



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 15 014

Examensarbete 30 hp
Maj 2015

Effekter på grund- och ytvattenförhållanden kring svenska oljelager i bergrum

Alexander Giron

REFERAT

Effekter på grund- och ytvattenförhållanden kring svenska oljelager i bergrum

Alexander Giron

Det saknas i dagsläget en samlad redovisning av erfarenheter rörande påverkan på grundvattennivåer samt ytvattennivåer och flöden vid grundvattenbortledning från Svenska berganläggningar. Det saknas även en utvärdering av olika prognosmetoders tillämpbarhet baserad på prognoser kontra utfall.

Det finns ett brett spektrum av metoder för att prognostisera effekterna, från relativt enkla bedömningar baserat på vattenbalanser, analytiska lösningar, till avancerade numeriska modelleringsverktyg. Vilken eller vilka metoder som används i det enskilda fallet styrs idealt av faktorer som exempelvis anläggningstyp, hydrogeologiska förhållanden och de konsekvenser som grundvattenbortledning potentiellt kan ge upphov till i omgivningen. En samling av branschfarenheter skulle således kunna leda till en effektivisering samt en kostnadssänkning vid framtida bergbyggen.

Det saknas även en kartläggning av befintliga berganläggningar i norden. Det finns mängder med bergrum, tunnlar och gruvor i norden men i dagsläget finns ingen sammanställning av dessa. En sammanställning som redovisar relevant information om området som berganläggningen ligger i som t.ex. berggrund, jordtyp och potentiell grundvattenbildning skulle även det kunna effektivisera arbetet och minska framtida kostnader då en jämförelse snabbt kan göras med befintliga anläggningar.

En analys av ett enklare prognosverktyg som uppskattar uppfyllnadstiden för olika berganläggningar endast baserat läckvattenmängd och berganläggningens totala volym visade att dessa enklare metoder ofta underskattar uppfyllnadstiden.

En metod för teoretisk beräkning av påverkansavstånd och kvot mellan grundvattenbildning till jord och berg undersöktes och påvisades gå att använda i områden med tätt berg, dock med stor osäkerhet.

Nyckelord: Prognoser, grundvatten, berganläggning, statens oljelager, utvärdering, påverkan.

ABSTRACT

Effects of Swedish oil storage facilities in bedrock on surrounding ground- and surface water

Alexander Giron

Today there is no compilation of collected experiences concerning the effects on groundwater levels, surface water levels and flows when groundwater is drained from Swedish rock facilities. There is also a lack of an evaluation concerning the applicability of various forecasting methods based on predictions versus outcomes.

There are a wide range of methods to predict the effects, from relatively simple assessments based on water balances, analytical solutions and similar methods, to advanced numerical modeling tools. What methodology used in each case is generally decided by factors such as plant type, hydrogeological conditions and the effect that groundwater drainage can potentially have on the environment. A compilation of experiences could thus lead to a better efficiency and lower costs for future rock facilities.

Today a mapping of existing rock facilities in Scandinavia is missing. There are numerous caverns, tunnels and mines in Scandinavia but a compilation of these does not exist. A compilation that presents relevant information about the area around the rock facility such as bedrock, soil type and potential groundwater recharge would also lead to better efficiency and reduce future costs when a comparison easily can be done with existing facilities.

An analysis of a simple forecasting tool that predicted the time it would take for different rock facilities to fill up solely based on leakage of water and the rock facilities total volume showed that these simple methods often underestimated the time it takes for the facility to become totally filled.

A method for theoretical calculation of influence distance and the ratio between groundwater recharge to the soil and rock was investigated and showed that it could be used in areas with dense rock.

Keywords: Forecasting, groundwater, rock facility, survey, evaluation, influence.

