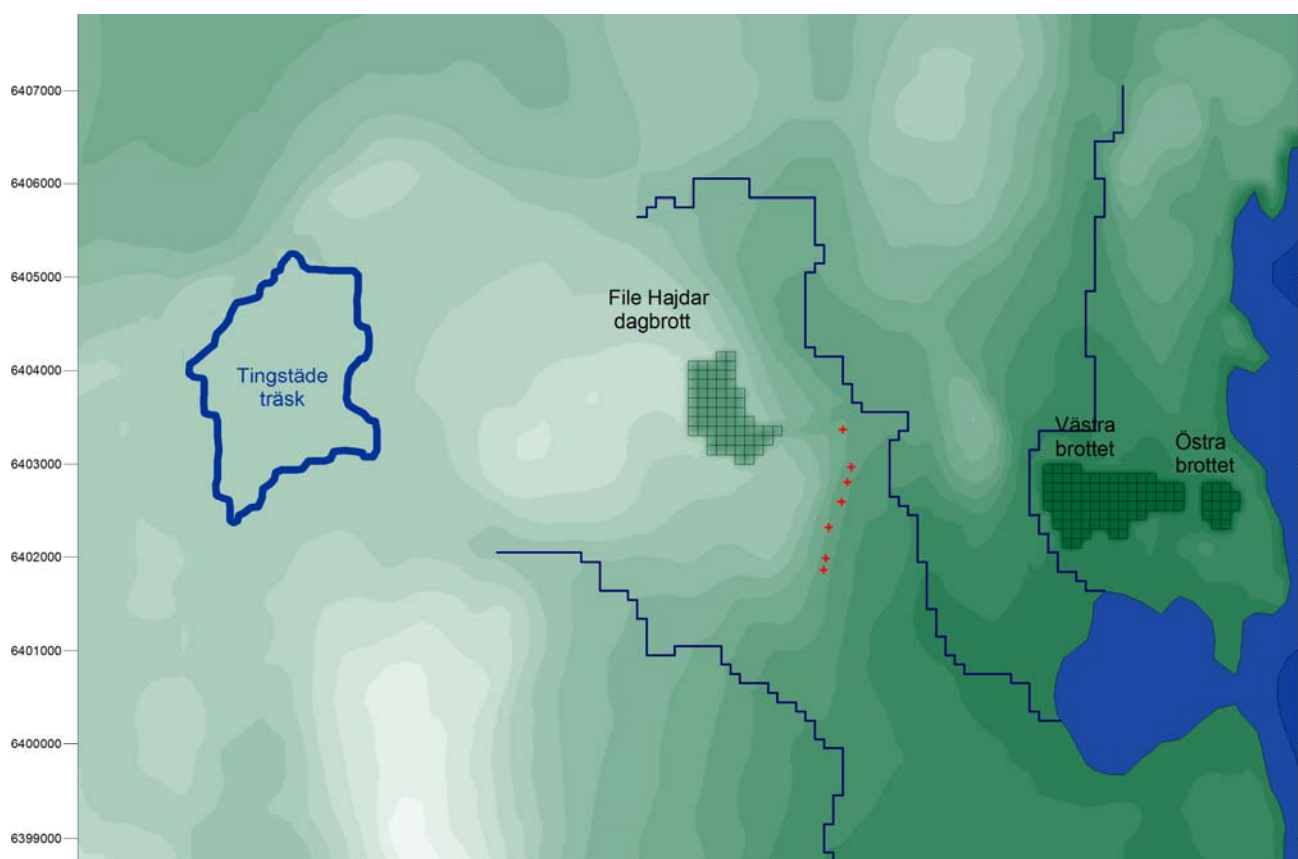


# CEMENTA, SLITE, GRUNDVATTENMODELL - 2017. SENSITIVITETSANALYS



*Topografin och CEMENTAs dagbrott med omgivning som de är definierade i modellen för år 2016.*

Maj 2018

Johan Holmén Fil.dr.

Golder Associates

Report: CemSliteGrvmod Sensitivitsanalys

Written by: *Johan Holmén*

Review by: *Peter Vikström*



# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

---

1.	SENSITIVITETSANALYS .....	3
1.1	INLEDNING .....	3
1.2	SYFTE.....	3
1.3	DEN KALIBRERADE MODELLEN.....	3
1.4	SENSITIVITET MED AVSEENDE PÅ DE VATTENFÖRANDE LAGRENS GENOMSLÄPPLIGHET .....	4
1.4.1	<i>Sensitivitetsanalys – Genomsläpplighet – Vattennivåer i produktionsbrunnarna .....</i>	7
1.4.2	<i>Sensitivitetsanalys – Genomsläpplighet – Inflöde till dagbrotten.....</i>	8
1.5	SENSITIVITET MED AVSEENDE PÅ NETTONEDERBÖRDEN.....	9
1.5.1	<i>Nettonederbörden .....</i>	9
1.5.2	<i>Sensitivitetsanalys – Nettonederbörd – Vattennivåer i produktionsbrunnarna .....</i>	10
1.5.3	<i>Sensitivitetsanalys – Nettonederbörd – Inflöde till File hajdar täkten .....</i>	11
1.6	ALTERNATIVA KALIBRERINGAR.....	13
1.6.1	<i>Alternativ kalibrering, större genomsläpplighet I de vattenförande lagren, KA2 .....</i>	13
1.6.2	<i>Alternativ kalibrering, mindre genomsläpplighet I de vattenförande lagren, KA3 .....</i>	15
1.7	REFERENSER .....	16

# 1. SENSITIVITETSANALYS

## 1.1 Inledning

Följande studie är en komplettering till den tidigare utförda modelleringen av grundvattenförhållanden vid Slite på Gotland. Grundvattenmodelleringen har presenterats i en rapport av Golder Associates (2017). Eftersom denna studie är en komplettering kommer inte den upprättade grundvattenmodellen att presenteras i detalj i detta dokument.

## 1.2 Syfte

Det som är av störst betydelse för den etablerade modellen är den grundläggande hydrogeologiska beskrivningen av grundvattensystemet på File hajdar och dess omgivning t.ex. geometri, typ av bergart, lagerföljder, sprickzoner samt systemets dynamiska beteende som det har observerats i borrhål etc. (detta kallas ofta för en konceptuell modell). Den hydrogeologiska beskrivningen inkluderar ett antal subhorisontella vattenförande lager som försörjs av vatten via vertikala sprickor. Dessa strukturer har observerats vid fältstudier, bland annat med hjälp av hydrauliska tester i borrhål och geofysiska undersökningar m.m. Den hydrogeologiska beskrivningen är inte en del av sensitivitetsanalysen. Syftet med denna studie är att utföra en begränsad sensitivitetsanalys av den etablerade modellens kalibrering med avseende på två av de viktigaste parametrarna för modellens kalibrering: (i) De vattenförande lagrens genomsläpplighet, och (ii) nettonederbörden. Det är dessa två parametrar som har störst betydelse för modellens beteende. Den upprättade modellen är kalibrerad vilket betyder att modellen förmår att reproducera ett antal olika observationer av det studerade systemets beteende. Detta gör att osäkerheten i de viktiga parametervärdena blir betydligt mindre än om parametervärdena inte baserades på en kalibrering. Detta diskuteras mer i detalj i nedan.

