

Saltvatteninträngning Kristianstadsslätten

Beräkningar med FEFLOW

WSP Environmental

Rapport

Januari 2017

Denna rapport har tagits fram inom DHI:s ledningssystem
för kvalitet certifierat enligt ISO 9001 (kvalitetsledning) av Bureau Veritas

ISO 9001
Management System Certification

BUREAU VERITAS
Certification Denmark A/S



Saltvatteninträngning Kristianstadsslätten

Beräkningar med FEFLOW

Framtagen för WSP Environmental
Kontaktperson Andreas Sjöberg

Projektledare	Erik Mårtensson
Kvalitetsansvarig	Lars-Göran Gustafsson
Handläggare	Christian Tomsu, Erik Mårtensson

Uppdragsnummer	12802996
Godkänd datum	2017-01-20
Version	Version 1
Klassificering	Öppen

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Inledning	1
2	Beräkningsförutsättningar	1
2.1	Modelluppbyggnad	1
2.2	Randvillkor och initiala förhållanden	5
2.3	Transportparametrar	5
2.4	Beräkningsfall	6
3	Beräkningsresultat	8
3.1	Referensfall	8
3.1.1	Tryckgradienter	8
3.1.2	Saltkoncentrationer	10
3.2	Framtida scenarier	12
4	Slutsatser	18

1 Inledning

Tidigare studie av framtida klimatscenarier för Kristianstadsslätten och pågående modellering i samband med tillståndsansökan för ökade kommunala uttag i Åhus har visat på en risk för saltvatteninträngning längs med kusten. Beräkningar visar på en nedåtriktad vertikal gradient och transport från havet till den sedimentära berggrunden samt ett horisontellt grundvattenflöde från havet mot uttagsbrunnarna i Åhus. I beräkningarna har ingen hänsyn tagits till densitetsdriven strömning då detta inte är möjligt med MIKE SHE.

Med bakgrund av ovan har beräkningar gjorts med programvaran FEFLOW vilken kan hantera densitetsdriven strömning. Beräkningar har gjorts för dagens bedömda uttagssituation samt för ett framtida, sökt scenario för att utreda effekten av ökade uttag på saltkoncentrationen längs kusten och speciellt vid kommunens brunnfält vid Åhus.

2 Beräkningsförutsättningar

Beräkningarna har gjorts med programvaran FEFLOW vilken baseras på finit elementmetod (MIKE SHE baseras på finit differensmetod) vilket bland annat innebär att beräkningsnätets upplösning i FEFLOW kan anpassas efter de strukturer som skall modelleras, t.ex. göras finare omkring ett brunnfält eller sprickzoner i berget. FEFLOW inkluderar även möjligheter att beräkna densitetsdriven strömning såsom saltvatteninträngning.

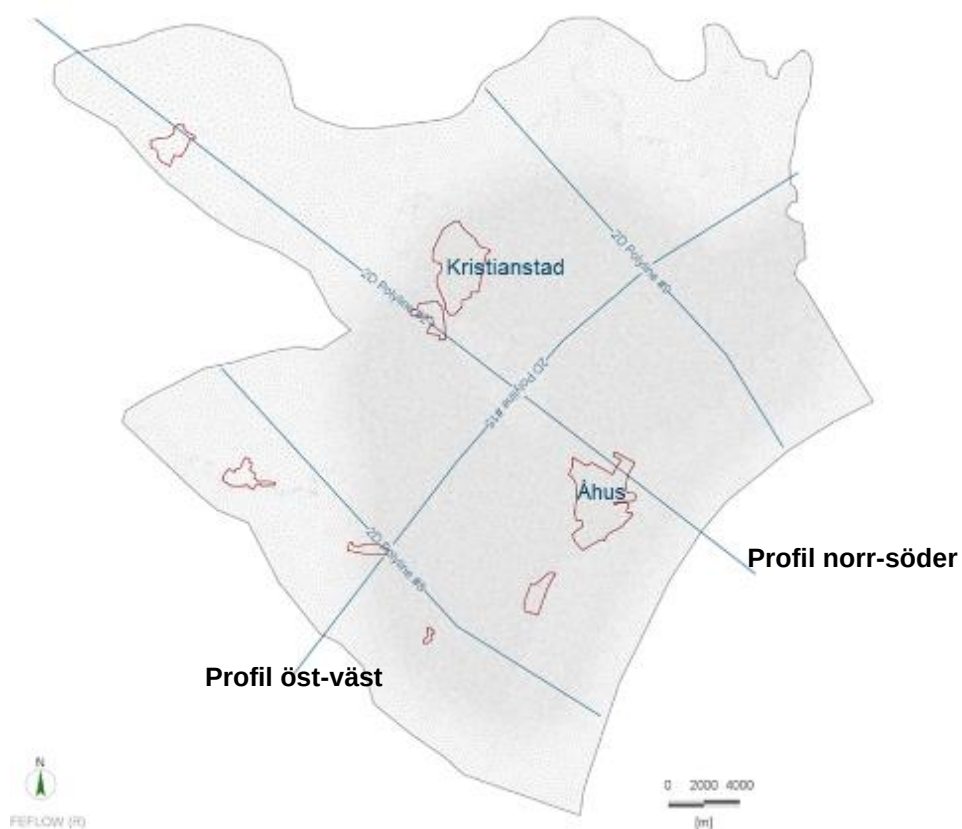
2.1 Modelluppbyggnad

Modellering baseras på en kombination av FEFLOW för den mättade zonen och saltvatteninträngning i denna samt MIKE SHE (inkl. MIKE11) för den omättade zonen, ytvattnet och avduntningsprocesserna. Beräkningar med MIKE SHE har inledningsvis gjorts varefter randvillkor i form av grundvattenbildning och trycknivåer extraherats och använts för beräkningar med FEFLOW. För vidare beskrivning av randvillkor se avsnitt 2.2.

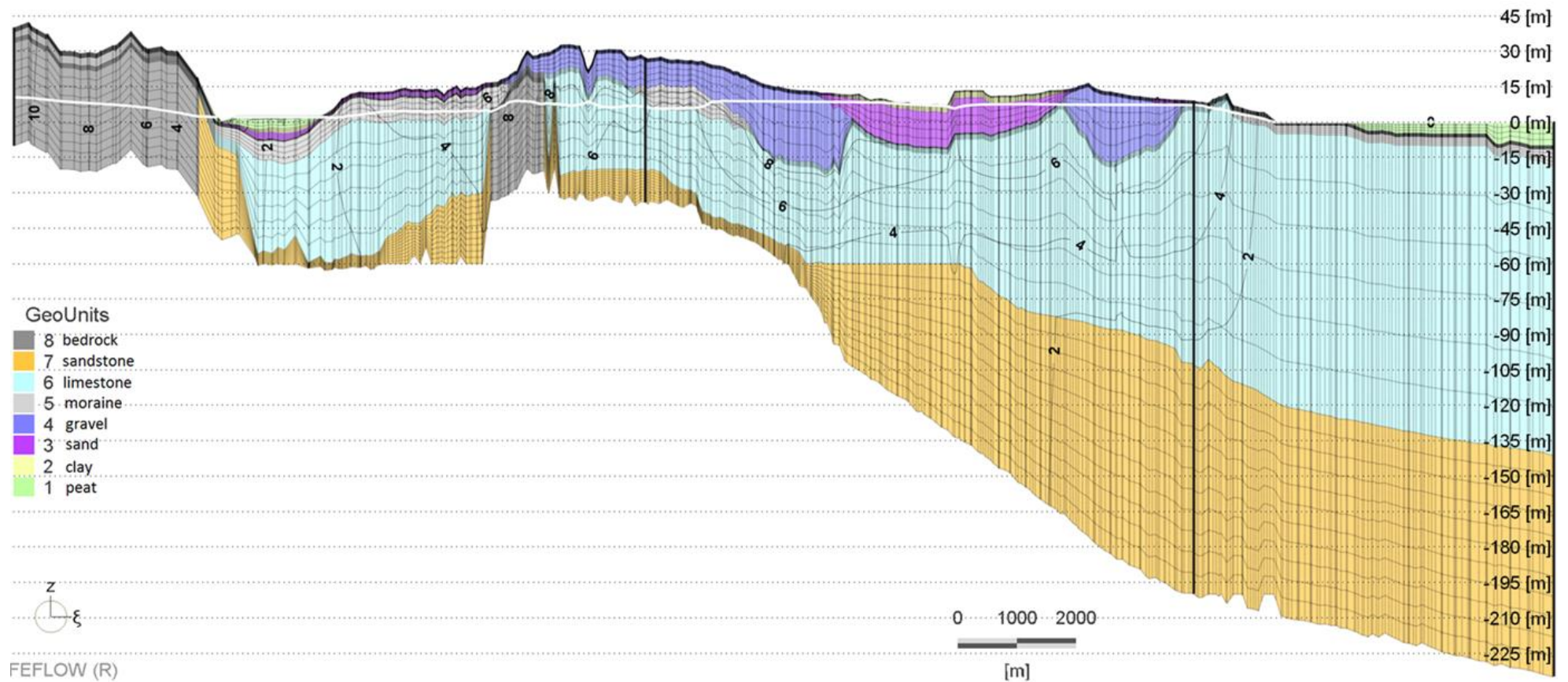
Den geologiska modellbeskrivningen för den mättade zonen i MIKE SHE har överförs till FEFLOW för ett område som motsvarar den sedimentära berggrundens utbredning på Kristianstadsslätten (Figur 2-1). Den geologiska lagerindelningen följer den i MIKE SHE. Varje geologisk lagerenhet har däremot delats in i ett flertal vertikala numeriska beräkningslager för att på ett bättre sätt kunna beräkna spridningsförhållandena. I MIKE SHE följer de geologiska och numeriska lagren varandra med undantag för jordlagren (torv, lera, sand och grus) vilka samlats i ett beräkningslager.