*Department of Earth Sciences. Program for Air, Water and Landscape Sciences,
Uppsala University. Villavägen 16, SE-752 36 UPPSALA
ISSN 1401-5765*

FÖRORD

Detta arbete har genomförts som ett avslutande moment på Civilingenjörsutbildningen i Miljö- och Vattenteknik vid Uppsala universitet. Arbetet omfattar 30 hp och har utförts på företaget Sweco Environment AB på uppdrag av Stiftelsen Bergteknisk forskning (BeFo). Ämnesgranskare har varit Fritjof Fagerlund vid Institutionen för geovetenskaper, luft-, vatten- och landskapslära, på Geocentrum i Uppsala och Joachim Onkenhout på Sweco Environment har varit handledare.

Jag vill tacka min handledare Joachim Onkenhout för ett trevligt samarbete och för ett stort tålamod under arbetets gång. Jag vill ägna ett stort tack till Pia Ek och Lars-Gunnar Karlsson på SGU Stockholm för all hjälp och ett väldigt trevligt och tillmötesgående sätt. Jag vill även tacka min ämnesgranskare Fritjof Fagerlund och min examinator Allan Rodhe.

Till sist vill jag tacka mina kollegor på Bryggan sommarklubb som varit förstående när examensarbete och arbete har krockat.

Alexander Giron
Uppsala, 2015

Copyright © Alexander Giron och Institutionen för geovetenskaper, Luft- vatten- och landskapslära, Uppsala universitet.
UPTEC W 15 014, ISSN 1401-5765
Digitalt publicerad vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, Uppsala, 2015.

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMAFATTNING

Effekter på grund- och ytvattenförhållanden kring svenska oljelager i bergrum

Alexander Giron

I Sverige finns det idag ett stort antal berganläggningar såsom gruvor, tunnlar och bergrum och fler planeras att uppföras. Berganläggningar påverkar sin omgivnings grund- och ytvattenförhållanden då hålrum i berggrunden förändrar områdets naturliga vattenströmning. Grundvattnet strömmar mot hålrummen då motståndet blir lägre och detta pågår tills hålrummen är uppfyllda men påverkan blir permanent. Denna påverkan kan leda till sänkta grundvattennivåer som i sin tur kan påverka dricksvattenbrunnar och dylikt i området. Det saknas i dagsläget en samlad redovisning av hydrologiska och hydrogeologiska effekter som uppstår vid grundvattenbortledning och annan störning av grundvatten vid befintliga anläggningar. Det saknas även en undersökning av olika prognosverktygs tillämpbarhet.

Bergbyggnadsbranschen stöter dagligen på problem angående berganläggningars påverkan på omgivningens grund- och ytvattenförhållanden. Bortledande av grundvatten från berganläggningar är en tillståndspliktig verksamhet enligt kapitel 11 i miljöbalken. Berganläggningar måste således i vissa fall tätas för att hålla omgivningspåverkan inom rimliga gränser och i vissa fall kan även avsänkningar i området tillåtas. En sammanställning av konstaterade effekter och prognosverktyg skulle därför bidra med kunskap om hur hydrologiska och hydrogeologiska förhållanden prognostiseras och mäts i och runt våra berganläggningar samt effektivisera och sänka kostnaderna för projektering och planering av framtida berganläggningar.

En miljökonsekvensbeskrivning måste alltid utföras vid tillståndsansökan för en ny berganläggning. I denna MKB måste en prognos som beskriver vad bortledningen av grundvattnet får för effekter på grund- ytvattenförhållandena runt anläggningen finnas. Även en beskrivning av hur allmänna och enskilda intressen påverkas måste finnas. Det finns flera olika sätt att utföra dessa prognoser, från enklare beräkningar med hjälp av vattenbalanser till numeriska modelleringsverktyg som MODFLOW. Då det handlar om en prognos på en ännu inte uppförd anläggning är det viktigt att prognosen är rimlig och framförallt trovärdig. Även här kan en sammanställning av tidigare erfarenheter hjälpa till då en jämförelse med befintliga anläggningar med liknande förutsättningar kan göras.