## 1.3 Den kalibrerade modellen

Den upprättade modellen som presenteras i rapporten (Golder, 2017) är kalibrerad. Följande text är ett citat ur denna rapport, tagen ur kapitel 4.9:

”En begränsad kalibrering har utförts av modellen. Modellen har kalibrerats mot uppmätta volymer som pumpats från dagbrotten och mot observerade grundvattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna samt utvalda borrhål. Det studerade systemet är mycket komplext och bergmassans egenskaper är heterogena, och det finns därför ingen unik lösning för kalibreringen. Flera olika alternativa beskrivningar är möjliga. Den kalibrerade modellen är det alternativ som bedöms vara det mest troliga.

Kalibreringen är tidsberoende (transient) och redovisar det studerade systemets variation under ett medelår/normalår. Syftet med att utföra en transient kalibrering, som är komplicerad och tidsödande, är att upprätta en modell som kan simulera hur de framtida grundvattennivåerna kommer att variera under ett teoretiskt medelår/normalår. Detta möjliggör en analys av både högvattensituationen (vinter) och lågvattensituationen (sommar). De simulerade regionala grundvattennivåerna är inte kalibrerade i detalj då det främst är förändringen av grundvattennivåerna som studerats.

Kalibreringen utfördes för en situation med dagbrotten definierade med den storlek som dagbrotten hade under 2016. Pall 2 i Västra brottet simulerades som icke vattenfylld, alltså som en dränerad del av Västra brottet. Det kalibrerade medelåret kallas Scenario 2016. Nettonederbörden är den som angivits i Kapitel 2.7.

Kalibreringens hade som mål att den kalibrerade transienta modellen: (i) simulerar inflöden till dagbrotten som stämmer med de uppmätta flödena, (ii) Simulerar vattennivåer i produktionsbrunnarna som stämmer väl med de uppmätta nivåerna, (iii) Simulerar vattennivåer i BH86 som stämmer rimligt väl överens med de uppmätta nivåerna för detta borrhål.

Metoden för att nå kalibreringens mål var att justera egenskaperna för de statistiska fördelningar som definierar de olika lagrens heterogena K-värden och magasinsegenskaper. Ett stort antal transienta simuleringar utfördes för att nå kalibreringsmålen, baserat på en "trial and error" metodik."

Som nämns i texten ovan så kan man tänka sig alternativa beskrivningar av det studerade hydrogeologiska systemet, men den etablerade och kalibrerade modellen är den beskrivning som bedöms vara mest trolig. Det är inte så att modellen kan kalibreras för vilken hydrogeologisk beskrivning som helst eller för vilka parametervärden som helst. Endast beskrivningar som ligger mycket nära den etablerade modellen kan kalibreras mot uppmätta data. Om vi utgår från den kalibrerade modellen, så är det endast för mindre förändringar av de betydelsefulla parametrarna som det är möjligt att erhålla en kalibrerad modell genom att olika betydelsefulla egenskaper noggrant balanseras mot varandra. Detta gör den etablerade modellen trovärdig.

Modellen är kalibrerad mot följande data:

- Transient inflöde till File hajdar täkten.
- Inflöde till Västra/östra brotten.
- Uppmätta volymer som pumpats från produktionsbrunnarna
- Observerade transienta grundvattennivåer i de kommunala produktionsbrunnarna.
- Transienta grundvattennivåer i utvalda borrhål, främst BH86.
- Koncentration av salt i produktionsbrunnarna.

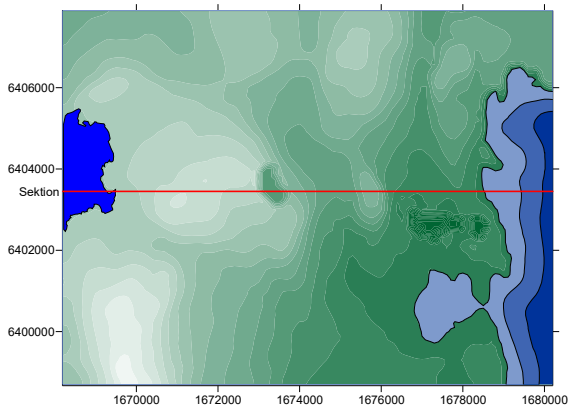
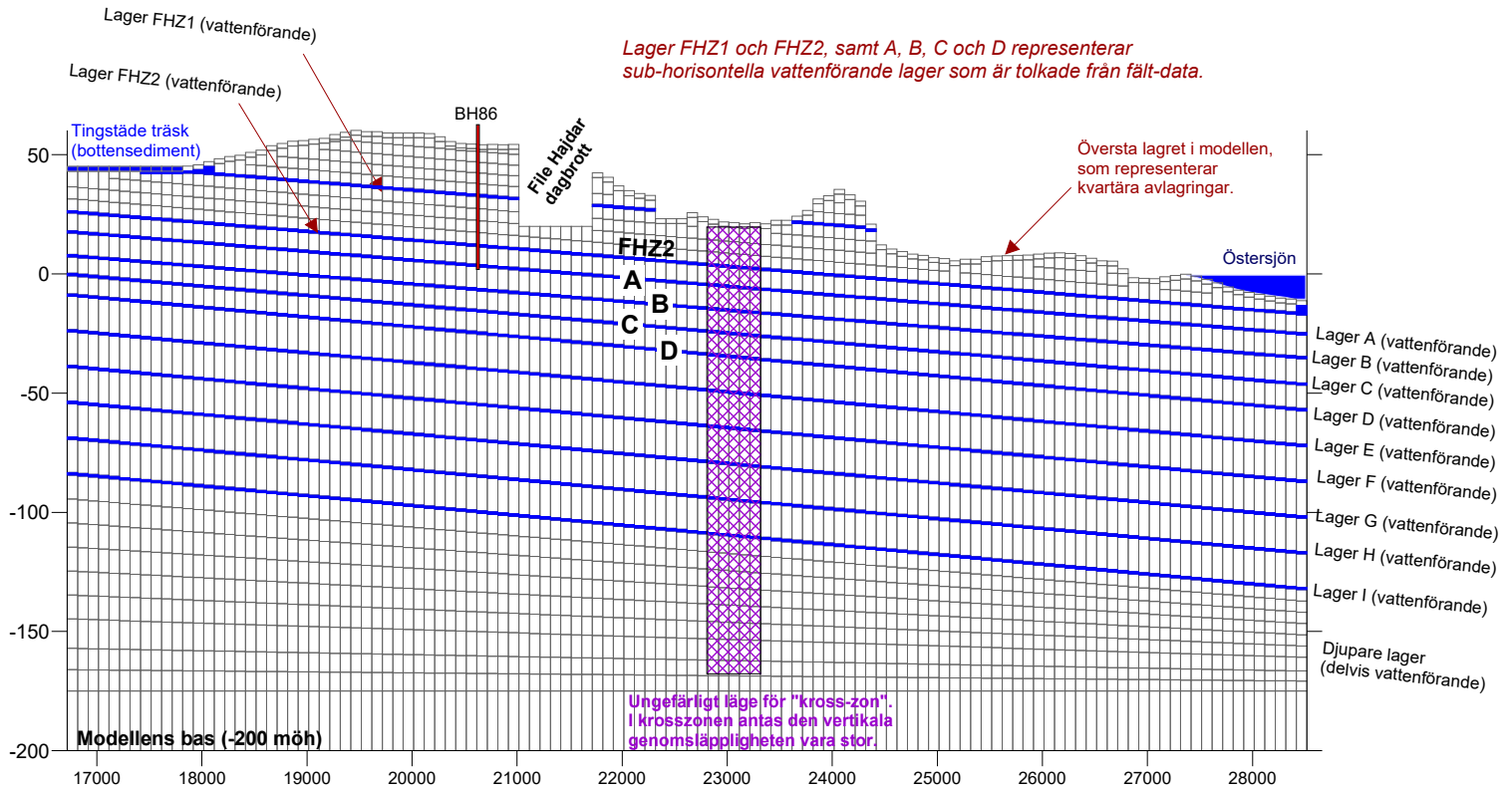
Om man ändrar på någon betydelsefull egenskap i den kalibrerade modellen så kommer modellens egenskaper att förändras och modellen kommer ej längre att vara kalibrerad, de simulerade flödena till dagbrotten kommer ej längre att stämma med uppmätta flöden, vattennivåerna i produktionsbrunnarna kommer ej längre att stämma med uppmätta nivåer osv. En sensitivitetsanalys av hur betydelsefulla parametrar påverkar inflöden till dagbrotten och vattennivåer i produktionsbrunnarna är en intressant analys, men man bör komma ihåg att när viktiga parametervärden förändras så erhålls en modell som inte är kalibrerad.