I Figur 2-2 och Figur 2-3 illustreras den geologiska och numeriska lagerindelningen i två tvärsektioner vars lägen visas i Figur 2-1. Här ses att kalksten och sandsten har delats in i sex respektive elva vertikala beräkningslager. Identiska hydrauliska parametrar (konduktiviteter och magasinstant) som i MIKE SHE har ansatts i FEFLOW.

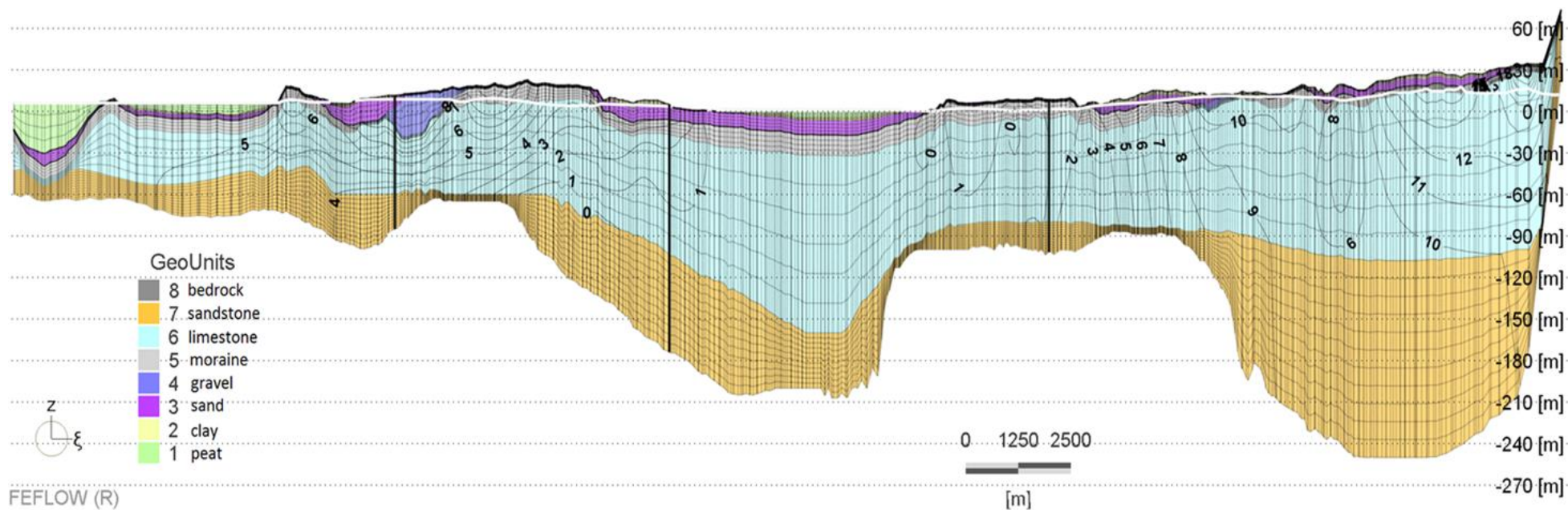
Det lokala modellområdet i FEFLOW täcker hela kuststräckan från Nymölla i norr till Maglehem i söder samt sträcker sig ca 6 km inåt landet från kustlinjen. Det horisontella beräkningsnätet (triangulära celler) har förfinats längs med kustlinjen och runt brunnstäta områden. Samtliga uttagsbrunnar i MIKE SHE-modellen har lagts in i FEFLOW. Filterdjupen har i några fall varit nödvändiga att justera så att uttagslagren stämmer överens mellan de båda modellerna. Beskrivning av vilka uttag och uttagsmängder som använts i de olika beräkningsfallen ges i avsnitt 2.3.



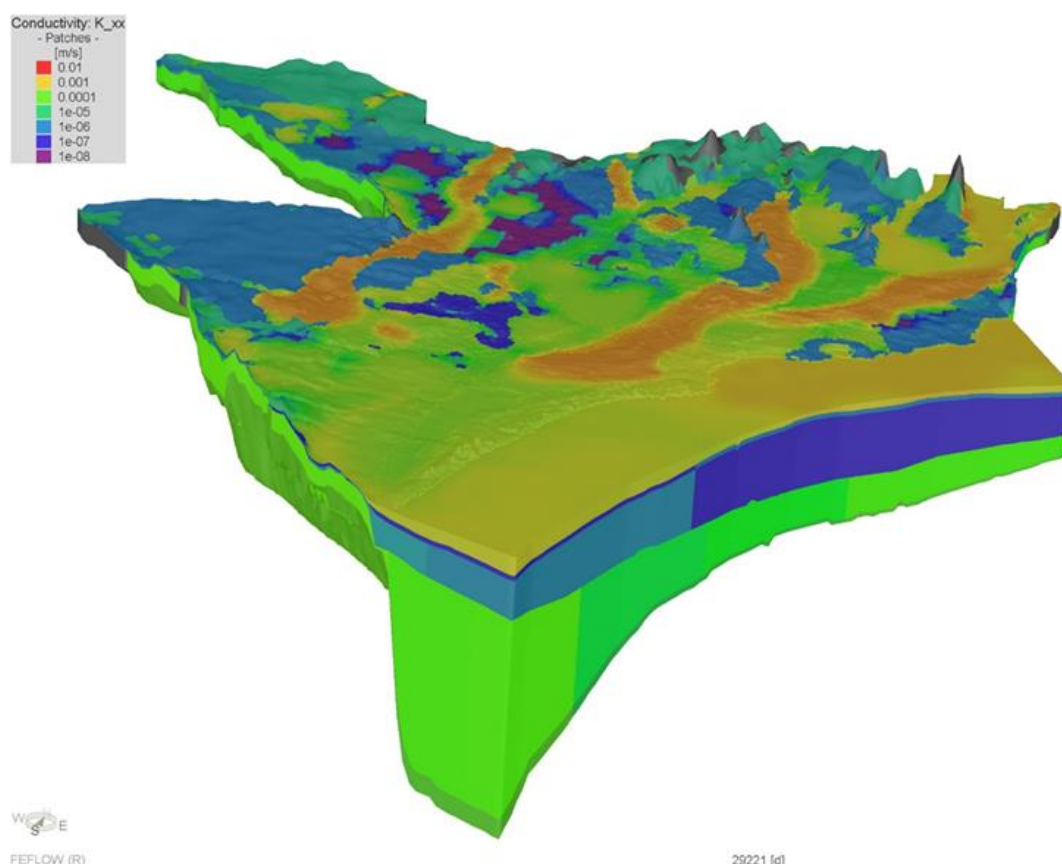
Figur 2-1. Lägen för profiler vilka visas i Figur 2-2 och Figur 2-3.



