



GRUNDTVATTENBILDNING I ALNARPSSTRÖMMEN

Numerisk modellering av grundvattenbildning och
akvifersförhållanden

Tobias Erlström

EXAMENSARBETE 30HP

ISRN LUTVDG(TVTG-5172)/1-63/(2022)

TEKNISK GEOLOGI

Lunds tekniska högskola

Lunds universitet



Grundvattenbildning i Alnarpsströmmen

Numerisk modellering av grundvattenbildning och
akvifersförhållanden

Tobias Erlström



LUND
UNIVERSITY

EXAMENSARBETE

utfört vid avdelningen för Teknisk geologi för fullföljande av kraven för Civilingenjörsexamen
i Ekosystemteknik vid Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.

Lund 2022

Omslagsbild: Trädallé utanför Alnarp. Foto: Erlström, Daniel

Lunds universitet, Lunds tekniska högskola

Avdelningen för Teknisk geologi

Grundvattenbildning i Alnarpsströmmen. Numerisk modellering av grundvattenbildning och akvifersförhållanden.

Groundwater recharge in Alnarpsströmmen. Numerical modeling of groundwater recharge and aquifer conditions.

Författare: Erlström, Tobias

Handledare: Barmen, Gerhard (Teknisk geologi, LTH); Mendoza, Alfredo (Teknisk geologi, LTH); Rosberg, Jan-Erik (Teknisk geologi LTH)

Examinator: Rydén, Nils (Teknisk geologi, LTH)

ISRN LUTVDG(TVTG-5171)/1-62/(2021)

Sökord: Alnarpsströmmen, effektiv nederbörd, Grevie vattentäkt, grundvattenbildning, grundvattenmodell, MODFLOW, SKYTEM.

Keywords: Alnarpsströmmen, effective precipitation, Grevie vattentäkt, groundwater recharge, groundwater model, MODFLOW, SKYTEM.

Språk: Svenska

Digital utgåva Lund 2022

Sammanfattning

I Sverige är grundvatten en av de huvudsakliga källorna för dricksvatten. Grundvattenmagasin kommer att påverkas av klimatförändringar genom förändrad effektiv nederbörd och således grundvattenbildning. Dessa vattenresurser ska finnas kvar för framtida generationer och det är därför av vikt att studera dem samt öka förståelsen kring dem. Sveriges miljömål kring grundvatten nämner ett behov av att ta fram lokala modeller för akviferer, och simulera flöden samt hur akviferen påverkas av klimatförändringar. Den här studien har undersökt akviferen Alnarpsströmmen i sydvästra Skåne. Alnarpsströmmen har studerats grundligt genom åren, men på senare tid har nya data, i form av både borrprotokoll och geofysiska data, tagits fram. Syftet med den här studien är att använda den nya datan för att undersöka om det går att ta fram en alternativ tolkning på var grundvattenbildning till Alnarpsströmmen kan ske och dess storlek. Vattenbalansen har också studerats för olika scenarier, genom att variera effektiv nederbörd och/eller uttag från akviferen. De olika scenarierna simuleras genom skapandet av en grundvattenflödesmodell i MODFLOW GMS v10.5. Resultatet indikerar att områden med en ungefärlig diameter på 5 kilometer sydost om Löddeköpinge samt söder om Staffanstorp är områden där grundvattenbildning skulle kunna ske. Området sydost om Löddeköpinge är inte detaljerat beskrivet i tidigare litteratur, vilket området söder om Staffanstorp är. Resultatet från simuleringen av olika scenarier visade på att en minskad effektiv nederbörd sänker grundvattennivån i stora delar av området, men med minst effekt i områden som angränsar till havet. Ökade uttag visade också på en avsänkning i stora delar av undersökningsområdet, förutom i den nordvästra delen, och med störst avsänkning kring Grevie vattentäkt. Kombinationen av minskad effektiv nederbörd och ökade uttag förhöjde avsänkningen av grundvattennivån. Resultaten i den här studien bygger på ett antal osäkerheter, antaganden och förenklingar gällande till exempel gränserna i modellen, plats och storlek av uttag och värden för framtida scenarier. Utöver detta är det även en del förenklingar som gjorts för att få modellen att konvergera, som ytterligare bidrar med osäkerheter i resultatet. Därför bör resultatet från den här modellen ses som en tolkning av grundvattensituationen i Alnarpsströmmen som kan indikera områden där grundvattenbildning skulle kunna ske. För framtida modelleringsstudier kring Alnarpsströmmen så behövs fler hydrogeologiska undersökningar utföras, de områden som i tidigare studier samt den här rapporten pekats ut som intressanta bör utredas ytterligare.

Abstract

In Sweden groundwater is one of the primary sources for drinking water. Groundwater reservoirs will be affected by climate changes with changes in effective precipitation, which means changes in groundwater recharge. It is therefore of value to study and examine these water resources, so that they remain just that for the generations to come. Sweden's environmental goals regarding groundwater suggest having more local models that can simulate an aquifer and its response to climate change. In this study the aquifer Alnarpsströmmen located in southwestern Skåne, is studied. The aquifer has been thoroughly investigated over the years, but in recent times new data, both from drilled wells and geophysical data has been produced. The purpose of this study is to utilise this new data, to see if an alternative interpretation of where groundwater recharge to the Alnarpsströmmen could occur, and its magnitude. The water balance of the aquifer is also studied by varying effective precipitation and/or withdrawals in the study area. This is performed by creating a numerical groundwater flow model in MODFLOW GMS v10.5. The results indicated that areas that are roughly 5 kilometers in diameter southeast of Löddeköpinge and south of Staffanstorp could be locations where ground water recharge can occur, the exact magnitude is difficult to estimate with the model that was constructed. The area south of Staffanstorp, marked in this model are also viewed as plausible groundwater recharge locations in previous studies, but the location southeast of Löddeköpinge is not described in many of the previous studies. Results from different scenarios showed that a decreased effective precipitation lowers the head of the aquifer, mostly in the areas that don't border to the sea Öresund. The increased withdrawal scenarios also showed a decrease in head, that was most prominent around Grevie watsource and had small impact in the northwestern part of the study area. From the results a decreased effective precipitation lowers the groundwater level, as it does when the withdrawal is increased. The combination of increased withdrawal and decreased effective precipitation enhances the lowering of the groundwater level. However, the result in this study is based upon several uncertainties, simplifications and assumptions regarding for instance boundaries in the model, location and magnitude of withdrawal, and values for future scenarios. There is also a lot of simplifications made to enable the simulation to run, that provides the results with further uncertainty. Thus, the results in this model should be seen as an interpretation of the groundwater system in Alnarpsströmmen and could indicate areas where groundwater recharge could occur. For future modelling work with Alnarpsströmmen, more hydrogeological investigations need to be performed and areas of interest shown in previous as well as this study need to be further analysed.

Förord

Detta arbete avslutar mina femåriga studier på Civilingenjörsutbildningen i Ekosystemteknik vid Lunds tekniska högskola. Examensarbetet motsvarar studier motsvarande 30 högskolepoäng och har utförts under våren 2022. Arbetet har utförts vid Avdelningen för Teknisk geologi, Lunds tekniska högskola.

Först av allt vill jag rikta ett stort tack till mina tre handledare Gerhard Barmen, Alfredo Mendoza och Jan-Erik Rosberg för allt stöd under arbetets gång samt för att alltid vara tillgängliga och behjälpliga med frågor. Vill också tacka för alla de givande diskussioner kring modelleringen, som inte nödvändigtvis alltid mynnat ut i tydliga svar, men som onekligen har lett arbetet framåt.

Jag vill även tacka alla mina vänner och studiekamrater som berikat mina år på LTH, och varit outhärliga för slutförandet av mina studier. Tack för tidiga morgnar på Kemicentrum och för stöd, tips och sällskap som jag fått under utförandet av detta examensarbete.

Slutligen, vill jag tacka Monica Andersson och Daniel Erlström för att de tagit sig tid och korrekturläst mitt arbete och för att de alltid funnits där som stöd.

Lund, juni 2022

Tobias Erlström

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Syfte	3
1.2	Avgränsningar	4
2	Bakgrund	5
2.1	Alnarpsdalens geologi	5
2.2	Hydrogeologiska förhållanden i Alnarpsströmmen	7
2.2.1	Hydraulisk konduktivitet	7
2.3	Grundvattenbildning	8
2.3.1	Grundvattenbildning i framtida klimat	9
2.4	Markanvändning i undersökningsområdet	10
2.5	Uttag från Alnarpsströmmen	11
2.6	MODFLOW GMS v10.5	12
3	Metod	13
3.1	Använda data	13
3.1.1	SKYTEM undersökningar	14
3.2	Databehandling av brunnsprotokoll	15
3.3	Geologisk konceptuell modell	16
3.3.1	Tvärsektioner av Alnarpsströmmen	17
3.4	Uppbyggnad av MODFLOW-modell	20
3.4.1	Avgränsningarna i modellen	21
3.4.2	Hydraulisk konduktivitet	22
3.4.3	Simulerade uttag	23
3.4.4	Simulerad effektiv nederbörd	25
3.5	Modellkalibrering	26
3.6	Modellverifiering	28
3.7	Känslighetsanalys	29

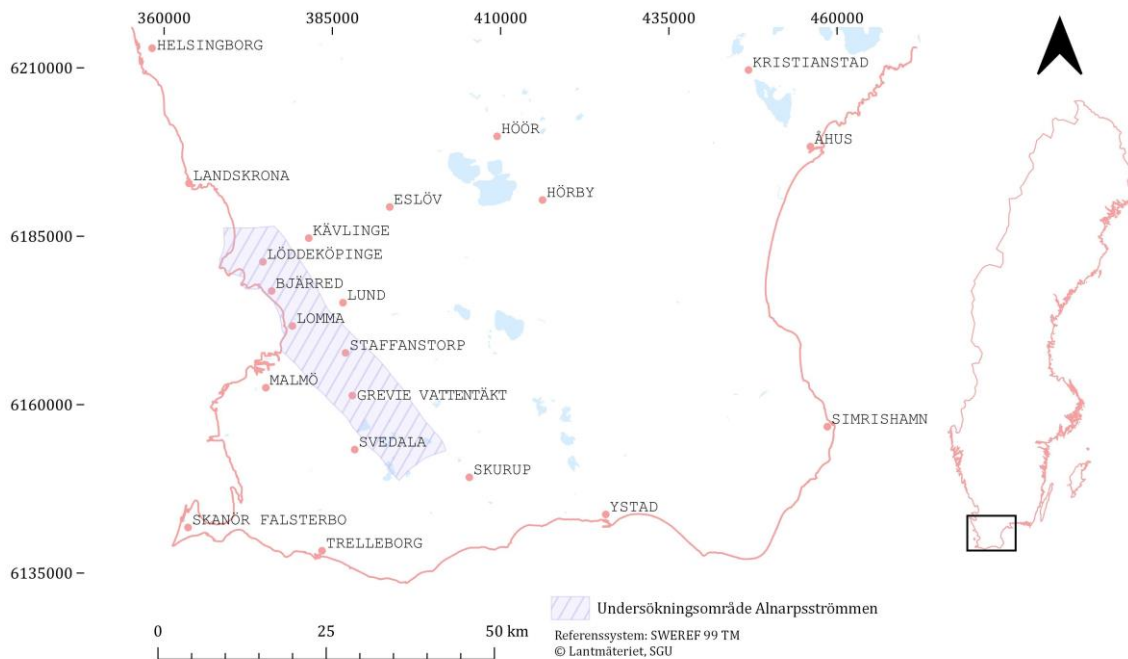
4	Resultat	30
4.1	Kalibrering	30
4.2	Verifiering	31
4.3	Känslighetsanalys	32
4.4	Grundvattenbildning	33
4.5	Simulerade flöden och nivåer	35
4.6	Simulerade scenarier	36
4.6.1	Minskad effektiv nederbörd	37
4.6.2	Ökade uttag	40
4.6.3	Ökade uttag samt minskad effektiv nederbörd	41
5	Diskussion	43
5.1	Grundvattenbildning	43
5.2	Simulerade scenarier	44
5.2.1	Minskad effektiv nederbörd	44
5.2.2	Ökade uttag	44
5.2.3	Ökade uttag samt minskad effektiv nederbörd	45
5.2.4	Osäkerheter i de simulerade scenarierna	45
5.3	Utvärdering av modellen	46
5.3.1	Osäkerheter i uppbyggnad av modell	46
5.3.2	Modellens validitet	47
6	Slutsatser	48
7	Framtida studier	49
8	Referenser	51
	Bilagor	54

1 Inledning

I Sverige idag används främst grundvatten och ytvatten för dricksvattenförsörjning och dessa viktiga vattenresurser kommer att påverkas av klimatförändringarna genom förändringar i nederbörd och avdunstning i framtiden. Vattenresurserna behövs utredas och undersökas för att skydda och se till att de förser oss med vatten av god kvalitet även för framtida generationer. Det är detta som Förenta nationernas hållbarhetsmål 6 handlar om. I detta hållbarhetsmål nummer 6 är det preciserat att alla ska ha allmän och rättvis tillgång till säkert och ekonomiskt överkomligt dricksvatten. Hållbarhetsmål 6 ska vara uppfyllt år 2030, vilket innebär att fler undersökningar och resurser behövs för att uppfylla detta mål både nationellt och internationellt (United Nations, u.å.).

Sveriges har också sina egna miljömål, där ett av målen är att ha grundvatten av god kvalitet. Beskrivet i det miljömålet finns flera preciseringar som förenklat handlar om grundvattnets kvalitet, grundvattennivåer och att skydda naturliga grusavlagringar. Målet att ha grundvatten av god kvalitet uppfylls inte i dagsläget och lär heller inte uppfyllas med de insatser i form av åtgärder och styrmedel som finns för närvarande (Lång m. fl., 2019). Att undersöka och öka informationen kring grundvattennivåer och dess variation anses vara viktigt för att uppnå detta mål. En del förslag för att uppnå miljömålet som föreslås är att ta fram planer för vattenskyddsområden och vattenförsörjningsplaner. Det är också nödvändigt att grundvatten samt naturliga grusavlagringar blir mer inkluderade i samhällsplaneringen där naturliga grusavlagringar ska behandlas som dricksvattenreserver. Även fler vattenbalansberäkningar där effekter av klimatförändringar är inkluderade behövs göras (Lång m. fl., 2019). Vattenbalansen är av intresse för att få en god förståelse för flödena i akviferen vilket ligger till grund för att uppnå målen om att ha grundvatten av god kvalitet. Ett av de stora flödena som sker i en akvifer är antropogena uttag. Den volym vatten som kan tas ut från ett magasin på lång sikt beror på grundvattenbildningens storlek. Uttagen från akviferen skall dock inte vara i samma proportion som grundvattenbildningen. Uttagen ska i stället bestämmas efter att noggranna undersökningar gjorts, som att dokumentera grundvattennivåer och uttag samt påverkan på markstabilitet och närliggande ytvatten (Eveborn m. fl., 2017). Att modellera grundvattenbildningen kan således ge en bild av hur stora uttag som är möjliga från en akvifer.

Dricksvattenförsörjningen i Skåne är idag och på lång sikt säkrad genom vatten från sjön Bolmen i Småland (Sydvatten, u.å.). De kommuner som idag inte får sitt vatten från Bolmen eller Vombsjön tar merparten av sitt vatten från grundvattentäkter. En av dessa grundvattentäkter är Alnarpsströmmen som är en av de största grundvattentäkterna i Skåne och är klassad av Länsstyrelsen i Skåne som en viktig vattenresurs (Länsstyrelsen i Skåne län (red), 2012). Alnarpsströmmen är en del av Alnarpsdalen som är namnet på den sänka i berggrunden som är fylld med jordarter som sträcker sig från Polen till Danmark och vidare ut i Nordsjön. Alnarpsströmmen sträcker sig från en grundvattendelare mellan Svedala och Skurup i sydost till havet förbi Löddeköpinge i nordväst och dess geografiska utbredning går att se i Figur 1.1.



Figur 1.1 Översiktskarta över området med Alnarpsströmmens geografiska utbredning enligt Sveriges geologiska undersökning (Gustafsson m. fl., 2005). Greve vattentäkts ungefärliga placering är också markerad.

Isälvsedimenten längst ner i sänkan benämns som Alnarpsedimenten och består till största delen av finsand, sand och grus. Alnarpsdalen delas genom en grundvattendelare i höjd med Svedala in i två delakviferer, Alnarpsströmmen i nordväst och Skivarpsströmmen i sydost. Alnarpsströmmen är cirka 6 – 10 kilometer bred (Gustafsson m. fl., 2005). Det är ett område med komplex geologi där lager av morän och isälvsediment varvas. Större delen är täckt av morän men på sina ställen finns det så kallade fönster, med en större andel grovkorniga material, där möjligheten för vatten att infiltrera ner till Alnarpsedimenten finns. Alnarpsströmmen har utretts utförligt genom Sydvästskånes grundvattenkommittés arbete och flera rapporter har producerats om akviferen (Brinck & Leander, 1981). Under de senaste åren har det utförts en hel del borrhningar främst mellan Malmö och Lund. Borrhningar och geologiska undersökningar som är dels gjorda i samband med projektet för ett fyrspår mellan Malmö och Lund (Irminger Street, 2016; Urberg, 2017) av Trafikverket, samt vid undersökningar för Sjölundatunneln (GEO., 2021a, 2021b). Utöver det har Sveriges geologiska undersökning (SGU) 2019 utfört ett SKYTEM-projekt och gjort resistivitetsmätningar i den sydöstra delen av Alnarpsströmmen (Brolin, 2021). Det nya underlaget som har tagits fram är av intresse för att om möjligt ge en ny tolkning av var ovan nämnda fönster är lokaliserade. Alnarpsströmmen innehåller också Greve vattentäkt, markerad i Figur 1.1, som förser delar av Malmö med vatten och här utreds nu möjligheterna till utökade uttag ifrån denna täkt (Gren m. fl., 2021). Att därmed undersöka Alnarpsströmmen och basera en grundvattenflödesmodell på det nya underlaget är av betydelse för att öka kunskapen kring grundvattensituationen i Alnarpsströmmen.

Grundvattenbildning beror till stor del av faktorer som geologiska förhållanden, markanvändning, topografi och vegetation. I Skåne och även i resten av Sverige ser man att klimatförändringarna påverkar grundvattennivåerna och en generell trend är att

grundvattennivåerna har sjunkit, främst för de ytliga och mindre magasinen. Detta är också en trend som förväntas hålla i sig, enligt olika framtida klimatscenarier (Vikberg m. fl., 2015). Oavsett vilket framtida klimatscenario som studeras så indikerar samtliga att följderna blir ökad lufttemperatur samt ökad årsnederbörd. Hur grundvattenbildningen och grundvattnet påverkas av ett förändrat klimat är däremot svårt att förutse. De hydrologiska modeller som finns omfattar oftast stora regionala områden och de behövs skalas ner till mer lokala modeller som kan simulera hur grundvattnet lokalt påverkas av klimatförändringar. Svårigheterna med att förutse vilka effekter ett förändrat klimat har på grundvattnet beror även på de osäkerheter som oftast återfinns i indata (Taylor m. fl., 2013).

Slutligen kan man sammanfatta att nyttan av och intresset för en grundvattenmodell med tillhörande vattenbalans rörande Alnarpsströmmen är stort, dels för att uppnå Sveriges miljömål, dels för att fylla behovet av en mer lokal modell och dels av intresse för framtida uttagsmöjligheter ifrån akviferen. Dessa nämnda punkter stödjer syftet och det generella målet för rapporten och de frågeställningar som denna rapport behandlar.

1.1 Syfte

Det övergripande målet med det här examensarbetet är, att med hjälp av numerisk grundvattenflödesmodellering studera alternativa tolkningar av befintligt dataunderlag gällande grundvattenbildningens rumsliga fördelning i Alnarpsströmmen. I detta övergripande mål ligger att ändra ingående parametrar, så som nederbörd, avdunstning och uttag utifrån möjliga framtida scenarier, och numeriskt modellera påverkan av de givna ändringarna på vattenbalansen i akviferen som Alnarps sedimenten utgör.

Följande frågeställningar kommer att behandlas i examensarbetet och ses som en mer detaljerad beskrivning av det övergripande målet.

- Går det via numerisk grundvattenflödemodellering att ge en ny tolkning av var grundvattenbildning sker i Alnarpsströmmen?
- Hur påverkar värden på ingående parametrar i vattenbalansstudier resultatet av modellberäkningar?

Inom grundvattenflödesmodellen kommer främst de hydrauliska konduktiviteterna att kalibreras, men även randvillkor i modellen samt grundvattenbildningen. Detta i syfte att efterlikna verkliga årsmedelgrundvattennivåer. Resultatet kommer förhoppningsvis att ge en bild av grundvattenbildningen ner till Alnarps sedimenten, både dess plats och storlek. De ingående parametrarna så som effektiv nederbörd och uttag kommer att varieras till troliga framtida värden utifrån klimatscenario RCP 4.5, som är ett intermediärt klimatscenario av de "Representative Concentration Pathways" som IPCC använder i sina rapporter. RCP 4,5 baseras på en stringent klimatpolitik där koldioxidutsläppen kulminerar kring år 2040, för att sedan stabiliseras (SMHI, 2021). Resultaten från modellen kommer sedan att användas för att analysera hur vattenbalansen och flöden påverkas av just de här parameterändringarna.

1.2 Avgränsningar

Undersökningen omfattar endast det område som definieras som Alnarpsströmmen enligt (Gustafsson m. fl., 2005) samt en 2 kilometer bred remsa i sydväst och nordost om Alnarpsströmmen. Undersökningsområdet är markerat i Figur 1.1. Skivarpsströmmen hanteras inte i denna rapport, eftersom merparten av det nya underlaget i form av brunnsprotokoll och mätningar av grundvattennivån återfinns i Alnarpsströmmen. Alnarpsströmmen har även valts då den är av större intresse sett ur vattenresursperspektiv. Avgränsningen är lämplig för att få en mer lokal och detaljerad modell. Rapporten kommer att fokusera på de hydrogeologiska aspekterna av området och detaljerade geologiska beskrivningar kommer därmed inte att genomföras. Modellen kommer även bara att hantera årsmedelvärden och analys av årstidsvariationer för grundvattenbildningen kommer inte att inkluderas i denna rapport. Till sist kommer grundvattenkvalitet inte behandlas i denna rapport utan kvantitet av grundvatten kommer vara i fokus och modellen kommer bara hantera nivåer och flöden av grundvatten.

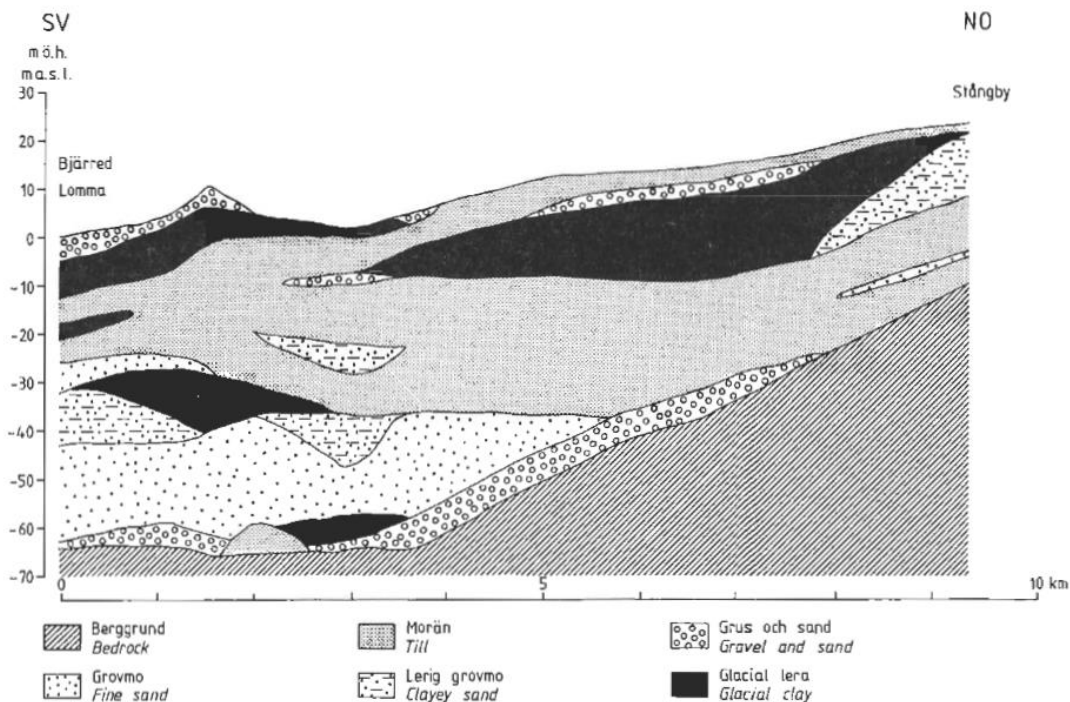
2 Bakgrund

2.1 Alnarpsdalens geologi

Alnarpsdalen är en sänka i den sedimentära berggrunden i sydvästra Skåne som är fylld med kvartära avlagringar som gör att den inte syns topografiskt. Alnarpsdalen antas vara skapad genom tektoniska rörelser, vilket förkastningar som återfinns i närområdet tyder på. Sänkan uppskattas ha uppkommit under trias, det vill säga för 200 – 250 miljoner år sedan (Gustafsson, 1978). Under den senaste istiden, under perioden då området inte var istäckt, har en isälvsflod i sänkan avsatt grövre sediment som benämns Alnarps sedimenten.

Alnarps sedimenten har en mäktighet på runt 25 – 35 m (Brinck m. fl., 1969). I botten av Alnarps sedimenten återfinns oftast grövre sediment i form av sand eller grus som även ses som den mest vattenförande delen och är därmed av störst intresse ur ett vattenresursperspektiv (Gustafsson m. fl., 2005). Jordlagerföljden övergår från de grövre sedimenten närmast berggrunden till finkornigare sediment i form av finsand till silt eller sedimentär lera på sina platser. Finsanden som utgör huvuddelen av Alnarps sedimenten är i allmänhet mycket välsorterad och består nästan uteslutande av kvarts med låg kalkhalt (Ringberg, 1987).

Alnarps sedimenten återfinns genom hela dalen och är överlagrade av antingen finkorniga sediment, lerig morän eller moränlera. Jordartsföljden som överlagrar Alnarps sedimenten är komplex och det förekommer flera olika moränbäddar som kan förklaras av växlande förhållanden av isströmmarna. Isströmmarna har under den senaste istiden (Weichsel) kommit i nordliga, sydliga samt östliga riktningar och förorsakat att det i sydvästra Skåne ofta återfinns komplexa lagerföljder (Gustafsson m. fl., 2005; Ringberg, 1980). Det återfinns bland annat upp till fyra olika moränbäddar på sina platser i Alnarpsdalen (Ringberg, 1987). Av dessa moränbäddar finns det två som genomgående överlagrar Alnarps sedimenten och som består av hårt packad moränlera och anses som mycket täta (Brinck m. fl., 1969). I moränbäddarna kan det även återfinnas en del grus och sandlager, som inte är kontinuerliga genom sänkan (Ringberg, 1987). I de djupare delarna av Alnarpsdalen, i området kring Svedala, kan det även finnas äldre moränlager som ligger mellan Alnarps sedimenten och den sedimentära berggrunden (Larsson, 2000).



Figur 2.1 Tvärsnitt av Alnarpsdalen dragen mellan Bjärred och Stångby. Baserad på brunnborringar som gjorts i området. © Sveriges geologiska undersökning (Ringberg, 1987).

En tvärsnitt över den nordvästra delen av Alnarpsdalen ses i Figur 2.1 där den komplexa lagerföljden går att urskilja och där man ser de mer grovkorniga sedimenten längst ner i dalen som överlagras av morän och lerlager med linser av sand (Ringberg, 1987). Jordarterna som överlagras Alnarps sedimenten är oftast beskrivna som lerig morän samt moränlera. Moränleran är normalt mycket månggraderad och tätt lagrad. Moränbäddarna som överlagras Alnarps sedimenten skiljer sig markant mellan varandra både gällande komposition och mäktighet vilket är ett resultat av de komplexa isrörelser som tog plats i området. I norra delen av området är jordlagerföljden mer regelbunden med två genomgående moränbäddar medan den sydöstra delen är mer komplex med fler lager. Näst intill genomgående genom Alnarpsströmmens utbredning går det att urskilja två moräner: en ytlig som beskrivs som lerig och sandig morän samt en djupare morän som är sandigare och beskrivs till och med ibland som grusig (Ringberg, 1980). Den sedimentära leran anses vara mycket tät. På särskilda platser kan mäktigheten övergå 20 meter och därmed finns ytterligare skäl att se den som en impermeabel enhet (Larsson, 2000).