## 1.4 Sensitivitet med avseende på de vattenförande lagrens genomsläpplighet

En sensitivitetsanalys har utförts som visar hur inflöden till dagbrotten och hur vattennivåer i produktionsbrunnarna förändras då genomsläppligheten för de vattenförande lagren varieras. Modellen innehåller 11 subhorisontella vattenförande lager i berget, dessa lager framgår av figuren nedan (Figur 1-1).

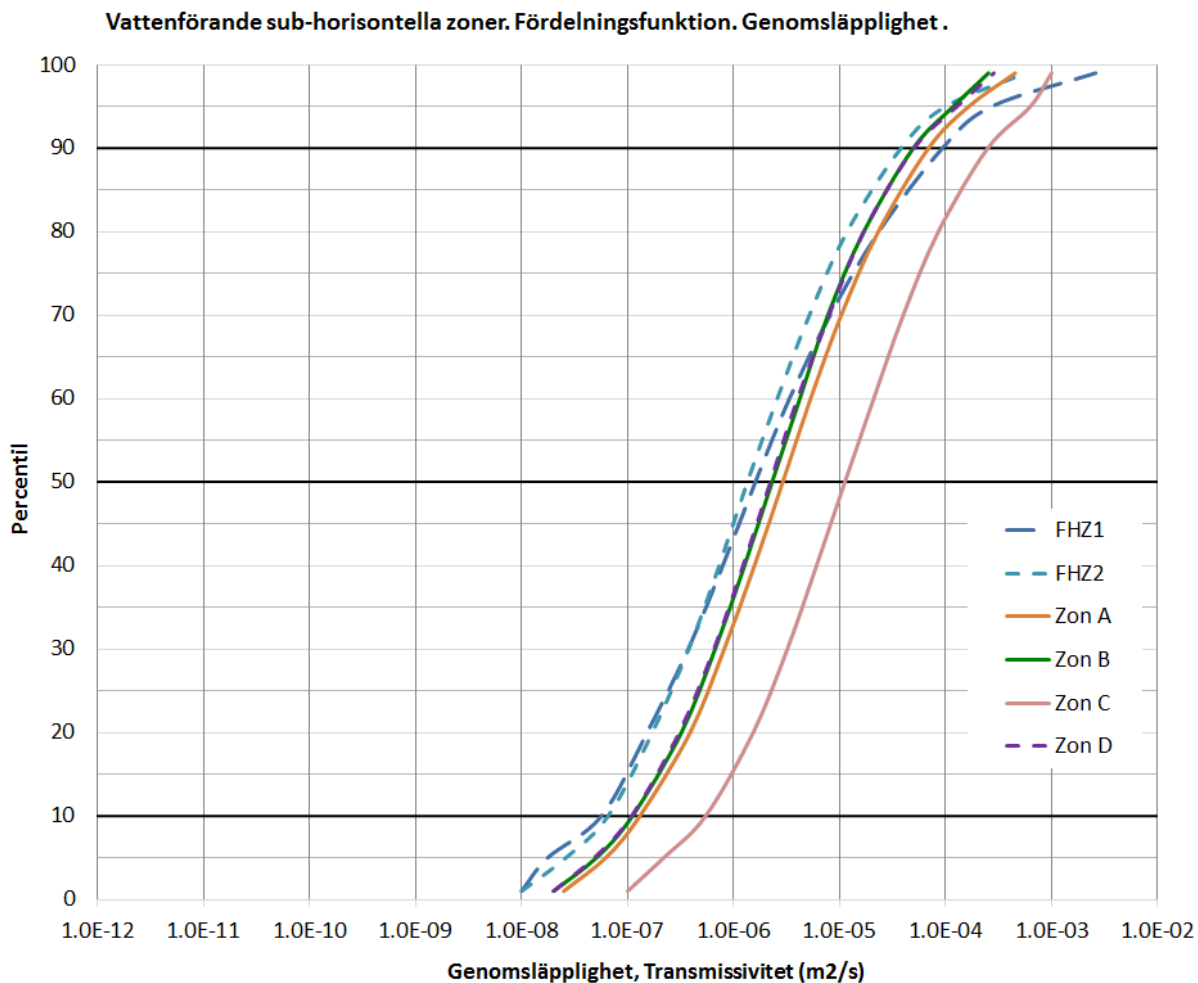
Genomsläppligheten (K-värdena) för dessa lager (subhorisontella zoner) varierar från lager till lager. Dessutom så är genomsläppligheten i dessa lager definierad som heterogen, dvs K-värdena varierar från beräkningscell till beräkningscell, detta diskuteras mer i detalj i Kapitel 4.8 i Golder (2017).

De statistiska fördelningarna som definierar K-värdena framgår av Figur 1-2 nedan.



*Tvårsnittets position*

*Figur 1-1 Ett tvärsnitt i Väst-Östlig riktning genom File hajdar täkten. Figuren visar den konceptuella indelningen i olika lager och strukturer, som dessa är definierade i modellen. Notera att figuren endast avbildar modellens östra del (File hajdar och Slite). Den vertikala skalan är c:a 20 gånger större än den horisontala skalan.*



Figur 1-2 Statistisk fördelning av  $T$ -värden (transmissivitet) i de vattenförande lagren (subhorisontella zoner).

I sensitivitetsanalysen har genomsläppligheten på de vattenförande lagren förändrats genom att alla de heterogena  $K$ -värdena i de studerade lagren multipliceras med en  $K$ -faktor, tex 2.0 (eller 0.5) osv.

Simuleringarna utfördes med en modell som representerar den nuvarande situationen som i denna studie representeras av år 2016, se Golder (2017). Simuleringarna utfördes för stationära förhållanden. Nettonederbörden representerar mars månad.

Resultaten av sensitivitetsanalysen för genomsläpplighet presenteras nedan i Figur 1-3 och Figur 1-4. Resultaten presenteras i relation till den kalibrerade modellen.

I Figur 1-3 och Figur 1-4 är genomsläppligheten definierad som en  $K$ -faktor. Med detta menas att olika simuleringar med olika  $K$ -värden anges i relation till  $K$ -värdet för den kalibrerade modellen. Den kalibrerade modellen får då det relativa värdet 1.0 och en simulering (sensitivitetfall) med  $K$ -värden som är dubbelt så stora som i den kalibrerade modellen får det relativa värdet 2.0 osv.