Detta examensarbete behandlar endast de berganläggningar som berör Statens oljelagers (SOL) anläggningar för lagring av petroleumprodukter. Under det kalla kriget, som pågick år 1946 – 1990, upprättade Sverige så kallade beredskapslager, ca 140 till antalet, för lagring av bl.a. olika petroleumprodukter för att säkerställa egenförsörjning om ett krig skulle bryta ut. Dessa lager är bergrum sprängda direkt ur berget och är utspridda över hela landet. Bergrummen i denna rapport togs i bruk mellan 1960 – 1980. Många år senare, 1994, inrättades av Riksdagen den nya myndigheten Statens oljelager vars uppgift var att avveckla och säkerställa de bergrum som vid denna tidpunkt var fyllda med olika oljeprodukter. Statens oljelager är idag en del av SGU (Sveriges geologiska undersökning) och arbetet pågår fortfarande med miljösäkring av 31 bergrum

I detta examensarbete valdes 15 berggrum ut för vidare undersökning. En omfattande litteraturstudie genomfördes där relevant information om berganläggningen och dess omgivning söktes och sammanställdes. Exempel på information som söktes är berganläggningens djup (meter under markytan eller bergöverytan) och dimensioner (längd/volym) på huvuddelar samt ev. tillfarter (ramp, schakt m.m.). Bergartstyper, sprickförekomster. Ytvattenförekomster (sjöar, vattendrag och våtmarker) och potentiell grundvattenbildning till jord.

Efter sammanställningen undersöktes vilka prognoser som gjorts. Svar söktes på bland annat vilka program som använts, vilken typ av prognos är utförd och hur blev utfallet vid dessa prognoser. Detta kopplades sedan ihop med litteraturstudien för att se om några samband kunde utläsas.

Avslutningsvis undersöktes om en teoretisk påverkan kunde beräknas och om denna var jämförbar med konstaterad påverkan. En metod för beräkning av påverkansområde baserad på lättillgänglig information skulle leda till ett enklare och billigare sätt att i framtiden förutspå påverkan och utföra nya berganläggningar. Även denna undersökning kopplades samman med litteraturstudien för att se om några samband kunde hittas.

Examensarbetet visade att det finns gott om information angående Statens oljelager. Det mesta av informationen finns dock ej att tillgå i elektronisk form utan det mesta finns i utskrivna papperskopior hos SGU i Stockholm. Detta arbete har således bidragit till ett enklare sätt att få information om dessa anläggningar och dess omgivning.

Prognossammanställningen visade att en enklare typ av prognosverktyg som uppskattar uppfyllnadstiden för olika berganläggningar som endast är baserad på läckvattenmängd och den aktuella berganläggningens totala volym underskattade uppfyllnadstiden. Vidare kunde det konstateras att i de 15 utvalda berggrummen fanns bergränsad information angående prognosverktygen. Ofta finns bara en kortfattad sammanfattning av prognosen och dess utfall att tillgå och de är ofta fokuserade på vilka direkta konsekvenser föroreningar skulle ha på omgivningen.

Beräkningen av de teoretiska påverkansområdet visade sig vara för enkel och osäker för att i dess nuvarande form kunna användas. Dock pekar studien på att mängden läckvatten kan vara nyckeln för att på ett effektivt sätt kunna förutspå påverkan. Värdena i denna undersökning är årsmedelvärden som i vissa fall ger extrema värden på påverkansavståndet. Ett exaktare värde skulle således bidra med exaktare svar.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Introduktion.....	1
1.1	Bakgrund och syfte.....	1
1.1.1	Bakgrund	1
1.1.2	Syfte.....	4
1.2	Avgränsningar	4
2.	Teori och definitioner	5
2.2	Påverkansområde.....	5
2.3	Grundvattenbildning och olika relevanta begrepp.....	5
2.3.1	Avrinningsområde	5
2.3.2	Inströmningsområden och utströmningsområden	5
2.3.3	Grundvattenbildning.....	5
2.4	Lagringsmetoder.....	6
2.4.1.	Fast vattenbädd.....	7
2.4.2.	Rörlig vattenbädd	7
2.5	Miljösäkring	8
2.5.1	Passiv lösning – hydraulisk avledning.....	8
2.5.2	Aktiv lösning – pumpning	9
3.	Metod	9
3.1	Bergrum.....	9
3.2	Påverkansavstånd	10
3.3	Prognoser.....	11
4.	Resultat.....	12
4.1	Bergrum.....	12
4.1.1	Asphyttan.....	12
4.1.2	Blädinge.....	13
4.1.3	Bålsta	13
4.1.4	Gånghester	14
4.1.5	Gällö	14
4.1.6	Jönköping	15
4.1.7	Kristinehamn	15
4.1.8	Kälarne	16
4.1.9	Köping 2	16
4.1.10	Lärbro	17
4.1.11	Motala.....	17