Figur 2-2. Geologisk lagerföljd längs en nord-sydlig profil. Läget för profilen ses i Figur 2-1. Värden i figuren visar beräknade trycknivåer.



Figur 2-3. Geologisk lagerföljd längs en öst-västlig profil. Läget för profilen ses i Figur 2-1. Värden i figuren visar beräknade trycknivåer.



Figur 2-4. Visualisering av hydraulisk konduktivitet.

2.2 Randvillkor och initiala förhållanden

Beräkningar med regional MIKE SHE-modell (500 m upplösning) har gjorts för samtliga beräkningsfall (se avsnitt 2.3). Utifrån resultaten har flöde från omättad till mättad zon, dräneringsflöde från mättad zon samt utbyte mellan mättad zon och vattendrag (MIKE 11) extraherats. Summan av dessa flöden har lagts in som ett tidsvarierande och spatialt varierande randvillkor till det översta beräkningslagret i FEFLOW. Randvillkoret motsvarar grundvattenbildningen inklusive drän- och basflöde.

Initiala trycknivåer och tidsvarierande randtryck har extraherats från MIKE SHE och ansatts längs med modellränderna i FEFLOW.

En initial saltkoncentration motsvarande 15 mg/l har ansatts den mättade zonen i hela modellområdet förutom i havet där en koncentration på 4 000 mg/l ansatts i det översta beräkningslagret (ytvattnet).

2.3 Transportparametrar

Transporten av lösta ämnen i den mättade zonen styrs av:

- Advektion
- Dispersion
- Diffusion

Den advektiva transporten bestäms av den verkliga vattenhastigheten i hålrummen mellan jordpartiklarna. Denna påverkas förutom av tryckgradienter och hydraulisk konduktivitet, också av den effektiva porositeten.

Dispersion står för spridandet av lösliga ämnen som inte är inkluderad i de simulerade medelflödes hastigheterna, dvs. i advektionen. Dispersion kan ses som en beskrivning av inhomogeniteten i materialet och beskrivs i FEFLOW med två parametrar som representerar den longitudinella respektive den transversella dispersiviteten. Vid modelleringen har ett antal olika parametervärden testats och resultaten i form av beräknad kloridkoncentration har jämförts med uppmätta koncentrationer (se avsnitt 3.2). I de slutliga beräkningarna har en longitudinell och transversal dispersivitet på 1000 respektive 100 använts. Värdena har ansatts uniformt i samtliga geologiska lager.

I vissa jord- och bergmaterial (t.ex. sprickigt berg) kan diffusionen mellan transportzoner (mobila zoner) och omgivande porsystem vara betydelsefull för transporten av ämnen.

Till ovan kan läggas den densitetsdrivna strömningen vilket även påverkar spridningen av salt i akvifären.

2.4 Beräkningsfall

I de senaste beräkningarna med MIKE SHE, vid tillståndsansökan för ökade uttag i Åhus, har modellen uppdaterats med samtliga tillståndsgivna uttag. Detta motsvarar dock ett realistiskt uttagsscenario där samtliga beviljade uttag tar ut 100 % av den tillståndsgivna volymen. I ett försök att beskriva de senaste årtiondenas uttagssituation har en bedömning av troliga uttagsmängder gjorts. Följande uttagsmängder har använts:

- Uppmätta mängder för kommunala och industriella uttag. Där mätningar saknas har tillståndsgivna mängder använts.
- 75 % av tillståndsgivna mängder för samtliga bevattningsuttag. Ej tillståndsgivna uttag har inte inkluderats.
- Övriga uttag (privata och djurhållning) är inkluderade. För dessa uttag saknas i regel vattendom. Utagsmängder har baserats på tidigare uppskattningar.

En inledande simulering (35 år) har gjorts för referensfallet, med bedömda och uppmätta uttag enligt beskrivning ovan, för att skapa en initial fördelning av salt i modellen. Den beräknade saltfördelningen för referensfallet har stämts av mot tillgängliga mätningar, se vidare under avsnitt 3.2.

Med utgångspunkt från den inledande beräkningen vilken eftersträvar att beskriva dagens situation både vad gäller tryckförhållanden och saltkoncentrationer har fyra framtida scenarier simulerats enligt nedan.

Scenario 1 – referens

Referensfall med uttag enligt ovan. Innebär bara en förlängning av simuleringstiden för att se hur saltkoncentrationerna förändras över tid med en oförändrad uttagssituation jämfört med dagens bedömda situation.

Scenario 2 – sökta uttag

Sökta uttag från C4 och The Absolute Company (TAC) i Åhus, inklusive Kv. Skiftet, enligt ansökan. Övriga uttag har satts till 100 % av tillståndsgivna mängder.

Scenario 3 – referens utan uttag i Åhus

Inga kommunala uttag eller uttag från TAC i Åhus. I övrigt enligt referensfallet (scenario 1).

Scenario 4 – nollalternativ

Inga sökta uttag från C4 och TAC i Åhus. I övrigt enligt scenario 2.

Scenario 1 och 3 utgår från dagens bedömda uttagssituation medan scenario 2 och 4 från en situation där tillstånden utnyttjas maximalt. I övrigt skiljer sig scenarierna avseende kommunala uttag och TACs uttag i Åhus. I Tabell 1 redovisas de årliga uttagsmängderna från TACs och kommunens brunnar i Åhus för samtliga scenarier.

Tabell 1. Ansatta uttagsmängder (m³/år) från kommunens och TACs brunnar i Åhus för scenario 1-4.

Brunn	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
Åhus B2A	594 000	0	0	0
Åhus B3	280 000	1 642 500	0	0
Åhus B20	236 000	0	0	0
Åhus B21	181 000	0	0	0
TAC Lysbojen	200 000	200 000	0	200 000
TAC Bogseraren	250 000	250 000	0	250 000
Kv. Skiftet	0	949 000	0	949 000
TAC (RB1401)	0	200 000	0	0
Totalt	1 741 000	3 241 500	0	1 399 000

3 Beräkningsresultat

3.1 Referensfall

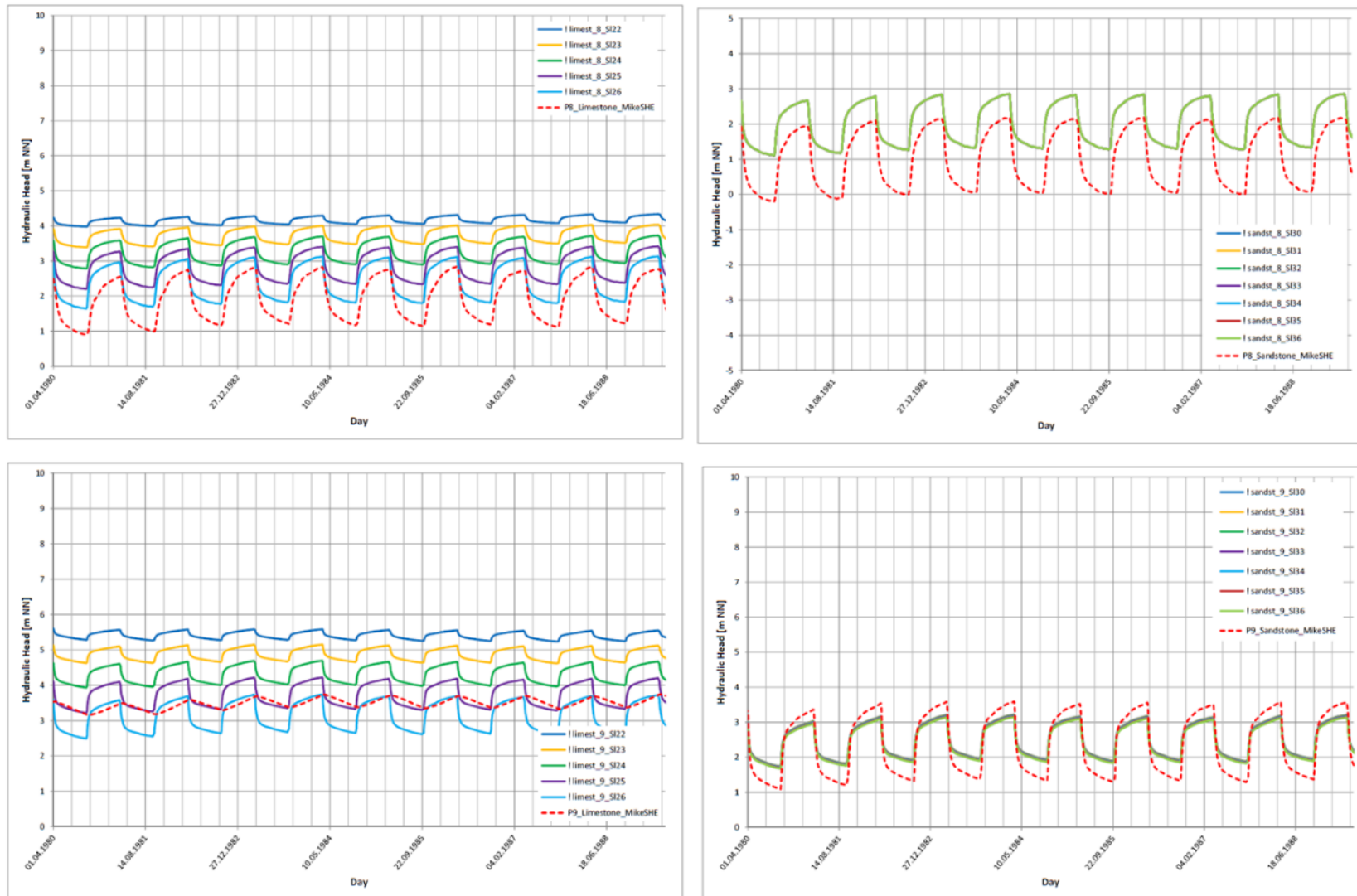
Upprättad FEFLOW-modell har verifierats med avseende på beräknade trycknivåer (avsnitt 3.1) och saltkoncentrationer (avsnitt 3.2).