Jorddjupet är som störst i den sydöstra delen av undersökningsområdet, där grundvattendelaren mellan Alnarpsströmmen och Skivarsströmmen är belägen (Brinck m. fl., 1969). Här är jorddjupet mellan 120 och 130 m, medan i den nordvästra delen är jorddjupet cirka 60 till 80 m. Jorddjupen utanför sänkan är betydligt mindre och sydväst om Alnarpsdalen minskar jorddjupen från kring 60 m till 20 m vid randen i höjd med nordöstra Malmö. En liknande men brantare minskning sker i nordöst där djupet går från 60 meter till 20 meter vid den sydvästra slutningen av Romeleåsen (Ringberg, 1980).

Berggrunden som återfinns i sydvästra Skåne är från övre krita perioden där bergarten är skrivkrita. Den har en mäktighet som uppgår till 400 meter och anses som förhållandevis

tät. I och omkring Alnarpsdalen återfinns även en övre bergart av dankalksten som uppkom från den paleozoiska eran (Sparrenbom & Jeppsson, 2022). De ytligare lagerna av dankalkstenen är mer uppspruckna och vittrade än de djupare lagren. Det leder till att den ytliga kalkstensberggrunden som till exempel begränsar Alnarpsdalen i sydväst och nordöst sannolikt har en högre hydraulisk konduktivitet än den underliggande berggrunden som begränsar Alnarpsströmmen på djupet (Johansson m. fl., u.å.).

2.2 Hydrogeologiska förhållanden i Alnarpsströmmen

Alnarps sedimenten utgör den största delen av de vattenförande materialen i Alnarpsdalen. De icke kontinuerliga lagerna av grus och sand kan utgöra grundvattentillgångar för enskilda brunnar men ses inte som större vattentillgångar. De ovanliggande finkorniga silt- och finsandlagren har begränsade men inte obefintliga vattenförande egenskaper, men ses i jämförelse med Alnarps sedimenten inte som den huvudsakliga akviferen. De uppspruckna ytliga lagerna av kalksten har även vattenförande egenskaper och är i kontakt med Alnarps sedimenten. Den huvudsakliga strömningsriktningen för Alnarpsströmmen är i nordvästlig riktning från grundvattendelaren i sydost (Gustafsson m. fl., 2005). Det strömmar också vatten från Romeleåsen i en sydvästlig riktning men detta flöde är avsevärt mindre i storlek än den huvudsakliga nordvästliga strömmen. På grund av uttagen ifrån Grevie vattentäkt är det områdets grundvattenyta avsänkt och här strömmar vatten i alla riktningar mot detta område (Trafikverket, 2010). De överlagrande morän- och lerlagren är täta och ses som icke permeabla. Däremot på de ställen där det finns ytliga isälvs sediment finns möjlighet för perkolation (Brinck m. fl., 1969; Johansson m. fl., u.å.).

2.2.1 Hydraulisk konduktivitet

Litteraturvärden för hydraulisk konduktivitet är presenterade i Tabell 2.1 för de material som återfinns i en typisk lagerföljd i Alnarpsdalen. Den hydrauliska konduktiviteten är ett mått på hur materialet kan leda vatten. Den hydrauliska konduktiviteten beror på fördelning och uppbyggnad av porsystemet samt av vattenhalten i jorden. Den beror även andelen finmaterial som kan fylla porutrymmet eftersom finmaterial oftast har en låg hydraulisk konduktivitet. Under mättade förhållanden är den hydrauliska konduktiviteten större än under omättade (Espeby & Gustafsson, 1998). I berggrunden är grundvattenflödet och därmed även den hydrauliska konduktiviteten mycket heterogent, då det primära flödet sker i sprickorna (Sparrenbom & Jeppsson, 2022). Hur flöde och den hydrauliska konduktivitet hör ihop går att se i Darcy's ekvation (Ekvation 2.1), som vanligen används för att beräkna grundvattenflöden.

$$Q = -KA \frac{dh}{dl} \quad (\text{Ekv. 2.1})$$

Q är flödet, K är den hydrauliska konduktiviteten för materialet, A är tvärsnittsarean, $\frac{dh}{dl}$ är den hydrauliska gradienten. Den hydrauliska konduktiviteten är därmed starkt kopplat till flödet, i detta fall grundvattenflödet (Fetter, 2014). Den hydrauliska konduktiviteten brukar delas in i två komponenter, en vertikal konduktivitet (K_v) och en horisontell konduktivitet (K_h). För moräner är den vertikala hydrauliska konduktiviteten typiskt två till fyra gånger mindre än den horisontella (Sparrenbom & Jeppsson, 2022). Den vertikala

hydrauliska konduktiviteten för finkorniga material är vanligtvis en tiopotens mindre än den horisontella hydrauliska konduktiviteten (Johansson m. fl., u.å.).

Tabell 2.1 Intervall för hydraulisk konduktivitet (K) i m/s för material som återfinns i Alnarpsdalen. Värden för jordarterna är karakteristiska värden (Espeby & Gustafsson, 1998). Värdet för kalksten är taget från brunnar i området i sydvästra Skåne och där Alnarpsdalen återfinns (Hjerne m. fl., 2021).

Material	K (m/s)
Fingrus	$10^{-1} - 10^{-3}$
Grovsand	$10^{-2} - 10^{-4}$
Mellansand	$10^{-3} - 10^{-5}$
Grovsilt	$10^{-5} - 10^{-7}$
Kalksten (Paleocen)	$10^{-4.5} - 10^{-5.5}$
Lerig morän	$10^{-8} - 10^{-11}$
Lera	$<10^{-9}$

Utöver de litteraturvärden som finns i Tabell 2.1, så har även en hel del transmissivitetmätningar gjorts genom brunnar i stora delar av Alnarpsdalen. Ett urval av dem gjorda i Skurup och andra i närheten av Grevie vattentäkt och beskrivs i följande text. Genom att dividera transmissivitet med den vattenförande mäktigheten så fås den hydrauliska konduktiviteten. I de hydrauliska undersökningarna i Skurup låg transmissiviteten kring $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ och med mäktigheten av det vattenförande materialet i borrprotokollet på 53 meter så ger det en hydraulisk konduktivitet på $6,3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ (VIAK AB, 1984). Undersökningar har även gjorts i Grevie vattentäkt där siktanalys har gjorts på de mer grovkorniga materialen på cirka 60 – 69 meters djup. Utifrån siktanalysen har sedan den hydrauliska konduktiviteten beräknats genom Hazens formel. Då fås en hydraulisk konduktivitet kring $10^{-3} - 10^{-4} \text{ m/s}$, men på vissa djup ger siktanalyser värden på hydraulisk konduktivitet av storleken $10^{-1} - 10^{-2} \text{ m/s}$ (Ekvy Hansen, 2020).

I Lomma har även transmissivitet och hydraulisk konduktivitet bestämts för jordlagerna som befinner sig i den nordvästra delen av Alnarpsströmmen. Undersökningarna ger hydrauliska värden på Alnarps sedimenten som de benämner som finsand, kring $5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$. De har även gjort provpumpningar i kalkberggrunden som finns i området och ger hydraulisk konduktivitet kring $3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ (Åkesson, 2008).

I Alnarpsströmmen beskrivs de olika moränerna oftast som lerig morän eller moränlera, även om det på sina ställen i Alnarpsströmmen finns lager och områden med sandig morän (Ringberg, 1987). Moränlagerna i området kan därför ses som i princip impermeabla med en hydraulisk konduktivitet som är mycket låg, vilket även går att se i Tabell 2.1 där lerig morän har en liknande hydraulisk konduktivitet som lera. Lera ses i regel som en impermeabel geologisk enhet.

2.3 Grundvattenbildning

Här beskrivs hur grundvattenbildningen beror på geologiska och topografiska förutsättningar. Hur den beror på temperatur, nederbörd och klimatförändringar beskrivs i avsnittet 2.3.1.

Grundvattenbildning beror på en hel del förutsättningar för att det ska kunna inträffa. Områdets geologi och framför allt de ovanliggande lagren påverkar infiltration och perkolation ner till grundvattenmagasinet. Områden med mycket lermorän och lera ger i regel små möjligheter till infiltration. Områden med ovanliggande silt, sand eller gruslager kan däremot ge upphov till goda möjligheter för grundvattenbildning. En förutsättning för att grundvattenbildning ska ske är dock att fältkapaciteten överskrids innan vattnet kan perkolera ner i djupare jordlager (Rodhe m. fl., 2006). I det fall det är ytlig berggrund som återfinns i ett område, så är dess förmåga till grundvattenbildning direkt beroende av berggrundens sekundära porositet, det vill säga hur pass uppsprucken och vittrad den är (Eveborn m. fl., 2017). Ytterligare en viktig aspekt för att grundvattenbildning ska ske är att den övre grundvattenytan är högre än den undre trycknivån, annars kommer inte infiltration ske ner till grundvattenmagasinet. I Alnarpsströmmen ser man att grundvattenbildningen i huvudsak sker där det är ett större avstånd mellan markyta och grundvattennivå. Topografin och därmed markytans lutning har en stor påverkan på grundvattenbildningen och de platserna som är lokaliserade där man uppskattar att grundvattenbildning sker till Alnarpsströmmen är backlandskap samt de nordvästra delarna av Alnarpsströmmen (Gustafsson, 1978). Man har även i tidigare studier påvisat att det är i de områden som är rikare på grövre sediment som det sannolikt sker grundvattenbildning (Johansson m. fl., u.å.).

2.3.1 Grundvattenbildning i framtida klimat

Studier (Rodhe m. fl., 2009; Vikberg m. fl., 2015) har modellerat hur grundvattennivåer påverkas i ett förändrat klimat. I modeller har en ökad temperatur och nederbörd använts för klimatscenario RCP 4.5. RCP 4.5 baseras på en kraftfull klimatpolitik där utsläpp kulminerar kring år 2040 för att sedan minska. I södra Sverige lär årsvariationen på grundvattennivån öka, där sommarens grundvattennivåer kommer minska eller förbli oförändrade medan under vintern kommer grundvattennivåerna stiga. Årsmedelnivån för grundvattnet i sydöstra delen av Sverige förväntas minska till följd av klimatförändringarna (Rodhe m. fl., 2009; Vikberg m. fl., 2015).

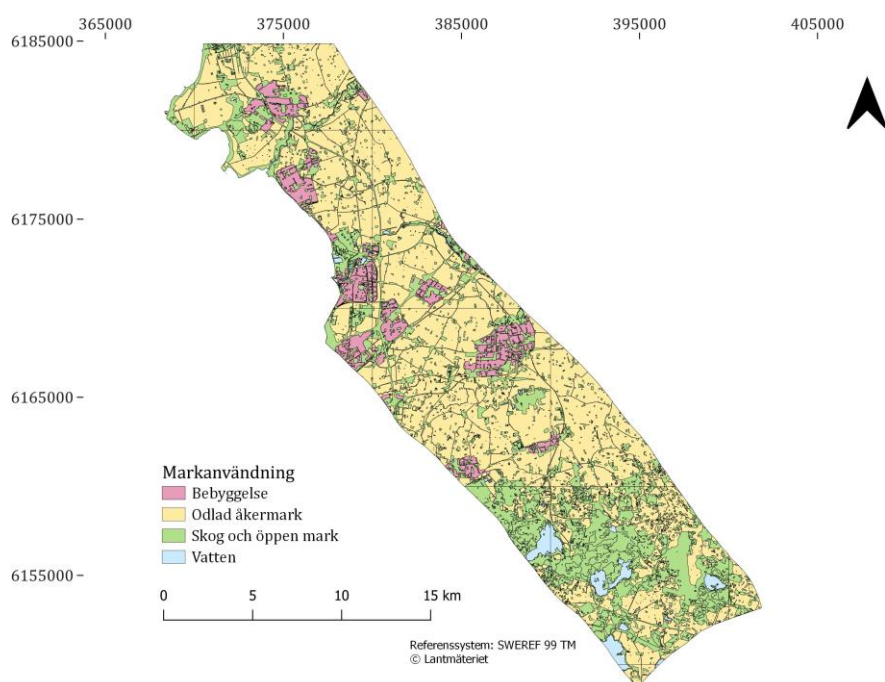
Avdunstningen och transpirationen, ofta behandlade som en term evapotranspiration, tillsammans med nederbörden är de faktorer som har störst påverkan på grundvattenbildningen. (Eveborn m. fl., 2017). Årsnederbörden i Sydvästra Skåne och därmed i undersökningsområdet Alnarpsdalen har sedan år 2000 varit inom intervallet 400 – 700 mm per år. De senaste åren har årsnederbörden legat runt 600 mm per år (Eklund m. fl., 2015). SMHI spår utifrån klimatscenario RCP 4.5 en nederbördsökning på 4 – 5 mm per månad under åren 2011 – 2070 och 6 – 7 mm per månad ökning 2071 – 2100 från referensperioden 1971 – 2000. Ökningen av mängden nederbörd är även större under vinterhalvåret och våren än under sommarhalvåret (Eklund m. fl., 2015), vilket kan ge upphov till förändringar beroende på när under året som grundvattenbildningen sker (Eveborn m. fl., 2017). De högsta grundvattennivåerna kommer att inträffa tidigare på året samtidigt som de lägsta nivåerna blir lägre och inträffar senare på året än nuvarande scenario (Länsstyrelsen i Skåne län (red), 2012).

Avdunstning har stor påverkan på vattenbalansen och väntas öka i och med ökade lufttemperaturer. Enligt klimatscenario RCP 4.5 så kommer årsmedeltemperaturen i södra Sverige att öka med ungefär 1°C under perioden 2021 – 2050 och med 2°C under perioden 2069 – 2098. Värmeböljor blir också mer frekventa i framtiden och även

torrperioder väntas bli längre och vanligare (Eklund m. fl., 2015). Denna förändring kommer leda till att vegetationsperioden ökar vilket kommer förkorta den period som vanligen kallas för grundvattenbildningsperioden under vår, höst och vinter (Eveborn m. fl., 2017). Även om nederbörden förväntas öka är dess effekt på grundvattenbildningen mindre uttalad än påverkan av evapotranspiration. Evapotranspiration är en process som är komplex och beror på flera förhållanden som temperatur, vindstyrka, jordart, vattentillgång och vegetation, vilket ger svårigheter i att beräkna evapotranspirationens storlek (Sparrenbom & Jeppsson, 2022). En tumregel är att avdunstningen ökar med cirka 5 – 10 % för varje grad som medeltemperaturen ökar (Sydvatten, u.å.). Generellt sett så förväntas grundvattennivåerna minska i sydöstra Sverige enligt klimatscenario RCP 4.5 (Vikberg m. fl., 2015). Grundvattenbildningen i Skåne i grova jordar eller morän har 1961 – 1990 legat på 200 – 400 mm per år och har simulerats enligt klimatscenario RCA3, ECHAM 5:3, A1b för åren 2071-2100, där uppskattas grundvattenbildningen för grova jordar att förändras med -5 % till 10 %, och att grundvattenbildningen lär minska med 5 – 25 % för moränjordar under denna period (Rodhe m. fl., 2009).

2.4 Markanvändning i undersökningsområdet

Marken över och runt omkring undersökningsområdet används till stor del som åkermark men det finns även i de sydöstliga delarna stora områden med skogs- och ängsmark. Markanvändningen är också illustrerad i Figur 2.2, där det går att urskilja var åkermark, skogs- och ängsmark samt tätorter återfinns i undersökningsområdet. Just brukad mark kan genom dränering öka grundvattenbildningen genom att minska möjligheterna för mättad ytavrinning. Detta leder till dock till att grundvattenmagasinets kapacitet minskar genom att grundvattennivån sänks (Eveborn m. fl., 2017). Över och runt omkring Alnarpsströmmen finns det även en del tätbebyggda områden som ligger över strömmen så som Lomma, Staffanstorp och Åkarp för att nämna ett urval. De avsevärt större städerna Malmö och Lund ligger på var sin sida om undersökningsområdet. Tätbebyggda områden kan göra att grundvattenbildningen reduceras kraftigt eller helt upphör i de områdena. Minskad infiltration i tätbebyggda områden är en effekt av de impermeabla



ytor som ökar avrinningen samt de dagvattensystem som sedermera tar hand om vattnet som kan förhindra att det når grundvattnet (Eveborn m. fl., 2017).

Figur 2.2 Översikt över undersökningsområdet som illustrerar markanvändningen i området. Data från Lantmäteriet.

I undersökningsområdet återfinns även i den sydöstliga delen ett par ytliga sjöar, till exempel Yddingesjön och Fjällfotasjön. De nämnda sjöarna har ett årsmedeldjup på cirka 5 meter, vilket gör att de inte är i direkt kontakt med Alnarps sedimenten. Det flyter även en hel del vattendrag i området där de största vattendragen är Sege å, Höje å samt Kävlingeån. Åarna har ett varierande djup under året men som maximalt ligger det runt 5 meter. Åarna har till störst del en påverkan genom att en stor del av nederbörden rinner ut till Öresund via dem. Mellan 1991 och 2000 var årsmedelvattenföringen i Sege å 2,95 m³/s. Höje å är av en snarlik storlek när det kommer till flöde som Sege å och har en årsmedelvattenföring som är 2,93 m³/s. Flödena i dessa vattendrag varierar för låg- och högvatten mellan cirka 0,4 och 16 m³/s under året. Kävlingeån har ett högre årsmedelflöde på 10,9 m³/s, där intervallet är från 1,7 till 56,7 m³/s för låg- respektive högvatten (SMHI, 2022).

2.5 Uttag från Alnarpsströmmen

Uttagen från Alnarpsströmmen har minskat i takt med att vatten för västra Skånes dricksvattenförsörjning har tagits från Vombsjön i centrala Skåne och därefter från sjön Bolmen i Småland. Uttagen har historiskt som högst legat på 18,3 Mm³ under året 1949 och därefter år 1971 då uttaget låg på 18,0 Mm³. Med tiden har uttagen minskat för varje år och 2019 låg det årliga uttaget på 6,5 Mm³ (Sydvästskaenes grundvattenkommitté, 2020). Den största vattentäkten i området är Grevie vattentäkt som ligger sydväst om Staffanstorps och utgörs av ett 30-tal brunnar. Från vattentäkten i Grevie görs ungefär hälften av uttagen från Alnarpsströmmen, och sedan 2015 har det årliga uttaget legat på mellan 3 och 5 Mm³ (Trafikverket, 2010). År 2019 var till exempel det årliga uttaget från Grevie vattentäkt 3,4 Mm³ (Sydvästskaenes grundvattenkommitté, 2020). I utredningar under 1970-talet har man uppskattat uttagskapaciteten i Alnarpsströmmen till att vara mellan 25 och 35 Mm³ per år (Brinck & Leander, 1981). Från Grevie vattentäkt har man planer på att utöka uttaget och VA SYD har 2021 ansökt om att årligen kunna ta ut 9,2 Mm³ från Grevievattentäkt framöver (Gren m. fl., 2021). Utöver det som tas från Grevie vattentäkt för dricksvattenförsörjningen så används vattnet till industrier, jordbruk och enskilda privatpersoner (Sydvästskaenes grundvattenkommitté, 2016). I Tabell 2.2 går det att urskilja hur fördelningen av uttagen från Alnarpsströmmen är mellan kommunerna för år 2015. Ett hållbart uttag enligt SGU (2013) får inte överstiga 50% av grundvattenbildningen till en akvifer om inte skyddsobjekt som till exempel våtmarker återfinns i området. Ett sådant uttag kan ge måttlig till påtaglig påverkan på grundvattenomsättningen, och omfattande kontroll av uttag och grundvattennivå ska ske för att undvika negativ påverkan (Eveborn m. fl., 2017).

Tabell 2.2 Uttagen från Alnarpsströmmen i Mm³/år för varje kommun i området, samt privata uttag under år 2015. Uttagen av kommunerna är till störst del från diverse industrier. (Sydvästskånes grundvattenkommitté, 2016)

Kommun	Uttag (Mm ³ /år)
Burlöv	0,09
Kävlinge	0,03
Lomma	0,25
Lund	0,25
Malmö	5,06*
Staffanstorp	0,02
Svedala	0,11
Trelleborg**	3,39
Vellinge**	0,40
Privata	2,50
Totalt	12,10

* Inklusive Grevie vattentäkt vars uttag år 2015 var 4,26 Mm³/år.

** Lokaliserade utanför undersökningsområdet.

2.6 MODFLOW GMS v10.5

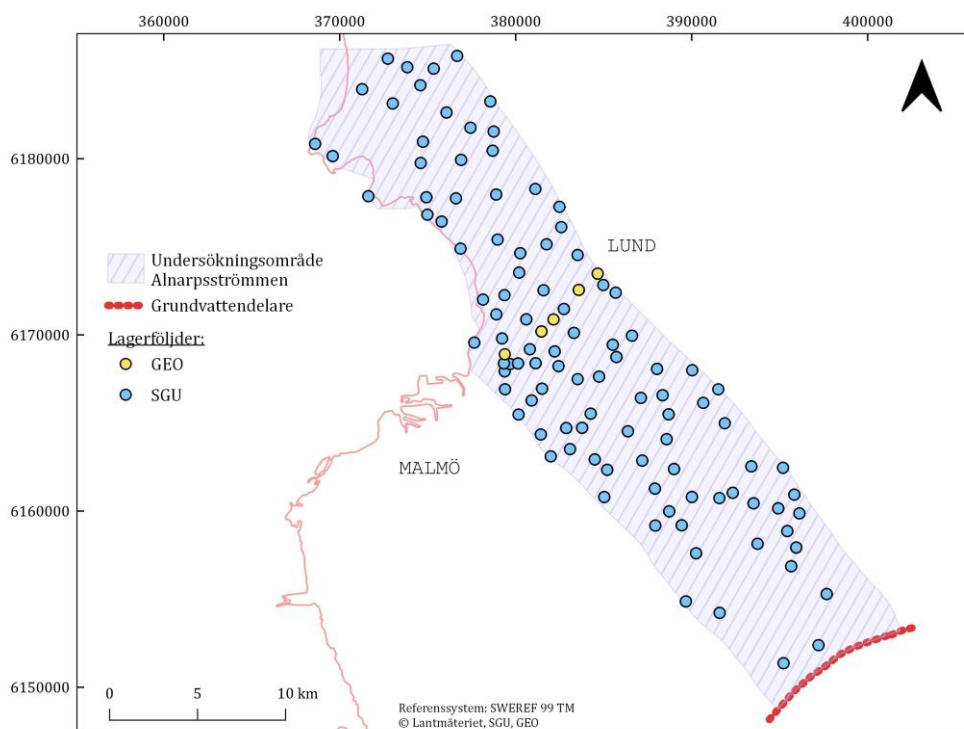
Modelleringsprogrammet MODFLOW GMS v10.5 är en tredimensionell finit differensmodell och är ett av de vanligare använda programmen för grundvattenmodellering (Fetter, 2014). MODFLOW har även fördelen med att indata kan vara i många olika former och är lätt att applicera i modellen. Programmet valdes på grund av tillgång, men även möjligheten att kunna importera den data som är tillgänglig, såsom borrprotokoll, nederbörd, markanvändning, grundvattennivåer och uttag från brunnar. I MODFLOW finns också möjligheter att hantera det interna flödet i rutnätet genom de många program och *solvers* som finns att tillgå. Programmen och *solvers* baseras på olika flödesekvationer vilket ger flera möjligheter. Resultat som fås från MODFLOW är dels nivåer i varje cell, dels en vattenbalans. Skillnaden på inflöde och utflöde ut modellen i vattenbalansen ses som ett mått på hur acceptabel den lösning som fås är, då ett värde nära noll betyder att lösningen väl överensstämmer med de ekvationer som används i modellen för att beräkna flödena (Harbaugh, 2005).

3 Metod

3.1 Använda data

Avgränsningen för vilken data som har inkluderats eller inte är undersökningsområdet som baseras på SGU:s definition av Alnarpsströmmen (Gustafsson m. fl., 2005). För att inkludera omkringliggande sedimentär berggrund har området utökats med 2 kilometer i sydvästlig samt nordöstlig riktning vilket innefattar en tillräcklig mängd borrhningar som finns i nära anslutning till Alnarpsströmmen. Vissa data har använts obehandlade, medan annan data exempelvis borrhprotokollen har omtolkats och förenklats. Värdena för hydraulisk konduktivitet har använts som grund till modelleringen och de slutliga värden som använts har tagits fram genom en sammanvägd bedömning för att återspegla både litteraturvärden, värden på transmissivitet från brunnar i området och genom kalibrering av modellen.

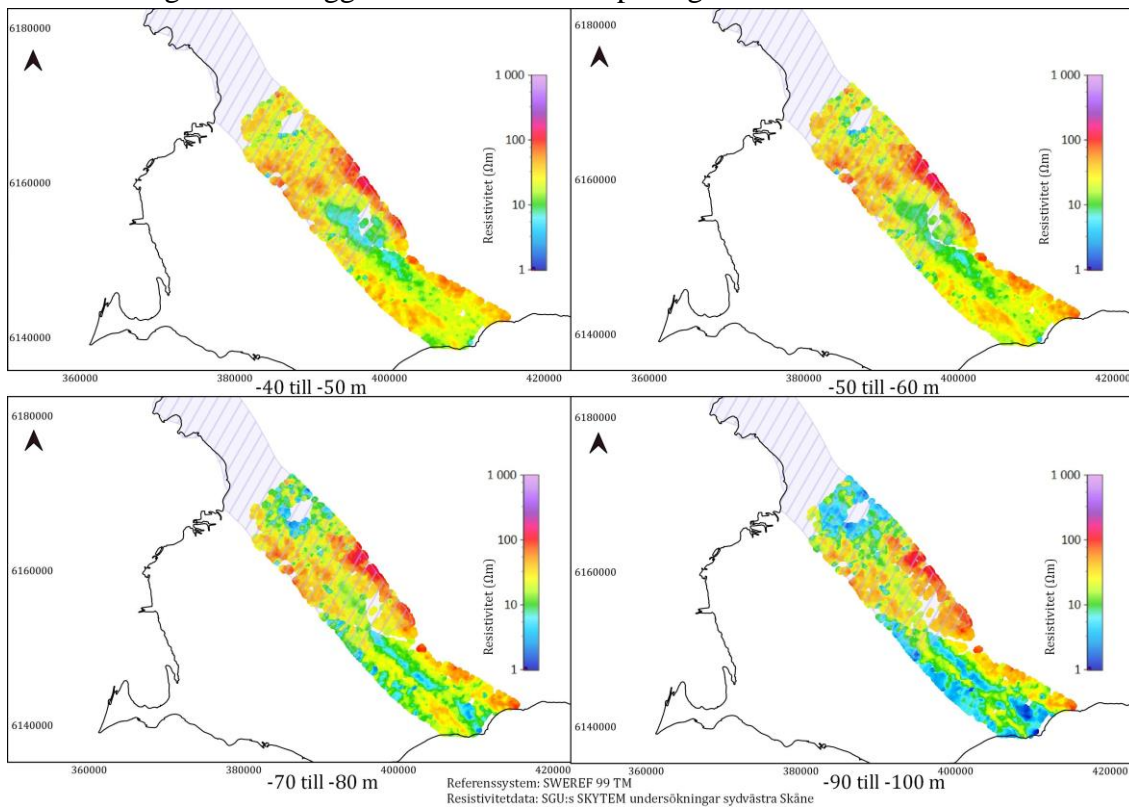
Data som har använts i denna studie har utgjorts av borrhprotokoll från SGU:s brunnarsarkiv samt deras SKYTEM undersökningar i sydvästra Skåne och där främst det område som är definierat av SGU som Alnarpsdalen. Utöver borrhprotokollen från SGU har borrhprotokoll från GEO (2021a, 2021b) på uppdrag av Tyréns mellan Malmö och Lund använts. Borrhprotokollens platser är illustrerade i Figur 3.1 som även visar undersökningsområdets utsträckning för Alnarpsströmmen.



Figur 3.1 Undersökningsområdet för Alnarpsströmmen. Visar använda borrhåls placering. Grundvattendelaren mellan Alnarpsströmmen och Skivarpsströmmen är också markerad.

3.1.1 SKYTEM undersökningar

SGU:s SKYTEM undersökningar i sydvästra Skåne från 2021 (Brolin, 2021) har valts ut med fokus på Alnarpsströmmen samt Skivarpsströmmen. SKYTEM undersökningarna är helikopterburna transienta elektromagnetiska mätningar som ger upphov till resistivitetsektioner. I Figur 3.2 syns fyra olika djupintervall med dess tillhörande resistivitet. Mätlinjerna har ett mellanrum på 200 meter och mäts med ett intervall på mellan 35 och 40 meter i mätlinjens riktning som löper i sydväst till nordöstlig riktning (Brolin, 2021). Här kan man se skillnader i resistivitet i undersökningsområdet. Från Figur 3.2 går det att se att resistiviteten för de material som återfinns i undersökningsområdet ligger inom ett intervall på ungefär 1 till 100 Ωm .



Figur 3.2 Resistivitmätningar på fyra olika djup från SGU: SKYTEM projekt i sydvästra Skåne Data från SGU. Undersökningsområdet är även markerat i lila. Notera att det endast i den sydöstra delen av undersökningsområdet har gjorts SKYTEM undersökningar. Höjden är enligt höjdsystemet RH 2000.