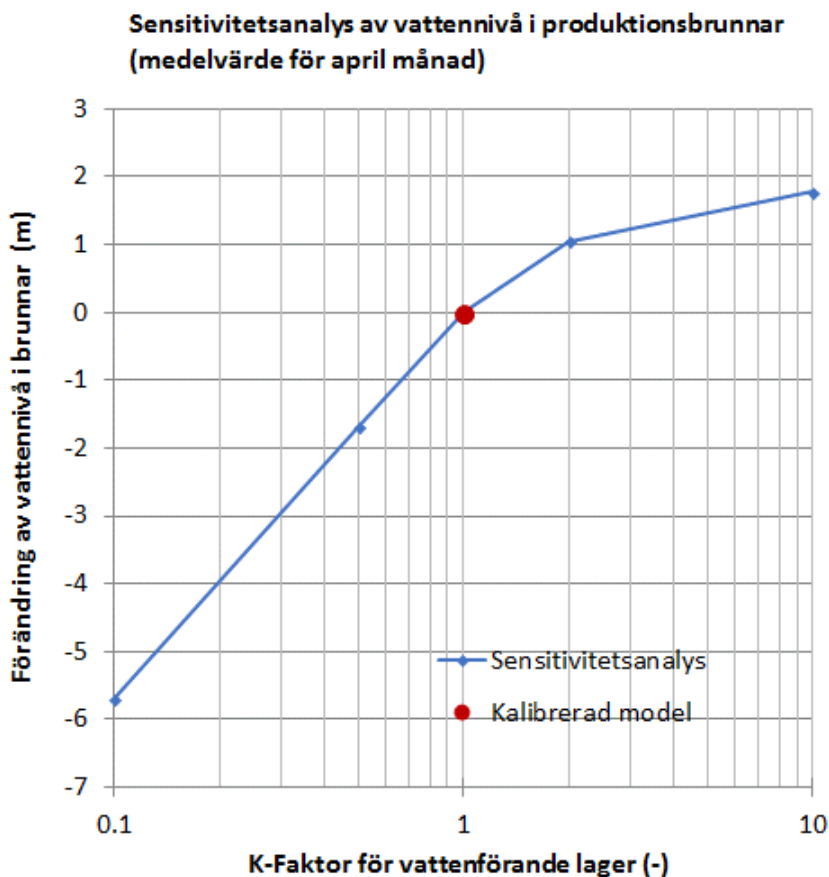
### 1.4.1 Sensitivitetsanalys – Genomsläpplighet – Vattennivåer i produktionsbrunnarna

Hur vattennivåerna i produktionsbrunnarna (medelvärde) varierar med genomsläppligheten i de vattenförande lagren visas i Figur 1-3. Figuren visar ett icke linjärt samband.

Den röda punkten i mitten av figuren representerar den kalibrerade modellen. Eftersom resultaten presenteras i relation till den kalibrerade modellen så är K-faktorn för den kalibrerade modellen lika med 1.0 och förändring i vattennivå lika med noll.

Av figuren framgår att när genomsläppligheten ökar så stiger vattennivåerna i produktionsbrunnarna. Om genomsläppligheten ökar med en faktor lika med 2.0 då stiger vattennivån med nära 1 m.

Av figuren framgår att när genomsläppligheten minskar, då sjunker vattennivåerna i produktionsbrunnarna. Om genomsläppligheten minskar med en faktor lika med 0.5 då sjunker vattennivån med nära 1.7 m.



Figur 1-3 Sensitivitetsanalys av vattennivån i produktionsbrunnarna. Förändring av vattennivån i brunnarna då de vattenförande lagrens genomsläpplighet varierar (K-faktor).

### 1.4.2 Sensitivitetsanalys – Genomsläpplighet – Inflöde till dagbrotten

Hur inflöde till dagbrotten förändras då de vattenförande lagrens genomsläpplighet varierar (K-faktor) visas i Figur 1-4. Figuren visar ett icke linjärt samband. I figuren är genomsläppligheten definierad som en K-faktor, detta diskuteras ovan. På samma sätt anges inflödet som ett relativt värde. Den röda punkten i figuren representerar den kalibrerade modellen. Eftersom resultaten presenteras i relation till den kalibrerade modellen så är K-faktorn för den kalibrerade modellen lika med 1.0 och i inflödet är lika med 100%. De simulerade inflöden för de olika sensitivitetsfallen visas i procent av inflödet till den kalibrerade modellen.

Av figuren framgår det att när genomsläppligheten ökar så ökar också inflödet till dagbrotten.

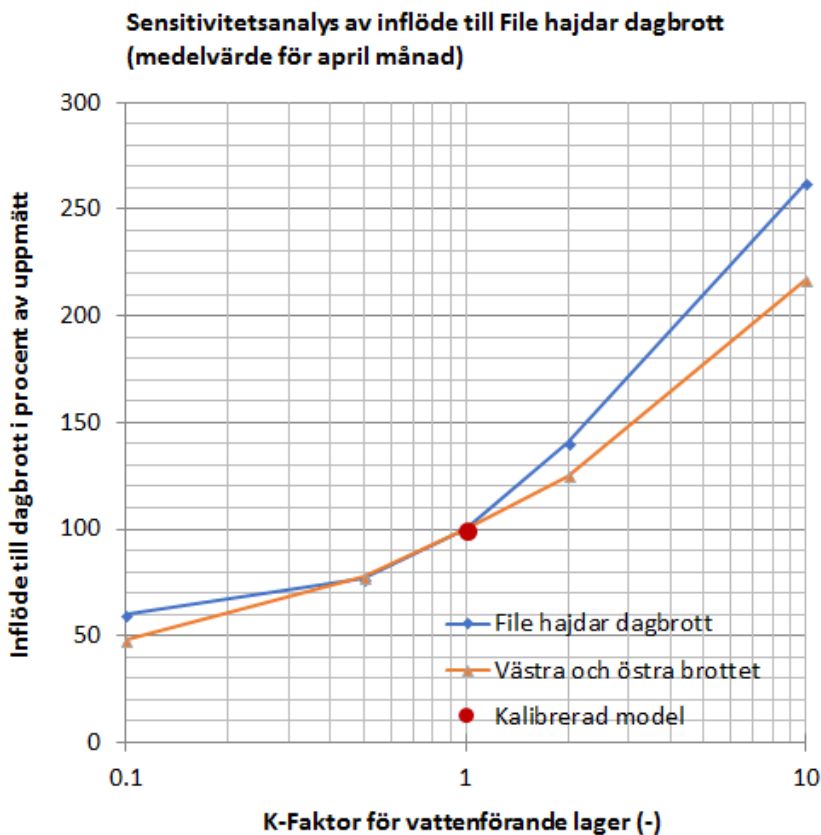
Om genomsläppligheten ökar med en faktor lika med 2.0 då ökar inflödet till File hajdar tåkten, och inflödet blir lika med 140% av inflödet i den kalibrerade modellen (ökning med 40%).

Om genomsläppligheten ökar med en faktor lika med 2.0 då ökar inflödet till Västra/östra brotten, och inflödet blir lika med 125% av inflödet i den kalibrerade modellen (ökning med 25%).

Av figuren framgår det att när genomsläppligheten minskar då minskar också inflödet till dagbrotten.

Om genomsläppligheten minskar med en faktor lika med 0.5 då minskar inflödet till File hajdar tåkten, och inflödet blir lika med 77% av inflödet i den kalibrerade modellen (minskning med 23%).

Om genomsläppligheten minskar med en faktor lika med 0.5 då minskar inflödet till Västra/östra brotten, och inflödet blir lika med 77% av inflödet i den kalibrerade modellen (minskning med 23%).



Figur 1-4 Sensitivitetsanalys av inflöde till dagbrotten. Förändring av inflöde i procent då de vattenförande lagrens genomsläpplighet varierar (K-faktor).