4.1.12 Murjek	18
4.1.13 Sala	18
4.1.14 Skattkärr	19
4.1.15 Vänersborg	19
4.1.16 Sammanfattning bergrum	20
4.2 Påverkansområde.....	22
4.2.1 Asphyttan.....	23
4.2.2 Blädinge.....	24
4.2.3 Gånghester.....	25
4.2.4 Gällö.....	26
4.2.5 Kristinehamn	28
4.2.6 Kälarne	30
4.2.7 Köping 2	31
4.2.8 Lärbro	32
4.2.9 Motala.....	33
4.2.10 Murjek	34
4.2.11 Sala	36
4.2.12 Vänersborg	38
5. Diskussion	39
5.2 Prognoser.....	41
5.2.1 Enkla läckvattenmodeller	41
5.2.2 Numeriska grundvattenmodeller	42
6. Slutsatser	44
7. Referenser.....	46
7. Bilagor.....	49
7.1 Bilaga 1	49
7.2 Bilaga 2	51

1 Introduktion

1.1 Bakgrund och syfte

1.1.1 Bakgrund

I Sverige finns det idag ett stort antal berganläggningar såsom gruvor, tunnlar och bergrum och fler planeras att uppföras. Det saknas dock i dagsläget en samlad redovisning av hydrologiska och hydrogeologiska effekter som uppstår vid grundvattenbortledning och annan störning av grundvatten vid befintliga anläggningar. Det saknas även en undersökning av olika prognosverktygs tillämpbarhet. En sammanställning av konstaterade effekter och prognosverktyg skulle därför kunna effektivisera samt sänka kostnaderna för projektering och planering av framtida berganläggningar (Werner m.fl., 2012).

Ett exempel på när ett val av rätt prognosverktyg kan spara både tid och pengar är när tätningen av berganläggningen skall utföras. När ett bergrum skall uppföras tillkommer det restriktioner (enl. Miljöbalken SFS 1998:808) när det gäller omgivningspåverkan och berganläggningen måste således tätas för att hålla påverkan inom rimliga gränser. Detta görs utifrån prognoser av inläckaget och en sammanställning av tidigare erfarenheter kan då hjälpa att skynda på och minska behovet av extra arbete.

En miljökonsekvensbeskrivning måste alltid utföras vid tillståndsansökan för en ny berganläggning. I denna MKB måste en prognos som beskriver vad bortledningen av grundvattnet får för effekter på grund- ytvattenförhållandena runt anläggningen finnas. Även en beskrivning av hur allmänna och enskilda intressen påverkas måste finnas. Det finns flera olika sätt att utföra dessa prognoser, från enklare beräkningar med hjälp av vattenbalanser till numeriska modelleringsverktyg som MODFLOW. Då det handlar om en prognos på en ännu inte uppförd anläggning är det viktigt att prognosen är rimlig och framförallt trovärdig. Även här kan en sammanställning av tidigare erfarenheter hjälpa till då en jämförelse med befintliga anläggningar med liknande förutsättningar kan göras.

Således finns det flera viktiga användningsområden för en samlad redovisning av erfarenheter från befintliga berganläggningar. Pengar kan sparas och prognoser kan göras mer exakta, vilket i dagsläget är efterfrågat i branschen (Werner m.fl., 2012).

Detta examensarbete är en del av ett BeFo (Stiftelsen Bergteknisk Forskning) projekt som avser att

- Identifiera befintliga och planerade berganläggningar i Sverige där relevant information kan göras tillgänglig.
- Samla in och sammaställa data och information gällande konstaterade grund- och ytvattenförhållanden runt berganläggningarna i samband med bortledning av grundvatten från ett antal av dessa.