Typiska resistivitetsvärden för ett urval av material som återfinns i Alnarpsdalen går att urskilja i Tabell 3.1. Här ser man dels att intervallen överlappar varandra vilket gör det svårt att urskilja och klassificera utifrån SKYTEM data i Figur 3.2. Då de flesta jordarter, förutom lera, har hög resistivitet, är skillnaderna i resistivitet oftast beroende på vattenhalt och effektiv porositet för jordarten (Kirsch, 2006).

Tabell 3.1 Typiska värden för resistivitet i Ωm för ett urval av de material som återfinns i Alnarpsströmmen (Kirsch, 2006).

Material	Resistivitet (Ωm)
Lera	10 – 30
Morän	30 – 60
Grus, Sand (mättad)	60 – 200
Grus, Sand (omättad)	500 – 2000
Berggrund (sprickrik)	60 – 2000
Berggrund	> 2000

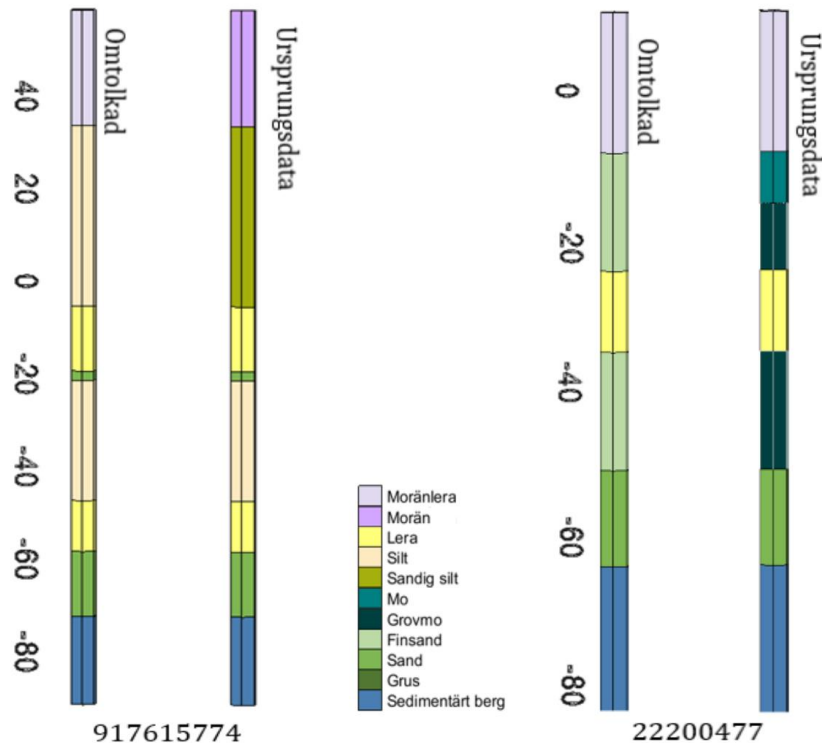
Resistivitetssektionerna i Figur 3.2, visar resistiviteten på olika djup och här går det att finna högresistiva delar i främst i den nordöstra delen kring 100 Ωm . Det går även att urskilja en dal med resistivitet kring 10 Ωm i mitten av sänkan kring -40 till -60 meter som inte är lika tydligt på nivån kring -90 till -100 meter. Värdena som syns i Figur 3.2 kan jämföras med de tabellerade värdena i Tabell 3.1, men det är ändå svårt att med enbart dessa mätresultat urskilja material från varandra.

3.2 Databehandling av brunnsprotokoll

Grunden till den geologiska modellen har varit borrhprotokoll, där endast borrhprotokoll som legat i området som syns i Figur 3.1 har inkluderats. Borrhprotokoll utan lagerföljdinformation, eller där lagerinformation har varit otillräcklig för syftet av denna studie, har exkluderats. Då Alnarps sedimenten ligger på en nivå på -40 till -65 meter och till och med djupare i de sydöstra delarna har brunnar som är grundare än 40 meter djupa från markytan exkluderats i syfte att enbart ta med brunnar som innehåller information om Alnarps sedimenten. Exkluderingen av ytligare brunnar innebär att detaljrikedomen i jordlagerna som överlagrar Alnarps sedimenten kan ha begränsats, men lär inte påverka tolkningen av Alnarps sedimenten. Denna begränsning går i linje med syfte och frågeställningar i rapporten då fokus har legat på de hydrogeologiska egenskaperna i Alnarps sedimenten. Ett urval av 108 lagerföljder har använts från en ursprunglig mängd på cirka 600, där närliggande lagerföljder inom en radie på cirka en kilometer har tagits bort och där endast en har valts ut för att representera det området. Detta under förutsättning att lagerföljderna är lika. Om det har skiljts sig för mycket har alla brunnar inkluderats inom det området. Urvalet har också gjorts så att nya borrhningar har haft prioritet över äldre, då det är i enlighet med rapportens syfte att använda nyare data, samt att de är beskrivna med gällande klassificering av jordarter, vilket underlättar i att omtolkning inte behövs.

Då jordartsbeskrivningen i brunnsprotokollen är varierande med en mängd olika beskrivningar med mer eller mindre detaljerad information, har en förenkling och omklassificering varit nödvändig. Fokus i den nya indelningen har varit att indela de olika lagren efter deras hydrauliska konduktivitet vilket har lett till följande urval av material: moränlera, lera, silt, finsand, sand, grovsand och sedimentärt berg. Lager i borrhprotokollen som har varit tunnare än två meter har exkluderats för att minska komplexiteten. I Figur 3.3 ges ett exempel på två borrhprotokoll i ursprungsform samt i

förenklad och omtolkad form. Här går det att se komplexitet i det ursprungliga borrhprotokollet samt lagerföljden i förenklad form.



Figur 3.3 Två borrhål från SGU:s brunnarsarkiv. Med varsin förenklad och omtolkad lagerföljd (vänster för varje borrhål) samt lagerföljderna i sin ursprungliga form (höger för varje borrhål). Den förenklade och omtolkade lagerföljden används som indata i modellen. Höjden är angett i höjdsystemet RH 2000.

3.3 Geologisk konceptuell modell

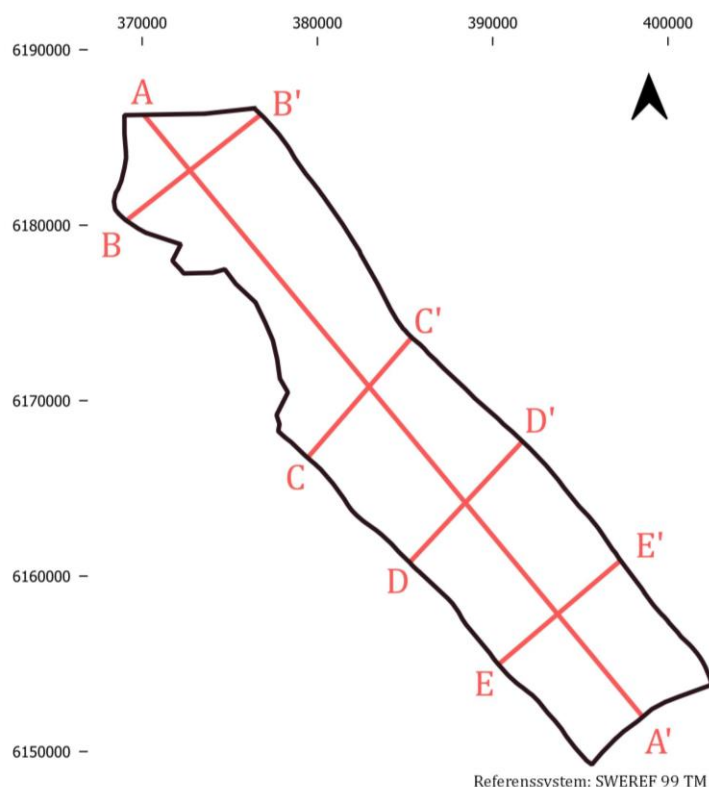
De bearbetade lagerföljderna delades in i sju följande material: grus, sand, finsand, silt, lera, morän och sedimentärt berg. Utifrån dessa tolkade och sedermera förenklade, gjordes sedan en simulering i GMS för att få fram lagerföljder. Detta utfördes genom att automatiskt bestämma *horizons ID*, som uppskattar och tilldelar de olika lagerna identifikationsnummer för att kunna skapa lager mellan borrhprotokollen. Utifrån de har *solids* skapats där topografin användes för att justera borrhprotokollen. En *solid* motsvarar ett simulerat jordlager i modellen och det finns därmed flera *solids* med samma material. Modellen omfattar nivåer ner till -120 meter för att inkludera den sedimentära berggrunden som ligger under Alnarpsströmmen. En iterativ metod användes där intermediära resultat anpassades för att ge en så representativ bild av lagerföljden som möjligt. För att undvika att få flera berggrundslager extrapolerades de borrhprotokollen som avslutades med kalksten ner till en nivå på -120 meter. I syfte att få en representativ bild så ändrades även de enskilda lagerna, det vill säga *solids* i modellen manuellt med ett fokus på att representera Alnarps sedimenten på ett så bra sätt som möjligt. Detta genom att efterlikna borrhprotokollens lagerföljd, framför allt i den mån att ta bort uppenbara felaktigheter som inte går i linje med den lagerföljden som förväntas. Här har även bakgrundslitteratur och SKYTEM undersökningarna används som stöd och guide för att anpassa modellen.

Den konceptuella modellen som presenteras i Figur 3.5, ska ses som en grovt förenklad bild av lagerföljden i Alnarpsdalen. Antalet olika lager blev 27 till antalet. Antalet lager

gav medförde att där fanns lager som inte var kontinuerliga genom området, vilket även litteraturen visar på. I ett antal tvärsnitt som gjorts i Figur 3.4 så visas en sedimentuppdelning i Alnarpsedimenten som blir finare ju grundare de blir, vilket går att se i Figur 3.5. Det går även att se flera moränlager i Figur 3.5, upp till tre, vilket också beskrivs i litteraturen. I Figur 3.5 återfinns även, liknande det som beskrivs i litteraturen, en mer komplex lagerföljd i den sydöstra delen av Alnarpsströmmen. Omfattningen i sydväst till nordöstlig riktning jämfördes även med data från SGU:s SKYTEM projekt, och där överensstämmer den simulerade utbredningen av sänkan med en ungefärlig bredd på 5 till 6 kilometer och där även bredden på Alnarpsedimenten minskar med djupet, vilket även går att tyda i Figur 3.2.

3.3.1 Tvärsektioner av Alnarpsströmmen

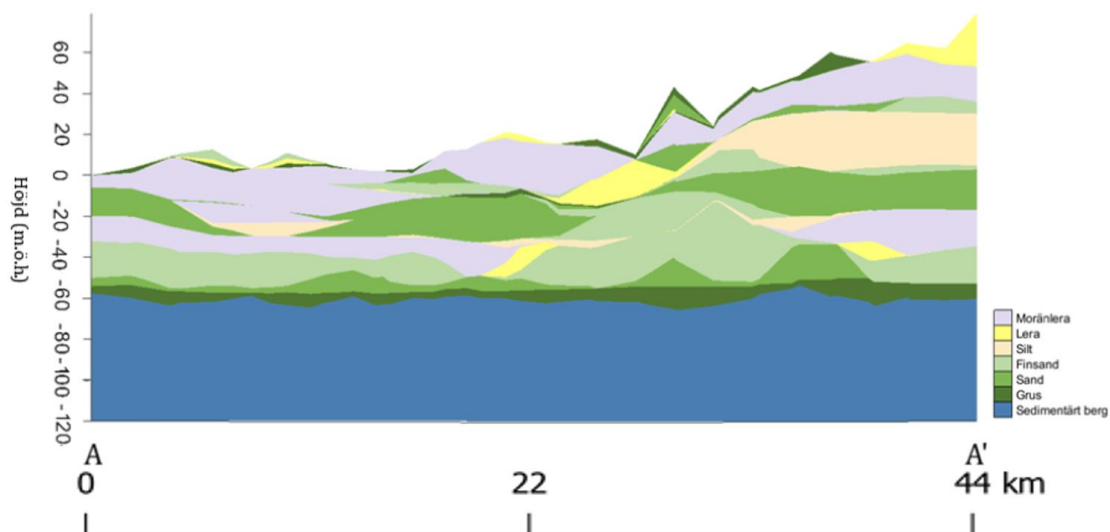
Fem tvärsektioner har gjorts enligt Figur 3.4 där sektionerna B – E även inkluderar borrhprotokoll för att åskådliggöra skillnader och likheter mellan modellen och den indata som borrhprotokollen utgör. Tvärsektionerna i sydväst – nordöstlig riktning har valts i olika delar av området och där det finns rikligt med brunnsprotokoll.



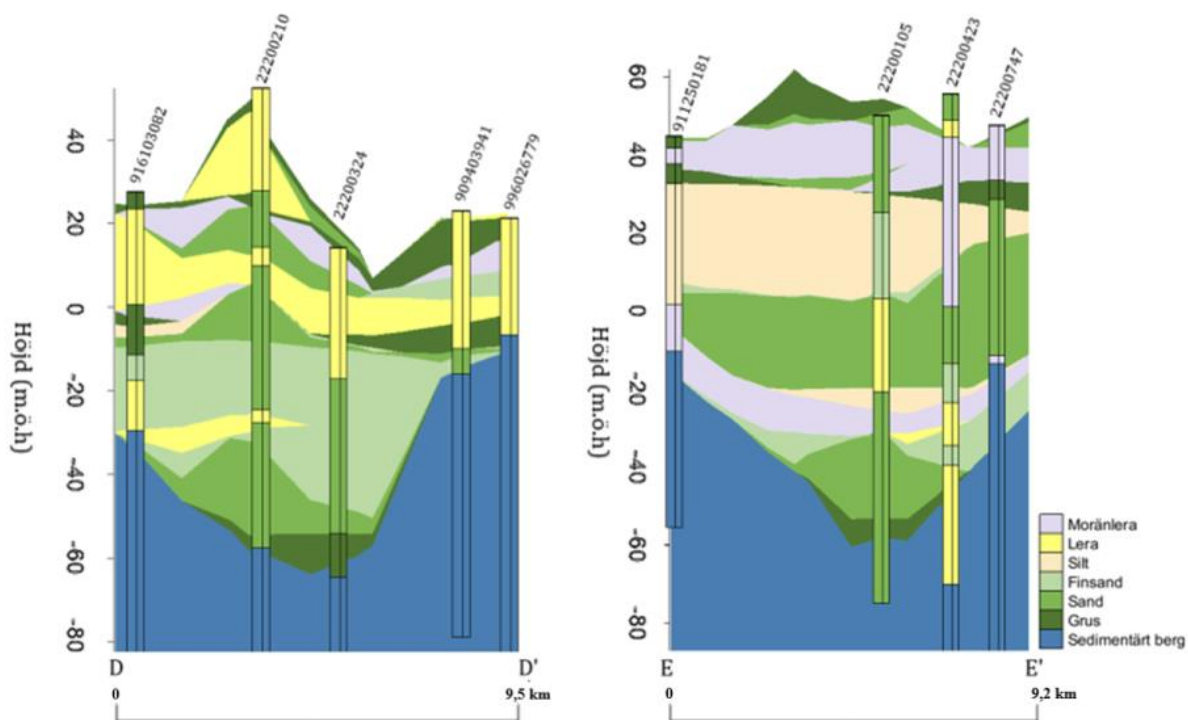
Figur 3.4 Översikt över vilka tvärsektioner som har dragits i undersökningsområdet. Dessa tvärsektioner visas i Figur 3.5 – 3.7.

I Figur 3.5 visas tvärsektion A – A' som löper igenom mitten av Alnarpsdalen i nordväst till sydöstlig riktning. Som det går att se i tvärsektionerna B – E så skiljer sig lagerföljden mellan brunnsprotokollen och den simulerade lagerföljden kraftigt på sina platser. Däremot finns även platser där anpassningen passar väl med lagerföljden i brunnsprotokollen, till exempel för tvärsektion D i Figur 3.6. Det ska noteras att detta även är ett urval av tvärsektioner och brunnsprotokoll och endast ger en begränsad bild av hur väl anpassad modellen är till indata. Syftet har också varit att få en så bra

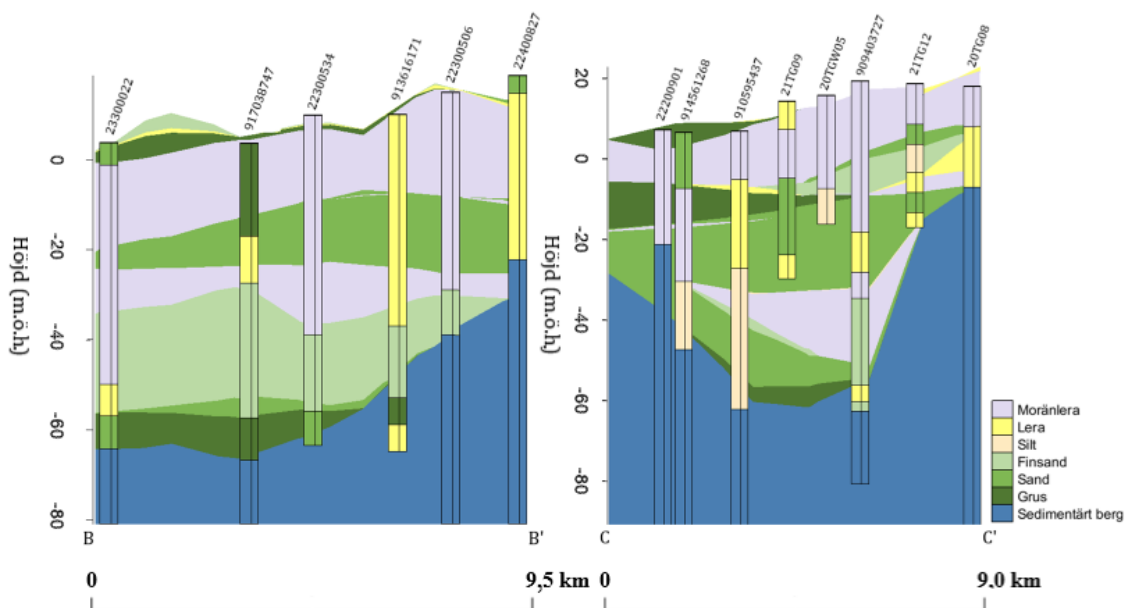
representativ bild av hela Alnarpsströmmen med liknande lagerföljder, vilket inte går att direkt urskilja från Figur 3.6 och 3.7, då de endast visar en del av hela området.



Figur 3.5 Tvärsektion A – A' dragen genom Alnarpsströmmen. Tvärsektionen går genom mitten av undersökningsområdet. Höjden är enligt höjdsystemet RH 2000. Här visas även längden av tvärsnittet.



Figur 3.6 Tvärsektion B och C av den simulerade lagerföljden med brunnsprotokollen som skär tvärsektionen. Höjden är i meter över havet (m.ö.h.) enligt höjdsystemet RH 2000. De olika material återfinns i teckenförklaringen. Siffrorna ovan motsvarar respektive brunn-ID i SGU:s brunnarkiv. För tvärsektion C finns även fyra brunnsprotokoll från GEO borrhningar och är beskrivna med en annan kod, exempelvis 21TG09.



Figur 3.7 Tvärsektionerna D och E av den simulerade lagerföljden med brunnsprotokollen som skär tvärsektionen. Siffrorna ovan motsvarar brunn-ID i SGU:s brunnarkiv. Höjden är i meter över havet (m.ö.h.) enligt höjdsystemet RH 2000.

Den geologiska konceptuella modellen skiljer sig från flera brunnsprotokoll, vilket ska tas i beaktande och ger därmed modellen osäkerhet i hur väl den representerar verkligheten. Att få en bild som helt överensstämmer med det som återfinns i borrhprotokollen är svårt att uppnå och det som visas i tvärsektionerna är resultatet av både automatisk och manuell anpassning av lagerföljderna. Därtill har interpolering mellan brunnsprotokoll skett med *Inverse Weighted Distance*-metoden, vilket ytterligare är en anledning till att lagerföljderna skiljer sig mellan modellen och borrhprotokollen. Här kan urvalet av brunnsprotokoll ha en påverkan och möjligen kan ett utökad antal borrhprotokoll ge en mer detaljerad bild, men lär nog fortfarande inte ge en bättre anpassning till borrhprotokollen utan hade sannolikt enbart bidragit med ökad komplexitet och fler lager. Den konceptuella modellen som grundvattenmodelleringen i den här rapporten grundar sig på är en mycket förenklad modell, men där de generella dragen av Alnarpsströmmen återfinns. Den generella geologiska bilden av jordlagerföljderna i området är likt den som beskrivs i litteratur och i tidigare utredningar som finns beskrivet i bakgrunden. Den konceptuella modellen får därmed ses som en representativ bild av Alnarpsdalens jordlagerföljd även om den uppvisar tydliga skillnader jämfört med litteratur och tidigare studier. Primära skillnader är att lagren är mer genomgående genom området än vad som förväntas och att mäktigheten av dem kan skilja sig markant vilket man även ser om man jämför tvärsektionerna i Figur 3.6 och 3.7.

3.4 Uppbyggnad av MODFLOW-modell

Ett tredimensionellt rutnät med upplösningen 250 x 250 x 5 meter har skapats med fokus på den vertikala detaljrikedomen. Rutnätet har först skapats genom att skapa ett rektangulärt rutnät som innefattar området. Sedan har en MODFLOW simulering skapats från detta rutnät. De *solids* som har skapats från brunnsprotokoll och SKYTEM data och är illustrerade i Figur 3.5 till 3.7 har använts för att bestämma aktiva respektive inaktiva celler. De aktiva cellerna utgör då det området som undersöks och de inaktiva används inte i vattenbalansberäkningarna och exkluderats från simuleringarna. Funktionen *Grid overlay* användes för att översätta *solids* lagerna till celler med en minimal tjocklek på 0,2 meter. *Grid overlay* funktionen deformerar rutnätet i syfte att efterlikna toppen och botten utformning. Resterande celler som befinner sig mellan toppen och botten i rutnätet justeras sedan, så att de är jämnt fördelade genom linjär interpolation mellan det översta och understa lagret. De inre cellerna anpassas inte efter de lagerföljder som finns utan de blir tilldelade de material som återfinns i mitten av cellen. Det här kan ge upphov till ytterligare skillnader mot ursprungsdata, men det undviker tunna celler som annars uppkommer vid val av andra alternativ. Den vertikala upplösningen har valts till fem meter och är baserat dels på indatas upplösning på två meter, dels att den har interpolerats vilket medför större osäkerheter. En vertikal celldimension på fem meter anses vara tillräckligt för att få en representativ bild av lagerföljder som inte heller ger en onödigt stor upplösning. Bild på rutnätets utformning går att se i Figur B.1 och B.2 i Bilaga B.

MODFLOW USG har använts för att underlätta beräkningarna. MODFLOW 2000 har också använts till en början men valdes bort till förmån för MODFLOW USG då ett resultat inte gick att erhålla. MODFLOW USG är ett program inom GMS som använder en *Sparse matrix solver* som använder ekvationer som lättare hanteras med geometrier som inte är rektangulära för att beräkna flöden (Panday m. fl., 2013). Då rutnätet som till början var rektangulärt har justerats efter de *solids* och lager som tidigare skapats har dess form förändrats, vilket har gjort det fördelaktigt att köra med MODFLOW USG. Modellen kommer köras i ett 3D-rutnät fast med en USG *solver* för att kunna visualisera flödena in och ut genom cellerna. Att visualisera flöden från ett lager till ett annat är inte möjligt med ett *U-rutnät* som i grunden är bättre anpassat för MODFLOW USG då det räknar på flöde till noder istället för ut och in genom celler (Panday m. fl., 2013). I beräkningarna har även återvätning (*rewetting*) av celler använts, då gränsen framför allt mot nordost medför torra celler i de översta lagerna. Återvätningsfunktionen har använts för att förbättra flödesbalansen och undvika flera torra celler som blir inaktiva. Här har, för att behålla en enkel och stabil modell, bestämts att återvätning endast sker från underliggande cell om nivån överstiger cellens övre nivå med 0,9 meter. Då de översta cellerna förblev torra slogs de fyra översta cellerna ihop till en cell med en vertikal dimension på 20 meter, som fick tilldelat materialet som är i mitten av dessa celler. Torra celler räknas som inaktiva celler som då blir en flödesbarriär som stoppar inflödet, vilket blir särskilt problematiskt för det flöde som ansätts i toppen av modellen. För att då uppnå en bättre vattenbalans gjordes denna begränsning i modellen för att på ett bättre sätt kunna uppskatta grundvattenbildningen.

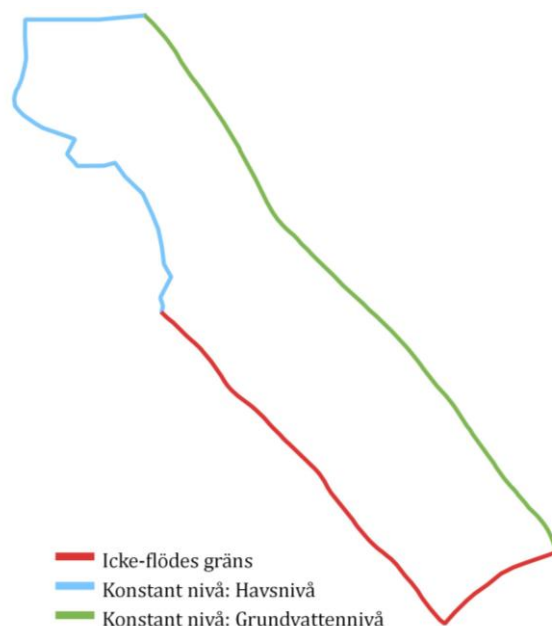
3.4.1 Avgränsningarna i modellen

Undersökningsområdet avgränsas i nordväst av havet. Gränsen mot havet har satts som en konstant nivå. Trycknivån har satts till havsnivå, det vill säga noll meter enligt höjdsystemet RH 2000. För den konstanta nivån som den nordöstra gränsen utgör har nivåerna interpolerats linjärt mellan punkter med nivådata vars värden är hämtade från grundvattenmätningar från SGU:s brunnsarkiv. Mätningarna är alla från 2010-talet och tagna under månaderna november till februari och är presenterade i Bilaga C. Under denna period varierar grundvattennivån mindre än under sommarhalvåret (Gustafsson m. fl., 2005) och det får anses representera en slags årsmedelnivå. Uttagen har inte ökat avsevärt sedan år 2010 vilket gör att de kan spegla dagens scenario på ett bra sätt. Valet att ha en konstant nivå har gjorts då det strömmar en betydande del vatten över gränsen från Romeleåsen, vilket har påvisats i tidigare undersökningar (Brinck & Leander, 1981). Däremot är flödet över den sydvästra gränsen avsevärt mindre och antas därför i den här modellen som en icke-flödes gräns, vilket även grundvattendelaren i sydost utgör (Brinck & Leander, 1981). De undre lagren av kalksten som underlagrar modellen anses också vara en icke-flödes gräns på nivån -120 meter. Djupet har valts dels på grund av fokus på Alnarps sedimenten och dess överlagrande jordlager. Det har även valts då Alnarpsströmmen kan ses som en övergångsakvifer där den underliggande berggrunden varit av intresse och antas vara en icke-flödes gräns vid -120 meter, även om det är en stor osäkerhet kring det exakta djupet av detta.

Konduktansen C för gränserna har beräknats med hjälp av ekvation 3.1:

$$C = \frac{W \cdot L \cdot K}{D} \quad (\text{Ekv. 3.1})$$

där W är och L är bredd respektive längd på den tvärsnittsarean som flödet mot den konstanta nivån sker. D är avståndet från cellen till den konstanta nivån. Då de konstanta nivåerna som gränserna baseras på i denna studie är havet och grundvattennivån och därmed antas att avståndet D är mycket litet och antas därmed vara i samma storlek som den horisontella dimensionen på cellerna vilket är 250 meter. K är den genomsnittliga hydrauliska konduktiviteten. Då merparten av gränserna utgörs av sedimentär berggrunden med en hydraulisk konduktivitet på 10^{-5} m/s, antas detta värde. För att sedan få modellen att enklare konvergera, justerades medelvärdet för den hydrauliska konduktiviteten till 10^{-4} m/s. Värdet för konduktansen C beräknades till 10^{-6} m²/s och har använts för alla gränser med konstant nivå i Figur 3.8. Fullständig beräkning av värdet går att se i Bilaga D.1.



Figur 3.8 Modellgränserna och deras olika funktion. Den röda icke-flödes gränsen syns mot den sydvästra samt sydöstra delen. Konstanta nivåer mot havet och mot den nordöstra delen.