## 1.5 Sensitivitet med avseende på nettonederbörden

En sensitivitetsanalys har utförts som visar hur inflöden till dagbrotten och hur vattennivåerna i produktionsbrunnarna förändras då nettonederbörden varierar.

### 1.5.1 Nettonederbörden

Hydrometeorologi och den nettonederbörd som har använts i modellen diskuteras i Kapitel 2.7 i Golder (2017). I modellberäkningarna har vi använt oss av samma värde på nettonederbörden som i en studie av SGU för Gotlands kommun: Gotlands kommun, Visby vattenförsörjning Dnr: 08 - 1285/2003. Det använda värdet på nettonederbörden baseras på data från SMHI, som har beräknat nettonederbörden för olika platser på Gotland. Resultatet presenteras i Tabell 1-1 nedan.

Tabell 1-1 Av SMHI uppskattad och beräknad nettonederbörd för ett medelår avseende olika platser på Gotland. (Från studie av SGU för Gotlands kommun, Gotlands kommun, Visby vattenförsörjning Dnr: 08 -1285/2003).

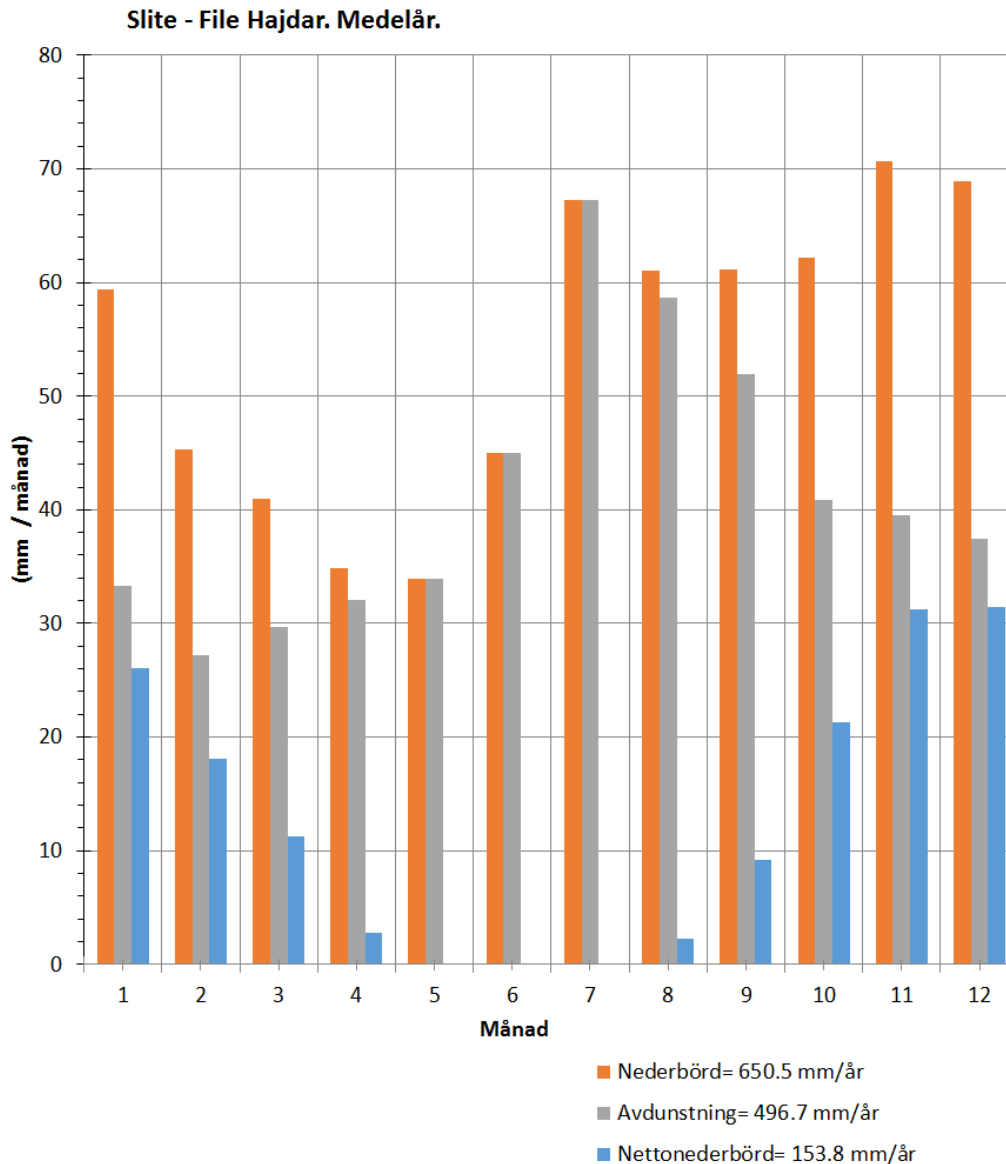
Månad	Gotland. Uppskattad och beräknad nettonederbörd [mm/månad]												Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Roma SV	25	19	35	31	9	3	2	2	6	11	23	26	<b>192</b>
Roma NV	21	16	30	27	6	2	1	2	5	9	18	22	<b>159</b>
Fårö	17	12	24	22	6	2	3	3	5	8	16	18	<b>136</b>
Herrvik	19	11	31	25	5	3	1	2	4	6	12	17	<b>136</b>
Visby	19	14	29	26	6	2	1	2	5	8	16	19	<b>147</b>
MEDEL	20.2	14.4	29.8	26.2	6.4	2.4	1.6	2.2	5.0	8.4	17.0	20.4	<b>154</b>

Av tabellen framgår att medelvärdet för de olika platserna är lika med 154 mm/år och det är detta värde som har använts i denna studie. Detta valda värde är ett representativt värde baserat på beräkningar av SMHI och har använts för att göra modellberäkningarna jämförbara med tidigare studier utförda för Gotlands kommun.

Fördelningen av nettonederbörden över året har kalibrerats i den upprättade modellen så att modellens beteende stämmer väl med uppmätta vattennivåer i borrhål och i kommunens produktionsbrunnar. Vid denna kalibrering av nettonederbördens fördelning under året har följande data använts:

- (i) Nederbördsdata från SMHI stationen Hejnum hällar, månadsmedelvärden för perioden 1971-2016
- (ii) Avdunstnings fördelning under ett normalår, baserat på den potentiella avdunstningen för ett normalår som den har uppskattats vid Visby flygplats av SMHI.

Den beräknade vattenbalansen för File hajdar och Slite, avseende ett medelår, visas nedan i Figur 1-5 och Tabell 1-2. Värdena som anges i Tabell 1-2 kan anses representera ett medelår/normalår. Som framgår av figuren och tabellen så förekommer i modellen ingen nettonederbörd under sommarmånaderna Jun-Jul-Aug. Det är under vintern som nettonederbörden och grundvattenbildningen huvudsakligen äger rum. I verkligheten är det troligt att under vissa år kan en ringa nettonederbörd förekomma under sommaren. I modellen är nettonederbörden dock alltid noll under sommaren. Antagandet om noll nettonederbörd under sommaren utgör ett konservativt antagande med avseende på den påverkan som erhålls från de utökade dagbrotten.



Figur 1-5 Beräknad vattenbalans för ett medelår avseende File hajdar och Slite.

