för att korrigera grundvattennivåer. Detta berodde på att flera av mätserierna av grundvattennivåer bedömdes avvika från naturliga variationer. En annan orsak var att jordarterna där vattennivåerna mättes inte var angiven. Hur stort påverkansområdet av pumpning och infiltration är vid de olika platserna har inte studerats i detta projekt. Teoretiskt sett borde punktvis uppmätta grundvattennivåer som är närbelägna Uppsala Vattens mätplatser kunna korrigeras med hjälp av Uppsala Vattens mätserier de år data finns tillgängliga.

År med höga grundvattennivåer i Sala innebar också höga grundvattennivåer i Tärnsjö (Figur 18). År med låga grundvattennivåer i Sala var även år med låga grundvattennivåer i Tärnsjö. Detta var essentiellt för att det skulle vara möjligt att ta fram en årskorrigeringsfaktor. Årskorrigeringsfaktorn bygger på hur stor avvikelsen var för respektive årsmedelvärde jämfört med långtidsmedelvärdet för hela mätserien. Årskorrekationsfaktorerna bör bygga på årsavvikelsen för flera mätserier av

grundvattennivåer än vad den gör idag. Den svagaste länken är årskorrigeringsfaktorn för morän som idag bara bygger på mätvärden från en tidsserie.

Vidare hade grundvattennivåerna i Sala, Tärnsjö och Uppsala likartade variationer under samma år (Figur 19). Det vill säga ett år med generellt lågt grundvatten förekommer samtidigt i Sala, Tärnsjö och Uppsala. Det styrker teorin att årskorrigeringen fungerar för långsamreagerande grundvattenmagasin.

Metoden för normalårskorrigeringen verkar rimlig. För slumpvis valda år visades med hjälp av en baklängesberäkning hur den tänkta normalårskorrigeringen fungerar. Jämförelsen mellan värden från S-HYPE-modellen och normalårskorrigeringen påvisade att båda metoderna speglar grundvattennivåfluktuationerna i morän på ett bra sätt. Normalårskorrigeringen som bygger på års- och månadsavvikelsen gav mjukare övergångar mellan månaderna än S-HYPE-modellen, se Figur 20 och Figur 21.

Normalårskorrigeringen utfördes på en oberoende mätserie av grundvattennivåer i Tärnsjö år 1998 (Figur 22). Korrigeringsens medelvärde hamnade mycket nära det uppmätta långtidsmedelvärdet för serien. Detta var precis vad normalårskorrigeringen utformats för att göra. Att årskorrekionsfaktorn fungerade så väl kan bero på att årskorrekionsfaktorn för grundvatten i morän baserades på en annan serie från Tärnsjö. De år då uppmätta grundvattennivåer inte följer naturliga inomårsvariationer blir korrekionen dålig. I dessa fall ökas snarare avvikelsen från långtidsmedelvärdet av månadskorrektionen. Naturliga inomårsvariationer syftar på att grundvattennivån generellt är högst på våren, sjunker under sommaren och är som lägst på hösten (Figur 4). För att normalårskorrigering ska vara meningsfull för grundvatten i morän och andra jordarter med snabba fluktuationer krävs att datum för mättillfället av grundvattennivån är angivet med både år och månad.

Att basera normalårskorrigeringen på månadsmedelvärden sett över en längre tidsperiod gav en generell bild av hur grundvattennivån vanligtvis varierar över året. Detta var inte lika precist som att ta avvikelsen från en viss månad under ett specifikt år i en långtidsserie av grundvattennivåmätningar. Snabba förändringar i hydrologiska förhållanden som lokala skyfall kan potentiellt fångas upp bättre med en korrigering som inte beräknar månadsmedelvärdet över alla år utan direkt tar avvikelsen vid en viss tidpunkt. Men för att tillämpa en direktkorrigering måste platserna vara mycket närbelägna och ha mycket snarlika jordartsförhållanden.

Sammanfattningsvis kan sägas att den framtagna metoden som bygger på en jordartsspecifik normalårskorrigering av punktvis uppmätta grundvattennivåer fungerade väl vid tester. En stor svaghet är att det inte gick att hitta några riktigt långa mätserier av grundvattennivåer i Uppsala som var opåverkade av mänsklig aktivitet. Innan metoden kan implementeras fullt ut borde undersökningar göras för att se hur stort område som påverkas av konstgjord infiltration och uppumpning av grundvatten. Om det är så att grundvattnet under stora delar av staden inte följer naturliga årstidsvariationer går det inte att tillämpa metoden med gott resultat. För att fullt ut kunna använda den framtagna metoden för normalårskorrigering måste det finnas

information om vilken jordart mätningen av grundvattennivå är utförd i. Det måste också finnas en tidsangivelse för när den enstaka punktmätningen är utförd med en noggrannhet på åtminstone år och månad.