3.4.2 Hydraulisk konduktivitet

Den hydrauliska konduktiviteten för de ingående materialen i modellen har till en början ansatts till ett medelvärde för varje material för de som återfinns i Tabell 2.1. Dessa medelvärden som har ansatts som startvärden i modellen innan kalibrering återfinns i Tabell 3.2. Den hydrauliska konduktiviteten för de finkorniga sedimenten och Alnarpssedimenten som har presenterats i flera undersökningar i del 2.2.1 används även som stöd dels i utgångsvärden, dels i kalibreringsprocessen. Då konduktiviteten i vertikal led oftast är mindre för de flesta material har det ansatts som en tiopotens mindre än den horisontella. De intervall för den hydrauliska konduktiviteten för varje material som är presenterade i Tabell 3.2 ligger som grund till de gränserna för vilka värden på den horisontella hydrauliska konduktiviteten som modellen kommer att kalibreras med. Intervallet har utökats med en tio potens i båda riktningar för morän och lera i syfte att underlätta ifall modellen inte skulle konvergera, då dessa material är mest impermeabla. Värden utanför intervallen kommer inte att användas även om ett bättre kalibreringsresultat skulle uppnås.

Tabell 3.2 De värden som används som startvärden för hydraulisk konduktivitet i horisontell (K_h) och i vertikal (K_v) led. Intervallen för kalibrering åsyftar den horisontella konduktiviteten (K_h) och intervallet för den vertikala hydrauliska konduktiviteten (K_v) är en tiopotens mindre än de intervall som är presenterade i tabellen.

Material	K_h (m/s)	K_v (m/s)	Intervall för kalibrering
Grus	10^{-2}	10^{-3}	$10^{-1} - 10^{-3}$
Sand	10^{-3}	10^{-4}	$10^{-2} - 10^{-4}$
Finsand	10^{-5}	10^{-6}	$10^{-4} - 10^{-6}$
Silt	10^{-6}	10^{-7}	$10^{-5} - 10^{-7}$
Kalksten	10^{-5}	10^{-6}	$10^{-4} - 10^{-6}$
Morän	10^{-9}	10^{-10}	$10^{-7} - 10^{-11}$
Lera	10^{-9}	10^{-10}	$10^{-7} - 10^{-11}$

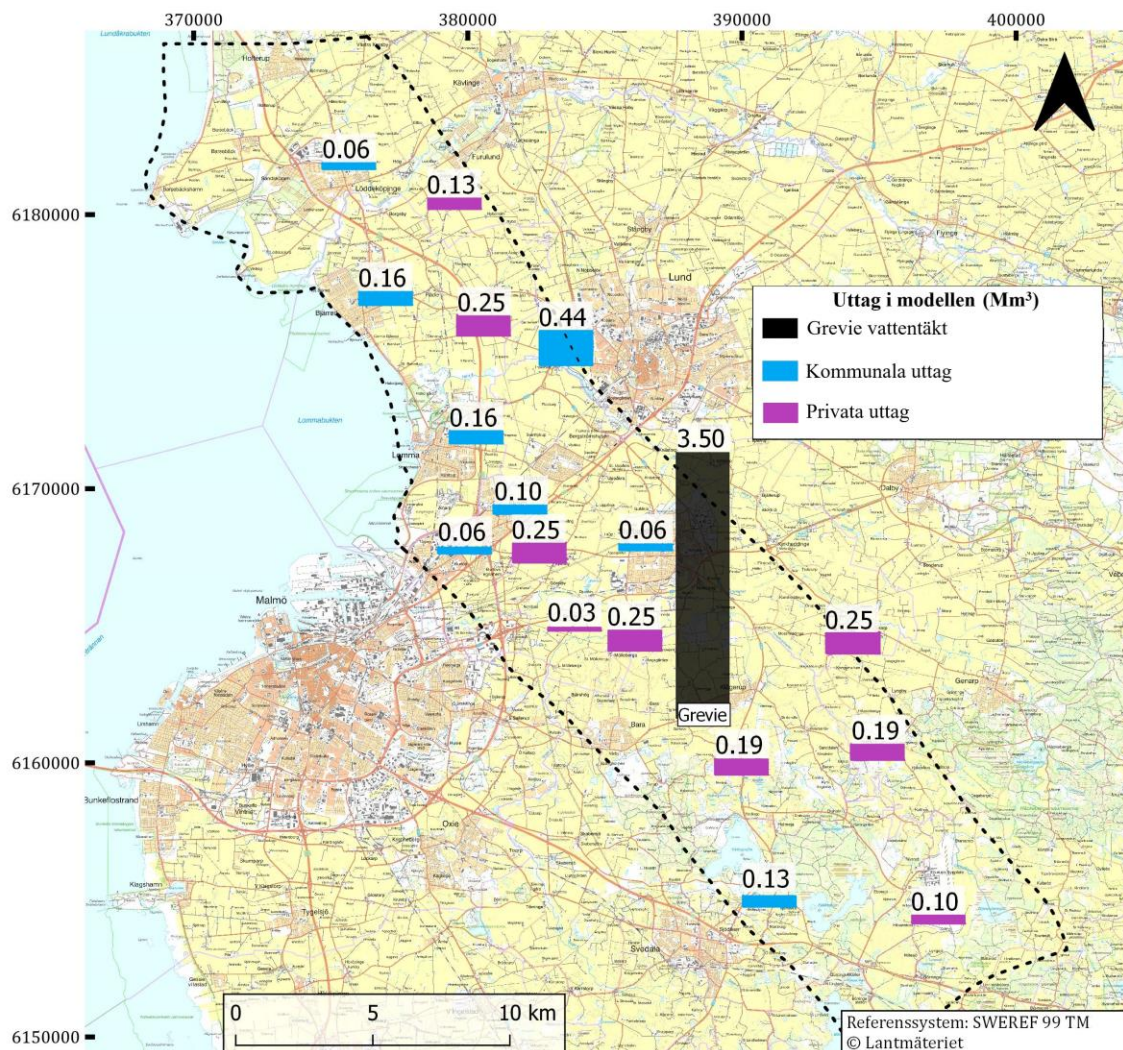
3.5 Simulerade scenarier

Här följer en punktlista för de scenarier som simuleras i modellen. De är mer detaljerat beskrivna i kommande avsnitt.

- Grundsценariot: Totala uttag på 6,5 Mm³/år varav 3,5 Mm³/år från Grevie och effektiv nederbörd på 250 mm/år.
- Minskad effektiv nederbörd: Totala uttag på 6,5 Mm³/år och effektiv nederbörd på 205 mm/år.
- Ökade uttag från Grevie: Totala uttag på 12,5 Mm³/år varav 9,2 Mm³/år från Grevie vattentäkt och effektiv nederbörd på 250 mm/år.
- Historiskt max. uttag. Totala uttag på 18,3 Mm³/år varav 13,0 Mm³/år från Grevie och effektiv nederbörd på 250 mm/år.
- Ökade uttag från grevie samt minskad effektiv nederbörd. Totala uttag på 6,5 Mm³/år och effektiv nederbörd på 205 mm/år.
- Historiskt max. uttag samt minskad effektiv nederbörd. Totala uttag på 18,3 Mm³/år och effektiv nederbörd på 205 mm/år.

3.5.1 Simulerade uttag

Uttagen från Grevie har satts till 3,5 Mm³ per år och för ett framtidsscenario har även modellen körts med ett uttag på 9,2 Mm³ per år som motsvarar tillståndsansökan. Utöver detta har även ett scenario körts med ett totalt uttag på 18,3 Mm³ per år varav 13,0 Mm³ per år från Grevie vattentäkt. Scenariot med 18,3 Mm³ per år motsvarar det historiskt högsta uttagen som gjorts från Alnarpsströmmen vilket inträffade runt år 1950 samt 1971 (Sydvästskaänes grundvattenkommitté, 2020). Uttagen är satta enligt Figur 3.9 med uttag enligt Tabell E.1 i Bilaga E. Uttagens placering är hämtade från Sydsvenska grundvattenkommitténs utredningar under 1970 till 1980 talet (Brinck & Leander, 1981) och de uttag som återfinns i de utredningarna antas därmed fortfarande nyttjas. Sett i Tabell 2.2 är de privata uttagen från Alnarpsströmmen större än de totala kommunala uttagen, om Grevie vattentäkt bortses ifrån. De privata uttagen har inkluderats i modellen genom att utgå från SGU:s brunnarkiv och genom en samlad bedömning av kapacitet och användning placerat uttag i områden för att representera vad som egentligen är ett större antal uttag av mindre storlek. De privata uttagen har placerats där flera brunnar av stor kapacitet är lokaliserade, men även på platser där det finns brunnar av större kapacitet som används för till exempel större lantbruk eller industrier. De privata uttagen har i viss mån försökt fördelats jämnt över undersökningsområdet. Denna metod är inte optimal men då det är svårt att hitta information kring uttagens exakta position och storlek, får detta anses vara en representativ bild av uttagen. Med undersökningsområdets omfång och för den här studiens syfte, får det anses vara tillräckligt bra för att upprätthålla vattenbalansen. I MODFLOW har brunnfilter använts för uttagsbrunnarna, så att de bara pumpar från vad som i modellen är Alnarps sedimenten samt den ytliga berggrunden. Information kring de kommunala uttagens exakta position har inte hittats utan de har placerats vid varje respektive tätort i undersökningsområdet för att representera de kommunala uttagen.

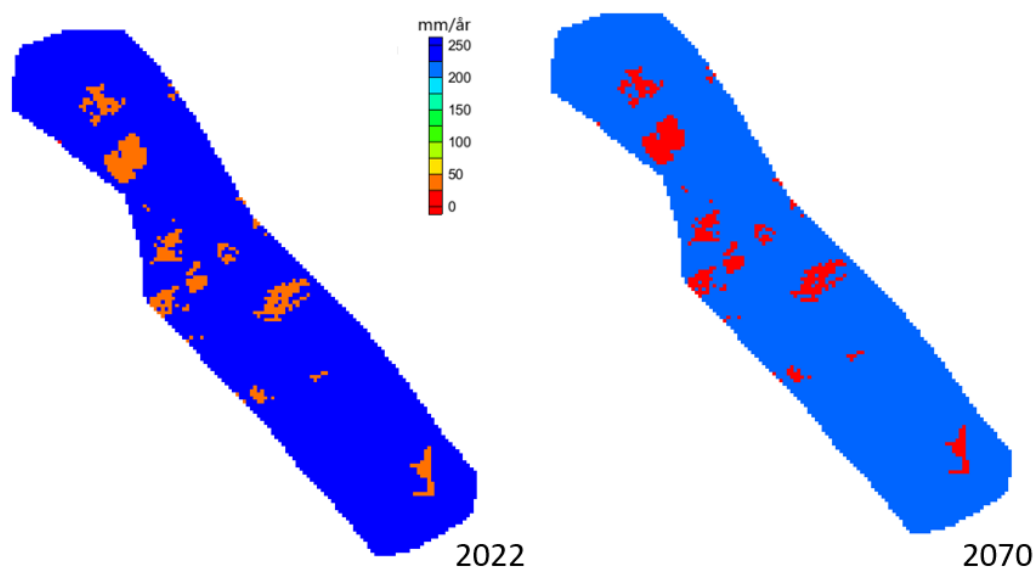


Figur 3.9 De uttag som är applicerade i modellen för normalscenariot. Uttagen är angivna i Mm^3 /år och är baserade dels på Sydvästskånes grundvattenkommittés uppgifter, dels på information från SGU:s brunnarsarkiv.

För scenariot gällande tillståndsansökan kommer modellen köras med samma fördelning som i Figur 3.9, med skillnaden av att Grevie vattentäkt i stället har ett uttag på $9.2 Mm^3$ per år. För scenariot som inkluderar de historiskt högsta uttagen på $18,3 Mm^3$ per år som gjorts från akviferen har $13,0 Mm^3$ per år satts för brunnen som representerar Grevie vattentäkt och resterande $5,3 Mm^3$ per år fördelats med samma förhållande som i Figur 3.9 och de går att se i Tabell E.1. Vilket ger en ökning av varje uttag med 78 % och får ses som ett extremt scenario. Exakta värden på uttagen i de olika scenarierna går att se i Bilaga E.

3.5.2 Simulerad effektiv nederbörd

Nederbörden för dagens scenario samt för ett scenario som motsvarar RCP 4.5 för år 2070 har använts i modellen. Tätorterna samt Sturups flygplats har ansetts så gott som impermeabla områden och därför har infiltration bara ansatts till 10 % av den totala effektiva nederbörden som tilldelats övriga områden. Effektiv nederbörd är den nederbörd som infiltrerar och leder till grundvattenbildning och ett medelvärde har beräknats för åren 1961 till 1990 på 200 till 300 mm per år för sydvästra Skåne (Sanner & Grahn, 1995). Den effektiva nederbörden har satts till 250 mm/år över området. För ett framtida scenario påvisar flera rapporter antingen en ökad grundvattenbildning i områden nära Skåne, men flera visar på en minskad grundvattenbildning på 10 till 25% (Sydvatten, u.å.). Ett scenario har i den här studien använts för att påvisa en minskad grundvattenbildning till följd av klimatförändringarna. Men det ska tas i beaktande osäkerheterna som värdet grundar sig på och det ska således mest användas för att simulera effekterna om grundvattenbildningen minskar. I ett framtida klimatscenario kring 2070 har det beräknats en temperaturökning på 2 grader. Den totala nederbörden idag är på 600 mm/år och den förväntas vid år 2070 öka med 7 mm per månad, vilket uppskattningsvis ger en framtida årlig nederbörd på 684 mm för år 2070. Då temperaturen under samma period väntas öka med 2 grader och enligt tumregeln ökar avdunstningen väntas öka med 5 till 10 % för varje grad temperaturökning. Eftersom transpirationen inte är med och den också väntas öka i takt med en förlängd växtsäsong, så antas att evapotranspiration ökar med 10 % för varje grad. Ett värde för den effektiva nederbörden har beräknats till 205 mm/år som ska återspegla året 2070 har använts i stället för 250 mm/år som återspeglar dagens klimat. Beräkningarna för detta värde finns beskrivna i Bilaga D. Den effektiva nederbörden har i modellen applicerats enligt Figur 3.10, där tätorterna har en effektiv nederbörd som är tio gånger mindre än för resterande områden. Skillnaden i genomsläpplighet mellan skog och brukad jord antas vara försumbar i jämförelse med jordartens påverkan och den effektiva nederbörden har inte ansatts till olika värden beroende på vilken jordarter som ligger i det översta lagret. Den effektiva nederbörden har även ansatts till den högst aktiva cellen i modellen för att undvika problem med eventuella torra celler som blockerar flödet. I Figur 3.10 visar den effektiva nederbörden i mm per år som används i modellen samt dess utbredning.



Figur 3.10 Effektiv nederbörd i mm/år för året 2022 samt för ett simulerad scenario år 2070 baserat på klimatscenario RCP 4.5. Områdena som är orangea respektive röda motsvarar tätorter i undersökningsområdet.

Tabell 3.3 visar de värden på de olika områdena som visas i Figur 3.10, som har ansatts i modellen.

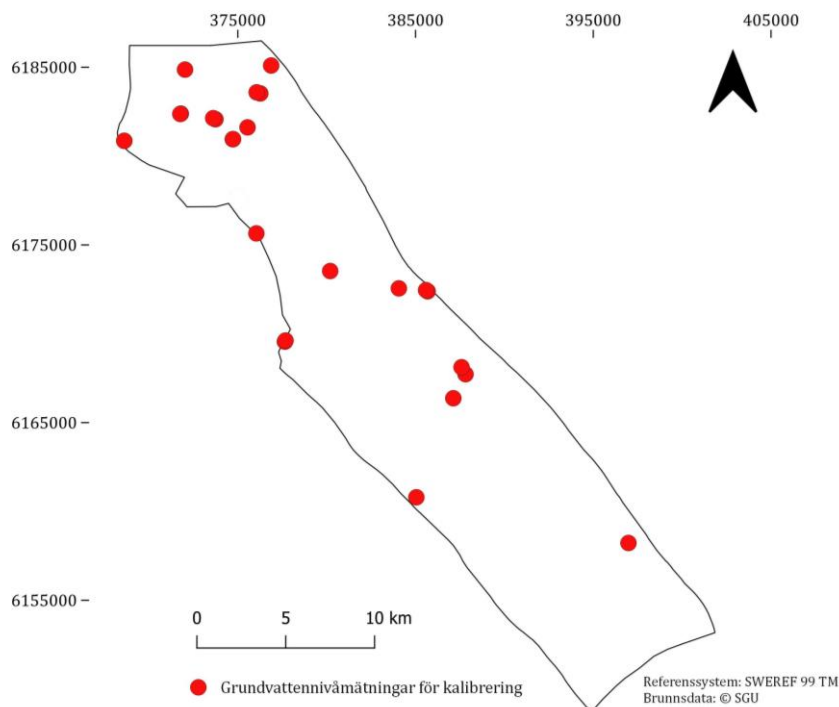
Tabell 3.3 Den effektiva nederbörden i mm per år som sätts in i modellens översta aktiva celler för scenario som återspeglar dagsläget samt för ett scenario som grundar sig i RCP 4.5 för år 2070.

Område	2022 (mm/år)	2070 (mm/år)
Tätorter	25,0	20,5
Resterande områden	250,0	205,0

3.6 Modellkalibrering

Mätningar av grundvattennivån har lagts in som observationsbrunnar i området för att kalibrera modellen. Mätningar av grundvattennivåer har tagits från år 2015 där de senaste mätningarna är 2020 och är hämtade från SGU:s brunnsarkiv. De observerade nivåerna går att se i Figur 3.11 och information kring varje punkts nivå, och nivådatum går att se i Bilaga G. Punkter har valts sedan år 2015, då det sedan dess inte har skett några större förändringar i de uttag som har gjorts från akviferen samt för att få ett tillräckligt underlag med observationer av grundvattennivån genom hela undersökningsområdet. Då grundvattennivån i området fluktuerar mycket och generellt har ett minimum under sommarmånaderna (Gustafsson m. fl., 2005) har nivåmätningar gjorda under juni, juli och augusti uteslutits ur kalibreringsdatan. Under resterande månader antas skillnaden var betydligt mindre påtaglig. Vid val av kalibreringsdata har det valts att fokusera på att använda nyare data än data som är från samma årstid eller månad. Antalet kalibreringspunkter på 21 anses vara en tillräcklig mängd för att kalibrera modellen och få verklighetstroga simuleringar. Det optimala hade varit fler kalibreringspunkter och att ligger jämnt utspridda i området, men då de är betydligt färre mätningar gjorda i den sydöstra delen av undersökningsområdet begränsades möjligheterna att använda fler kalibreringspunkter i denna del av området.

Kalibreringen har gjorts med avseende att få skillnaderna i inflöde och utflöde att understiga en procent och helst så nära noll som möjligt. Var grundvattenmätningarna och därmed observationspunkterna som användes för kalibrering är gjorda går att se i Figur 3.11. Exakta koordinater och värden för punkterna som visas i Figur 3.11 går att se i Tabell G.1 i Bilaga G.



Figur 3.11 Grundvattennivåmätningarna av SGU som användes för att kalibrera modellen och deras geografiska position i undersökningsområdet.

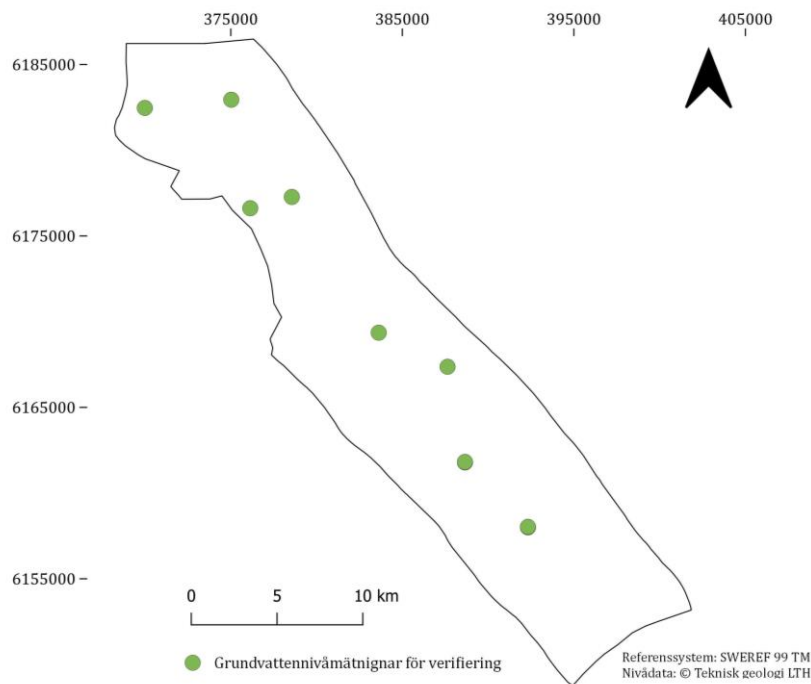
Ett kalibreringsmål har varit att en skillnad på upp till två meter mellan beräknade och observerade grundvattennivåer är acceptabelt. Värdet på två meter baseras på variationer i grundvattennivå, men också till stor del på osäkerheterna med topografi som ger en stor osäkerhet i grundvattennivån. Kalibreringsmålet anses även tillräckligt noggrant med modellens omfattning i beaktande, och att det är ett stort område som modelleras. RMS (Root Mean Square) gällande skillnaderna i nivåerna har även använts för att kalibrera modellen för att försöka uppnå ett värde så nära noll som möjligt. Då inga mätningar eller observationer på flöden finns kommer modellen enbart att kalibreras för att passa in så bra som möjligt till de grundvattennivåmätningar som har gjorts. Det beräknas utifrån Ekvation 3.1 och är ett mått på spridningen av skillnaden mellan observerade och simulerade nivåer, där n är antalet datapunkter och R_i är skillnaden mellan observerad grundvattennivå och den simulerad grundvattennivå. RMS av residualerna används därmed som ett mått på hur väl anpassad modellens simulerade nivåer är till de observerade nivåer som kalibreras.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i R_i^2} \quad (\text{Ekv. 3.2})$$

Kalibrering har utförts manuellt med en iterativ så kallad ”trial and error” metodik, med målet att uppnå RMS och ett volymfel som är acceptabelt. En känslighetsanalys utfördes enbart på kalibrerade parametrar och inte i syfte att kalibrera modellen. En sådan analys hade varit kunnat lett till en bättre anpassning, men valdes bort i mån av tid. Kalibreringen har fokuserat på att få ett så bra anpassat värdet mot RMS, då grundvattennivåmätningarna oftast kommer med stor säkerhet (Sonnenborg & Henriksen, 2005).

3.7 Modellverifiering

Data för att verifiera modellen kommer att användas från tryckgivare som har blivit placerade i området. Från tryckgivarna har mätningar gjorts kontinuerligt med en timmes mellanrum under perioden 2020-10-01 till 2021-09-30. Dessa punkter är markerade i Figur 3.12 och deras koordinater och mätvärden finns i Bilaga H. För varje tryckgivare har nivån beräknats och justerats utifrån variationer i barometertryck. Ett medelvärde har sedan beräknats för denna period som sedan har använts för att verifiera modellen. De värden som har beräknats har omvandlats från tryckavläsningar till att få värden som är angivna som meter utefter höjdmodell RH 2000. Koordinater och värde för varje enskild parameter går att se i Bilaga H. Totalt användes åtta mätpunkter för att verifiera modellen. De är jämnt utspridda vilket går att se i Figur 3.12 som visar deras position i undersökningsområdet. Grundvattennivåmätningarna är gjorda i brunnar som är borrhade ner till Alnarpssedimenten. Modellverifiering kommer att jämföra de värdet RMS av residualerna, samt hur mycket varje punkt skiljer sig ifrån den simulerade grundvattennivån.



Figur 3.12 Grundvattennivåmätningar utförda av Teknisk geologi LTH, som användes för att verifiera modellen.

Intervall för ett godkänt mål har varit samma som för kalibreringen, vilket innebär att en skillnad upp till 2 meter mellan simulerad nivå och observerad grundvattennivå har satts som acceptabelt. Nivådata som visas i Figur 3.12 är den enda data som använts för att verifiera modellen då flödesdata inte har varit tillgänglig.

3.8 Känslighetsanalys

En känslighetsanalys har utförts på parametrar så som effektiv nederbörd, konduktans för gränserna och hydraulisk konduktivitet för varje material. Parametrarna kommer att enskilt ändras till värden som ligger i ett intervall mellan $\pm 50\%$ från de kalibrerade värdena med steg om 25% . Syftet med känslighetsanalysen är att undersöka de ingående parametrarnas effekt på modellen och visa på modellens känslighet samt vara till stöd för tolkningen av det ekvivalensproblemet som tillkommer med modellen. Hur värdet på parametrarna påverkar vattenbalansen, där specifikt volymfelet samt RMS av residualerna kommer att studeras. Värdena på parametrarna för känslighetsanalysen återfinns i Bilaga F.

4 Resultat

I kommande delar följer först resultaten av kalibreringen och verifieringen av modellen. Därefter kommer ett stycke där känslighetsanalysen presenteras. Resultatet för grundvattenbildning visas först i del 4.4 som följs av en presentation av de nivåer och flöden som återfinns i ursprungsscenarioet. De olika modellerade scenariernas påverkan på vattenbalanserna går att se i del 4.6.

4.1 Kalibrering

Kalibreringen ledde till följande värden på hydraulisk konduktivitet, som går att återfinna i Tabell 4.1. Notera att den hydrauliska konduktiviteten för morän och lera är högre än det intervall som presenteras i litteraturen i del 2.2. Om lägre hydrauliska konduktiviteter användes upplevdes stora svårigheter i att få modellen att konvergera eller så konvergerade den inte alls.

Tabell 4.1 *De kalibrerade värden för hydraulisk konduktivitet, för de material som ingår i modellen, i m/s i både horisontell (K_h) och vertikal (K_v) led.*

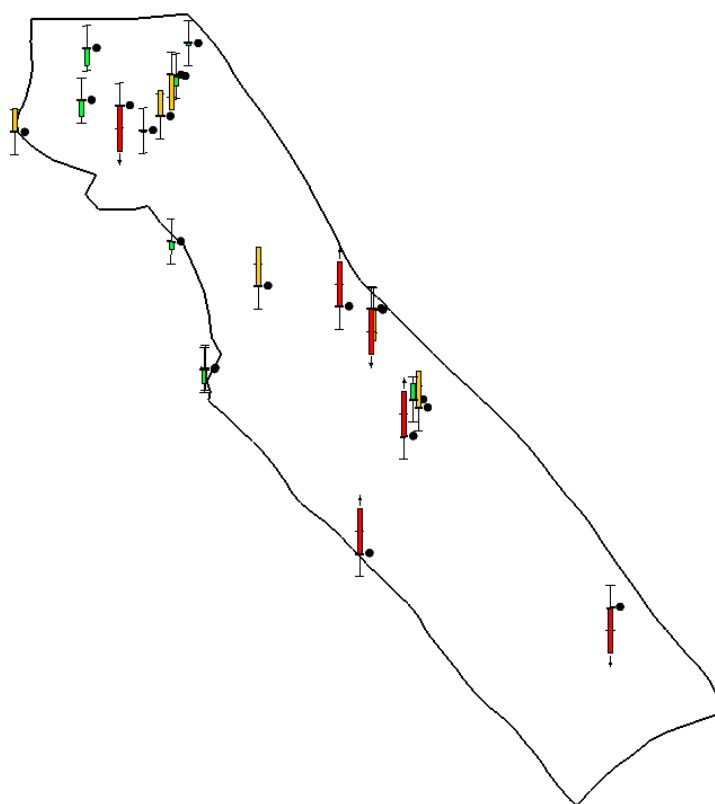
Material	K_h (m/s)	K_v (m/s)
Grus	$4 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3}$
Sand	$6 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-4}$
Finsand	$4 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-5}$
Silt	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-7}$
Kalksten	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$
Morän	$1 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-8}$
Lera	$1 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-8}$

Modellen med de kalibrerade hydrauliska konduktiviteterna resulterade i ett volymfel och ett procentfel som går att se i Tabell 4.2, tillsammans med värdet för RMS av residualerna.