BeFo projektet avser i sin tur att besvara följande frågeställningar:

- I hur stor utsträckning förekommer det hydrologiska och/eller hydrogeologiska mätprogram vid de olika anläggningstyperna, hur är de utformade och vad har de för syften?
- I hur stor utsträckning har prognoser av effekterna av grundvattenbortledning utförts, hur är de genomförda och vad har de för syften?
- Hur mycket data och information kan göras tillgänglig, vilka slutsatser kan dras om konstaterad kontra prognostiserad omgivningspåverkan och vilka slutsatser kan man troligtvis dra genom vidare studier?

BeFo är en projektorganisation som planerar och finansierar projekt som skall utveckla bergbyggande till fler och bättre anläggningar i framtiden (Stiftelsen Bergtektisk Forskning, 2013)

Detta examensarbete innefattar bara den del av huvudprojektet som berör SOL (Statens oljelager). Under det kalla kriget, som pågick år 1946 – 1990, upprättade Sverige så kallade beredskapslager, ca 140 till antalet, för lagring av bl.a. olika petroleumprodukter för att säkerställa egenförsörjning om ett krig skulle bryta ut. Dessa lager är bergrum sprängda direkt ur berget och är utspridda över hela landet. Bergrummen i denna rapport togs i bruk mellan 1960 – 1980. Många år senare, 1994, inrättades av Riksdagen den nya myndigheten Statens oljelager vars uppgift var att avveckla och säkerställa de bergrum som vid denna tidpunkt var fyllda med olika oljeprodukter. Statens oljelager är idag en del av SGU (Sveriges geologiska undersökning) och arbetet pågår fortfarande med miljösäkring av 31 bergrum (Naturvårdsverket, 2003). Figur 1 visar oljelagrens aktuella status och geografiska position.



Figur 1. Översiktskarta och aktuell status (mars 2012) för SGU:s avveckling av oljelager i berggrum

1.1.2 Syfte

Detta examensarbete är, som tidigare nämnt, en del av ett BeFo projekt kallat ”Effekter på grund- och ytvattenförhållanden vid grundvattenbortledning från berganläggningar. Förstudie.”

Del ett av detta examensarbete var en sammanställning av vilken påverkan statens oljelagers berggrum har på det lokala grundvattnet. Hur stort område runt berggrummen har påverkats? Vilka faktorer spelar in vid grundvattenpåverkan? Hur mycket och vilken typ av information finns att hämta angående dessa berggrum och dess omgivning?

Vidare undersöktes vilka prognoser som har gjorts vid utförandet av miljökonsekvensbeskrivningen vid berggrummen. Hur mycket och vilket typ av information finns angående dessa prognoser? Vilka program har använts och vilken typ av prognos har utförts? Och framför allt, hur blev utfallet?

Sista delen av detta examensarbete var en undersökning av en teoretisk påverkan. Mycket information angående grundvattennivåer finns runt berggrummen då övervakningsprogram är uppförda. Kan en teoretisk påverkan som beräknas med information som är lättillgänglig utföras och hur bra stämmer denna överens med verkligheten? Kan metoden användas vid framtida bergbyggen?

1.2 Avgränsningar

Detta examensarbete behandlar bara den del av BeFo projektet ”Effekter på grund- och ytvattenförhållanden vid grundvattenbortledning från berganläggningar” som berör Statens oljelagers (SOL) anläggningar för lagring av petroleumprodukter. Vidare behandlas endast hydrologiska och hydrogeologiska effekter från berganläggningarna, d.v.s. effekter på grundvattennivåer, ytvattennivåer och flöden runt anläggningarna. Med andra ord behandlas inte föroreningar, buller eller annan områdespåverkan i denna studie trots att det i SOLs fall finns omfattande undersökningar gällande spridning av föroreningar.

I detta arbete har ett antal berganläggningar valts ut efter i vilken utsträckning information finns tillgänglig för att på ett bättre sätt kunna utföra jämförelser mellan dessa.