Tabell 1-2 Beräknad vattenbalans för ett medelår avseende File hajdar och Slite

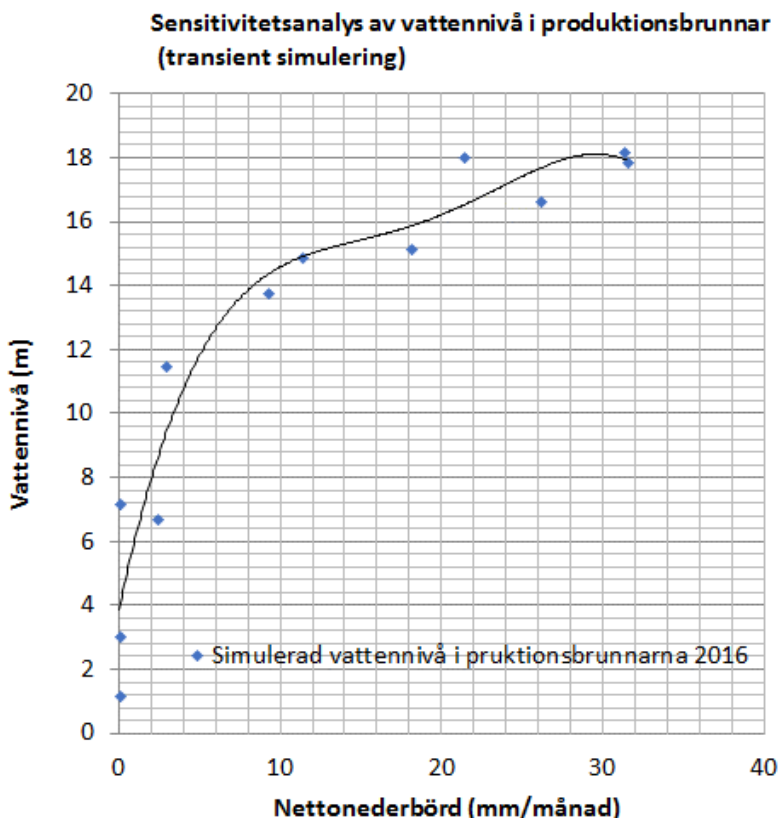
Slite och File hajdar. Uppskattad och beräknad vattenbalans i [mm/månad]													
Månad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
P	59.4	45.3	40.9	34.8	33.9	45.0	67.3	61.0	61.1	62.2	70.7	68.9	650.5
E	33.3	27.2	29.6	32.0	33.9	45.0	67.3	58.7	51.9	40.9	39.5	37.4	496.7
R	26.1	18.1	11.3	2.8	0	0	0	2.3	9.2	21.3	31.2	31.4	153.8

## 1.5.2 Sensitivitetsanalys – Nettonederbörd – Vattennivåer i produktionsbrunnarna

Vattennivåerna i produktionsbrunnarna och inflödena till dagbrotten varierar med nettonederbörd och årstider. Det är lämpligt att använda en tidsberoende (transient) simulering eftersom vattennivåerna i brunnarna inte bara beror av nettonederbördens storlek, utan också på det studerade systemets tidigare tillstånd, dvs om grundvattennivåerna är i sjunkande (vår-sommar) eller stigande (höst-vinter) fas. Resultaten som presenteras nedan baseras på det kalibrerade normalåret som redovisas i

Golder (2017) med avseende på den nuvarande situationen. Simuleringarna representerar ett transient normalår – för år 2016.

Hur vattennivåerna i produktionsbrunnarna (medelvärde) varierar med nettonederbörden (månadsvärden) visas i Figur 1-6.



Figur 1-6 Sensitivitetsanalys av vattennivån i produktionsbrunnarna. Förändring av vattennivån i brunnarna då nettonederbörden varierar.

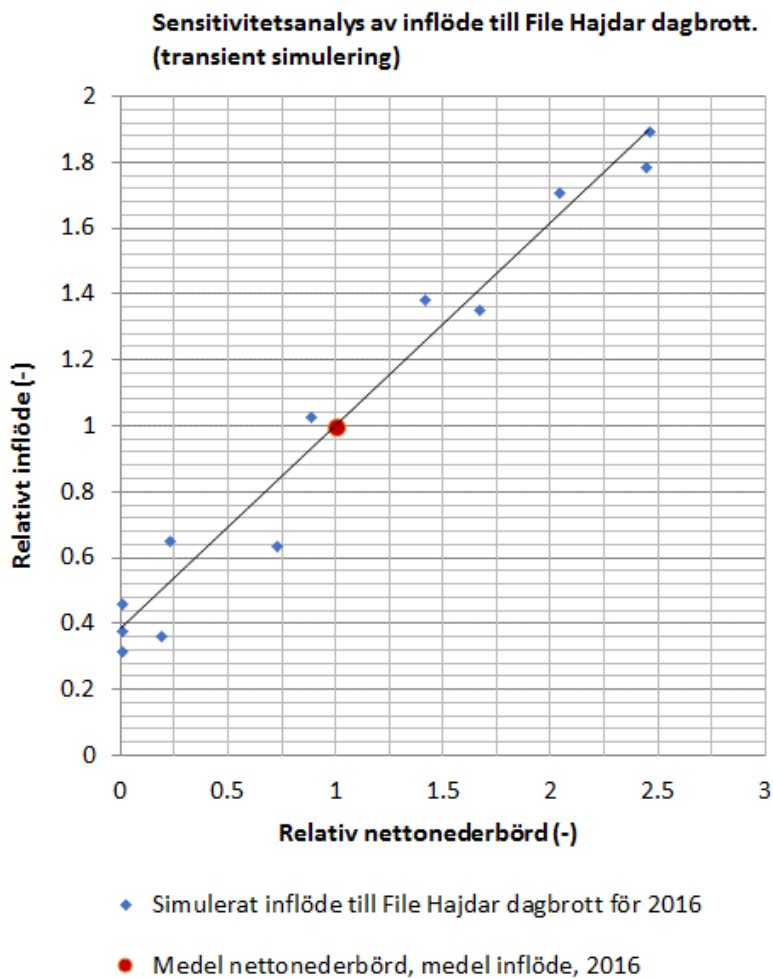
Figur 1-6 visar ett tydligt icke linjärt samband. Modellen producerar dessutom olika värden på vattennivån i brunnarna för ungefär samma nettonederbörd beroende på det studerade systemets tidigare tillstånd, dvs om grundvattennivåerna är i sjunkande (vår-sommar) eller stigande (höst-vinter) fas. Flera olika nivåer erhålls också då nettonederbörden är lika med noll, alltså under sommarmånaderna, den lägsta nivån är nära +1 m och den infaller i slutet på sommaren. Under vintern är nivåerna höga, den högsta nivån är lite drygt +18 m. En icke linjär kurva har anpassats till värdena (fjärdegradspolynom) där kurvan tydligt visar på tre olika stadier. Tydligt fallande nivåer då nettonederbörden understiger c:a 10 mm/månad, en betydligt flackare kurva då nettonederbörden överstiger c:a 10 mm/månad och en i det närmaste horisontal kurva då nettonederbörden överstiger c:a 28 mm/månad.

### 1.5.3 Sensitivitetsanalys – Nettonederbörd – Inflöde till File hajdar täkten

Hur inflödet till File hajdar täkten varierar med nettonederbörden visas i Figur 1-7. I figuren är nettonederbörden definierad som relativa månadsvärden. Med detta menas att de olika månadsvärdena för nettonederbörden anges i relation till ett medelvärde för dessa värden.

Medelvärde får då det relativa värdet 1.0 och ett månadsvärde som är dubbelt så stort som medelvärdet får det relativa värdet 2.0, osv. På samma sätt anges inflödet som ett relativt värde.