Tabell 4.2 *Värdet för RMS av residualerna i meter och volymfelet både i m^3/s och som en procentandel av det totala flödet i modellen.*

	Värde
RMS (m)	3,60
Volymfel (m^3/s)	0,0089
Volymfel (%)	0,0920

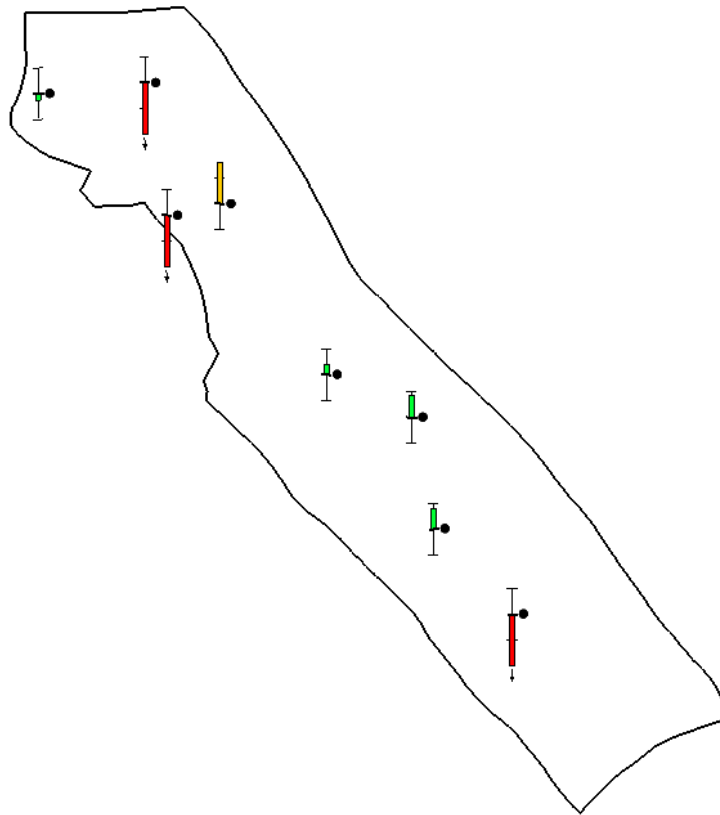
Hur nivåerna i den simulerade modellen skiljer sig mot de observerade nivåer som används som kalibreringspunkter och som värdet för RMS av residualerna baseras på går att urskilja i Figur 4.1. Där anger en grön stapel felet inom det konfidensintervall som har satts till 2 meter. Gul stapel betyder att felet är större än 100 % av det godkända intervallet och röd stapel att felet är större än 200 %. Det finns fler gröna staplar i den nordvästra delen och felet verkar öka mot den sydöstra delen. Vissa av de simulerade grundvattennivåerna är högre än den uppmätta grundvattennivån medan andra är lägre, och den här variationen återfinns både genom hela undersökningsområdet och mellan två närliggande observationspunkter. En graf över hur väl de simulerade värdena passar de observerade värden för kalibreringspunkterna finns i Bilaga G. I Figur G.1, som visar observationsnivåer mot simulerade nivåer, går det att se att grundvattennivåerna i den sydöstra delen är högre och är det värdet som sticker ut mest av alla mätpunkter.



Figur 4.1 Avvikelsen från simulerade grundvattennivåer och observerade nivåer som användes för kalibrering. Grön stapel betyder ett fel inom ett intervall på två meter, gul att felet är större än 100 % och röd att felet är större än 200 % av det godkända intervallet.

4.2 Verifiering

Hur väl anpassningen var till de verkliga uppmätta grundvattennivåerna som användes som verifieringsdata går att se i Figur 4.2. Hälften av observationspunkterna för verifiering ligger inom det acceptabla intervallet och tre observations punkter indikerar att modellen underskattar nivån med mer än 200 %. RMS av residualerna för observationspunkterna som användes för verifiering är 5,30 meter. Hur väl anpassningen mellan simulerade- och observerade nivåer som användes för att verifiera modellen går att se i Bilaga H, där Figur H.1 visar de observerade- och simulerade nivåerna



Figur 4.2 Avvikelsen från simulerade grundvattennivåer och observerade nivåer för de mätningar som användes för verifiering. Grön stapel betyder ett fel inom ett intervall på två meter, gul att felet är större än 100 % och röd att felet är större än 200 % av det godkända intervallet.

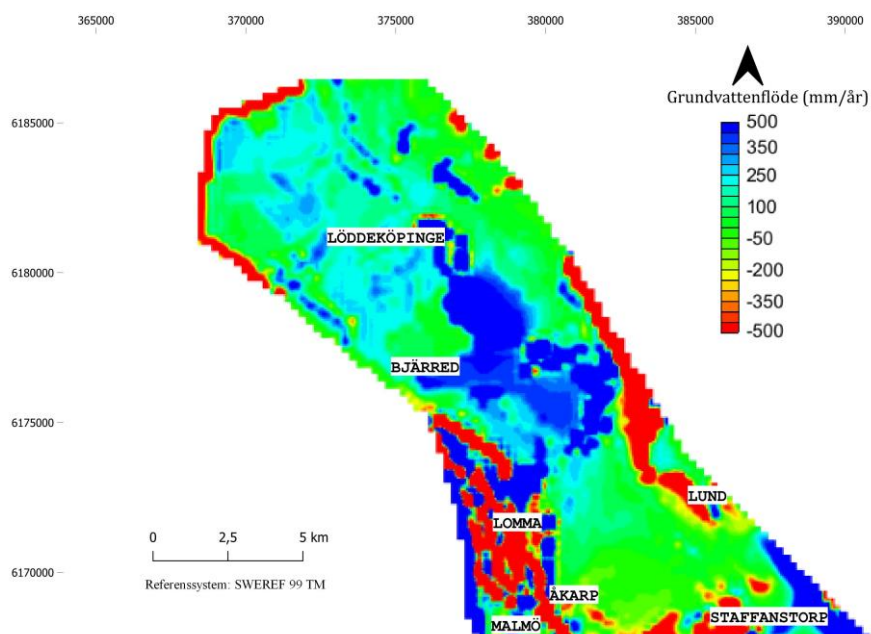
4.3 Känslighetsanalys

Graferna som illustrerar resultatet av känslighetsanalysen går att se i sin helhet i Bilaga F. Här går det att se hur de hydrauliska konduktiviteterna i både horisontell och vertikal led, effektiv nederbörd och konduktans påverkar på RMS av residualerna samt volymfelet. Här följer en sammanfattning av de generella drag som går att urskilja från känslighetsanalysen. Det går att se att en lägre horisontell hydraulisk konduktivitet på grus på ungefär 75% av det kalibrerade värdet ger ett volymfel nära 0 % och ett RMS av residualerna som är 0,05 meter bättre än det kalibrerade värdet. För samtliga material tycks den horisontella hydrauliska konduktiviteten ha en större påverkan på volymfelet än den vertikala. Det går också att urskilja att den hydrauliska konduktiviteten bortsett från sand, verkar ha en påverkan som är som störst 0,05 meter på RMS av residualerna. Sand har, vid ett värde som är högre än 150 % än det kalibrerade värdet, ett RMS på 3,50 meter jämfört med det kalibrerade värdet på 3,60 meter vilket är en bättre anpassning. Ändringar i effektiv nederbörd påverkar vattenbalansen och vid 150 % av det kalibrerade värdet återfås ett volymfel på 0,40 % i stället för det kalibrerade volymfelet på 0,07 %. Effektiv nederbörd är den parameter som har störst påverkan på RMS av residualerna och inom det undersökta intervallet uppstår en variation för RMS av residualerna mellan 3,47 och 3,77 meter. En ökning av parametern konduktans för de konstanta nivå-gränserna

verkar inte ha någon större påverkan på RMS av residualerna, men ökar volymfelet och är som störst 0,22 m³/s för 125 % av det kalibrerade värdet.

4.4 Grundvattenbildning

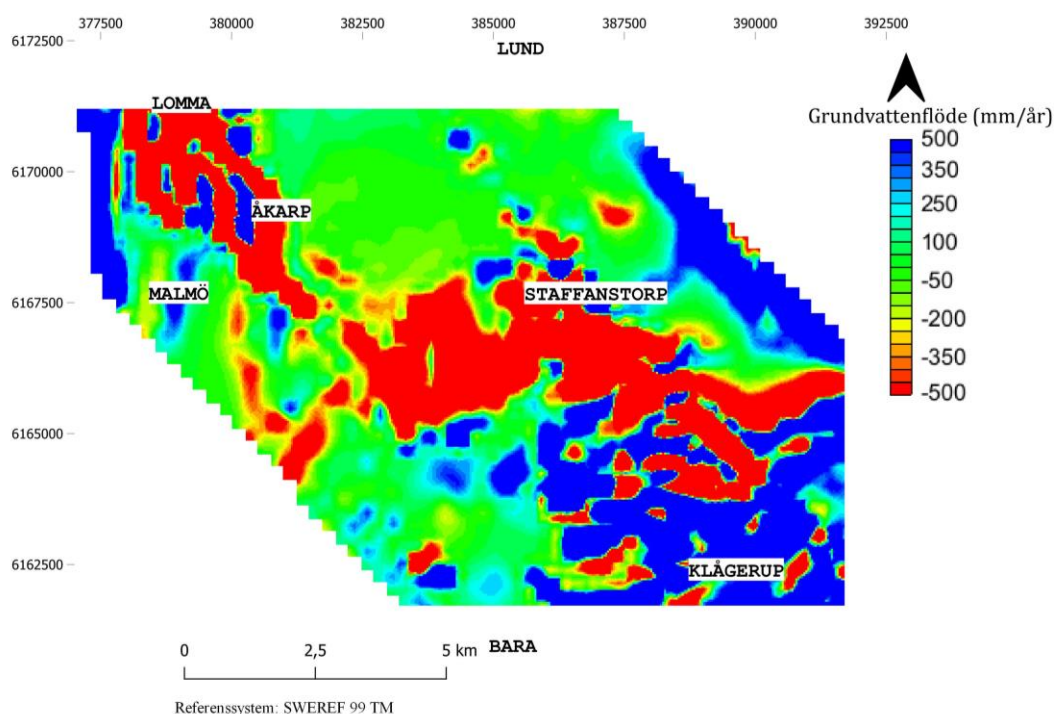
Grundvattenbildningen i mm/år går att se i Figur 4.3 till 4.6 som illustrerar flödet från cellagret som anses vara det närmast ovanför Alnarps sedimenten. De värden som presenteras i Figur 4.3 till 4.5 visar både storlek och riktning, då ett positivt värde anger att det huvudsakliga flödet är riktad nedåt mot Alnarps sedimenten, medan ett negativt värde indikerar en flödesriktning uppåt för cellen. I den nordvästra delen av området som illustreras i Figur 4.3, går det att se att ett område med en diameter på cirka 3 kilometer sydost om Löddeköpinge har högre flöden än omkringliggande områden. Väster och nordväst om Löddeköpinge finns det fläckvis områden som har som störst en diameter på 1 kilometer och som uppvisar ett grundvattenflöde kring 250 till 300 mm per år. Ett område öster om Bjärred, som är ungefär 2 x 5 kilometer stort, uppvisar också större flöden till Alnarps sedimenten som är 500 mm per år eller högre. Ett område 2 kilometer norr om och 2 kilometer söder om Lomma återfinns även höga flöden, i båda riktningarna. Kring gränserna syns flöden som är uppåtriktade och med en storlek som åtminstone är 500 mm per år. Övergripande, går det att se att en stor del av området inte är mycket genomsläppligt där det vertikala flödet är nära noll, vilket ses som de gröna cellerna i Figur 4.3.



Figur 4.3 De absoluta flödena i vertikal led för varje cell i den mittersta delen av området, uttryckta i mm/år. Cellagret ligger på en nivå på -40 till -45 meter, som är lagret som ligger precis ovanför Alnarps sedimenten.

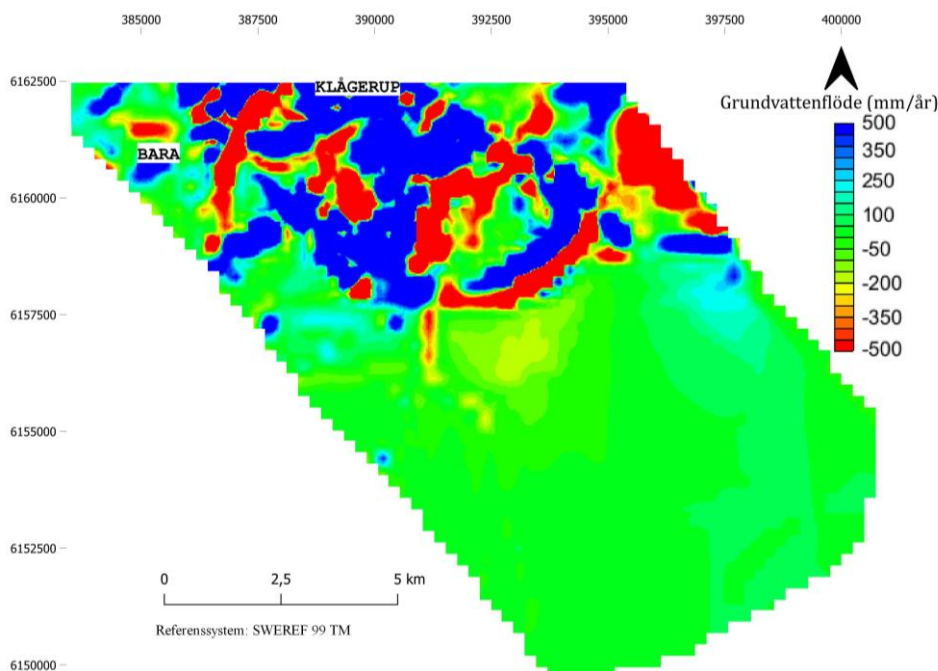
Att notera är att i Figur 4.3 till 4.5, finns värden som är avsevärt större än 500 mm per år med extremt höga flöden. Däremot ligger merparten av värdena mellan 0 och 500 mm/år. Lagret som visas i Figur 4.3 motsvarar en nivå på -40 till -45 meter. Då Alnarps sedimenten återfinns på olika djup i undersökningsområdet (Går att se i Figur 3.5 till 3.7) har olika cellager analyserats för olika delar av undersökningsområdet.

Grundvattenflödena i den mittersta delen av undersökningsområdet, området strax söder mellan Malmö och Lund, går att se i Figur 4.4. Här visas ett cellager som i den här delen av dalen också motsvarar nivån -40 till -45 meter. Höjderna är angivna i höjdsystemet RH 2000. Här går det att se, förutom det ovan nämnda området kring Lomma, ett område med en diameter på ungefär 5 kilometer söder om Staffanstorp mot Klågerup där höga flöden i båda riktningarna återfinns. Väster om Staffanstorp finns även ett område med en diameter på cirka 2,5 kilometer med flöden på åtminstone 500 mm/år, men riktade uppåt och inte ner mot Alnarpssedimenten. I den mittersta delen av undersökningsområdet som visas i Figur 4.4 går det även se att området innehåller många celler som är markerade grönt, vilket indikerar låga flöde i storleksordningen 0 till 50 mm per år.



Figur 4.4 De absoluta flödena i vertikal led för varje cell i den mittersta delen av området, uttryckta i mm/år. Cellagret ligger på en nivå på -40 till -45 meter, som är lagret som ligger precis ovanför Alnarpssedimenten.

I den sydöstra delen av området, så illustreras grundvattenflödena i Figur 4.5. Här går det att se att området som tidigare uttrycks som söder om Staffanstorp i Figur 4.4, sträcker sig fortsatt sydost om Klågerup. Detta område som är cirka 3 x 5 kilometer stort, innehåller höga flöden i båda riktningar men där en större del är riktade neråt mot Alnarpssedimenten. I den sydöstra delen av Figur 4.5, mot grundvattendelaren som avgränsar undersökningsområdet, är flödena små och i storleken 0 till 50 mm/år och är huvudsakligen nedåtriktade mot Alnarpssedimenten.



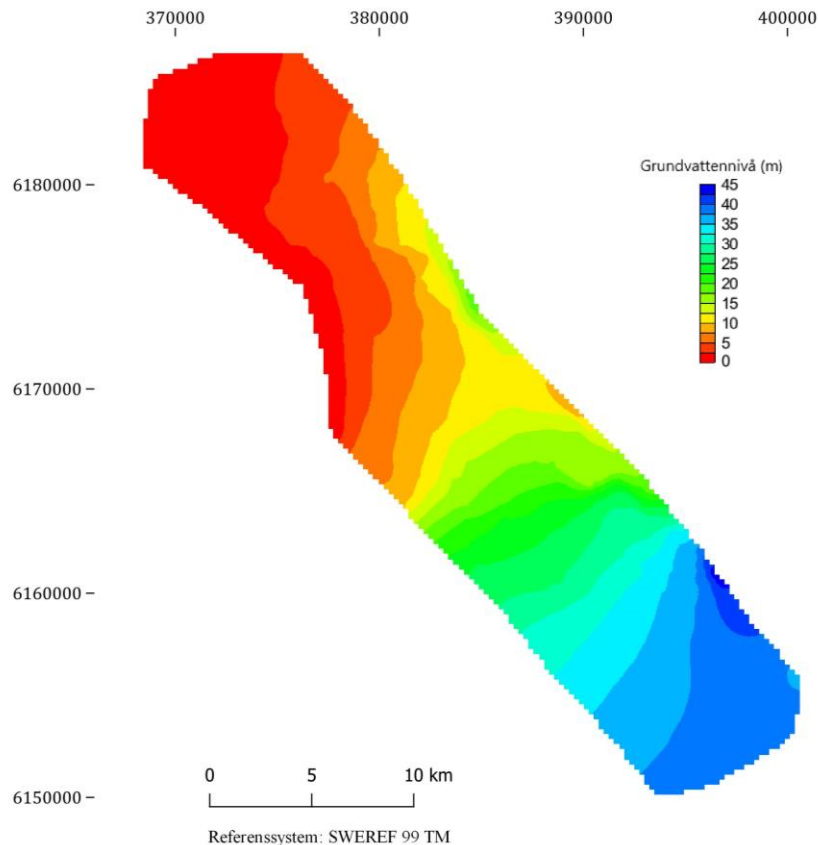
Figur 4.5 De absoluta flödena i vertikal led för varje cell i den sydöstra delen av området, uttryckta i mm/år. Cellagret ligger på en nivå på -20 till -28 meter, som är lagret som ligger precis ovanför Alnarpsedimenten.

De vattenbalanser som visar det totala flödet över områdena i Figur 4.3 till 4.5 finns i Bilaga I.3, och visar att det totala flödet neråt är störst för det mittersta området som är representerat i Figur 4.4 och som minst i området som illustreras i Figur 4.5. Flödet till Alnarpsedimenten och omkringliggande berggrund är uppskattat till 657 mm/år för området som visas i Figur 4.4 och 248 mm/år respektive 157 mm/år för områdena i Figur 4.3 respektive 4.5.

4.5 Simulerade flöden och nivåer

Flöden in i modellen uppgår till 8,8339 m³/s och flödena ut från till 8,8333 m³/s. Där flöden in och ut över gränserna utgör 5,9760 m³/s respektive 8,6288 m³/s av det totala flödet. Jämförbart är att den effektiva nederbörden är 2,8635 m³/s och uttagen 0,2045 m³/s. En fullständig flödebalans går att finna i Bilaga J. Grundvattennivåerna som simulerats är illustrerat i Figur 4.6, som visar ett cellager med nivå på -60 till -65 meter.

Där går det att se att grundvattennivåerna är högre i den sydöstra delen av undersökningsområdet och att trycket minskar som mest i sydöst till nordvästlig riktning. En minskning av grundvattennivåerna går även att urskilja från den nordöstra gränsen. Grundvattennivåerna varierar från 45 meter i sydost ner till 0 meter i den nordvästra delen som gränsar mot Öresund. Kring Grevie vattentäkt går det även se att nivåskillnaderna avstannar på ett stort område som har en grundvattennivå på 20 till 25 meter, vilket är illustrerat med grönt i Figur 4.6.



Figur 4.6 Simulerade grundvattennivåer i meter avseende höjdsystemet RH 2000. Här syns en högre grundvattennivå i den sydöstra delen som minskar mot den nordvästra delen.

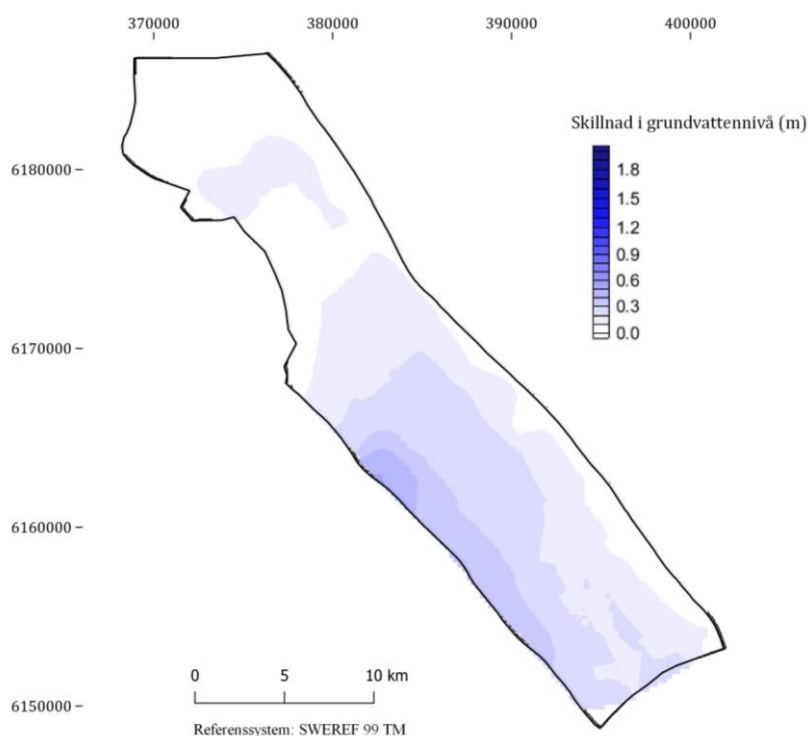
I flödesbalanserna som visas i Bilaga I.2 går det att se att det är ett nettoutflöde på 4,8 m³/s från den konstanta nivå gränsen ut mot havet, som visas i Figur 3.8, i nordväst och att det är ett nettoinflöde på 2,1 m³/s från den konstanta nivån som avgränsar i nordost.

4.6 Simulerade scenarier

Scenarierna som antingen simulerar ökade uttag eller minskad nederbörd, eller en kombination, är presenterade i följande stycken. Resultaten från de olika scenarierna visas i skillnad från ursprungscenariot, som har en effektiv nederbörd på 250 mm/år och totala uttag på 6,5 Mm³ per år. För uttagsscenarierna så presenteras endast skillnaden i nivå och för nederbördsscenarierna så visas även en skillnad på grundvattenflödena i lagret ovanför Alnarps sedimenten. Resultaten för skillnad i grundvattennivå kommer att visas för cellagret som ligger i de ytligare Alnarps sedimenten, dvs på en nivå på -60 till -65 meter.

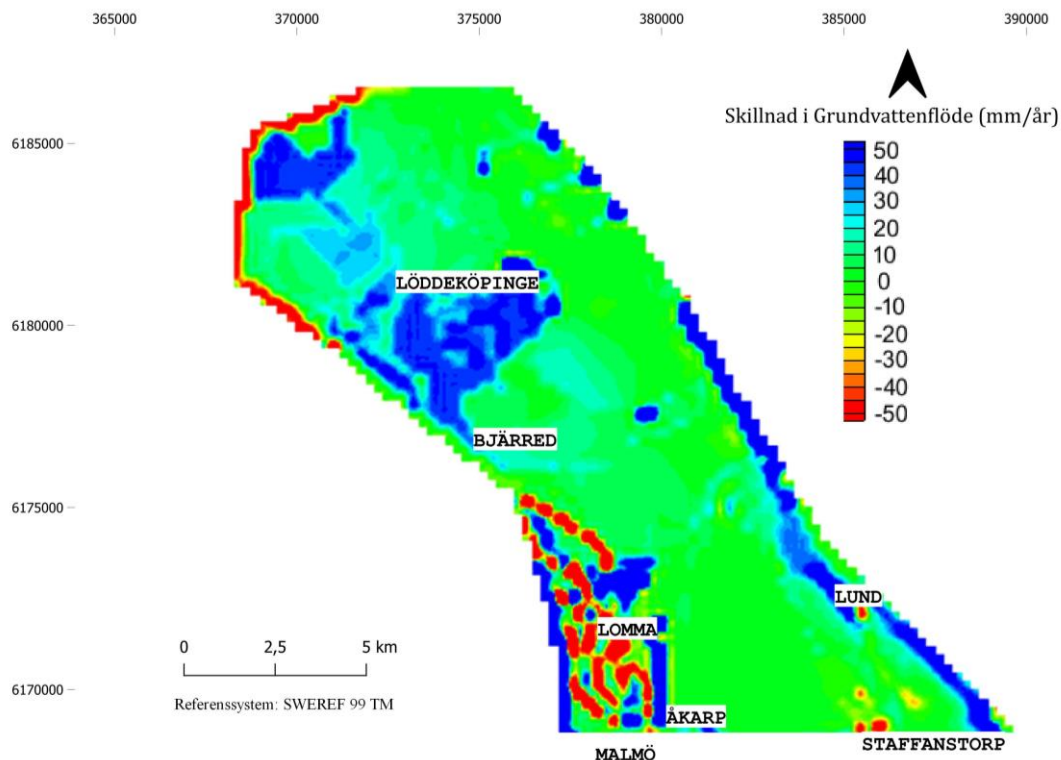
4.6.1 Minskad effektiv nederbörd

En ändring i effektiv nederbörd från 250 mm per år till 205 mm per år i modellen resulterade i Figur 4.7, följande skillnad i grundvattennivå jämfört med ursprungscenariot. I Figur 4.7 går det att se att grundvattennivån minskar med ungefär 0,7 meter i närheten av den sydvästra gränsen och avtar sedan mot nordost. Där är även en sänkning av grundvattenytan som uppstår i området kring Löddeköpinge i den nordvästra delen av undersökningsområdet, ses kring koordinaterna 6180000, 370000-380000 i Figur 4.7. I gränserna mot havet och nordöst, som är konstanta nivågränser, sker det en sänkning av grundvattenytan som är mellan 0,0 och 0,1 meter.



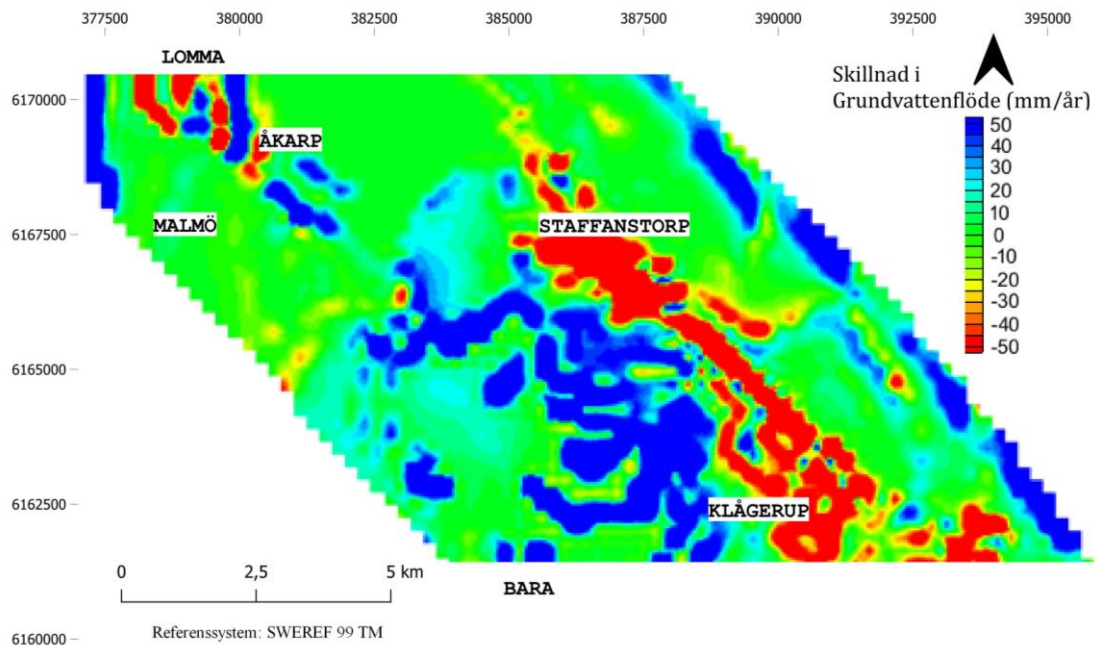
Figur 4.7 Skillnaden i grundvattennivå i meter mellan ursprungscenario och det simulerade scenariot med en effektiv nederbörd på 205 mm/år i stället för 250 mm/år.

Förändringarna i flöde genom det cellager som ligger precis ovanför lagret som klassas som Alnarps sedimenten, visas i Figur 4.8 till 4.10. Skalan som skillnaden är illustrerad i har ett intervall på -50 mm till 50 mm per år och innefattar de flesta värdena, men notera att det även finns extremvärden som ligger utanför det här intervallet. I den nordvästra delen som illustreras i Figur 4.8, så minskar flödet i ett område men en radie på 3,5 till 4 kilometer sydväst om Löddeköpinge. Det som ses blått i Figur 4.8. där skillnaden i flöde ligger kring som minst 50 mm/år. I resterande områden som ses som gröna är skillnaden runt noll, förutom vid randen mot nordost där det sker en minskning av flödet i vertikal led. Det går även se fläckvisa ökningarna av flödet norr och syd om Lomma. Norr och syd om Lomma finns även fläckar där grundvattenflödet minskar med åtminstone 50 mm/år.