2. Teori och definitioner.

2.2 Påverkansområde

En viktig del av detta examensarbete är att identifiera berganläggningarnas påverkansområden. Med påverkansområde menar man det område runt berganläggningen där grundvattennivån sänks som följd av grundvattenbortledningen från anläggningen. Svårigheten med påverkansområden är att avgöra dess gräns då andra faktorer kan påverka grundvattnet. Till exempel finns det i många fall inte mätserier som visar lokala, naturliga variationer av grundvattennivån (Werner m.fl., 2012).

2.3 Grundvattenbildning och olika relevanta begrepp

Då grundvattenbildningen direkt kommer påverka inläckage till bergrummet och således påverkansområdet och eventuella prognoser är det viktigt att kunna fastställa grundvattenbildningen i de olika områdena. Rapporten ”Grundvattenbildning i svenska typjordar – översiktlig beräkning med en vattenbalansmodell” (Rodhe m.fl., 2006) har använts för att få fram grundvattenbildningen i de olika områdena.

2.3.1 Avrinningsområde

Ett avrinningsområde är det område uppströms som påverkar vattenflödet i en specifik punkt i t.ex. ett vattendrag. Avrinningsområden omges av vattendelare. Vattendelare fungerar som gränser mellan olika avrinningsområden och tas fram ur topografiska kartor genom att rita en linje vinkelrätt mot höjdkurvorna i området. Man kan skilja på ytvattendelare och grundvattendelare. Skillnaden är, något förenklat, att en ytvattendelare är precis som nämnt ovan en topografisk rygg (t.ex. en kulle eller ås) där vattnet kan rinna åt båda håll medan en grundvattendelare är avgränsningen mellan olika områden där grundvattnet strömmar mot en specifik punkt. Dessa sammanfaller dock ofta i Svensk moränmark pga. tunt jordtäckte och sprickfattig berggrund vilket medför att ingen uppdelning normalt görs mellan dem (Grip & Rodhe, 2003)

2.3.2 Inströmningsområden och utströmningsområden

Ett inströmningsområde är en del av avrinningsområdet där en påfyllnad av grundvattnet sker och de är ofta belägna i högt belägna områden (Axelsson & Follin, 2000). Hur detta sker förklaras närmare i avsnitt 2.3.3 Grundvattenbildning.

Ett utströmningsområde är en del av avrinningsområdet där vattnet strömmar ur grundvattenzonen. De är ofta belägna i lägre delar av terrängen och består av t.ex. kärr och våtmarker.

2.3.3 Grundvattenbildning

Grundvattenbildningen i ett område kan beskrivas med vattenbalanskvationen som beskrivs nedan.

$$P = E + R + \Delta S \quad (1)$$

där P är nederbörd, E avdunstning, R avrinning och ΔS lagringen, d.v.s. förändringen av lagret S . Enheten är t.ex. mm per tidsenhet.

Vidare kan ekvationen skrivas om till

$$P - E - R = \Delta S \quad (2)$$

Detta säger att om nederbörden över en längre tid är större än vad avdunstningen och avrinningen är kombinerat så kommer grundvatten att bildas i området (Grip & Rodhe, 2003).

Detta sker genom att vatten strömmar från markvattenzonen ner till grundvattenzonen. Regn eller smältvatten infiltrerar markvattenzonen och vattnet som inte avdunstar eller upptas av växter lagras i markvattenzonen tills det att fältkapacitet uppnås (jordens vattenhållande förmåga). När fältkapacitet sedan överstigs perkolerar vattenöverskottet och nytt grundvatten bildas. Den vattenhållande förmågan skiljer sig mellan olika jordtyper (Rodhe m.fl., 2008).