3.1.1 Tryckgradienter

Regional MIKE SHE-modell har tidigare kalibrerats mot uppmätta yt- och grundvattennivåer samt flertalet provpumpningar, däribland en i Åhus. För att säkerställa att FEFLOW ger motsvarande resultat som den kalibrerade MIKE SHE-modellen har beräknade trycknivåer och -gradienter jämförts.

Generellt överensstämmer de vertikala gradienterna, dvs. tryckskillnaden mellan kalk- och sandsten. Skillnaden i absoluta trycknivåer ligger inom ± 2 m (Figur 3-1). Störst är skillnaden i större uttagbrunnars direkta närhet. En exakt överensstämmelse mellan modellerna var inte att förvänta då det finns väsentliga skillnader i modelluppbyggnad och -parametrisering där de viktigaste är:

- I MIKE SHE används ett fast, kvadratisk beräkningsgrid medan FEFLOW utnyttjar ett triangulerat grid med variabel upplösning, s.k. flexible mesh.
- FEFLOW har en högre numerisk upplösning i både horisontal- och vertikalled.
- Beskrivning av grundvattenbildning.



Figur 3-1. Beräknade trycknivåer med FEFLOW och MIKE SHE i kalk- respektive sandsten.

3.1.2 Saltkoncentrationer

Längre mätserier, relevanta för verifiering av modellen, finns från kommunens borra B2A samt TACs borra på fastigheten Bogseraren 10. Under sommaren 2016 har det även utförts salinitetsmätningar i kommunens borra U3 i Yngsjö (se Bilaga). I Figur 3-2 visas läget för nämnda mätpunkter.

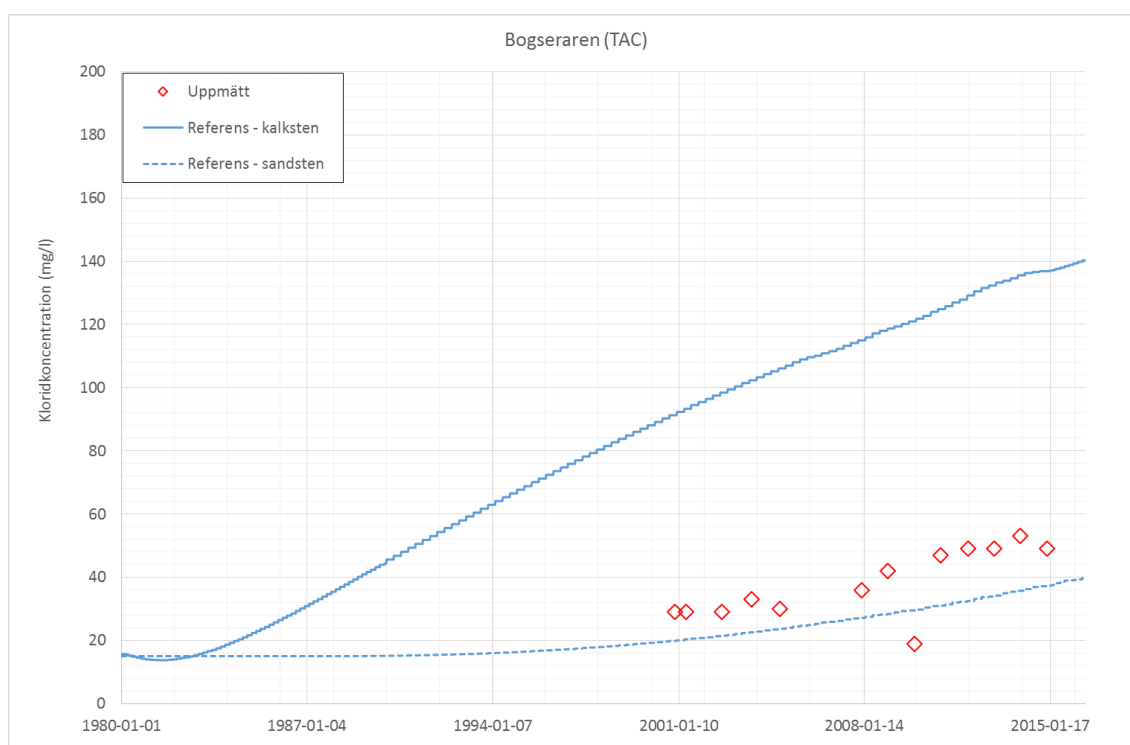
I Figur 3-3 och Figur 3-4 visas uppmätta och modellerade kloridkoncentrationer i Bogseraren respektive B2A. Båda mätningarna är från sandsten. I Bogseraren (Figur 3-3) ses en stigande trend i koncentrationerna. Senaste mätningen visar en koncentration på ca 50 mg/l. Motsvarande stigande trend ses i modellerade koncentrationer. Den faktiska koncentrationen ligger över under den modellerade medan ökningstakten är likvärdig med den som ses i mätningarna.

I B2A (Figur 3-4) ses ingen påverkan av saltvatteninträngning i sandsten, varken i mätningar eller modell. Koncentrationerna ligger stabilt runt den naturliga bakgrundskoncentrationen på 10-15 mg/l.