Figuren visar ett i det närmaste linjärt samband med stora inflöden då nettonederbörden är stor och små inflöden då nettonederbörden är liten. Modellen producerar något olika värden på inflödet för ungefär samma nettonederbörd beroende på det studerade systemets tidigare tillstånd, dvs om grundvattennivåerna är i sjunkande (vår-sommar) eller stigande (höst-vinter) fas. Flera olika nivåer erhålls också då nettonederbörden är lika med noll, alltså under sommarmånaderna, det lägsta inflödet är lika med 0.32 gånger medelvärdet, och det infaller i slutet på sommaren. Det högsta inflödet är nära 1.9 gånger medelvärdet och det infaller under vintern. Av figuren framgår t.ex. att om nettonederbörden en månad är dubbelt så stor som medelvärdet under året, då ökar inflödet till File Hajdar täkten den månaden till ett värde som är lika med c:a 1.6 gånger medelvärdet för inflödet.



Figur I-7 Sensitivitetsanalys av inflöde till File hajdar täkten. Förändring av inflöde i procent då nettonederbörden varierar (relativ nettonederbörd baserat på månadsvärden). Relativ nettonederbörd lika med 1.0 motsvarar medelvärdet baserat på månadsvärden. Exempelvis, relativ nettonederbörd lika med 2.0 motsvarar en nettonederbörd som är dubbelt så stor som medelvärdet.

## 1.6 Alternativa kalibreringar

Som nämns ovan så kan man tänka sig alternativa beskrivningar av det studerade hydrogeologiska systemet men den etablerade och kalibrerade modellen är den beskrivning som bedöms vara mest trolig. Det är inte så att modellen kan kalibreras för vilken hydrogeologisk beskrivning som helst, eller för vilka parametervärden som helst. Endast beskrivningar som ligger mycket nära den etablerade modellen kan kalibreras mot uppmätta data. Om vi utgår från den kalibrerade modellen så är det endast för mindre förändringar av de betydelsefulla parametrarna som det är möjligt att erhålla en kalibrerad modell, genom att olika betydelsefulla egenskaper noggrant balanseras mot varandra. Detta gör den etablerade modellen trovärdig.

### 1.6.1 Alternativ kalibrering, större genomsläpplighet i de vattenförande lagren, KA2

För att demonstrera hur modellen fungerar vid olika försök att kalibrera denna har vi tagit fram en alternativ kalibrering. Den ursprungliga kalibrerade modellen kallar vi för scenario KA1, den alternativa kalibreringen kallas för scenario KA2. För scenario KA2 har vi valt att multiplicera genomsläppligheten i de vattenförande lagren med en faktor 2.0. Från Figur 1-3 kan vi se att vattennivån i produktionsbrunnarna stiger med nära 1 m. Från Figur 1-4 kan vi se att inflödet till File hajdar täkten ökar med 40% och inflödet till Västra/östra brotten ökar med 25%.

Eftersom vattennivåerna i produktionsbrunnarna stiger till högre nivåer än de uppmätta och eftersom inflöden till dagbrotten ökar och blir större än de uppmätta flödena, så måste modellens egenskaper korrigeras så att vattennivåerna i produktionsbrunnarna och inflödena till dagbrotten stämmer med uppmätta nivåer. Denna korrigering har utförts genom att vi lägger till en störd zon runt dagbrotten och brunnarna i den alternativa kalibreringen (KA2). I KA2 kan en störd zon med låg genomsläpplighet kompensera för att de vattenförande lagren i KA2 har en större genomsläpplighet än i KA1.

Även i den ursprungliga kalibrerade modellen (KA1) finns en störd zon kring produktionsbrunnarna. Denna störda zon är en lokal kalibrering av förhållandena i och kring varje produktionsbrunn individuellt, och det behövs bara en ringa minskning av genomsläppligheten i dessa zoner i KA2 för att få ner vattennivåerna i produktionsbrunnarna så att de närmar sig de uppmätta nivåerna.

I KA1 finns det ingen störd zon kring dagbrotten. Det är teoretiskt möjligt att det i verkligheten skulle kunna finnas en störd zon kring delar av dagbrotten, men det är dock osäkert hur stor denna zon i så fall är och hur den påverkar inflödena till dagbrotten. I KA2 definieras en störd zon kring dagbrotten som är av betydande storlek och som har mycket lägre genomsläpplighet än de vattenförande lagren. Denna zon begränsar inflödena så att inflödena stämmer rimligt väl med de uppmätta flödena. Stora störda zoner kring dagbrotten med låg genomsläpplighet blir ett extra tillägg till modellen som bara är nödvändigt då genomsläppligheten är stor i de vattenförande lagren.

Genomsläppligheten på den störda zonen definieras genom en faktor som multipliceras med genomsläppligheten i det omgivande berget inom en given radie. En faktor lika med 0.01 med en radie av 100 m betyder alltså att genomsläppligheten i berget i KA2 reduceras till 1% av genomsläppligheten i KA1 inom en radie av 100 m.

För att erhålla de nödvändiga egenskaperna för den störda zonen så genomfördes ett antal olika simuleringar med olika egenskaper för den störda zonen, inflöden och vattennivåer beräknades och egenskaperna för den störda zonen justerades (trial-and-error). Dessa simuleringar, för att kalibrera

scenario KA2, utfördes som stationära simuleringar som återskapar startpunkten för de transienta simuleringarna av normalåret. Slutligen erhöles följande egenskaper för den störda zonen i KA2, se Tabell 1-3.

Tabell 1-3 Scenario KA2: Egenskaper på störd zon kring produktionsbrunnar och dagbrott.

Objekt	K-faktor	Radie
<u>Produktionsbrunnar</u>		
Horisontalt	0.03	10 m
Vertikalt	0.03	5 m
<u>File hajdar tälten</u>		
Horisontalt	0.01	100m
Vertikalt	0.0001	10 m
<u>Västra/Östra dagbrotten</u>		
Horisontalt	0.08	100m
Vertikalt	0.08	10 m