6.3 ÅSKÅDLIGGÖRANDE AV DATA

Utifrån sammanställd information från dispenshandlingar som kompletterades med grundvattennivåmätningar från brunnsarkivet var det möjligt att skapa grundvattennivåkartor. Kartorna baserades antingen på uppmätta data som inte normalårskorrigerats eller på grundvattennivåer från dispenshandlingar som normalårskorrigerats. Tillsammans utgjorde datakällorna ett bra underlag med en stor geografisk spridning, se Figur 8. Utan grundvattennivåpunkter från brunnsarkivet fick några punkter med djupt belägen grundvattennivå stort genomslag vid interpoleringen (Figur 28 och Figur 30).

Då det finns behov av att veta hur djupt under markytan grundvattennivån är belägen kan verktyget identify användas, se Figur 25. I de punkter som kommer från dispenshandlingarna finns även markens jordlagerföljd. Det går alltså att se ungefär på vilken nivå friktionsjord, lerlager och berg påträffas. I vissa tillämpningar är det av intresse att veta hur tjocka lerlager som finns på platsen. Tjocka lager med lera kan förhindra att föroreningar tränger ner och förorenar grundvattnet i friktionsjorden under leran. Tjocka lerlager utgör alltså ett skydd för det värdefulla grundvattenmagasinet under Uppsala stad.

Användningsområden för grundvattennivåkartor kan vara många. Vid val av saneringsmetod i förorenade områden finns ett intresse av att veta vilka jordarter som finns på platsen och på vilket djup grundvattnet är beläget. Även vid konstruktion av byggnader med källare eller byggnation inom ett vattenskyddsområde måste grundvattennivåns djup under markytan vara känd.

På mindre områden kan trycknivåkartan potentiellt användas för att få en grov uppskattning av grundvattenflödet. Flödet är vinkelrätt mot grundvattenytans nivålinjer i kartan. Grundvattnet strömmar från hög till låg totalpotential där totalpotentialen är summan av lägespotentialen och tryckpotentialen. Genom att använda grundvattenkartor där trycknivåer är angivna kan grundvattnets strömningsriktningar i grova drag ritas in. Kartorna som visar grundvattnets trycknivå och strömningsriktningar kan vara användbara för att helt eller delvis kunna spåra en upptäckt förorening.

6.3.1 ArcGIS

Projektets mål uppfylldes genom att grundvattennivåmätningar från dispenshandlingar först sammanställdes i Excel och sedan åskådliggjordes i ArcGIS. ArcGIS är lätt att använda och kartorna i programmet är tydligare än i rapporten då det går att zooma in och ut beroende på vilket område som är av intresse. Även bakgrundskartor och olika skikt som visar hus, vägar, järnvägar, vattendrag med mera går att anpassa efter användarens önskemål och behov. Det är möjligt att komplettera de nu sammanställda uppgifterna med nya mätningar av grundvattennivåer.

6.4 FELKÄLLOR

Nedan följer en punktlista på faktorer som kan ha orsakat osäkerheter i resultaten.

- Positionerna för mätpunkterna i dispenshandlingarna är inte helt exakta. Det kan innebära att markhöjden tas från en plats som ligger inom samma fastighet men en bit bort, vilket kan ge en felaktig höjd på marknivån. En avvikelse på någon meter i markhöjd kan ge stort utslag på beräkningen av grundvattennivåns läge i höjdsystemet RH 2000.
- Mätningarnas noggrannhet framför allt från brunnsarkivet är svåra att värdera.
- Projektionsfel i SWEREF 99 är troligtvis helt försumbara jämfört med andra fel.
- I datasammanställningsfasen gjordes antagandet att differensen mellan grundvattnets trycknivå och markytan gav grundvattennivåns läge under markytan då denna uppgift saknades i dispensunderlaget. Detta antagande gäller troligtvis bra i öppna akviferer men kan bli felaktigt när det finns ett tätt lerlager som skapar flera grundvattenytor på olika nivåer i marken. Beroende på situation och tillämpningsområde kan båda nivåerna vara av intresse. Antagandet torde innebära en något högre grundvattenyta än den som återfinns i leran. Samtidigt får ej glömmas att det är den grundvattennivå som angivits i dispenshandlingarna som använts det vill säga piezometrisk trycknivå för den slutna akviferen på de platser täta lerlager förekommer. I vissa dispenshandlingar var det svårt att skilja mellan vad som ska klassas som markvatten och grundvatten. Kvaliteten på tillgänglig data har varierat kraftigt och vissa data har sällats bort under bearbetningen.
- Ingen hänsyn har tagits till hur hårdgjorda ytor påverkar grundvattennivåns variationer.
- Då grundvattennivåerna interpoleras fram mellan mätpunkterna uppstår osäkerheter. Ett större avstånd mellan mätpunkter av grundvattennivån ger en större osäkerhet.