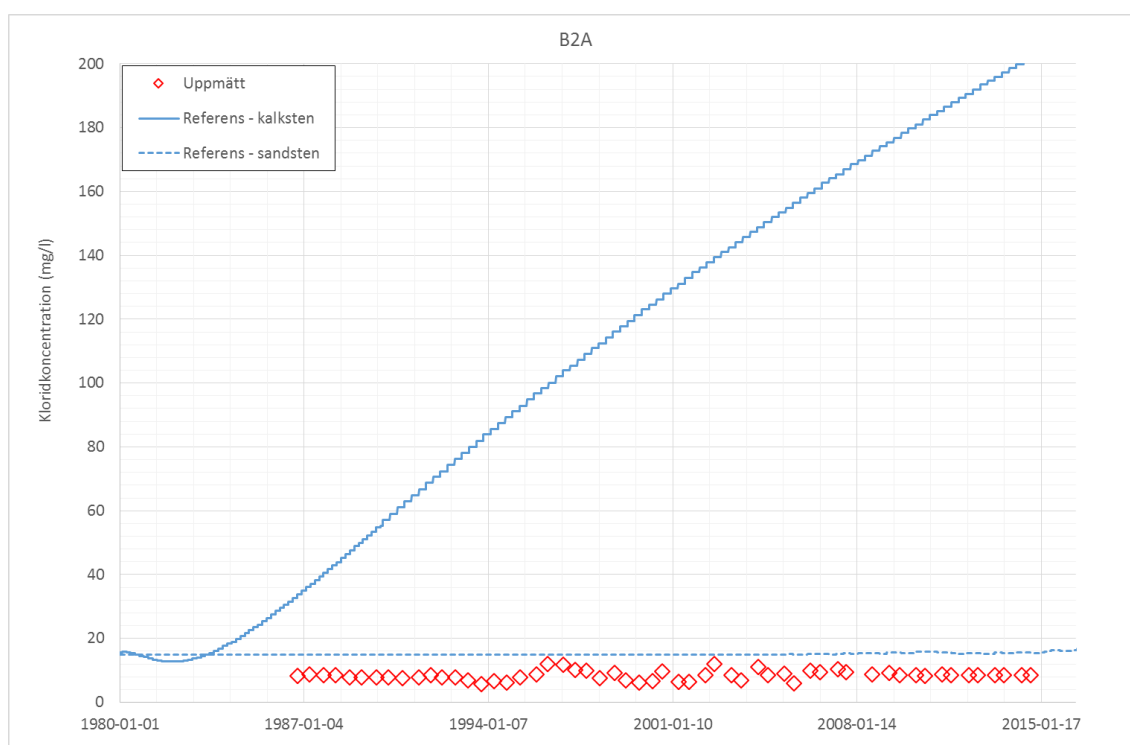
Gemensamt för båda mätpunkterna, vilket även gäller generellt längs kusten, är att den modellerade kloridkoncentrationen är väsentligt högre i kalksten än i sandsten. Salinitetsmätningar, från augusti 2016, i kommunens borra U3 (se Bilaga) bekräftar detta förhållande. På djup 105-140 m (kalksten) uppmättes en salinitet på 2300 – 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ vilket motsvarar 1150 – 1500 mg/l klorid. I den djupare akvifären (sandsten) på 140-175 metes djup uppmättes en salinitet runt 525 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ca 265 mg/l). Modellerad koncentration vid U3 ligger på ca 1400 mg/l i kalksten och ca 500 mg/l i sandsten.



Figur 3-2. Mätpunkter.



Figur 3-3. Uppmätt och beräknad kloridkoncentration i Bogseraren 10. Mätningar från sandsten.



Figur 3-4. Uppmätt och beräknad kloridkoncentration i B2A. Mätningar från sandsten.

3.2 Framtida scenarier

Med start från dagens bedömda situation (2015), dvs. slutet på beräkning för referensfallet, har beräkningar för fyra framtida scenarier körts fram till 2050 med grundvattenuttag enligt beskrivning i avsnitt 2.4.

Saltinträngningen styrs dels av den advektiva transporten vilken styrs av de hydrauliska tryckgradienterna och konduktiviteter. När uttagen ökar, ökar tryckgradienten mot uttagen vilket leder till ett ökat tillflöde av vatten med både lägre (från uppströms områden) och högre saltkoncentration (från områden närmare havet). Det tas dock en större vattenvolym från områden med ett högre tryck, dvs. uppströms liggande områden, där vi har en lägre saltkoncentration.

Förutom den advektiva transporten sker transport via dispersion och diffusion. Denna transport sker från områden med hög koncentration till områden med låg saltkoncentration och kan ske mot strömningsriktningen. Denna transport styrs av dispersiviteten.

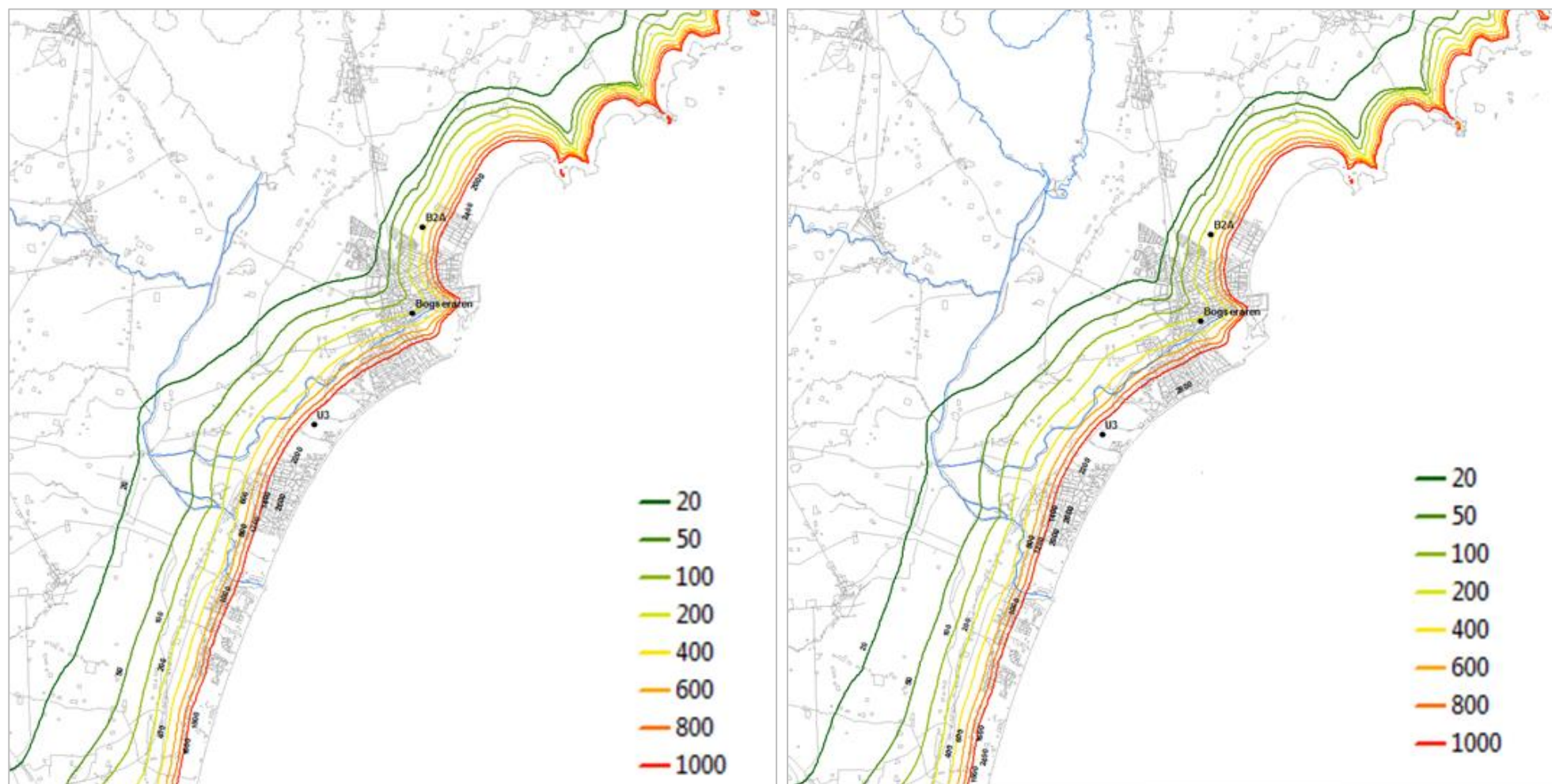
I Figur 3-5 och Figur 3-6 visas beräknad kloridkoncentration år 2050 i kalk- respektive sandsten för Scenario 1 (referens) och Scenario 3 (referens utan TACs och kommunala uttag i Åhus). Förändringen över tid vid Bogseraren 10 och B2A illustreras i Figur 3-9 och Figur 3-10.

- För Scenario 1 (referens) beräknas koncentrationerna att fortsätta att öka fram till, och även efter, år 2050. Detta innebär att vi har en pågående inträngning av saltvatten längs kusten och att även med oförändrade uttag kommer denna att fortgå. Ökningstakten minskar dock med tiden (Figur 3-9 och Figur 3-10).
- Gränsen för en koncentration på 100 mg/l flyttas ca 200-300 m i både kalk- och sandsten för referensfallet mellan 2015 och 2050. Störst saltvatteninträngning ses längs kusten söder om Åhus (Figur 3-5 och Figur 3-6).
- Om TACs och kommunens uttag i Åhus upphör (Scenario 3) indikerar beräkningarna att saltkoncentrationen i området runt uttagen kommer att öka. Att en ökning i koncentration erhålls skulle kunna förklaras av att tillflödet av sötvatten från uppströms områden minskar när uttagen minskar. Dispersionen förblir oförändrad och bidrar till en fortsatt saltinträngning.