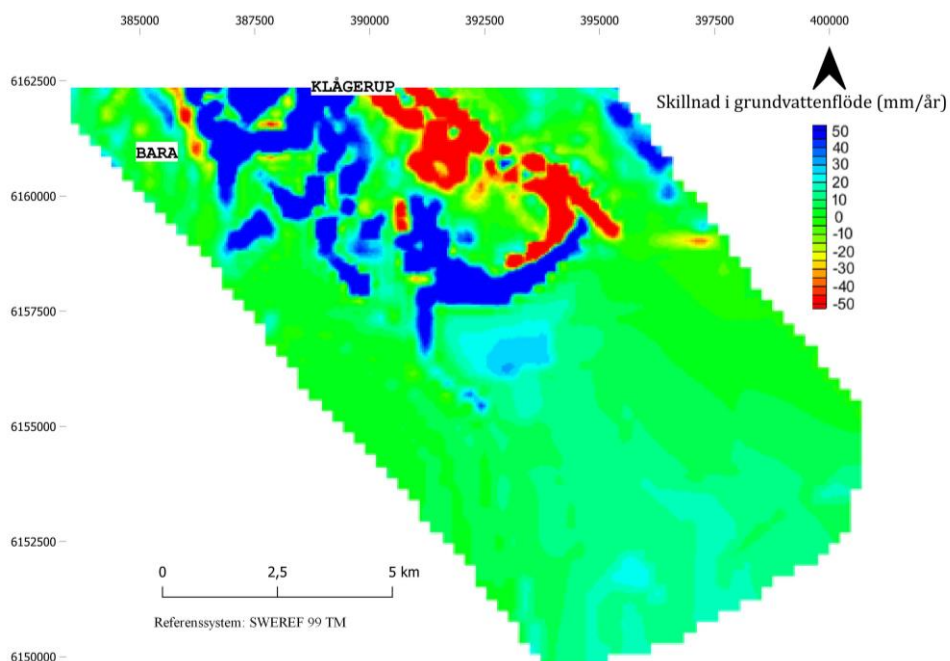
Figur 4.8 Skillnaden i absoluta flödena i vertikal led för varje cell i den nordvästra delen av området, uttryckta i mm/år. Cellagret ligger på en nivå på -40 till -45 meter, som är lagret som ligger precis ovanför Alnarpsedimenten. Skillnaden är mellan ursprungscenariot och simulerat scenario med en effektiv nederbörd på 205 mm/år.

I den mittersta delen av undersökningsområdet kring Åkarp, Staffanstorp och Klågerup är merparten av området grönt, vilket betyder att skillnaden i grundvattenflöde är nära 0 mm per år. I ett område mellan Staffanstorp och Klågerup så finns även ett område som är cirka 7 kilometer långt och 1 kilometer brett där grundvattenflödet minskar med åtminstone 50 mm/år. Strax väster om detta område finns ytterligare ett område som påvisar skillnader. Detta område som ligger mellan Staffanstorp och Bara, är cirka 3 till 4 kilometer i diameter, visar på en minskning på åtminstone 50 mm/år av grundvattenflödet i det lager som ligger ovanför Alnarpsedimenten.



Figur 4.9 Skillnaden i absoluta flödena i vertikal led för varje cell i den mittersta delen av området, uttryckta i mm/år. Cellagret ligger på en nivå på -40 till -45 meter, som är lagret som ligger precis ovanför Alnarpsedimenten. Skillnaden är mellan ursprungsscenario och simulerat scenario med en effektiv nederbörd på 205 mm/år.

I den sydöstra delen av undersökningsområdet är det en stor del av området som illustreras som grönt, vilket innebär att skillnaden i grundvattenflöde är nära 0 mm per år. Här går det att se att de ovan nämnda områdena mellan Staffanstorp och Klågerup respektive Bara sträcker sig längre mot sydost. Det går även i Figur 4.10 att se att skillnaderna är som störst i den centrala delen av undersökningsområdet och mindre och nära noll vid gränserna, vilket även går att se i Figur 4.9.



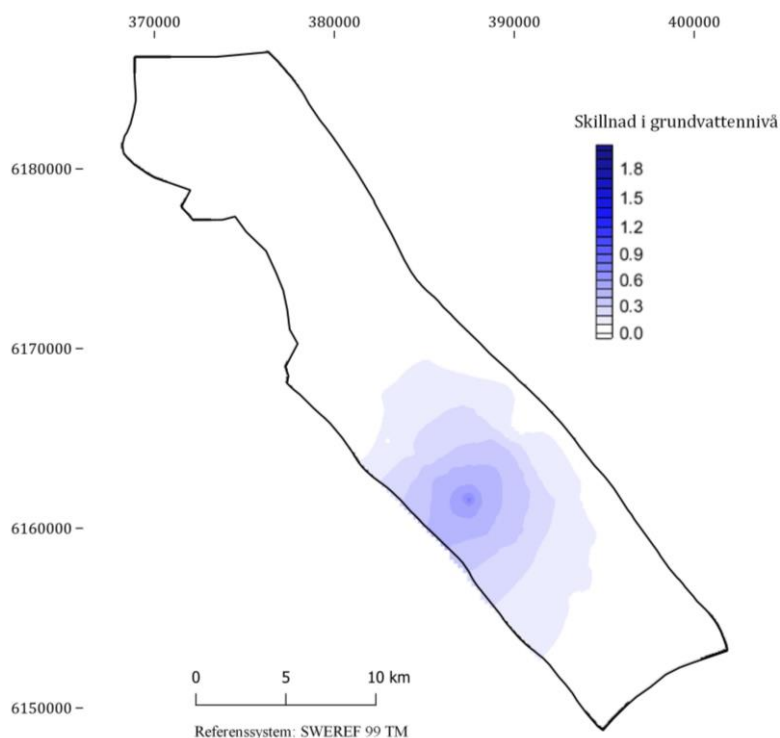
Figur 4.10 Skillnaden i absoluta flödena i vertikal led för varje cell i den nordvästra delen av området, uttryckta i mm/år. Cellagret ligger på en nivå på -20 till -28 meter, som är lagret som ligger precis ovanför Alnarpsedimenten. Skillnaden är mellan ursprungsscenario och simulerat scenario med en effektiv nederbörd på 205 mm/år.

4.6.2 Ökade uttag

De två scenarier med olika volym ökade uttag kommer att visas med en skillnad i grundvattennivå jämfört med ursprungsscenario med dagens uttag.

4.6.2.1 Uttag från Grevie vattentäkt på 9,2 Mm³/år

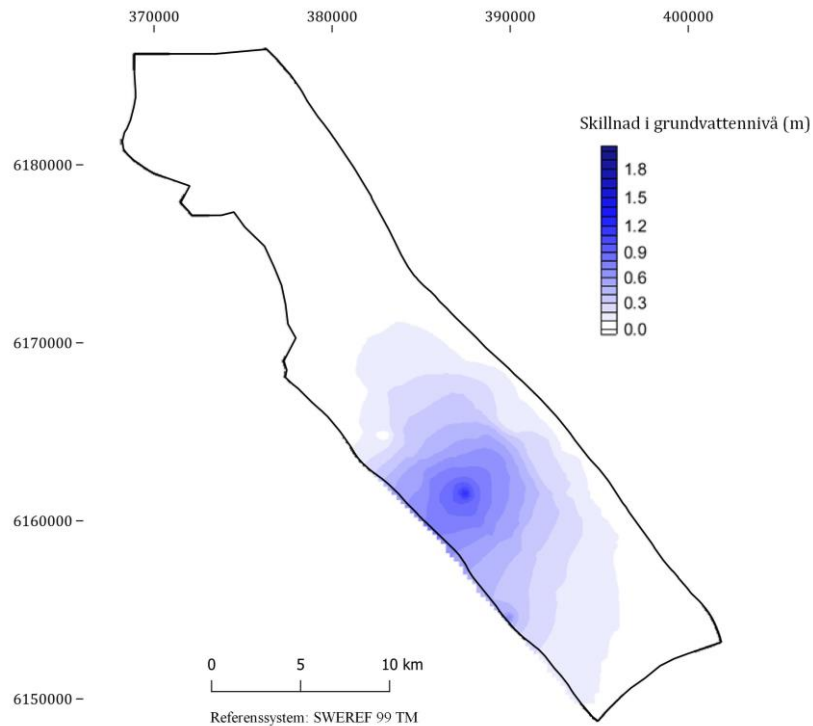
I Figur 4.11 går det att se att en skillnad i grundvattennivå jämfört med ursprungsscenario på cirka 0,8 meter nära Grevie vattentäkt, vilket ungefär har koordinaterna 616000, 387500 i Figur 4.11 vars lokalisering går att se i Figur 1.1 men även som den punkt där avsänkning är som störst i Figur 4.11, när ett uttag från vattentäkten är 9,2 Mm³/år. Avsänkning avtar längre bort från vattentäkten men en ungefärlig påverkansradie på 6 kilometer där en avsänkning av grundvattennivån är som minst 0,3 meter.



Figur 4.11 Skillnaden i grundvattennivå i meter mellan ursprungsscenario och det simulerade scenariot där uttagen från Grevie vattentäkt är 9,2 Mm³/år.

4.6.2.2 Totala uttag från Alnarpsströmmen på 18,3 Mm³/år

I scenariot där det maximala historiska uttaget från Alnarpsströmmen på 18,3 Mm³/år simuleras, går det att se i Figur 4.10 en avsänkning på över 1 meter vid Grevie vattentäkt och ett område med en radie på 7 kilometer där grundvattennivån sjunker med åtminstone 0,5 meter. I övrigt sker ingen avsänkning av grundvattennivån i den nordvästra delen av undersökningsområdet.



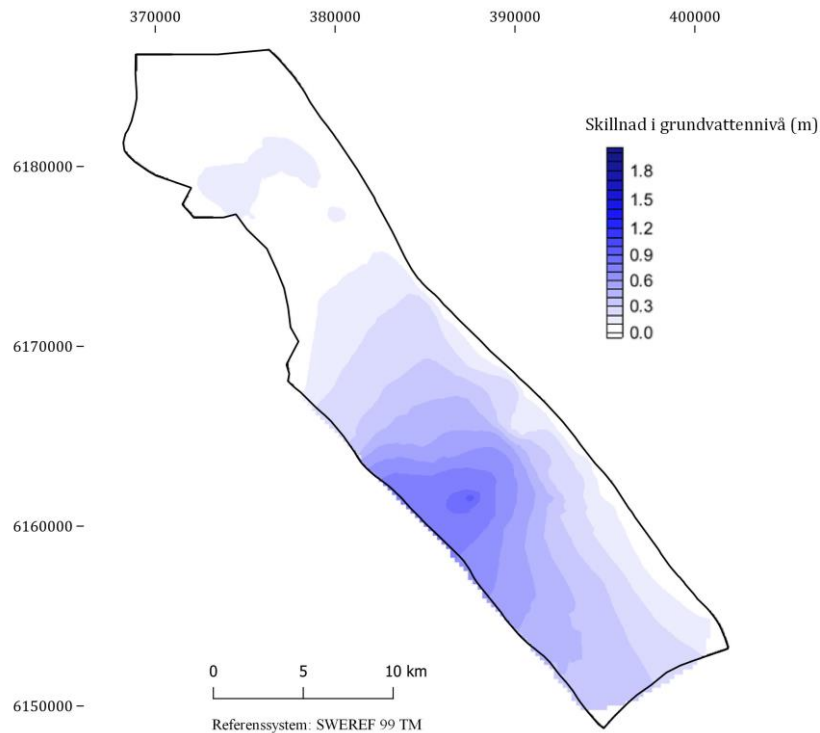
Figur 4.12 Skillnaden i grundvattennivå i meter mellan ursprungscenariot och det simulerade scenariot där uttagen från Grevie vattentäkt är 13,0 Mm³/år och det totala uttaget från Alnarpsströmmen är 18,3 Mm³/år.

4.6.3 Ökade uttag samt minskad effektiv nederbörd

Kombinationen av minskad effektiv nederbörd, samt antingen ett ökat uttag från Grevie på 9,2 Mm³/år eller ett scenario med ett det historiskt största uttaget på 18,3 Mm³/år har gjorts. Figurer över hur grundvattennivån har förändrats kommer att visas.

4.6.3.1 Ökade uttag från Grevie vattentäkt samt minskad effektiv nederbörd

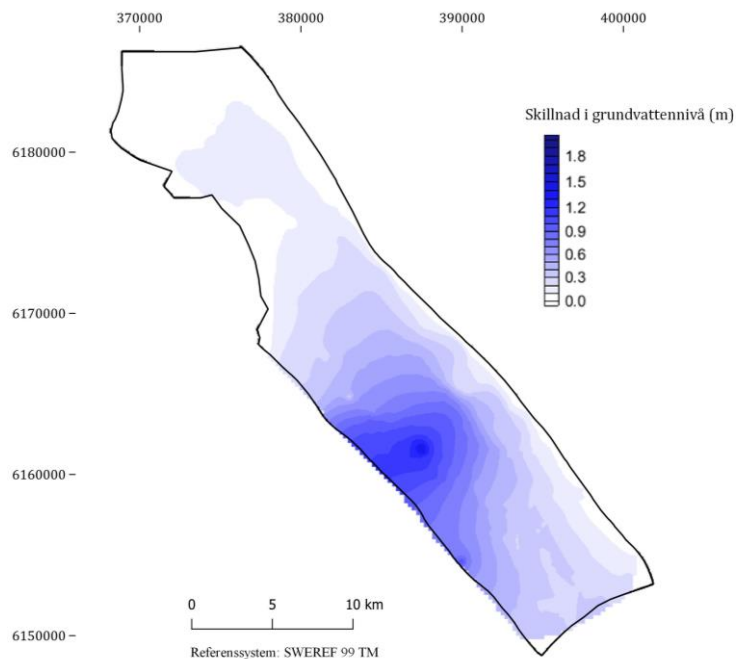
Uttagsscenario som åsyftar att simulera hur grundvattensituation påverkas av ökade uttag från Grevie vattentäkt till ett värde på 9,2 Mm³/år tillsammans med en effektiv nederbörd på 205 mm per år, visar på att avsänkning är stor i området och större delen av Alnarpsströmmen blir påverkat. Allra närmast Grevie vattentäkt är det en avsänkning på ungefär 1 meter som går att se i Figur 4.13.



Figur 4.13 Skillnaden i grundvattennivå i meter mellan ursprungscenario och det simulerade scenariot där uttagen från Grevie vattentäkt är $9,2 \text{ Mm}^3/\text{år}$ samt en effektiv nederbörd på $205 \text{ mm}/\text{år}$.

4.6.3.2 Historiskt största uttagen samt minskad effektiv nederbörd

Det uttags och nederbörds scenariot med ett totalt uttag på $20,5 \text{ Mm}^3/\text{år}$ från Alnarpsströmmen och en effektiv nederbörd på 205 mm . I Figur 4.12 ser man en avsänkning av grundvattenytan i stora delar av undersökningsområdet och närmast Grevie vattentäkt sker där en avsänkning som är cirka 1 till 1,5 meter. Avsänkning är även större i mot den sydvästra gränsen än mot den nordvästra gränsen.



Figur 4.14 Skillnaden i grundvattennivå i meter mellan ursprungscenario och det simulerade scenariot där de totala uttagen från Alnarpsströmmen uppgår till $18,3 \text{ Mm}^3/\text{år}$ samt en effektiv nederbörd på $205 \text{ mm}/\text{år}$.

5 Diskussion

5.1 Grundvattenbildning

Baserat på flödena för de cellager som ligger precis ovanför de grövre sediment som får ses som Alnarpsedimenten, så verkar det finnas områden där genomsläppligheten är klart högre än för andra områden. I den nordvästra delen tycks ett område cirka 5 x 5 kilometer stort sydost om Löddeköpinge och öster om Bjärred vara en plats där perkolation till Alnarpsedimenten är möjligt. I den mittersta delen av undersökningsområdet mellan Staffanstorp och Klågerup verkar det även vara mer genomsläppliga delar där flödena till Alnarpsedimenten är avsevärt större än omkringliggande områden. I den sydöstra delen av undersökningsområdet, i området som ligger nära grundvattendelaren, visar resultatet att detta område förmodligen inte påvisar en större grundvattenbildning. Figur 4.3 till 4.5 som illustrerar grundvattenbildningen visar även att flödena ner till Alnarpsedimenten är höga vid framför allt den konstanta nivågränsen i nordost. Det får ses som att dessa höga flöden är ett resultat av gränsen och återspeglar förmodligen inte ett område där en stor mängd grundvattenbildning sker. Området mellan Staffanstorp och Klågerup återfinns även i andra undersökningar som gjorts (Barmen, 1992; Johansson m. fl., u.å.; Widing, 2004), vilket styrker att det området förmodligen är en plats där grundvattenbildning sker. Däremot är området sydost om Löddeköpinge och öster om Bjärred måttligt beskrivet i tidigare undersökningar (Gustafsson, 1978) som ett område där grundvattenbildning skulle kunna ske och det är därför av intresse att undersöka ytterligare för att undersöka hur stor grundvattenbildningen är i denna del av Alnarpsströmmen. Området norr och syd om Lomma ligger mycket nära en konstant nivågräns, vilket medför osäkerheter och i detta område är även en stor del av flödet riktat uppåt och inte ner till Alnarpsedimenten. Området norr och syd om Lomma kan därmed vara värt att undersöka ytterligare, men de andra områdena som beskrivits ovan är av större intresse.

Omfånget av hur mycket som bildas för varje år är svårt att uppskatta genom att titta på de kartor som visar det vertikala flödet. Värdena på flödena kan inte direkt härledas till grundvattenbildningen då de även grundar sig i flöden som inkommer horisontellt från exempelvis de konstanta nivå gränser som är insatta i modellen. Bland annat ser man tydligt i vattenbalansen i Bilaga I.1 att flödena från konstanta nivåer är större än den effektiva nederbörden. I den nordvästra delen där nettoflödet är ut mot havet är denna effekt inte så stor, men i områdena nära den konstanta nivån i nordost kan denna ha stor inverkan på det vertikala grundvattenflödet. Att utifrån de värden som presenteras i Figur 4.3 till 4.5 och i Tabell I.2 uppskatta grundvattenbildningen är svårt. De vattenbalanser över områdena och cellager som visas i Figur 4.3 till 4.5 visar att området mellan Staffanstorp och Klågerup har betydligt högre flöden än det som sydost om Löddeköpinge. Då områdena överlappar varandra och allt vertikalt flöde inte flödar ner till de grovkorniga Alnarpsedimenten är det svårt att uppskatta värden, och även om de värden som presenteras i Bilaga I.2 är någorlunda rimliga är värdet för område i Figur 4.4 på 657 mm/år, mycket högt, men ska inte jämföras direkt med grundvattenbildning, då det inte är ett nettoflöde till Alnarpsedimenten. Däremot får de områden där ett högre

flöde uppstår ses som mer genomsläppliga, och kan vara en fingervisning vilka områden där det är möjligt att en större del av grundvattenbildningen till Alnarpsströmmen sker. Och förhållandena mellan flödena i det ovanliggande cellagret kan indikera hur de skiljer sig i genomsläpplighet.

De vertikala flödenas storlek tycks återspegla materialens genomsläpplighet i de flesta fall. Däremot, som ses i Figur 4.3, finns det ett område där ett stort flöde inte tycks sammanfalla med de mest genomsläppliga materialen i modellen. Detta indikerar att detta sätt att visualisera flödet och möjlig grundvattenbildning ger en ny tolkning än om bara fokus hade varit på att lokalisera var det finns en stor andel genomsläppliga jordarter som gjorts i tidigare studier (Widing, 2004). Metoden som används i den här modellen tar även i beaktande det horisontella flödet, men framför allt topografin som har en stor inverkan på grundvattenbildningen.

5.2 Simulerade scenarier

5.2.1 Minskad effektiv nederbörd

Med en förväntad minskad effektiv nederbörd förväntas även grundvattenbildningen minska vilket dels går att avläsa i det att perkolationen minskar, dels en tydlig avsänkning av grundvattenytan framför allt i den södra delen kring Grevie vattentäkt och Svedala. Områdena som ligger nära havet eller den nordöstra gränsen är inte alls lika påverkade av en minskad nederbörd, vilket förklaras av att de konstanta nivåerna som gränserna utgör bidrar med ett inflöde som minskar påverkan av minskad effektiv nederbörd. Områdena vid den konstanta nivån mot havet kommer i princip vara oförändrade av minskad nederbörd men däremot områden kring den nordöstra gränsen, som i verkligheten är en grundvattennivå, lär påverkas av minskad nederbörd. Detta då grundvattennivån även lär sjunka här och som ett resultat bör inflödet minska och områdena nära den här gränsen borde påverkas mer än vad som går att urskilja i resultatet. Utöver detta så behandlas den sydvästra gränsen som en ickeflödesgräns, och i flera tidigare undersökningar (Brinck & Leander, 1981), så påvisas en del flöde som strömmar även här, men är betydligt mindre än det flöde som väntas strömma in från Romeleåsen i nordost. Detta innebär att förmodligen lär avsänkning mot den sydvästra gränsen inte vara så stor som det illustreras i Figur 4.7 och en största avsänkning bör således finnas i mitten av sänkan, med en viss förskjutning mot sydväst.

5.2.2 Ökade uttag

Ett ökat uttag där Grevie vattentäkt börjar pumpa ut $9,2 \text{ Mm}^3/\text{år}$ ger en lokal påverkan på området, men en sänkning av grundvattennivån närmast vattentäkten på 0,7 meter. Vid jämförelse med det scenario som ska återspegla det maximala historiska uttaget, ser man en stor skillnad där en större del av undersökningsområdet påverkas samt att sänkningen av grundvattennivån nära Grevie vattentäkt nästan är fördubblad till 1,4 meter. För det scenariot där övriga uttag förutom Grevie är ökade med 78 % ses ingen större sänkning i de norra delarna av undersökningsområdet utan den primära sänkningen är runt Grevie vattentäkt. Detta understryker hur uttaget från Grevie vattentäkt påverkar vattenbalansen i Alnarpsströmmen, och att privata uttag och kommunala uttag har en avsevärt mindre påverkan. Skillnaderna som uppstår mellan de olika uttagsscenariorna, är främst på grund av skillnaden i uttagen från Grevie vattentäkt. Då sänkningen ökar mycket för det

historiska maximala uttaget, jämfört med 9,2 Mm³/år eller för den del 3,5 Mm³/år som det är idag, så styrker detta vikten av att noggrant undersöka den utpumpade mängden. Modellen bygger på många osäkerheter som resultat därmed innefattar, vilket ska tas i beaktande och et som visas är endast en tolkning av grundvattensituationen. Men likväl kan resultatet bidra med en förståelse kring vad utökade uttag, framför allt från Grevie vattentäkt innebär för vattenbalansen i Alnarpsströmmen.

5.2.3 Ökade uttag samt minskad effektiv nederbörd

Det som går att se när ökade uttag och minskad effektiv nederbörd kombineras i modellen, är att vattenbalansen påverkas kraftigt i stora delar av området. Kring Grevie vattentäkt påverkas ett område som är cirka 4 kilometer i diameter där sänkningen av grundvattennivån är 1,0 till 1,5 meter. Man ser även i vattenbalanserna att flödesbalansen förändras och en annan flödessituation uppstår där det blir mindre flöde som strömmar över gränserna. Vilket indikerar att det är ett stort område som påverkas, även om omfånget av påverkan utanför undersökningsområdet är svårt att uppskatta, utifrån resultatet i den här studien. Kombinationen av minskad effektiv nederbörd och ökade uttag ger också en mycket större påverkansradie och avsänkningen är betydligt större. Även om det effektiva nederbördsscenario som används i simuleringen förmodligen är mer extremt än förväntat, så visar det vikten av att inkludera klimatförändringar vid undersökning av vattenbalanser, då det ökar sänkningen av grundvattennivån som sker av ökade uttag. Resultatet i den här rapporten har också enbart innefattat årsmedelvärden, och en årlig variation är också intressant att undersöka där en effektiv nederbörd under sommaren förväntas vara mindre. Därmed kan effekten vara ytterligare förstärkt under sommaren då den effektiva nederbörden är som minst under året.

5.2.4 Osäkerheter i de simulerade scenarierna

Scenarierna som har simulerats i den här modellen bör användas som en representation av effekterna av ökade uttag och/eller minskad effektiv nederbörd. Till att börja med så ligger det en hel del osäkerheter i det värde som används som effektiv nederbörd i ett framtida scenario. Effektiv nederbörd är en komplex parameter att förutsäga framtida värden för, då den beror på evapotranspiration och nederbörd. Hur dessa två ingående fenomen påverkas av klimatförändringar är svårt att uppskatta, däremot så används data från RCP 4.5 för nederbörd och temperatur, som är ett sannolikt klimatscenario. Flera rapporter har visat på att den effektiva nederbörden förmodligen inte lär minska i den mån som används i den här rapporten. Däremot är värdet för den effektiva nederbörden inte orimligt och det skulle kunna visa på hur grundvattenbildningen är under sommarhalvåret, då evapotranspirationen är vanligtvis högre under denna del av året. Effektiv nederbörd definieras också som den delen av nederbörd som infiltrerar ner i marken, och här finns en hel del som gör att dessa värden eventuellt är för stora, och nederbörd som hamnar i ytvatten är inte inräknat. Känslighetsanalysen visar också på att ett lägre värde på den effektiva nederbörden gav en bättre anpassning till de grundvattennivåmätningar som använts i kalibreringssyfte, vilket också kan visa på att den effektiva nederbörden som används i modellen förmodligen borde vara lägre.

Uttagens placering och storlek hade med mer information varit mer representativa. I modellen så fördelas uttagen utifrån undersökningar på 1970–1980 talet och då uttagen har minskat sedan dess är det möjligt att vissa uttagsplatser inte brukas i dagsläget. Därtill så är storleken av uttagen baserat på de studier som Sydvästskånes grundvattenkommitté

har gjort, och då de definierar Alnarpsströmmen som ett större område kan uttagens storlek vara överskattade. De privata uttagen hade också kunnat fördelats med fler uttagspunkter i området och därtill få en mer jämn fördelning av uttagen. Information kring hur stora uttagen är, är också något som är svårt att få bra information kring, då det finns svårigheter i att kontrollera och få information kring framför allt privata uttag. De uttagsvärden som användes innefattar därmed en stor osäkerhet till att börja med.

5.3 Utvärdering av modellen

Det resultat som modellen har simulerat, är baserat på en del osäkerheter samt antaganden, både för att kunna avgränsa områden och för att få modellen att konvergera. Känslighetsanalysen har även visat på de parametrar som har stor inverkan på det simulerade resultatet.

5.3.1 Osäkerheter i uppbyggnad av modell

De borrhprotokoll som används som indata är mångfacetterade och en omtolkning och förenkling av dessa har gjorts, vilket gör att lagerföljderna förenklats och att en lagerföljd i modellen kanske inte är så representativ. Lagerföljden påverkas betydligt mer av att lagren simuleras i GMS-programmet, vilket om man jämför med de geologiska undersökningar i området ger en lagerföljd som är betydligt mindre komplex, med lager som inte varierar lika mycket i både vertikal och horisontell led i undersökningsområdet. Däremot återfinns de typiska materialerna som även finns i lagerföljden som beskrivs i litteratur, som gör att lagerföljden och därmed modellen kan klassas som representativ för området. För att kunna använda en lagerföljd som är mer komplex är det nog nödvändigt att skala ner undersökningsområdet. Lagerna interpoleras även mellan borrhålen och mäktigheten kan då bli missvisande. Osäkerheterna som kommer vid den geologiska modelleringen är av ringa betydelse då upplösningen i vertikal led är 5 meter och till och med 20 meter i det översta lagret. Det vill säga att en mer väl upplöst numerisk flödesmodell hade kanske gett en bättre bild. Upplösningen påverkas av osäkerheterna i indata. En högre upplösning hade samtidigt varit missvisande, då det med den metod som används för att ta fram lagerföljderna inte kan ses ha en bättre noggrannhet än ett par meter.

De två gränserna som avgränsar området i sydväst och i nordost är i verkligheten inga tydliga naturliga hydrauliska gränser likt den mot havet eller grundvattendelaren i sydost. De har behandlats på olika sätt baserat på de flöden och nivåkurvor som tagits fram från tidigare undersökningar. Då det sannolikt finns flöden som sker över den sydvästliga gränsen hade den kunnat ansättas som en flödesgräns likt den nordöstra gränsen. Problem med den konstanta nivågränsen är att grundvattennivån måste vara känd. I den nordöstra delen så interpoleras nivån mellan ett urval av grundvattennivåmätningar som är gjorda under ett stort spann av år. Utöver detta så uppskattas konduktansen som har en stor påverkan på det flöde som strömmar in i modellen. Ett alternativ hade varit att utöka undersökningsområdet tills naturliga hydrauliska gränser återfinns.