6.5 FÖRSLAG TILL FRAMTIDA STUDIER

Det skulle vara värdefullt att utvidga dataunderlaget som års- och månadskorrektionsfaktorerna bygger på. Framförallt finns behov av flera serier med långtidsmätningar av grundvattennivåer i morän för att stärka trovärdigheten hos årskorrektionsfaktorn. Den nuvarande metoden skulle också kunna utvidgas för att omfatta flera jordarter.

Tidsbrist var en orsak till att en normalårskorrigerings inte genomfördes på grundvattennivåer från brunnsarkivet som tilldelats jordart från SGUs jordartskarta. Det skulle vara intressant att genomföra en sådan normalårskorrigerings. När mätpunkterna för grundvattennivåer tilldelades jordart från SGUs jordartskarta återgavs 19 olika jordarter. Exempelvis angavs morän som grusig morän, sandig morän och lerig morän. Det kan eventuellt vara av intresse att ta fram en normalårskorrigerings som baseras på SGUs mer specifika indelning av jordarter. En sådan korrigerings skulle potentiellt kunna fungera ännu bättre.

Förhoppningsvis kan den framtagna grundvattennivåkartan som visar grundvattennivån som trycknivå i RH 2000 användas som indata till en flödesmodell för grundvatten. I en sådan modell skulle markens jordlagerföljder kunna tas från SGUs 3D modell över Uppsalaåsen. Dessa data tillsammans uppgifter kring grundvattenbildning, hydraulisk konduktivitet och randvillkor borde kunna utgöra grunden för en flödesmodell.

7 SLUTSATSER

Utifrån undersökningen som utförts i detta arbete dras följande slutsatser.

- Det var möjligt att karaktärisera fluktuationsmönster för grundvattennivåer i olika jordarter. I morän hade grundvattennivån snabbare och större inomårsvariationer jämfört med grundvatten i sand och grus.
- För grova jordarter som sand, grus eller isälvsmaterial kan normalårskorrigerering för långsamreagerande magasin baseras enbart på grundvattennivåns årsmedelvärden.
- Utifrån dispenshandlingar och data från brunnsarkivet var det möjligt att skapa grundvattennivåkartor med grundvattennivån angiven som meter under markytan.
- Det var möjligt att skapa grundvattennivåkartor med grundvattennivån angiven som trycknivå i RH 2000 utifrån dispenshandlingar, data från brunnsarkivet och en markhöjds-karta från Lantmäteriet.
- Utifrån långtidsmätningar av grundvattennivåer i jordarterna sand, grus och morän var det möjligt att normalårskorrigera enstaka mätningar av grundvattennivåer så att de speglar en normaliserad grundvattennivå (ett långtidsmedelvärde). Det innebär att grundvattennivåmätningar som utförts vid ett tillfälle då grundvattennivån avvikit från det normala (till exempel en torr sensommar) ändå kan användas som en relevant mätpunkt vid kartläggning av grundvattennivåer.
- Den framtagna metoden för normalårskorrigerering kunde bara delvis tillämpas på grundvattennivåer från dispenshandlingar. Detta berodde på att dataunderlaget från dispenshandlingarna var bristfälligt både med avseende på jordartsindelning och datum för mätning av grundvattennivån.

8 REFERENSER

Bjerking, (2013), *Ansökan om dispens från vattenskyddsföreskrifterna*, Dragarbrunn 23:3 Kv Lejonet, Uppsala Kommun, 2013-10-16 (Dispensärende 521-5726-2013) (Uppdrag 13U 23671)

Eriksson J., Dahlin S., Nilsson I. och Simonsson M., (2011), *Marklära*, ISBN 978-91-44-06920-3, upplaga 1:1, Studentlitteratur AB, Lund

ESRI, (2017), *How Natural Neighbor Works*, [Hämtad 2017-04-19]
<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-natural-neighbor-works.htm>

Fredén C., (2002), *Sveriges Nationalatlas, Berg och jord*, Sveriges geologiska undersökning, ISBN: 91-87760-50-9, tredje utgåvan, tryckt i Italien 2002

Grip H. och Rodhe A., (1985), *Vattnets väg från regn till bäck*, Hallgren och Fallgren Studieförlag AB, ISBN 91 7382 762 2