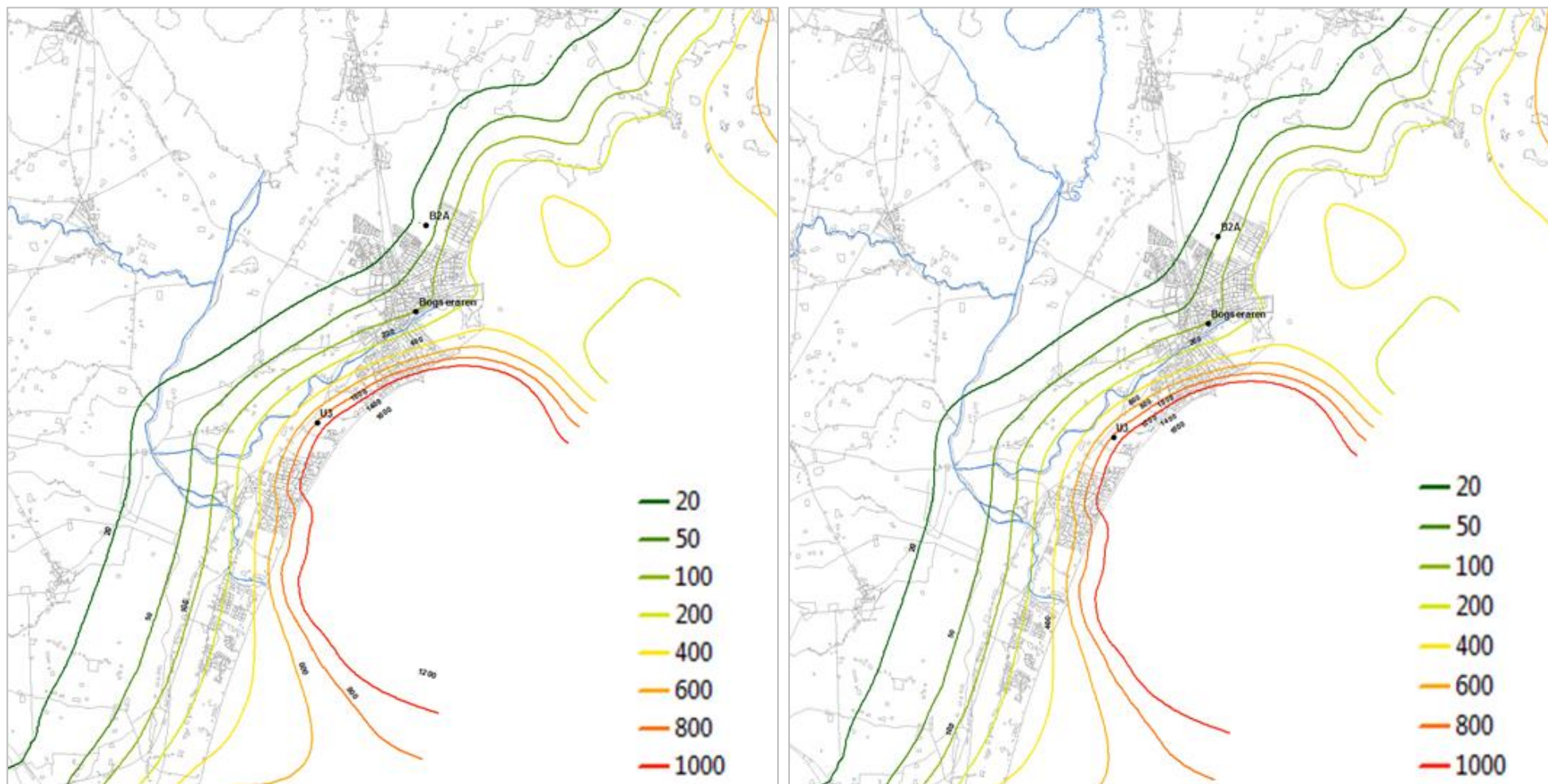
I Figur 3-7 och Figur 3-8 visas beräknad kloridkoncentration år 2050 i kalk- respektive sandsten för Scenario 2 (sökta uttag) och Scenario 4 (nollalternativ). Förändringen över tid vid B2A, där uttags- och saltkoncentrationsförändringen är som störst, illustreras i Figur 3-11.

- Generellt är skillnaden mellan Scenario 2 (sökta uttag) och Scenario 4 (nollalternativ) begränsad. Störst effekt ses som förväntat i området runt de sökta uttagen (Figur 3-11). Med ökade uttag i Scenario 2 så minskar koncentrationen i kalksten och ökar i sandsten. De sökta uttagen sker uteslutande från sandsten vilket innebär att flödet från kalksten, med högre saltkoncentration, till sandsten, med lägre saltkoncentration, ökar. Uttagen i Scenario 2 ökar så mycket att den advektiva transporten från havet ökar vilket ytterligare bidrar till koncentrationsökningen.
- För Scenario 4 (nollalternativ) beräknas kloridkoncentrationen i sandsten ligga strax under 40 mg/l i B2A. För Scenario 2 (sökta uttag) ökar koncentrationen successivt och ligger på ca 60 mg/l år 2050.

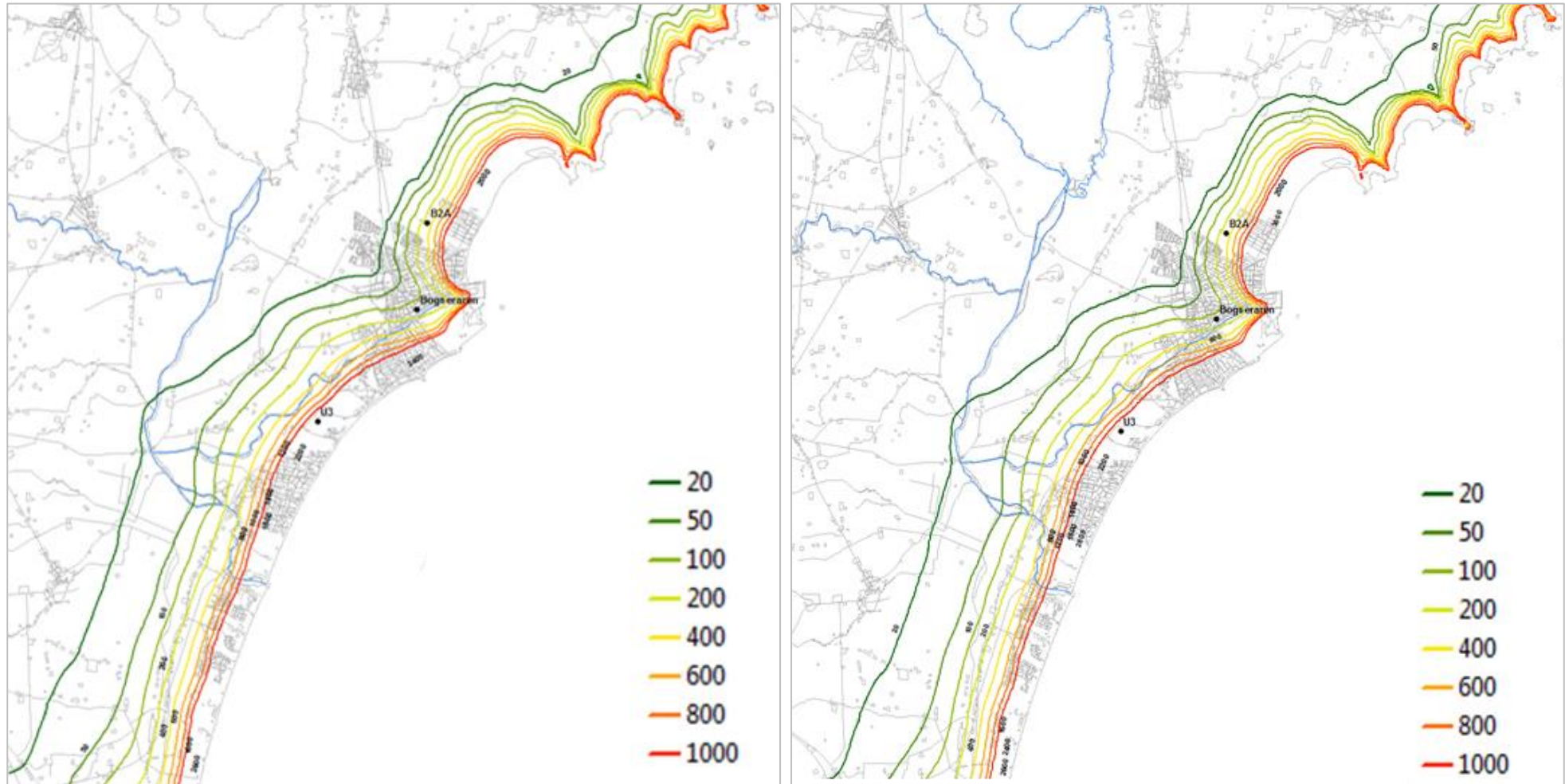
Det är naturligt att det ökade uttaget i Scenario 2 skapar en saltvattentransport både vertikalt och horisontellt kopplat till en ökad advektiv vertikal och horisontell transport. När uttagsmängder ökar från Scenario 3 (referens utan uttag i Åhus) till Scenario 1 (referens) sker detta primärt genom en ökad advektiv transport från landsidan som därmed ger en ökad tillförsel av sötvatten med låg saltkoncentration. Detta innebär att en viss grad av uttag motverkar den naturliga saltvatteninträngningen orsakad av dispersiv transport, dvs. uttagen leder till en utspädning. Om uttagen däremot ökas så mycket att det orsakar en advektiv transport från havet leder detta till en ökad saltvatteninträngning. I Scenario 2 hamnar vi i detta läge.