5.3.2 Modellens validitet

Modellen verkar vara bra anpassad i den nordvästra delen av området, medan det i den sydöstra delen mot grundvattendelaren verkar vara sämre anpassad. Tilläggas bör att det är avsevärt färre mätningar som gjorts i den sydöstra delen än i den nordvästra och därmed hade det varit gynnsamt med fler grundvattennivåmätningar i denna del av undersökningsområdet. Verifiering av modellen som använder nyare grundvattennivåmätningar verkar ge en bra anpassning i den nordvästra samt den centrala delen av undersökningsområdet. Däremot är RMS av residualerna 2 meter högre för verifieringsdatan jämfört med kalibreringsdatan vilket tyder på en sämre anpassning. På grund av skillnaden i antalet kalibrerings- och verifieringspunkter så är det svårt att dra någon större slutsats ifrån värdet på RMS av residualerna, då det är mycket beroende på antalet mätningar samt deras fördelning. Då modellen är känslig och låg hydraulisk konduktivitet på lera och morän har orsakat att modellen inte konvergerat, har det lett till att kalibreringen har varit begränsad för dessa material. Figur 4.1 och 4.2 visar att de simulerade nivåerna antingen överskattar eller underskattar grundvattennivån och det därmed hade varit gynnsamt att kunna kalibrera modellen ytterligare och ändra parameter i olika områden inom undersökningsområdet. Att kunna förändra parametrar områdesspecifikt har varit svårt då den hydrauliska konduktiviteten har ansatts olika för olika material, material som antas ha samma egenskaper i hela området. Ett alternativ vore att ändra hydrauliska egenskaper beroende på materialets geografiska position, vilket hade kunnat förbättrat kalibreringen och anpassningen till de uppmätta grundvattennivåerna.

Modellen är känslig och för att få den att konvergera och få ett resultat i slutändan har flera förenklingar varit nödvändiga, så som att slå ihop de översta lagerna och att använda hydrauliska konduktiviteter för lera och morän som är högre än vad de förmodligen är i verkligheten. Att därmed introducera ännu mer komplexitet till modellen hade troligen försvårat kalibreringsprocessen och gjort modellen mer känslig. Den effektiva nederbörden är också en parameter där mer komplexitet hade kunnat införas, till exempel genom att variera värdet beroende på jordarten i det översta lagret eller baserat värden på SGU:s genomsläpplighetskartor. Detta hade kunnat användas för att förslagsvis förbättra anpassningen i den sydöstra delen av undersökningsområdet. Slutligen bör det sägas att likt behandlingen av gränserna, så är det inte alltid fördelaktigt att lägga in mer komplicerade indata, då det introducerar större osäkerheter och leder till en modell som blir svårare att hantera.

Känslighetsanalysen i Bilaga F visar hur stor inverkan parametrarna, speciellt sand och lera, har gällande volymfelet och som sand samt effektiv nederbörd har på RMS av residualerna. Resultatet av känslighetsanalysen kunde ha varit mer omfattande om intervallet för simulerade värden hade utökats, vilket testades men ledde till att modellen inte konvergerade för merparten av värdena. Däremot går det att se att det finns flera parametrar som har en i sammanhanget liten påverkan på modellen, vilket leder till svårigheter att kalibrera modellen. Modellen kunde kalibrerats med hjälp av en känslighetsanalys för att förbättra den och framför allt gjort denna process mer transparent (Sonnenborg & Henriksen, 2005). På grund av begränsad tid har detta inte gjorts. Känslighetsanalysen som gjorts visar däremot små förändringar på RMS och volymfel när de parametrar ändras, vilket kan visa på att det inte är sannolikt att en sådan kalibreringsprocess hade förbättrat anpassningen något nämnvärt. Att därmed kunna ändra parametrars värde baserat på deras geografiska placering, så som att ändra hydraulisk konduktivitet eller effektiv nederbörd, hade kunnat ge en bättre anpassad modell vilket även påvisats i andra studier (Lindmark, 2015).

6 Slutsatser

Resultatet av den här modellering visar på att det till en viss del går att ge en ny tolkning kring var grundvattenbildning kan ske till Alnarps sedimenten. Det finns områden som skulle kunna bidra till grundvattenbildning som inte har påvisats i tidigare undersökningar och studier om Alnarpsströmmen. Å andra sidan bekräftar resultatet i den här rapporten att även de områden som återfinns kring Löddeköpinge och Staffanstorp som anses som mer genomsläppliga områden, där grundvattenbildning till Alnarps sedimenten sker. Den här modelleringen har också grundat sig i nyare data och undersökningar, och även använt geofysiska data. Att därmed uppnå ett liknande resultat som tidigare studier innebär ännu större säkerhet i vilka områden där grundvattenbildning kan ske. Om inte annat så tjänar metoden att undersöka flödena från närmaste cellager ovanför Alnarps sedimenten, till ett alternativt sätt att analysera grundvattenbildningen från tidigare studier.

Gällande de simulerade scenariernas påverkan på vattenbalansen i akviferen, så går det att se att ökade uttag ger en avsänkning med olika påverkan. Slutsatsen kan dock dras att ökning av uttagen från Grevie vattentäkt har en stor påverkan på undersökningsområdets grundvattennivå. Tillsammans med en minskad effektiv nederbörd blir den här effekten mer uttalad och både en större avsänkning sker och ett större område påverkas. De simulerade historiska högsta uttagen påvisar större effekter. Även om uttagen totalt ökar är det ändå Grevie vattentäkt som har störst påverkan, på grund av den har avsevärt mycket större uttagsvolym än övriga kommunala och privata uttag. Man ser att parametrarna uttag och effektiv nederbörd har en stor påverkan på vattenbalansen och ökar även flöden in och ut från gränserna med konstant grundvattennivå, vilken tyder på att området som påverkas förmodligen är större än undersökningsområdet. Skillnaden i att simulera ökade uttag i ett framtida grundvattenbildningsscenario och med dagens effektiva nederbörd, visar stora skillnader, och slutsatsen kan dras hur viktigt det är att ta klimatförändringar i beaktande vid undersökningar av en akvifers vattenbalans. Tilläggas bör att effektiv nederbörd är en parameter som beror på många faktorer och det är därmed svårt att förutsäga hur klimatförändringar påverkar den.

Modellen och därmed resultat bygger på antaganden och förenklingar och innehåller därmed en del osäkerhetsfaktorer. Bland annat så har undersökningsområdet inte avgränsats vid naturliga flödesgränser i sydväst och nordost. De översta 20 meterna är förenklade till enbart en typ av material och får därmed anses vara en osäkerhet som påverkar grundvattenbildningen i hög grad. Därtill så ska alltid ekvivalensproblemet tas i beaktande och det ska betonas att detta bara är en tolkning som syftar i att representera grundvattensituationen i Alnarpsströmmen. För syftet att undersöka grundvattenbildning samt parametrars påverkan på vattenbalansen tjänar den sitt syfte, även om kompromisser görs för att uppnå ett grundvattenbildningsresultat.

7 Framtida studier

För framtida arbete kring hydrogeologin i Alnarpsströmmen finns det utmaningar i att göra fler undersökningar för att ta fram mer material. Därtill vore det även av intresse att antingen skala upp eller ner modellen, eller köra den i andra programvaror för att kunna studera likheter eller skillnader med resultatet i den här rapporten och tidigare undersökningar.

Till att börja med så finns det redan en hel del undersökningar och data att tillgå och förmodligen ännu mer än vad som har använts i denna studie. Att inkludera så mycket material som möjligt ger en bättre bild över de hydrogeologiska förutsättningarna i Alnarpsströmmen. I denna rapport är det framför allt osäkerheter med gränserna, och det hade behövts fler grundvattennivåmätningar i närheten av dessa gränser för att de ska vara mer representativa för verkligheten. Utöver detta så finns det i den sydöstra delen av undersökningsområdet inte lika mycket brunnborringar, och i den här studien har det varit svårigheter att representera den delen av undersökningsområdet. Ett större underlag kring grundvattennivåer och lagerföljder hade varit gynnsamt att tillgå om en liknande studie skulle göras. Den nordvästra delen är bra täckt med undersökningar och brunnborringar. Däremot så är den delen inte täckt av de SKYTEM-undersökningar som gjorts. Sådana hade varit av värde för att kunna bekräfta lagerföljden och omfånget av Alnarps sediment både i mäktighet och i bredd.

Studier som fokuserar och gör en mer detaljerad studie, på de områden som av det här arbetet eller tidigare undersökningar markerats som potentiella platser där grundvattenbildning sker hade varit intressant. En mindre modell hade kunnat gå in mer i detalj på lagerföljd och grundvattennivåer och därmed kunnat antingen bekräfta resultatet i den här rapporten eller ge en bättre bild av var grundvattenbildningen sker. Att undersöka ett större område och använda endast naturliga gränser hade också varit intressant att undersöka för att se hur området i stort påverkas av klimatförändringar, och för att om möjligt kunna bestämma gränserna för ett undersökningsområde av den här storleken bättre.

Alnarpsdalen delas också in i två grundvattenmagasin Alnarpsströmmen och Skivarpsströmmen. Alnarpsströmmen som den här studien omfattar är avsevärt mycket mer undersökt. Skivarpsströmmen däremot har liknande akvifersegenskaper som grundvattentäkt och kan därför vara av intresse att undersöka på ett liknande sätt som i den här studien. Framför allt då nästan hela det området är kartlagt med SKYTEM-undersökningar. Det finns däremot jämfört med Alnarpsströmmen ett begränsat undersökningsmaterial i form av brunnborringar och grundvattennivåmätningar i Skivarpsströmmen och det lär nog behövas mer underlag för att en representativ modelleringsstudie skall kunna möjliggöras.

Det går även att fortsätta arbetet med den här modellen i form utav att uppdatera uttagen och nederbörden efter fler scenarion. Detta med avsikt att undersöka hur Alnarpsströmmen påverkas av förändrade uttag och effektiv nederbörd och därmed komplettera den bild som ges i den här studien.

Det finns liknande studier (Mosase m. fl., 2019) som har gjorts kring grundvattenbildning, där avrinningsmodellering har kombinerats med grundvattenmodellering och att applicera en sådan studie och modellering hade varit intressant, inte minst då det i den här modellen är problematisk med torra cellerna som får antas vara den omättade zonen. Det hade förbättrat informationen kring hur markanvändningen och topografin påverkar grundvattenbildningen och kompletterat bilden av vilka områden där grundvattenbildning sker.

Till sist så har den här undersökningen endast hanterat årsmedelvärden för uttag och effektiv nederbörd, och det hade varit intressant att undersöka och om möjligt modellera hur grundvattenbildningen förändras under årets gång. Detta genom att förslagsvis köra en transient modell.

8 Referenser

- Barmen, G. (1992). On the combination of isotope hydrogeology with regional flow and transport modelling: an application to the groundwater system of southwestern Sweden. [Doktorsavhandling]. Institutionen för geoteknologi, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.
- Brinck, S., & Leander, B., (1981), Alnarpsströmmen. Sammanställning av Utredningar 1970-1980., VBB, Samarbetskommittén för Alnarpsströmmen.
- Brinck, S., Leander, B., & Winqvist, G. (1969). Alnarpsströmmen. Utredning rörande vattentillgång och dess lämpliga utnyttjande. VBB, , Samarbetskommittén för Alnarpsströmmen. Malmö, Sverige.
- Brolin, C. (2021). Resistivitetssektioner längs flygmätninglinjer, Sydvästskåne. Sveriges geologiska undersökning. SGU-rapport 2021:05. Uppsala.
- Eklund, A., Axén Mårtensson, J., Bergström, S., Björck, E., Dahné, J., Lindström, L., Nordborg, D., Olsson, J., Simonsson, L., & Sjökvist, E. (2015). Sveriges framtida klimat. Underlag till Dricksvattenutredningen (1654-2258). Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. KLIMATOLOGI Nr 14, 2015.
- Ekvy Hansen, M. (2020). PM: Redovisning och bedömning av provborringarna TT9, TT10 och TT13. [Internt material]. SWECO.
- Espeby, B., & Gustafsson, J. P. (1998). Vatten och ämnestransport i den omättade zonen. En kunskapsöversikt. Avd. för mark- och vattenresurser, Inst. för anläggning och miljö, Kungliga tekniska högskolan. TRITA-AMI Rapport 3038.
- Eveborn, D., Vikberg, E., Thunholm, B., Hjerne, C.-E., & Gustafsson, M. (2017). Grundvattenbildning och grundvattentillgång i Sverige. Sveriges geologiska undersökning. RR 2017:09. Uppsala.
- Fetter, C. W. (2014). Applied Hydrogeology (4th ed.). Pearson Education Limited.
- GEO (2021a). Källby-Sjölunda, Wastewater Tunnel. Geotechnical and Hydrogeological Investigations, Factual Report. Geo Job No. 204685, Report 1. [Internt material].
- GEO (2021b). Källby-Sjölunda, Wastewater Tunnel. Geotechnical and Hydrogeological Investigations, Factual Report. Geo Job No. 204685, Report 2. [Internt material].
- Gren, A., Ekstrand, N., Hjertman, A., & Magnusson, M. (2021). Samrådsunderlag – tillståndsansökan för Grevie vattentäkt. SWECO.
- Gustafsson, O. (1978). Beskrivning till hydrogeologiska kartbladet Trelleborg NO/Malmö SO. Sveriges geologiska undersökning., SGU Serie Ag nr 6. Uppsala.
- Gustafsson, O., Thunholm, B., Gustafsson, M., & Rurling, S. (2005). Beskrivning till kartan över grundvattnet i Skåne län Sveriges geologiska undersökning. SGU Serie Ah nr 15. Uppsala.
- Harbaugh, A. W. (2005). MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey modular groundwater model—the Ground-Water Flow Process. U.S. Geological Survey. Reston, Virginia.
- Hjerne, C., Thorsbrink, M., Thunholm, B., Andersson, J., & Dahlqvist, P. (2021). Hydraulisk konduktivitet i Sveriges berggrund. Sveriges Geologiska Undersökning. SGU-rapport 2021:09. Uppsala.
- Irmingier Street, S. (2016). Underlag till tillståndsansökan, yt- och grundvattenåtgärder Flackarp-Arlöv, fyra spår. Bilaga C miljökonsekvensbeskrivning. Trafikverket.

- Johansson, M., Widing, S., Leander, B., & Persson, K. M. (u.å.). Groundwater model, Mike She, of the salt water distribution in Alnarpsströmmen, southern Sweden. Sydvästskånes grundvattenkommitté.
- Kirsch, R. (2006). Groundwater geophysics: a tool for hydrogeology. Springer.
- Larsson, R. (2000). Lermorän - en litteraturstudie Statens geotekniska institut. Linköping.
- Lindmark, J. (2015). Betydelse av datakvalitet vid modellering av grundvatten. [Examensarbete]. Uppsala universitet.
- Lång, L.-O., Adielsson, S., Maxe, L., Schoning, K., & Thorsbrink, M. (2019). Grundvatten av god kvalitet – underlagsrapport till den fördjupade utvärderingen av miljömålen 2019. Sveriges geologiska undersökning. SGU-rapport 2019:01. Uppsala.
- Länsstyrelsen i Skåne län (red). (2012). Regional vattenförsörjningsplan för Skåne län. Länsstyrelse rapport 2012:2. (78-91-86533-68-7). Länsstyrelsen i Skåne län.
- Mosase, E., Ahiablame, L., Park, S., & Bailey, R. (2019). Modelling potential groundwater recharge in the Limpopo River Basin with SWAT-MODFLOW. . Groundwater for sustainable development, 9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100260>
- Panday, S., Langevin, C. D., Niswonger, R. G., Ibaraki, M., & Hughes, J. D. (2013). MODFLOW–USG version 1: An unstructured grid version of MODFLOW for simulating groundwater flow and tightly coupled processes using a control volume finite-difference formulation (2328-7055).
- Ringberg, B. (1980). Beskrivning till Jordartskartan Malmö SO. Sveriges geologiska undersökning. SGU Serie Ae nr 38. Uppsala.
- Ringberg, B. (1987). Beskrivning till Jordartskartan Malmö NO. Sveriges geologiska undersökning. SGU Serie Ae nr 85. Uppsala.
- Rodhe, A., Lindström, G., & Dahnée, J. (2009). Grundvattennivåer i ett förändrat klimat. Slutrapport från SGU-projektet ”Grundvattenbildning i ett förändrat klimat”. Institutionen för Geovetenskaper, Uppsala universitet och Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. SGUs diarie-nummer 60-1642/2007.
- Rodhe, A., Lindström, G., Rosberg, J., & Pers, C. (2006). Grundvattenbildning i svenska typjordar - översiktlig beräkning med en vattenbalansmodell. Uppsala University.
- Sanner, H., & Grahn, G. (1995). Effektiv nederbörd i Sverige – beräknad med HBV-modellen. Rapport framställd på uppdrag av SGU. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut.
- SGU. (2013). Bedömningsgrunder för grundvatten. Sveriges geologiska undersökning. SGU-rapport 2013:1. Uppsala.
- SMHI. (2021). RCP scenarier., Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. Hämtad 2022-05-19 från <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatmodeller-och-scenarier/rcp-er-den-nya-generationen-klimatscenarier-1.32914>
- SMHI. (2022). Vattenwebb: Hydrologiskt nuläge., Hämtad 2022-03-23 från <https://vattenwebb.smhi.se/hydronu/>
- Sonnenborg, T. O., & Henriksen, H. J. (2005). Håndbog i grundvandsmodellering. GEUS. Köpenhamn.
- Sparrenbom, C., & Jeppsson, H. (2022). Grundvattenboken (Upplaga 1:1 ed.). Studentlitteratur.
- Sydvatten. (u.å.). Skånes dricksvattenförsörjning i ett förändrat klimat. Sydvatten, Länsstyrelsen i Skåne län och Region Skåne.
- Sydvästskånes grundvattenkommitté. (2016). Verksamhet 2015 Sydvästskånes grundvattenkommitté. <http://www.ssgk.se/verksamhet/>
- Sydvästskånes grundvattenkommitté. (2020). Grundvattenuttag., Malmö stad. Hämtad 2022-02-28 från <https://malmo.miljobarometern.se/vatten/grund-och-dricksvatten/grundvattenuttag/>

- Taylor, R. G., Scanlon, B., Döll, P., Rodell, M., van Beek, R., Wada, Y., Longuevergne, L., Leblanc, M., Famiglietti, J. S., Edmunds, M., Konikow, L., Green, T. R., Chen, J., Taniguchi, M., Bierkens, M. F. P., MacDonald, A., Fan, Y., Maxwell, R. M., Yecheili, Y., Gurdak, J. J., Allen, D. M., Shamsudduha, M., Hiscock, K., Yeh, P. J. F., Holman, I., & Treidel, H. (2013). Ground water and climate change. *Nature Climate Change*, 3(4). 322-329. <https://doi.org/10.1038/nclimate1744>
- Trafikverket, (2010). Förstudie Vattenskydd Grevietäkten. Samrådsunderlag.
- United Nations. (u.å.). Goal 6: Ensure access to water and sanitation for all, Hämtad 2022-02-11 från <https://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/>
- Urberg, C., (2017). Samrådshandling. Lund-Flackarp fyra spår. Sweco.
- VIAK AB, (1984). Skurups kommun. Grundvattentäkt Skivarp. Tekniskt underlag för vattendomansökan. [Internt material].
- Vikberg, E., Thunholm, B., Thorsbrink, M., & Dahné, J. (2015). Grundvattennivåer i ett förändrat klimat - nya klimatscenarier. Sveriges geologiska undersökning SGU-rapport 2015:19. Uppsala.
- Widing, S. (2004). Grundvattenmodell. Sven Widings presentation i samband med att samarbetskommittén för Alnarpsströmmen firade 40 års jubileum 2004. VASYD, Sydvästskånes grundvattenkommitté.
- Åkesson, M. (2008). Teknisk beskrivning för bortledning och återföring av grundvatten. Ansökan om tillstånd för vattenverksamhet för uppvärmning och kylning av Nya biblioteket och äldreboendet Vega i Lomma. [Internt material]. SWECO.

Bilagor

A. Använda borrprotokoll

B. Rutnätets utformning

C. Konstant nivågräns mot nordost

D. Beräkningar av konduktans och effektiv nederbörd år 2070

D.1. Konduktans

D.2. Effektiv nederbörd

E. Uttag

F. Känslighetsanalys

F.1. Volymfel

F.2. RMS av residualerna

G. Kalibrering

H. Verifiering

I. Flödesbalanser

I.1. Total flödesbalans

I.2. Flöden över konstanta nivågränser

I.3 Vertikal flöden i cellagret ovanför Alnarpsedimenten

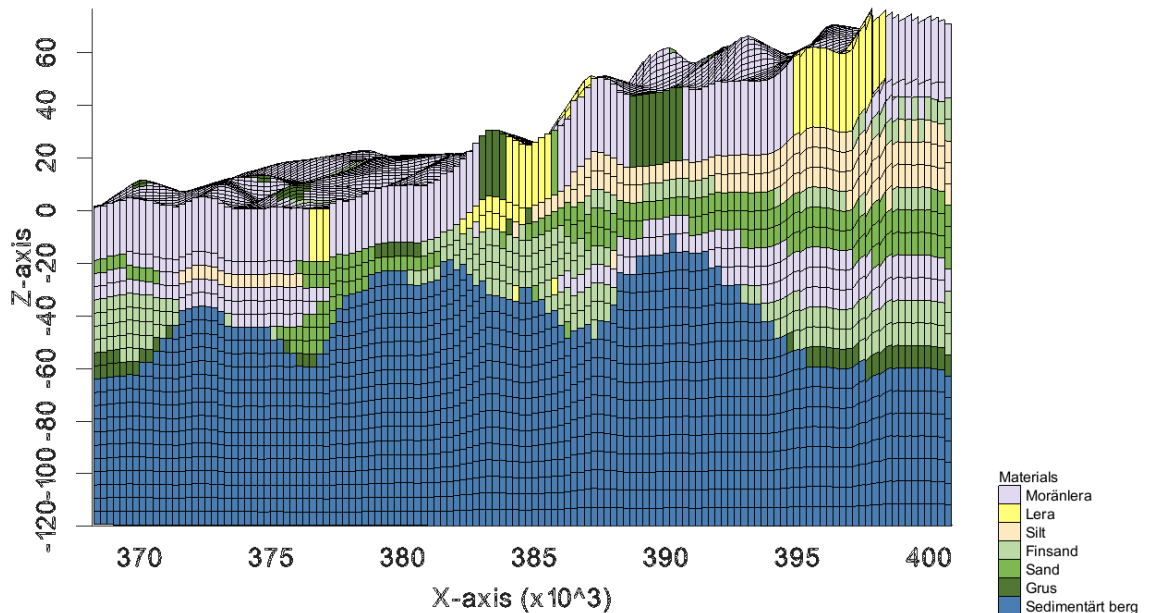
A. Använda borrhprotokoll

Tabell A. De borrhprotokoll som används som indata i modellen, samt deras koordinater i SWEREF 99 TM. Brunns ID härstammar dels från GEO undersökningar vilket är de fem översta men merparten härstammar från SGU:s brunnsarkiv. Data från GEO samt SGU.

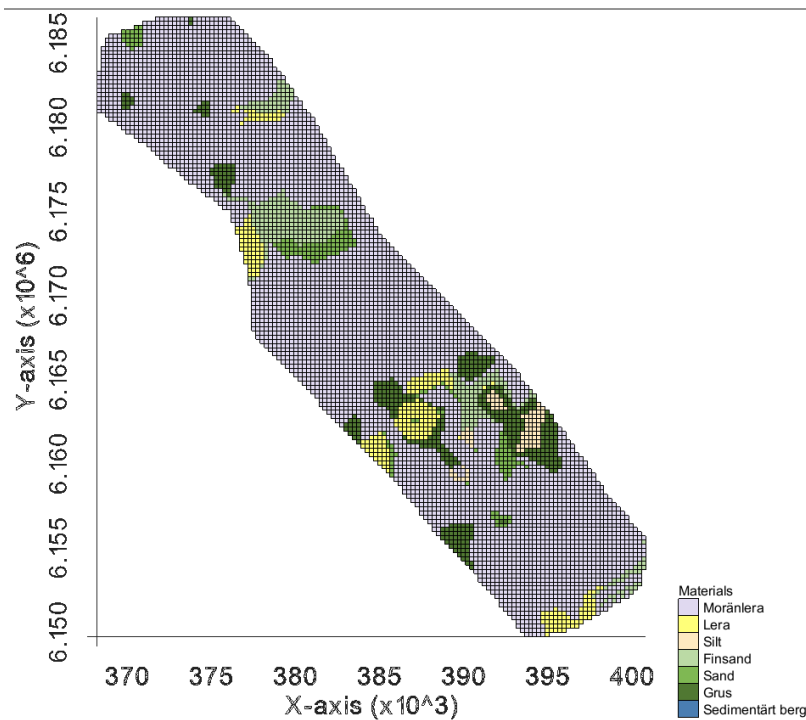
Brunnsid	E	N	Brunnsid	E	N
20TGW05	382151	6170874	22300506	375342	6185112
20TG08	384658	6173476	22300514	373842	6185194
21TG07	379382	6168890	22300520	372737	6185681
21TG09	381467	6170190	22300533	374605	6179756
21TG12	383588	6172551	22300534	373016	6183136
22200010	388693	6165487	22300701	371628	6177872
22200039	382875	6164710	22300755	371278	6183945
22200042	384495	6162930	22400031	378562	6183250
22200054	385202	6162338	22400148	376901	6179933
22200060	388034	6168068	22400246	384980	6172830
22200069	388351	6166573	22400261	376070	6182622
22200105	393746	6158140	22400284	378694	6180453
22200110	388999	6162382	22400546	382592	6176114
22200210	387195	6162861	22400610	381118	6178283
22200266	383312	6170112	22400715	378752	6181543
22200267	385519	6169438	22400749	381755	6175142
22200268	385727	6168741	22400778	382489	6177269
22200313	384265	6165526	22400808	380261	6174635
22200317	395224	6151360	22400819	378893	6177967
22200319	397211	6152383	22400827	376673	6185837
22200324	388580	6164077	22400834	383521	6174533
22200361	386613	6169951	900006826	391577	6160733
22200423	395437	6158859	909401879	368602	6180841
22200445	397677	6155287	909403727	382740	6171470
22200459	381995	6163101	909403941	390660	6166140
22200477	380605	6170881	910595437	380807	6169184
22200501	391593	6154217	910677413	379334	6168381
22200508	393395	6162534	911250181	389674	6154867
22200519	380134	6168376	912727014	374985	6176824
22200522	395660	6156863	913507423	376867	6174896
22200524	389436	6159189	913616171	374586	6184170
22200534	393520	6160436	914555611	392268	6157973
22200555	387913	6161270	914556694	380165	6165476
22200558	395195	6162454	914561268	379682	6168344
22200588	384740	6167630	914613142	379228	6169796
22200594	390017	6160795	915616706	386380	6164525
22200596	390254	6157600	916103082	385035	6160792
22200598	387937	6159172	916516654	374731	6180964
22200607	383775	6164721	917000139	377650	6169561
22200642	381134	6168388	917038747	371793	6182394
22200653	388727	6159981	917049538	379397	6166910
22200667	392336	6161033	917515851	385683	6172395
22200668	390034	6167992	917579355	387117	6166419
22200678	381430	6164344	917606027	375793	6176430
22200686	394922	6160152	917615774	395945	6157926
22200746	383089	6163513	917617758	395836	6160928
22200747	396125	6159867	918502568	380198	6173536
22200753	381500	6166943	996026779	391515	6166909
22200754	378902	6171161	996036083	376607	6177750
22200778	382435	6168223	997017017	381585	6172531
22200901	379376	6167931	997019807	378145	6172002
22200907	382215	6169060	997020318	379365	6172254
22300022	369603	6180148	998083661	380908	6166276
22300108	374927	6177811	999060437	391884	6164982

B. Rutnätets utformning

Här visas Figur B.1 och B.2 som visar rutnätets utformning från sidan och ovanifrån, med tillhörande material för cellerna.



Figur B.1. Rutnätets utformning, där det översta lagret har en tjocklek på 20 meter, medan övriga celler har en tjocklek på 5 meter. Här visas vilka material som tilldelats cellerna. X-axeln är E-koordinaterna i SWEREF 99 TM och Z-axeln är i höjdsystemet RH 2000.



Figur B.2. Rutnätets utformning, med en cell storlek på 250 x 250 meter i horisontell led. Y-axeln och X-axeln motsvarar N respektive E koordinater i SWEREF 99 TM. Här visas även materialerna som tilldelats cellerna i det översta lagret.

C. Konstant nivågräns mot nordost

I Tabell C.1. visas de borrhprotokoll som använts för att uppskatta grundvattennivån i gränsen i nordost. I Tabell C.2. visas punkter på gränsen med värden på grundvattennivån, som baserats på borrhprotokollen i Tabell C.1., som grundvattennivån interpolerats mellan.

Tabell C.1 De grundvattennivåmätningar som används för att uppskatta den konstanta nivå som sätts som randvillkor i nordost. Här visas Brunns ID som refererar till SGU:s brunnsarkiv, koordinaterna för mätningen, den uppmätta nivån och datumet då mätningen gjordes. Data från SGU:s brunnsarkiv.

Brunns_ID	N	E	Uppmätt grundvattennivå (m under markytan)	Nivådatum
23100519	6152241	402211	32.3	19771214
919519595	6158228	396982	17.3	20190219
908147275	6160960	395051	2	20071102
912002991	6171547	386797	1.7	20111019
917515851	6172395	385683	1.2	20170216
914028215	6174629	383703	5	20131217
22400410	6183351	378661	16	197311
919025568	6185104	376877	11.8	20181114
917000139	6169561	377650	6.98	20161121
22400080	6171948	377894	4.2	196901
918531945	6175655	376044	1.2	20180328
912727014	6176824	374985	4.5	20120305
915048397	6180865	368612	2	20150323
919513026	6184874	372031	2.8	20190204

Tabell C.2 De punkter med ansatt grundvattennivå som randvillkoret med konstant nivå i nordost interpoleras mellan. Grundvattennivå är i meter enligt RH2000. Punkternas värden är baserade på SGU:s grundvattennivåmätningar i Tabell C.1. Koordinaterna är i SWEREF 99 TM.