Jirner E., Johansson P. O., McConnachie D., Djurberg H., McCleaf P., Hummel A., Ahlgren S., Rodhe L. & Mikko H., (2016), *Jordlagermodellering i 3D*, exempel från Uppsalaåsen med hydrogeologisk tillämpning, SGU-rapport 2016:19, november 2016

Knutsson G., Morfeldt C. O., (2002), *Grundvatten teori & tillämpning*, Tredje reviderade utgåvan, ISBN 91-7332-972-X, Svenskt Tryck AB, Stockholm 2002, AB Svensk Byggtjänst

Lagergren H., (2015), *Grundvattennivåns tidsmässiga variationer i morän och jämförelser med klimatscenarier*, SGU-rapport 2015:20, maj 2015

Lantmäteriet, (2008), *Enhetligt Geodetiskt Referenssystem*, Infoblad N:O 1, Nya referenssystem, [Hämtad 2016-11-07]
https://www.lantmateriet.se/globalassets/kartor-och-geografisk-information/gps-och-matning/referenssystem/inforande_av_nya_referenssystem/info_blad-1.pdf

Lantmäteriet, (2009), *Enhetligt Geodetiskt Referenssystem*, Infoblad N:O 3 Nytt höjdsystem, [Hämtad 2016-11-06]
https://www.lantmateriet.se/globalassets/kartor-och-geografisk-information/gps-och-matning/referenssystem/inforande_av_nya_referenssystem/info_blad-3.pdf

Lantmäteriet, (2012), *Geodesi*, [Hämtad 2016-11-06]
http://www.lantmateriet.se/globalassets/kartor-och-geografisk-information/gps-och-matning/geodesi/vad_ar_geodesi.pdf

Lantmäteriet, (2016a), *RH 2000*, (u.å) [Hämtad 2016-11-03]
<https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/Referenssystem/Hojdsystem/RH-2000/>

- Lantmäteriet, (2016b), *SWEREF 99*, (u.å) [Hämtad 2016-11-07]
<https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/Referenssystem/Inforande-av-SWEREF-99-och-RH-2000/>
- Lantmäteriet, (2017), *GSD-Höjddata, grid 2+*, (u.å) [Hämtad 2017-02-14]
<https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/Hojddata/GSD-Hojddata-grid-2/>
- Länsstyrelsen, (2017), *Länsstyrelsens WebbGIS*, [Hämtad 2017-02-26] ext-
webbgis.lansstyrelsen.se/upsala/underlag/
- Naturvårdsverket, (1999), *Grundvattnets tillstånd i Sverige*, Årsskrift från miljöövervakningen 1999, Rapporter och meddelanden nr 99, Aastrup M. (red), ISSN 0349-2176, ISBN 91-7158-612-1.
- Rodhe A., Lindström G., Rosberg J., Pers C. och Institutionen för geovetenskaper, (2006), Slutrapport från SGU-projektet ”Grundvattenbildning i svenska typjordar”, proj nr 60-1375/2004, ISSN 1400-1055
- SFS 1975:425, (1975), *Lag (1975:425) om uppgiftsskyldighet vid grundvattentäktsundersökning och brunnborrning*, Stockholm: Näringsdepartementet
http://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-1975424-om-uppgiftsskyldighet-vid_sfs-1975-424
- SGU, (2014), *Öppna data för grundvatten*, [Hämtad 2017-01-30]
<http://resource.sgu.se/oppnadata/grundvatten/>
- SGU, (2017a), *Brunnar och dricksvatten*, (u.å) [Hämtad 2017-01-19]
<http://www.sgu.se/grundvatten/brunnar-och-dricksvatten/>
- SGU, (2017b), *Kartgenertor - Jordarter*, (u.å) [Hämtad 2017-02-20]
http://apps.sgu.se/kartgenerator/maporder_sv.html
- Sidenvall J., (1970), *Grundvatten i uppsalatrakten*, Kvartärgeologiska Institutionen Uppsala universitet, tryckt på Uppsala stads gatukontor i maj 1970 (DOCNO: 11716, ID: SGU-H:03-275)
- SMHI, (2017a), *Vattenwebb-Grundvatten*, [Hämtad 2017-02-28]
<http://grundvatten.nu/modelgroundwater/client-sgu/index.html>
- SMHI, (2017b), *Öppna data-Nederbörd*, [Hämtad 2017-01-26]
<http://opendata-download-metobs.smhi.se/explore/>
- Söderström M., (2010), *Interpolerade markkartor - några riktlinjer*, Teknisk Rapport nr 21, ISSN 1652-2826, Skara
- Tremblay M., (1990), *Mätning av grundvattennivå och portryck*, Vägverket – VBg Statens geotekniska institut. ISSN 0281-7578, publikationsnummer 1990:41, augusti 1990