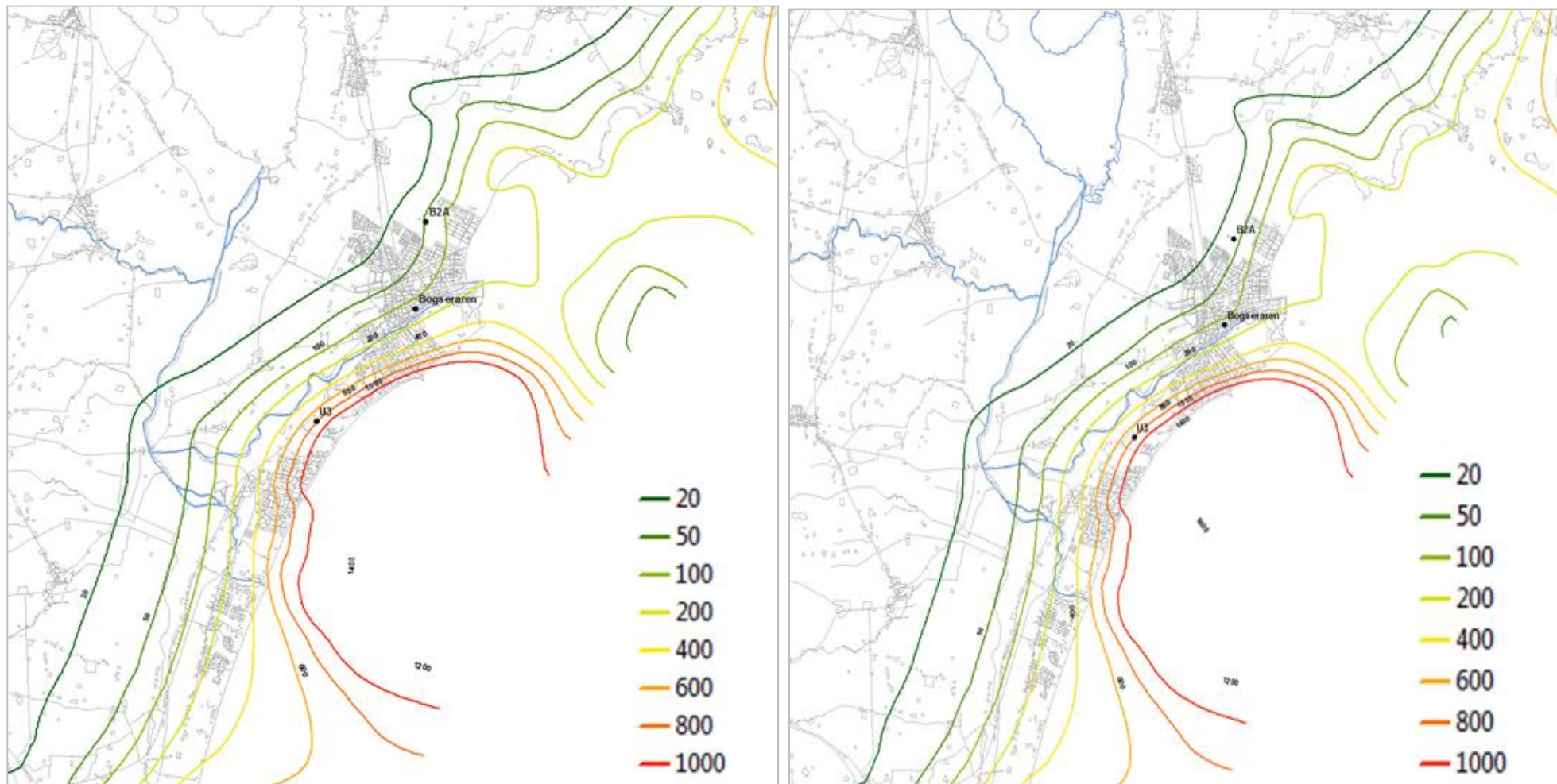
Figur 3-5. Beräknad kloridkoncentration (mg/l) i kalksten år 2050 för Scenario 1 – referens (vänstra bilden) och Scenario 3 – referens utan uttag i Åhus (högra bilden).



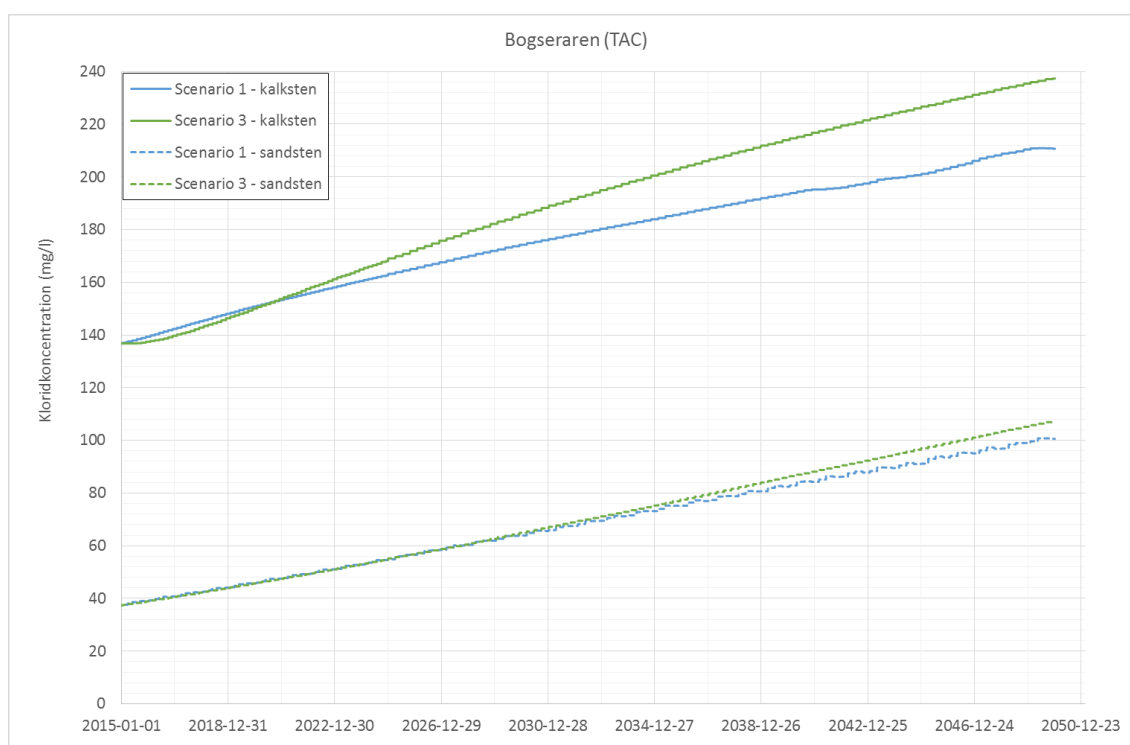
Figur 3-6. Beräknad kloridkoncentration (mg/l) i sandsten år 2050 för Scenario 1 – referens (vänstra bilden) och Scenario 3 – referens utan uttag i Åhus (högra bilden).