N	E	Grundvattennivå (m.ö.h.)
6186450	375867	3
6158883	397878	42.4
6155259	400826	36
6161038	396436	43.5
6171550	386911	12.4
6172099	386406	13.3
6174069	384624	18.2
6183370	378810	5.2
6185117	377168	4.3
6164834	393404	19
6169058	389345	8
6167636	390796	13

D. Beräkningar för konduktans och effektiv nederbörd år 2070

D.1 Konduktans

Konduktansen, C för de konstanta nivågränserna har beräknats på följande sätt i Ekvation D.1. Där W sätts till 5 m, L till 250 m, den hydrauliska konduktivitet K till $2 \cdot 10^{-5}$ m/s och D till 250 m. W och L motsvara cellernas höjd respektive längd vilket är 5 meter respektive 250 meter. Den hydrauliska konduktiviteten tas som ett medelvärde och då merparten av gränsernas material är kalksten tas ett värde likt det för kalksten, och dubblas för att enklare få modellen att konvergera.

$$C = \frac{W \cdot L \cdot K}{D} = \frac{5 \cdot 250 \cdot 2 \cdot 10^{-5}}{250} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \quad (\text{Ekv. D.1})$$

D.2 Effektiv nederbörd

Den effektiva nederbörden som ska återspegla ett framtidsscenario för året 2070 uppskattades på följande sätt. Där räknades först ut hur stor andel som försvinner via ytavrinning och evapotranspiration enligt Ekvation D.2.

$$1 - \frac{250}{600} = 0,5833 \quad (\text{Ekv. D.2})$$

Då årstemperaturen väntas öka med 2 °C för år 2070 jämfört med 2022 årstemperaturer antas och enligt tumregel med att evaporationen ökar med 5 till 10% för varje grad temperaturökning. Här användes 10 % för att även inkludera transpirationen som väntas öka. Det leder till en ny ration, enligt Ekvation D.3.

$$0,5833 \cdot 1,2 = 0,7000 \quad (\text{Ekv. D.3})$$

Med hjälp av den här ration för den nya evapotranspirationen och ytavrinningen, så beräknas en ny effektiv nederbörd enligt Ekvation D.4. Här används även en ny nederbörd som beräknats genom att anta en 7 mm ökning per månad.

$$(1 - 0,7) \cdot (600 + 7 \cdot 12) = 205 \text{ mm/år} \quad (\text{Ekv. D.4})$$

E. Uttag

Tabell E.1. Visar uttagen och dess storlek för de olika scenarierna för varje uttagsbrunn i modellen. Här visas koordinater för uttagen i SWEREF 99 TM. Uttagen i modellen klassificeras som Grevie vattentäkt, kommunala uttag och privata uttag. Värdet för uttagen är i Mm³ per år.

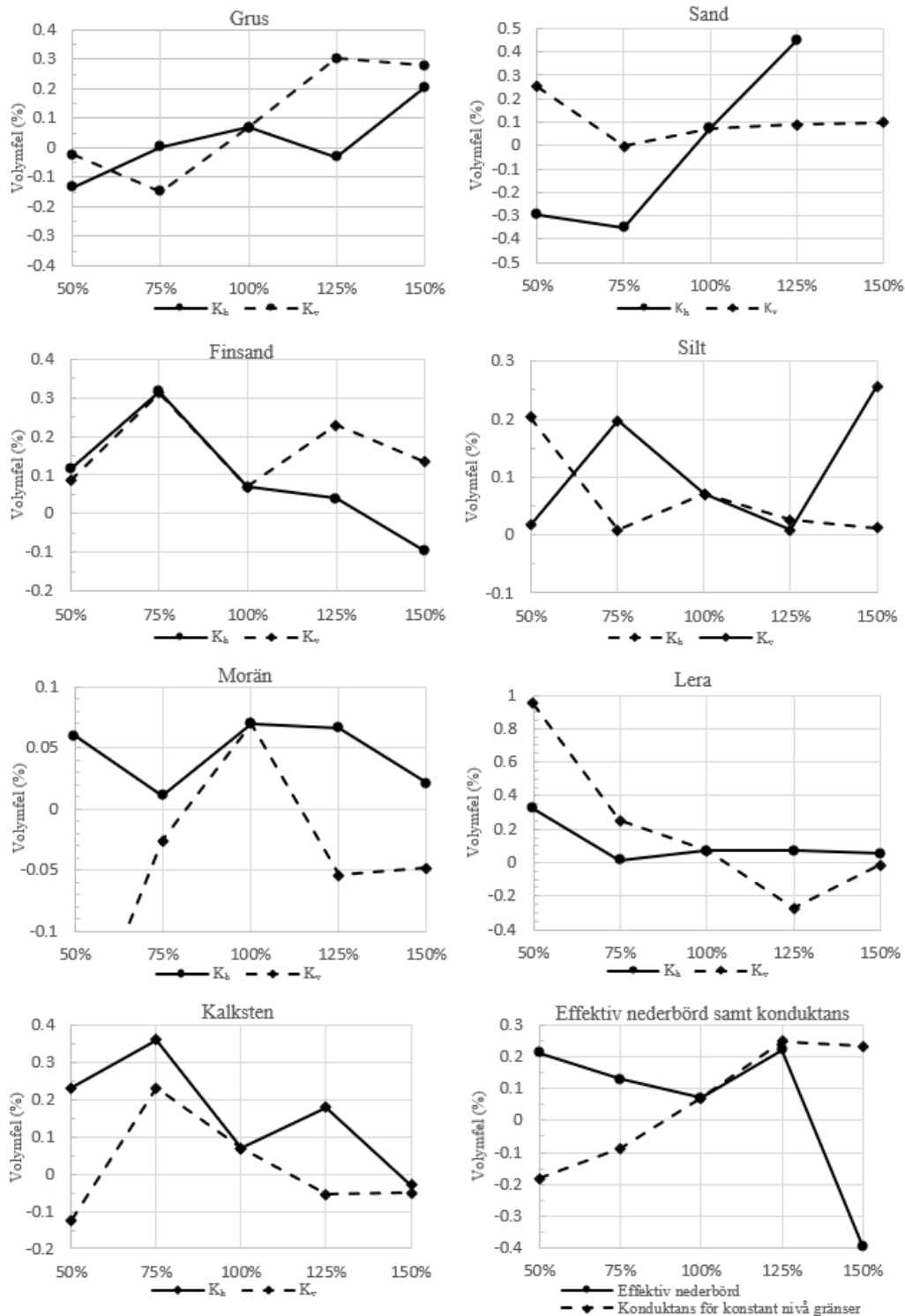
Namn	N	E	Ursprungsscenario (Mm ³ /år)	Uttag från Grevie 9,2 (Mm ³ /år)	Totala uttag på 18,3 (Mm ³ /år)
Grevie vattentäkt	6161570	387550	3.50	9.20	13.00
Lomma	6171597	379285	0.16	0.16	0.28
Bjärred	6176649	375982	0.16	0.16	0.28
Löddeköpinge	6181605	374635	0.06	0.06	0.11
Staffanstorps	6167684	387232	0.06	0.06	0.11
Svedala	6154697	389980	0.13	0.13	0.23
Arlöv	6167582	378856	0.06	0.06	0.11
Åkarp	6169030	380881	0.06	0.06	0.11
Lund	6174453	382563	0.44	0.44	0.78
Privata uttag	6163950	393030	0.25	0.25	0.45
Privata uttag	6160050	393920	0.19	0.19	0.34
Privata uttag	6164750	383150	0.25	0.25	0.45
Privata uttag	6175530	379550	0.25	0.25	0.45
Privata uttag	6180150	378490	0.13	0.13	0.23
Privata uttag	6167247	381587	0.25	0.25	0.45
Privata uttag	6159510	388960	0.19	0.19	0.34
Privata uttag	6164020	386840	0.25	0.25	0.45
Privata uttag	6154080	396150	0.10	0.10	0.18

F. Känslighetsanalys

Tabell F.1. Tabellen visar de värden som användes i känslighetsanalys för de ingående parametrarna. Värdena är 50, 75, 100, 125 samt 150 % där det kalibrerade värdet är index.

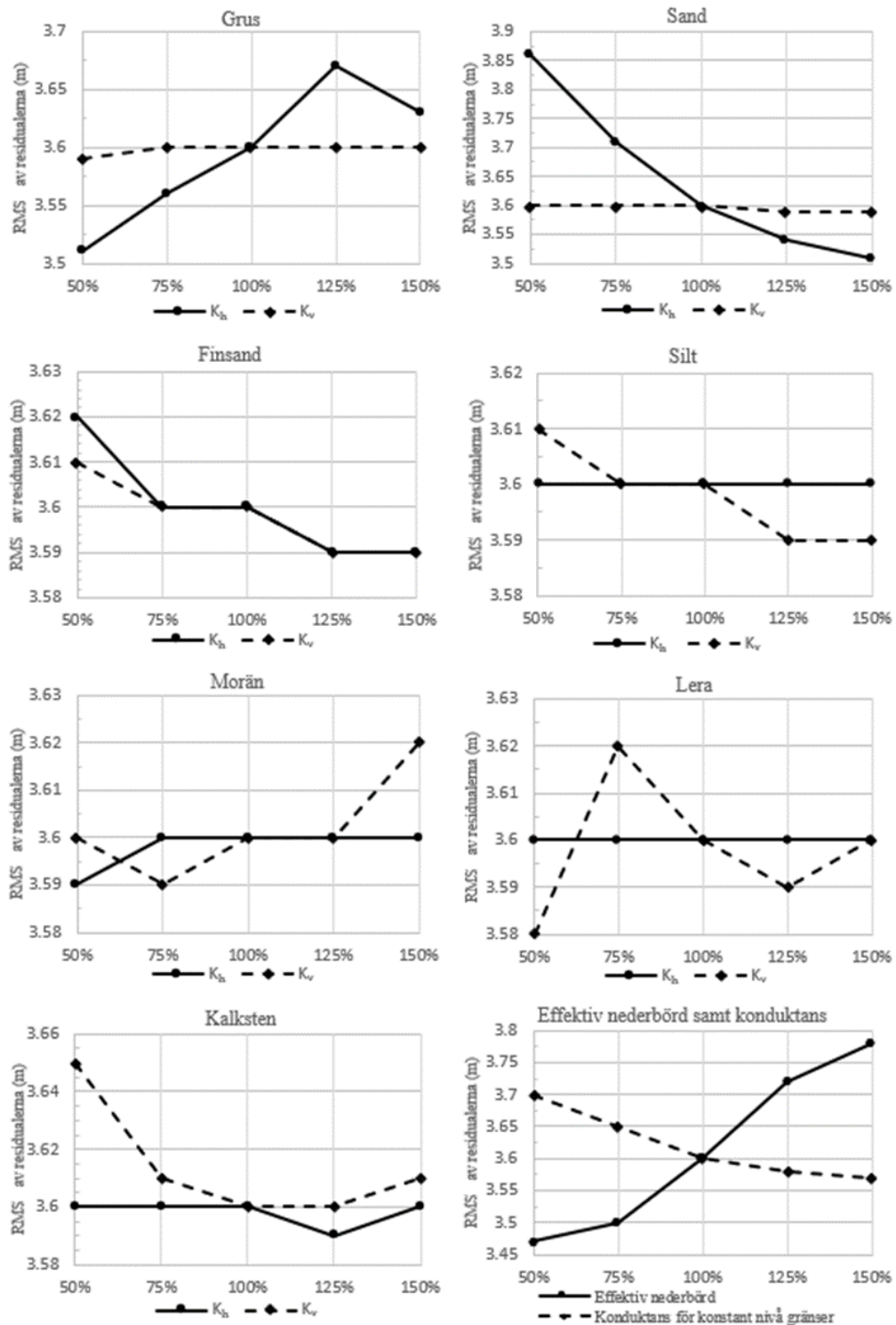
Brunns ID		50%	75%	Kalibrerade värden (100 %)	125 %	150 %
Grus (m/s)	Kh	$2,00 \cdot 10^{-2}$	$3,00 \cdot 10^{-2}$	$4,00 \cdot 10^{-2}$	$5,00 \cdot 10^{-2}$	$6,00 \cdot 10^{-1}$
	Kv	$2,00 \cdot 10^{-3}$	$3,00 \cdot 10^{-3}$	$4,00 \cdot 10^{-3}$	$5,00 \cdot 10^{-3}$	$6,00 \cdot 10^{-2}$
Sand (m/s)	Kh	$3,00 \cdot 10^{-3}$	$4,50 \cdot 10^{-3}$	$6,00 \cdot 10^{-3}$	$7,50 \cdot 10^{-3}$	$9,00 \cdot 10^{-2}$
	Kv	$3,00 \cdot 10^{-3}$	$4,50 \cdot 10^{-3}$	$6,00 \cdot 10^{-3}$	$7,50 \cdot 10^{-3}$	$9,00 \cdot 10^{-2}$
Finsand (m/s)	Kh	$2,00 \cdot 10^{-5}$	$3,00 \cdot 10^{-5}$	$4,00 \cdot 10^{-5}$	$5,00 \cdot 10^{-5}$	$6,00 \cdot 10^{-5}$
	Kv	$2,00 \cdot 10^{-5}$	$3,00 \cdot 10^{-5}$	$4,00 \cdot 10^{-5}$	$5,00 \cdot 10^{-5}$	$6,00 \cdot 10^{-5}$
Silt (m/s)	Kh	$2,50 \cdot 10^{-7}$	$3,75 \cdot 10^{-6}$	$5,00 \cdot 10^{-6}$	$6,25 \cdot 10^{-6}$	$7,50 \cdot 10^{-6}$
	Kv	$2,50 \cdot 10^{-8}$	$3,75 \cdot 10^{-7}$	$5,00 \cdot 10^{-7}$	$6,25 \cdot 10^{-7}$	$7,50 \cdot 10^{-7}$
Kalksten (m/s)	Kh	$2,50 \cdot 10^{-6}$	$3,75 \cdot 10^{-5}$	$5,00 \cdot 10^{-5}$	$6,25 \cdot 10^{-5}$	$7,50 \cdot 10^{-5}$
	Kv	$2,50 \cdot 10^{-6}$	$3,75 \cdot 10^{-6}$	$5,00 \cdot 10^{-6}$	$6,25 \cdot 10^{-6}$	$7,50 \cdot 10^{-6}$
Morän (m/s)	Kh	$5,00 \cdot 10^{-8}$	$7,50 \cdot 10^{-8}$	$1,00 \cdot 10^{-7}$	$1,25 \cdot 10^{-7}$	$1,50 \cdot 10^{-7}$
	Kv	$2,50 \cdot 10^{-9}$	$3,75 \cdot 10^{-8}$	$5,00 \cdot 10^{-8}$	$6,25 \cdot 10^{-8}$	$7,50 \cdot 10^{-8}$
Lera (m/s)	Kh	$5,00 \cdot 10^{-8}$	$7,50 \cdot 10^{-8}$	$1,00 \cdot 10^{-7}$	$1,25 \cdot 10^{-7}$	$1,50 \cdot 10^{-7}$
	Kv	$2,50 \cdot 10^{-8}$	$3,75 \cdot 10^{-8}$	$5,00 \cdot 10^{-8}$	$6,25 \cdot 10^{-8}$	$7,50 \cdot 10^{-8}$
Effektiv nederbörd (mm/år)		125,0	187,5	250,0	312,5	375,0
Konduktans (m/s)		$5,0 \cdot 10^{-5}$	$7,50 \cdot 10^{-5}$	$1,00 \cdot 10^{-4}$	$1,25 \cdot 10^{-4}$	$1,50 \cdot 10^{-4}$

F.1. Volymfel



Figur F.1. Känslighetsanalys för hydrauliska konduktivitet både vertikal och horisontell för samtliga material som använts samt känslighetsanalys för effektiv nederbörd samt för konduktansen i de gränser som utgör konstant nivå. Volymfelet presenteras i procent för varje simulerat värde som motsvarar 0,5, 0,75, 1, 1,25 och 1,5 av det kalibrerade värdet.

F.2. RMS av residualerna



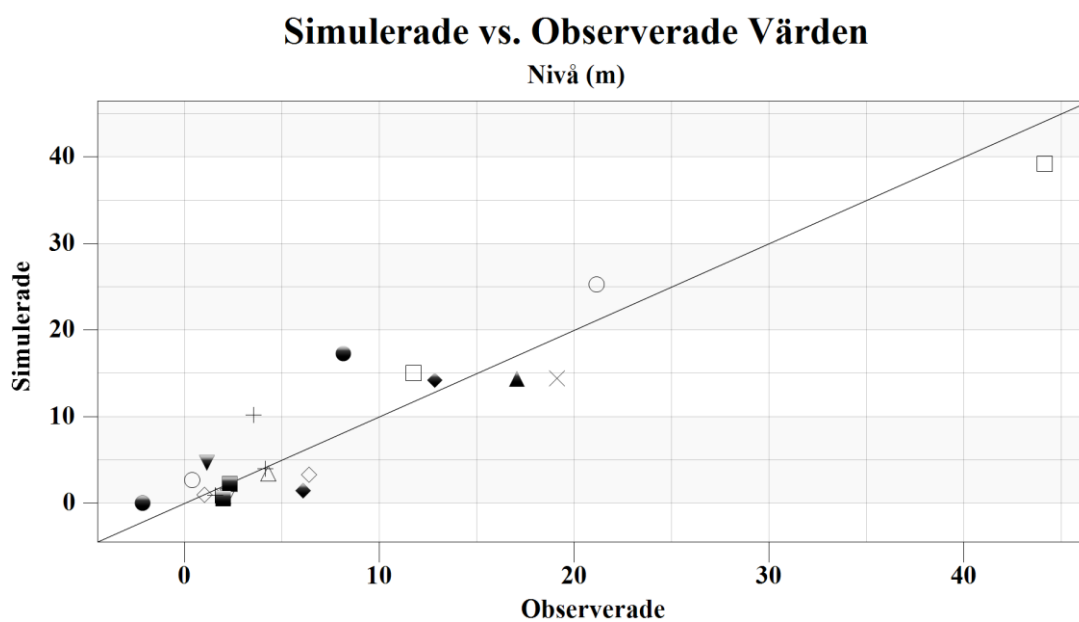
Figur F.2. Känslighetsanalys för hydrauliska konduktivitet både vertikal och horisontell för samtliga material som använts samt känslighetsanalys för effektiv nederbörd samt för konduktansen i de gränser som utgör konstant nivå. RMS av residualerna presenteras i meter för varje simulerat värde som motsvarar 0,5, 0,75, 1, 1,25 och 1,5 av det kalibrerade värdet.

G. Kalibrering

Tabell G.1. Grundvattennivåmätningar av SGU som användes som kalibreringsdata. Här presenteras Brunns-ID i SGU:s brunnarkiv, koordinater i SWEREF 99 TM, datum för nivåmätning, den uppmätta nivån och den i modellen omvandlade nivån i RH 2000.

Brunns ID	N	E	Nivådatum	Uppmätt nivå	Nivå i RH 2000
917000139	6169561	377650	20161121	6,98	1,99
918611013	6181622	375548	20181031	10,7	0,40
915048397	6180865	368612	20150323	2	-2,16
919540182	6167729	387815	20190402	4	11,76
916516662	6180954	374720	20160202	10	2,34
917000122	6169624	377687	20161116	7,95	1,03
915107041	6182140	373616	20150202	5,1	6,10
915035052	6183533	376265	20150311	13,83	4,30
917515851	6172395	385683	20170216	1,2	17,05
917038747	6182394	371793	20170406	3,61	2,20
918502568	6173536	380198	20171214	1,5	1,15
915100364	6172560	384062	20150424	14,81	3,54
917515837	6172462	385592	20170215	0,35	19,12
916103082	6160792	385035	20160418	3,25	21,15
918511218	6166376	387127	20171123	10	8,15
919519595	6158228	396982	20190219	17,3	44,16
919513026	6184874	372031	20190204	2,8	2,00
919057869	6183595	376061	20190424	11,4	6,40
915106144	6168122	387591	20151215	2,02	12,84
918531945	6175655	376044	20180328	1,2	1,56
917623317	6177555	375000	20171127	9	-2,80

De observerade nivåerna som går att se i Tabell G.1. gentemot de simulerade värdena av modellen presenteras i Figur G.1.



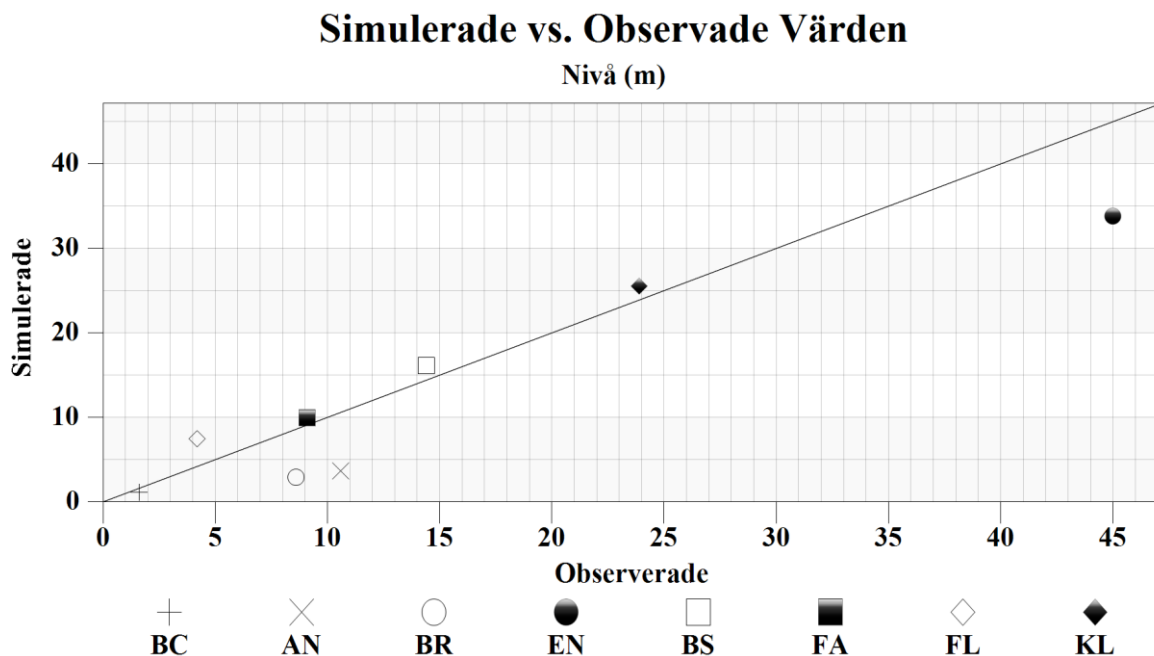
Figur G.1. Observerade nivåer för kalibrering plottade mot de simulerade nivåerna som linjen utgör verifieringsdata.

H. Verifiering

Tabell H.1 De observerade grundvattennivåmätningarna gjorda av Teknisk geologi LTH, som utgör verifieringsdata. Kolumnen ID är förkortningarna som visas i Figur H.1. Deras koordinater i SWEREF 99 TM, mätperioden samt minimum, maximum och medelnivå i m under mätperioden.

Plats	ID	N	E	Mätperiod	Min nivå (m)	Max nivå (m)	Medel nivå (m)
Barsebäck	BC	369988	6182473	2020-10-01 - 2021-09-30	0.5	2.2	1.6
Löddeköpinge	AN	375030	6182951	2020-10-01 - 2021-09-30	10.2	11	10.6
Flädie	FL	378558	6177278	2020-10-01 - 2021-09-30	3.08	4.6	4.2
Bjärred	BR	376135	6176620	2020-10-01 - 2021-09-30	8.2	9	8.6
Fatterslundsvägen	FA	383624	6169359	2020-10-01 - 2021-09-30	8.76	9.46	9.1
Staffanstorps	BS	387638	6167373	2020-10-01 - 2021-09-30	11.5	15.2	14.4
Klägerup	KL	388579	6162065	2020-10-01 - 2021-09-30	23.8	24	23.9
Enekroksvägen	EN	392327	6158001	2020-10-01 - 2021-09-30	44.8	46.2	45

De observerade värdena mot de simulerade värden går att se i Figur H.1., där förkortningarna under grafen avser ID, för varje mätpunkt som visas i Tabell H.1.



Figur H.1. Observerade värden (punkterna) mot simulerade värden (linjen) för de grundvattennivåmätningarna som användes för att verifiera modellen. Förkortningarna är hänvisningar till vilken mätning som är gjord i Tabell H.1.

I. Flödesbalanser

I.1. Total flödesbalans

Den totala flödesbalansen går att se i Figur I.1. Där *recharge* motsvarar vad som i text är effektiv nederbörd, *head dep bounds* är vad som i rapporten benämns som konstanta nivågränser.

	Flow In	Flow Out
Sources/Sinks		
CONSTANT HEAD	0,0	0,0
WELLS	0,0	-0,204500003496
HEAD DEP BOUNDS	6,754828370751	-9,434143432003
RECHARGE	2,8749474147808	0,0
Total Source/Sink	9,6297757855318	-9,638643435499
Zone Flow		
FLOW RIGHT FACE	0,0	0,0
FLOW FRONT FACE	0,0	0,0
FLOW LOWER FACE	0,0	0,0
FLOW LEFT FACE	0,0	0,0
FLOW UPPER FACE	0,0	0,0
FLOW BACK FACE	0,0	0,0
Total Zone Flow	0,0	0,0
TOTAL FLOW	9,6297757855318	-9,638643435499
Summary		
	In - Out	% difference
Sources/Sinks	-0,008867649967	-0,092043357216
Cell To Cell	0,0	0,0
Total	-0,008867649967	-0,092043357216

Figur I.1. Den totala flödesbalansen för modellen, enheten är m^3/s .

I.2. Flöden över konstanta nivågränser

Gällande flödena över de konstanta gränserna visar Tabell I.1 som visar flödena över den konstanta gränser mot havet, respektive mot nordost. Deras utsträckning är markerade i Figur 3.8 i rapporten.

Tabell I.1. Flödena över de konstanta nivågränserna, enheten är m^3/s . Här visas flödena som är in till modellen respektive ut från modellen.

Konstant gräns	Flöde in till modellen (m^3/s .)	Flöde ut ur modellen (m^3/s .)
Havet	0,1179	4,8958
Grundvattenivå i nordost	6,7528	4,7055

I.3. Vertikala flöden i cellagret ovanför Alnarps sedimenten

De tre områden där grundvattenflödena analyseras i cellagret ovanför Alnarps sedimenten, har följande flöde i vertikal led i Tabell I.2. Där områdena refererar till de områden som går att se i Figur 4.3 till 4.5 i rapporten. Här ska det noteras att områdena överlappar varandra samt att de är olika cellager för varje område. Flödena är beräknade i m³/s i modellen och sedan omvandlade till mm/år genom att uppskatta den area som området innefattar.

Tabell I.2. De vertikala flödena i cellagren som över, enheten är mm/år. Här visas flödena från cellagret ner till cellagret under och flödena från det undre cellagret upp till cellagret som anses precis ovanför Alnarps sedimenten.

Område med hänvisning till Figur	Flöde ner till nedanliggande cellager från cellagret (mm/år.)	Flöde upp till cellagret från nedanliggande lager (mm/år.)
Område i Figur 4.3	248	294
Område i Figur 4.4	657	378
Område i Figur 4.5	157	316

I.4. Total flödesbalans för effektiv nederbörd 205 mm/år och uttag på 18,3 Mm³/år

Den totala flödesbalansen går att se i Figur I.2. Där *recharge* motsvarar vad som i text är effektiv nederbörd, *head dep bounds* är vad som i rapporten benämns som konstanta nivågränser.

	Flow In	Flow Out
Sources/Sinks		
CONSTANT HEAD	0,0	0,0
WELLS	0,0	-0,383500009627
HEAD DEP BOUNDS	6,2186157343553	-8,186238137927
RECHARGE	2,3402399701808	0,0
Total Source/Sink	8,5588557045362	-8,569738147554
Zone Flow		
FLOW RIGHT FACE	0,0	0,0
FLOW FRONT FACE	0,0	0,0
FLOW LOWER FACE	0,0	0,0
FLOW LEFT FACE	0,0	0,0
FLOW UPPER FACE	0,0	0,0
FLOW BACK FACE	0,0	0,0
Total Zone Flow	0,0	0,0
TOTAL FLOW	8,5588557045362	-8,569738147554
Summary	In - Out	% difference
Sources/Sinks	-0,010882443018	-0,127067558628
Cell To Cell	0,0	0,0
Total	-0,010882443018	-0,127067558628

Figur I.4. Den totala flödesbalansen för modellen med ett uttag på 18,3 Mm³/år och effektiv nederbörd 205 mm/år, enheten är m³/s.