Uppsala Vatten, (2017), *Vattenförsörjningen i Uppsala Stad*, (u.å) [Hämtad 2017-02-25]

http://www.uppsalavatten.se/Global/Uppsala_vatten/Dokument/Trycksaker/vattenforsorjning_Uppsala_stad.pdf

Vikberg E. (SGU), Thunholm B. (SGU), Thorsbrink M. (SGU) och Dahné J. (SMHI), (2015), *Grundvattennivåer i ett förändrat klimat – nya klimatscenarier*, SGU rapport 2015:19

Wang D., (2012), *Evaluating interannual water storage changes at watersheds in Illinois based on long-term soil moisture and groundwater level data*, Water Resources Research, An AGU Journal, DOI:10.1029/2011WR010759, mars 2012

03FS, (1990), *Kungörelse om vattenskyddsområde*
”Uppsala läns författningssamling 03FS 1990:1, ISSN 0347-1659

PERSONLIGA MEDDELANDEN

Melin D., (2017), Miljöskyddshandläggare på Länsstyrelsen i Uppsala län.

9 BILAGOR

9.1 BILAGA A – DATABEHANDLING I ARCGIS

Grundvattennivådata från Excel till ArcMap

En beskrivning steg för steg hur data med grundvattennivåer i Excel fördes in i ArcMap för att skapa grundvattennivåkartor. En Sverigekarta från Lantmäteriet användes som bakgrundskarta. Grundvattennivåerna var sammanställda i ett exceldokument.

Filen med grundvattennivåer fördes in i ArcMap från Excel:

Kolumnnamnen i excelfilen får inte innehålla Å, Ä, Ö eller mellanslag

- Öppnade ArcMap och under Add Data valdes aktuell fil innehållande grundvattennivåer.

Excelfiler med ändelsen *xlsx fördes in genom att:

- Kopiera alla data i tabellen i Excel (Ctrl+A)
- Klistra in alla data i Notepad ++ (Ctrl+V)
- Spara som textfil med lämpligt namn (*.txt)
- Från Catalog (flik till höger) söktes filen upp och drogs in i kartfönstret.

En bakgrundskarta fördes in genom att:

- Sverigekartan vektor 1:1000 000 drogs in → Sverigekartan.lyr och även alla mappar och undermappar (riks,font mm) fördes in i ArcMap.

Plan: SWEREF 99 TM, Höjd: RH 2000

- Högerklickade på Tätortspunkter → DATA → valde Repair data source, letade rätt på bt_riks.shp (som representerar tätortspunkter), alla övriga kopplingar lagades automatiskt.
- Högerklickade på Layers → Properties → Data Frame → fliken Coordinate System
Geographic Coordinate System: SWEREF 99
(Projected Coordinate Systems: SWEREF 99_TM (Nationella Grids → Layers))
(Välj eventuellt bara ett av ovanstående koordinatsystem)

Filen med grundvattennivåer koordinatsattes:

- Högerklickade på filen i Table of Contents (till vänster)
- Tryckte på Display XY Data

Följande val:

X Field E (Östlig koordinat i SWEREF 99 TM)

Y Field N (Nordlig koordinat i SWEREF 99 TM)

Z Field GRUNDVATTENNIVA (Djup till grundvattennivån från markytan)

En textfil(.txt) skapades med samma namn som grundvattennivåfilen men med tilläggsnamnet Events. Ett meddelande visades: Table Does Not Have Object-ID Field..... →OK)

Varje mätpunkt av grundvattennivåer tilldelades ett unikt identitetsnummer (FID). För att skapa en kolumn med FID och en kolumn med Shape:

- Högerklickade på textfilen Events, valde Data→Export Data..

Följande val gjordes:

Use same coordinate system as: This layer's source data

Name: Något lämpligt val (Brunnar_SGU_hela_komma)

Filformat: Shapefil

→ Do you want to add the exported data to the map as a layer? → YES

En ny fil med namn "Brunnar_SGU_hela_komma" skapades

En yta med grundvattennivån skapades genom att interpolera grundvattennivån mellan mätpunkterna.

- ArcToolbox→Spatial Analyst Tools→Interpolation→IDW (dubbelklickade)

Input the features: Brunnar_SGU_hela_komma

Z value field: GRUNDVATTEN

Output raster: BrunnarSGUHEL

Save as type: Raster databas

Tryckte OK (de övriga fälten lämnades orörda)

En ny fil (ett raster) med namnet BrunnarSGUHEL skapades.

Kartan tilldelades lämpliga färger, teckenförklaring, skalstock, nordpil med mera.