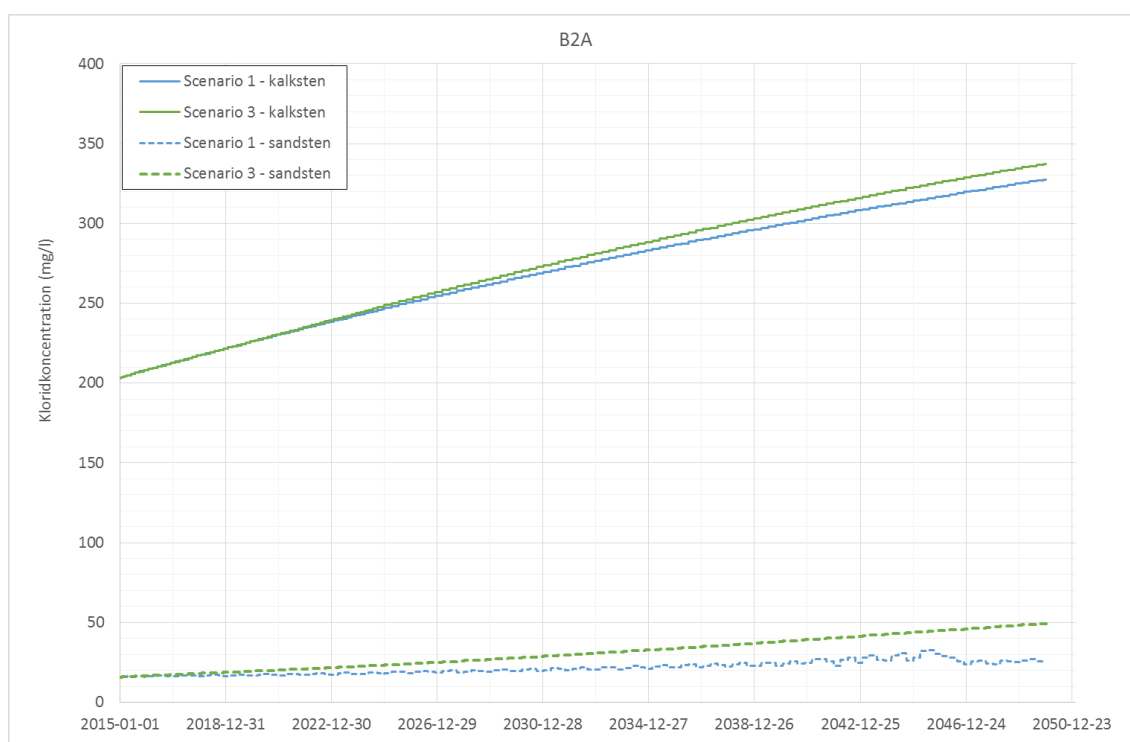
Figur 3-7. Beräknad kloridkoncentration (mg/l) i kalksten år 2050 för Scenario 2 – sökta uttag (vänstra bilden) och Scenario 4 – nollalternativ (högra bilden).



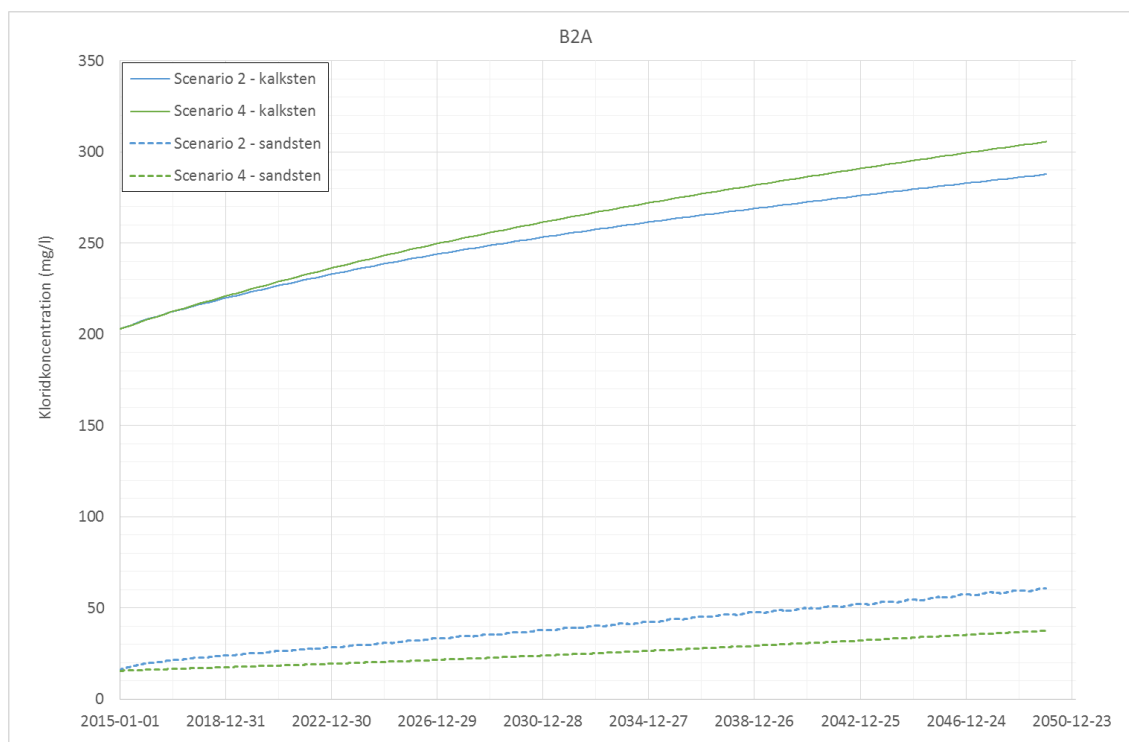
Figur 3-8. Beräknad kloridkoncentration (mg/l) i sandsten år 2050 för Scenario 2 – sökta uttag (vänstra bilden) och Scenario 4 – nollalternativ (högra bilden).



Figur 3-9. Beräknad framtida kloridkoncentration i Bogseraren 10 för Scenario 1 (referens) och Scenario 3 (referens utan uttag i Åhus) i kalk- och sandsten.



Figur 3-10. Beräknad framtida kloridkoncentration i B2A för Scenario 1 (referens) och Scenario 3 (referens utan uttag i Åhus) i kalk- och sandsten.



Figur 3-11. Beräknad framtida kloridkoncentration i B2A för Scenario 2 (sökta uttag) och Scenario 4 (nollalternativ) i kalk- och sandsten.

4 Slutsatser

Följande slutsatser kan dras från genomförd modellering:

- Beräkningarna visar en god överensstämmelse med historiska mätningar av kloridkoncentrationen. Den högre beräknade koncentrationen i kalksten jämfört med sandsten bekräftas av mätningar från augusti 2016. Samtidigt bör det påpekas att antalet mätpunkter är få och att tillförlitligheten i resultaten skulle öka ytterligare med fler mätningar. Den största osäkerheten ligger i ansatt dispersivitet vilken endast är baserad på verifiering mot två mätpunkter.
- Med fortsatta grundvattenuttag enligt dagens bedömning av uttagsmängder beräknas saltvatteninträngningen att fortsätta till efter 2050, om än med avtagande ökningstakt. Saltvatteninträngningen beräknas vara som störst längs kusten söder om Åhus.
- Vid TACs uttag på Bogseraren 10 beräknas en kloridkoncentration på 100 mg/l i sandsten år 2050 för referensfallet (oförändrade uttag jämfört med dagens bedömda situation). Med sökta uttagsmängder beräknas samma koncentration uppnås ca 20 år tidigare.
- För kommunens och TACs (RB1401) brunnfält vid brunn B2A beräknas de sökta uttagsmängderna bidra till en långsam ökning av kloridkoncentrationen i sandstenen. År 2050 beräknas koncentrationen ligga runt 60 mg/l.