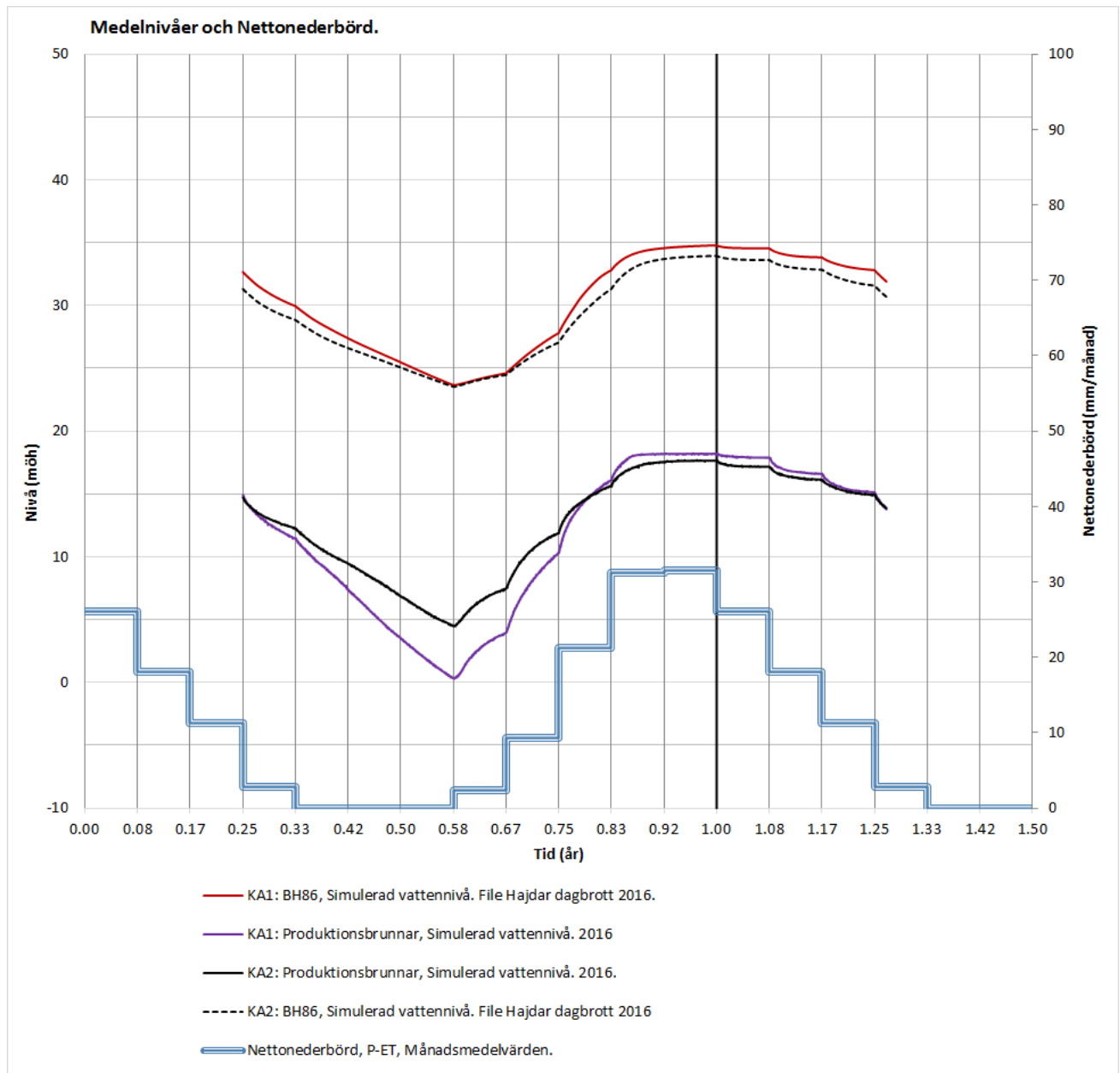
När scenario KA2 används i en transient simulering producerar modellen ett dynamiskt beteende som skiljer sig från det dynamiska beteende som produceras av den ursprungliga kalibrerade modellen (KA1). Inflowdena till dagbrotten är nära desamma och den initiala vattennivån i produktionsbrunnarna är densamma, men Scenario KA2 producerar ett dynamiskt beteende som är annorlunda med mindre variation i grundvattennivåer än för KA1. För KA2 stämmer den simulerade variationen i vattennivå i produktionsbrunnarna under ett normalår mindre bra med det uppmätta beteendet. I slutet på sommaren är vattennivån i produktionsbrunnarna c:a 5 m högre i KA2 i jämförelse med KA1. Det dynamiska beteendet visas i Figur 1-8. Man inte kan ändra på genomsläppligheten utan att det påverkar hela kalibreringen, inklusive det dynamiska beteendet.

Det går dock att korrigera det dynamiska beteendet genom att förändra magasinsegenskaperna i modellen, främst genom att ändra på magasinskoefficienten. För att få en snabbare avsänkning i KA2 som stämmer bättre med uppmätta värden, så måste magasinskoefficienten för de vattenförande lagren göras mindre än de standardvärden som användes i KA1. Dessutom är det möjligt att införa särskilda extra egenskaper för brunnarna i KA2 så att de visar större avsänkningar. De ovan diskuterade ingreppen blir extra tillägg till modellen som bara är nödvändiga då genomsläppligheten är stor i de vattenförande lagren.

Som framgår av tabellen är det nödvändigt att införa stora störda zoner med mycket liten genomsläpplighet för att kunna erhålla korrekta inflöden till dagbrotten i KA2. Från denna iakttagelse kan man dra slutsatsen att KA2 är en mindre sannolik kalibrering än KA1 eftersom en beskrivning med stora störda zoner med mycket liten genomsläpplighet bedöms vara hydrogeologiskt osannolik.

Från en vetenskapsfilosofisk synvinkel så går denna typ av resonemang tillbaka till ett koncept som kallas för Occams rakkniv på svenska eller Occams razor på engelska (William Ockham c:a 1320). Detta är en princip inom vetenskaplig metod som innebär att man inte skall göra fler antaganden än som behövs för att förklara de observationer som man har. På engelska brukar principen beskrivas som "Assumptions should not be multiplied beyond necessity". Värt att notera är att det alltså inte handlar om att bygga en överdrivet förenklad modell för en sådan modell kan inte förklara de observationer som har av det studerade systemet. Modellen skall vara så omfattande och så komplex

att den kan förklara (reproducera) de observationer som man har av det studerade systemets beteende, men modellen bör inte vara ännu mer omfattande och komplex.



Figur 1-8 Scenario KA1 och KA2 (år 2016): Simulerade och uppmätta nivåer i produktionsbrunnarna och i BH86.

### 1.6.2 Alternativ kalibrering, mindre genomsläpplighet i de vattenförande lagren, KA3

Man skulle också kunna tänka sig en alternativ kalibrering där de vattenförande lagren görs något mindre genomsläppliga. Vi kallar detta scenario KA3. Om vi tex gör de vattenförande lagren hälften så genomsläppliga så kan vi från Figur 1-3 sluta oss till att vattennivån i produktionsbrunnarna sjunker med nära 1.7 m. Från Figur 1-4 kan vi se att inflödet till File hajdar minskar med 23% och inflödet till Västra/östra brotten minskar med 23%.

Problemet med scenario KA3 är att detta scenario inte är så enkelt att kalibrera utan stora ingrepp i den hydrogeologiska beskrivningen. Skälet till detta är att vi har tydligt reducerat grundvattenflödet i de vattenförande lagren när vi minskade genomsläppligheten. Det finns inte tillräckligt mycket vatten i de vattenförande lagren i KA3 för att modellen skall producera de uppmätta inflödena till dagbrotten.

För produktionsbrunnarna skulle det gå att tydligt öka den vertikala genomsläppligheten för krosszonen i vilken brunnarna är placerade, samt i området kring brunnarna, för att därmed skapa ett större vattenflöde till brunnarna. En liknande korrigering kan inte göras för dagbrotten eftersom det inte finns några krosszoner vid dagbrotten. Det är dessutom knappast rimligt att göra krosszonen vid produktionsbrunnarna ännu mer betydelsefull på bekostnad av de vattenförande lagren.

För scenario KA2 räckte det med att införa en störd zon med mindre genomsläpplighet för att få rimliga inflöden till dagbrotten, men för KA3 räcker det inte med att införa en störd zon som är mer genomsläpplig då det helt enkelt inte finns tillräckligt med vatten i de vattenförande lagren i scenario KA3. Det är dessutom knappast rimligt att det skulle finnas stora störda zoner kring dagbrotten som har en väldigt mycket större genomsläpplighet.

Denna analys visar att det inte är möjligt att kalibrera en modell som är tydligt mindre genomsläpplig än den ursprungliga kalibreringen, inte utan att hela den hydrogeologiska beskrivningen görs om och en sådan alternativ beskrivning är inte sannolik.

## 1.7 Referenser

Golder (2017) "Cementa, Slite, Grundvattenmodell – 2017." av Johan Holmén.