- Högerklickade på (BrunnarSGUhela)→ Properties→Symbology
Lämplig färgskala valdes i color ramp (ljus beige, gul, grön, röd, rosa, rosa-blå, blå, mörklila)
9 intervall eller ett intervall för varje meter (frivilligt beror på kartan)
- För punkterna (Brunnar_SGU_hela_komma) högerklicka och välj:
Properties →Symbology→Quantities
Value: GRUNDVATTEN

I View→Layout view→

Legend infogades (teckenförklaring), under legend properties, fliken Items, "select all" valdes och rutan "only show classes that are visible in the current map" kryssades i.

Infogade: Scale bar

Infogade: North Arrow

Infogade: Copywright (©Lantmäteriet)

Infogade: Scale text (skala 1: 280 000)

Test av tre olika interpoleringsmetoder

Tre olika interpoleringsmetoder testades för att påvisa att det finns olika metoder som beräknar grundvattennivåerna mellan mätpunkterna på varierande sätt. För de olika metoderna togs hänsyn till 12 olika grannpunkter och sökradien var varierande.

ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Interpolation → Kriging

Kriging:

Input point features: Grundvattenniva_alla_klar_2017-02-23

Z value field: Grundvatte (*Grundvattennivån angiven som meter under markytan*)

Output surface raster: KrigingOrdi

Semivariogram properties

Kriging metod: Ordinary (Ej universal)

Semivariogram model: Spherical

Output cell size: 285,78

Search radius (optional): Variable

Search Radius Settings

Number of points: 12

Maximum distance:

ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Interpolation → IDW

IDW:

Input point features: Grundvattenniva_alla_klar_2017-02-23

Z value field: Grundvatte (*Grundvattennivån angiven som meter under markytan*)

Output raster: GrundvattIDW

Output cell size (optional): 285,78

Power (optional): 2

Search radius (optional): Variable

Search Radius Settings

Number of points: 12

Maximum distance:

ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Interpolation → Natural Neighbor

Natural Neighbor:

Input point features: Grundvattenniva_alla_klar_2017-02-23

Z value field: Grundvatte (*Grundvattennivån angiven som meter under markytan*)

Output raster: NaturalNeighb

Output cell size (optional):

Skapa grundvattennivåkarta med konturlinjer

Utifrån en interpolerad grundvattennivåyta, i rasterformat gjordes följande val under ArcToolbox:

- Spatial Analyst Tools → Surface → Contour (dubbelklicka på Contour)
Input raster: Ytan som tilldelades konturlinjer (Grundvatten Alla utan OUTLIERS)
Output polyline features: Filnamn och lämplig plats att spara filen. (Konturlinjer Alla utan OUTLIERS)
Contour interval: Avstånd mellan konturlinjer (1 m)
Base contour (optional): Lämnades som standard, det vill säga 0
Z factor (optional): Lämnades som 1
→ OK

För att lägga till siffror som anger grundvattennivåns djup under markytan. Högerklickade på filen med konturlinjer (Konturlinjer Alla utan OUTLIERS) och Properties valdes. Under fliken Labels gjordes följande val:

- Rutan vid "Label features in this layer" kryssades i
- Under "Text String, Label Field" valdes CONTOUR
- Lämpligt typsnitt och textstorlek valdes
- Placement Properties: Orientering och position för siffrornas läge relativt linjen (Parallel och Above)

Skapa en fil med grundvattennivån angiven som trycknivå utgående från en karta (ett raster) med markhöjd och en fil med grundvattennivåpunkter angivna som meter under markytan. Grundvattennivåerna måste ha bestämda koordinater.

Markhöjden från höjdrastret fördes in i en kolumn i filen med grundvattennivåer angivna som meter under markytan.

- Spatial Analyst Tools → Extraction → Extract Values to Points
Input point features: Grundvattenniva_utan_outliers
Input raster: Markyta 2m
Output point features: Grundvattenniva_utan_outliers_med_markyta

Punkter i området utanför rastret (Markyta 2m) gavs inga höjdpunkter, eftersom punkterna från brunnsarkivet hade en större utbredning än markkartan. I den nya filen fördes markhöjden in under kolumnnamnet RASTERVALUE.

Data från Open attribute table flyttades till Excel för att bearbetas.

- ArcToolbox → Conversion Tools → Excel → Table To Excel, filen Grundvattenniva_utan_outliers_med_markyta valdes.

I Excel beräknades grundvattnets trycknivå som (markytans nivå-grundvattnets djup under markytan).

Den nya filen fördes på nytt in i ArcGIS.

- Add Data

Rastrets giltiga utbredning klipps till samma utbredning som markhöjdkartans.

- ArcToolbox → Data Management Tool → Raster → Raster Processing → Clip

Giltig utbredning:

Top: 6672586

Left: 622608

Right: 673596

Bottom: 6623554

Den nya filen gavs namnet GrundTryckIDW_Clip

Tilldela spridda mätpunkter jordarter från SGUs jordartskarta

För att omvandla jordartskartans lager (JG2), vilket innehåller koder för olika jordarter, från shapefilen användes verktyget Polygon To Raster. Upplösningen för det nya rastret valdes till 10x10 m.

ArcToolbox → Conversion Tool → To raster → Polygon To Raster

Input features: jordart, grundlager

Value field: JG2

Output Raster Dataset: jordgrundras2

Cell Assignment Type (Optional): CELL_CENTER

Priority field (Optional): NONE

Cellsize: 10

Ett raster med siffror som representerar olika jordarter vid markytan erhöles. Filen som innehöll alla grundvattennivåmätningar tilldelades jordart med hjälp av verktyget Extract Values To Points.

ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Extraction → Extract Values to Points

Input point features: Grundvattenniva_alla_klar

Input raster: jordgrundras2

Output point features: Grundvattenniva_alla_klar_med_jordarter_1_2017-03-02

Filen innehållande grundvattennivåer, trycknivåer och jordart överfördes till Excel.

Data från Open attribute table flyttades till Excel för att bearbetas.

ArcToolbox → Conversion Tools → Excel → Table To Excel

9.2 BILAGA B – EXCELFORMLER

Statistiska beräkningar i Excel

Statistiska beräkningarna för inomårsvariationer hos grundvattennivån har utförts med hjälp av inbyggda funktioner i Excel. Standardavvikelsen beräknades med funktionen ”STDAV.P.”. Funktionen beräknar standardavvikelsen då hela populationen används som argument. Standardavvikelsen är ett mått på hur mycket mätvärdena avviker från medelvärdet. Standardavvikelsen blir låg då mätvärdena ligger nära medelvärdet. Värdet som ligger mycket över eller under medelvärdet ger en hög standardavvikelse.

Skillnaden (max-min) beräknades som differensen mellan största och minsta månadsmedelvärdet under ett år.

Funktioner som under detta projekt varit användbara i Excel

Då långa tidsserier med uppmätta grundvattennivåer från SGU sorterades och granskades används funktionen OM. Detta gjorde så att data sorterades månadsvis och årsvis och det gav en överblick var data saknades och hur frekvent mätningar av grundvattennivån utförts.

=OM(MÅNAD(Sala_1!\$C2)=1;Sala_1!\$E2;””)

MÅNAD()	Ger ett värde mellan 1-12 beroende på månad
Sala_1!	Flik där mätdata finns
\$C2	Cell med datumformat (2016-11-10)
Sala_1!\$E2	Återger värdet i cellen E2, om villkoret är sant
””	Lämna cellen tom, om villkoret är falskt

För att tilldela mätpunkter korrigeringsfaktor i Excel användes följande funktioner:

Funktionen ÅR återger årtalet med fyra siffror

=ÅR(2015-02-09) ger 2015

Funktionen MÅNAD återger talet 1-12, som representerar januari till december

=MÅNAD(2015-02-09) ger 02 (Februari)

För att leta fram årskorrektionsfaktorn i en tabell som innehåller korrektionsfaktorer.

=LETARAD(N2;Korrigeringsfaktorer!\$A\$5:\$F\$51;5;FALSKT)

N2	Det givna året för en mätpunkt
korrigeringsfaktorer!	Fliknamnet där korrektionstabellen fanns
!\$A\$5:\$F\$51	Tabellområdet för korrektionstabellen
5	Kolumn med korrektionsvärden
FALSKT	Om inget tal finns anges FALSKT

För att leta fram månadskorrektionsfaktorn i en tabell som innehåller korrektionsfaktorer

=LETAKOLUMN(S2;Korrigeringsfaktorer!\$J\$4:\$U\$8;3;FALSKT)

S2	Den givna månaden för en mätpunkt
korrigeringsfaktorer!	Fliknamnet där korrektionstabellen fanns

!\$J\$4:\$U\$8

Tabellområde för korrektionstabellen

3

Rad med korrektionsvärden (Sand)

FALSKT

Om inget tal finns anges FALSKT

För att omvandla datum angivna som tal i Excel användes följande formel

=EXTEXT(A1;1;4)&"-"&EXTEXT(A1;5;2)&"-"&EXTEXT(A1;7;2)

Den omvandlar talet 19911227 till datumformat angivet som 1991-12-27.

9.3 BILAGA C – TABELLER NORMALÅRSKORRIGERING

Ett negativt värde betyder att förhållanden i marken är torrare än vanligt och att grundvattennivån ligger djupare under markytan. Ett positivt värde innebär att förhållandena i marken är blötare än normalt och att grundvattennivån ligger närmare markytan. Korrigeringsfaktorer ska adderas till grundvattennivåer angivna som meter under markytan. För att använda korrektionsfaktorerna på en mätserie med grundvattennivån angiven som meter över havet ska års- och månadsfaktorn inverteras genom att multipliceras med minus ett.

Tabell 7. Månadskorrigeringsstabell för grundvattennivåmätningar i olika jordarter. Enhet för alla korrigeringsfaktorer är meter.

Jordart	Akviferstyp	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Grus ¹	Öppet	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	0,02	0,05	0,05	0,04	0,02	0,00	-0,03	-0,03
Sand ²	Öppet	0,00	-0,02	-0,01	0,06	0,11	0,06	0,00	-0,04	-0,06	-0,06	-0,03	0,00
Morän ³	Öppet	0,15	0,23	0,27	0,40	0,35	0,15	-0,17	-0,33	-0,42	-0,40	-0,25	0,03
Morän ⁴	Slutet	0,44	0,66	0,77	0,88	0,63	0,14	-0,30	-0,69	-0,88	-0,84	-0,69	-0,13
Friktionsjord ⁵	Öppet	-0,02	-0,03	-0,02	0,02	0,06	0,05	0,03	0,00	-0,02	-0,03	-0,03	-0,01
Morän ⁶	-	0,29	0,45	0,52	0,64	0,49	0,14	-0,23	-0,51	-0,65	-0,62	-0,47	-0,05

¹Tärnsjö_20, ²Sala & Tärnsjö_2, ³Nåntuna och Tärnsjö_32, ⁴Sigtuna & Lagga, ⁵Grus & Sand, ⁶Alla morän

Tabell 8. Årskorrigeringsstabell för grundvattennivåmätningar i olika jordarter i Uppland. Enheten för alla korrigeringsfaktorer är meter.

År	Tärnsjö_20	Tärnsjö_2	Sala	Uppland	Tärnsjö_32
	Grus	Sand	Sand	Friktionsjord	Morän
1972	-0,06	-0,14	-0,19	-0,13	
1973	-0,05	-0,15	-0,28	-0,16	
1974	-0,19	-0,22	-0,20	-0,20	
1975	0,01	-0,01	0,02	0,01	
1976	-0,30	-0,39	-0,46	-0,38	
1977	-0,11	0,12	0,01	0,00	
1978	0,27	0,24	0,15	0,22	
1979	0,14	0,08	-0,15	0,02	
1980	0,25	0,15	-0,08	0,11	
1981	0,56	0,57	0,25	0,46	
1982	0,76	0,75	0,33	0,61	
1983	0,54	0,42	0,29	0,42	
1984	0,30	0,22	0,23	0,25	
1985	0,47	0,52	0,33	0,44	
1986	0,45	0,53	0,26	0,42	
1987	0,53	0,50	0,11	0,38	
1988	0,43	0,32	0,25	0,33	0,02
1989	0,11	-0,17	-0,03	-0,03	-0,24
1990	-0,15	-0,40	-0,24	-0,26	-0,22
1991	-0,22	-0,38	-0,21	-0,27	0,06
1992	-0,40	-0,51	-0,23	-0,38	-0,01
1993	-0,32	-0,41	-0,22	-0,32	0,05
1994	-0,51	-0,39	-0,13	-0,34	0,07

1995	-0,32	-0,16	0,01	-0,16	-0,16
1996	-0,52	-0,49	-0,39	-0,47	-0,65
1997	-0,51	-0,39	-0,15	-0,35	0,02
1998	-0,29	-0,08	0,18	-0,06	0,58
1999	0,15	0,30	0,32	0,26	-0,11
2000	0,01	0,04	0,17	0,08	0,30
2001	0,22	0,33	0,44	0,33	0,04
2002	0,22	0,35	0,21	0,26	-0,06
2003	-0,10	-0,03	-0,18	-0,10	-0,18
2004	-0,19	-0,14	-0,07	-0,13	-0,04
2005	-0,27	-0,29	0,01	-0,18	0,20
2006	-0,33	-0,19	-0,05	-0,19	0,05
2007	-0,10	0,00	0,18	0,03	-0,15
2008	-0,08	-0,06	0,19	0,02	0,12
2009	0,15	0,18	0,14	0,16	0,31
2010	0,20	0,18	0,08	0,15	
2011	-0,10	-0,12	-0,21	-0,14	
2012	-0,21	-0,12	-0,03	-0,12	
2013	-0,10	-0,03	0,02	-0,04	
2014	-0,03	-0,10	-0,17	-0,10	
2015			-0,19	-0,19	
2016	-0,33	-0,44	-0,30	-0,36	