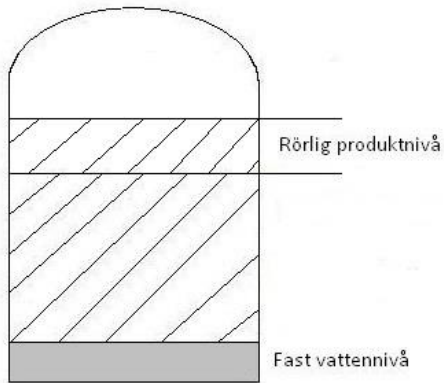
2.4 Lagringsmetoder

Det finns olika typer av lagringsanläggningar för petroleumprodukter i Sverige. Den absolut vanligaste är utsprängda bergtrum där petroleumprodukterna lagras i kontakt med omgivande bergväggar. Den andra typen är stålcisterner som även de är placerade i utsprängda bergtrum. Bergtrummen ligger under den naturliga grundvattennivån i området för att bilda en grundvattengradient riktad in mot bergtrummet. På detta sätt hålls oljeprodukterna kvar då grundvattnet, som har högre densitet än oljeprodukterna, strömmar in mot bergtrummet.

Inuti dessa anläggningar lagrades produkterna på olika sätt, flytandes på en fast vattenbädd eller på en rörlig vattenbädd och i enstaka fall direkt på bergtrumsgolvet.

2.4.1. Fast vattenbädd

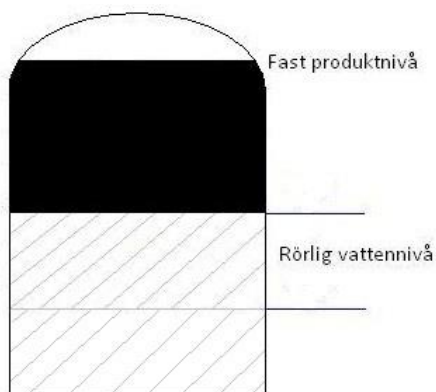
I lagringsanläggningar med fast vattenbädd hålls vattennivån, som oljeprodukten flyter på, på en konstant nivå med hjälp av pumpning. Överskottsvattnet, även kallat läckvatten, pumpas till en oljeavskiljare och leds därefter till en ytvattenrecipient i närheten. Nivån på oljeprodukten styrs då helt av hur mycket produkt som bergrummet innehåller vid olika tidpunkter (Naturvårdsverket, 2003), se figur 2.



Figur 2. Schematisk bild av lagring med fast vattenbädd. Figuren är baserad på information hämtad ur Naturvårdsverket (2003).

2.4.2. Rörlig vattenbädd

I lagringsanläggningar med rörlig vattenbädd varierar vattennivån som produkten flyter på så att produktytan alltid ligger på samma nivå oavsett hur mycket produkt som för tillfället lagas, se figur 3. Vattennivån regleras genom pumpning av vatten till och från ett närliggande ytvattendrag. Denna lagringsmetod är bäst lämpad för lagring av produkter som avger mycket gas, som till exempel bensin, då utrymmet för gasen kan begränsas (Anderberg, 2005).



Figur 3. Schematisk bild av lagring med rörlig vattenbädd. Figuren är baserad på information hämtad ur Naturvårdsverket (2003).

2.5.2 Aktiv lösning – pumpning

Om hydraulisk avledning är möjlig, är den miljösäkringsmetoden att föredra då den eliminerar krav på t.ex. underhåll och inköp av ny utrustning. Men i vissa fall är det inte möjligt att använda sig av hydraulisk avledning, som t.ex. när ingen ytvattenrecipient finns inom rimligt avstånd eller i rätt topografiskt läge. I sådana fall måste en pump installeras för att sänka vattenytan i berggrummet. Pumpningen kan ske på två olika sätt beroende på anläggningens utformning, antingen genom kontinuerlig pumpning eller intermittert pumpning. Kontinuerlig pumpning innebär att man håller vattennivån i berggrummet mellan två förutbestämda nivåer med några meters mellanrum. Pumpsystemet finns där permanent och precis som namnet säger pumpas vatten kontinuerligt ur berggrummet. I anläggningar som kan läns pumpas används intermittert pumpning. Det innebär att vattenytan tillåts nå nästan samma nivå som oljeprodukten hade i berggrummet, därefter pumpas nästan allt vatten ur berggrummet och samma procedur inleds igen. Fördelen med intermittert pumpning är att pumpning endast behöver utföras några få gånger under en längre period och således behövs inget permanent pumpsystem i anläggningen (Anderberg, 2005).

3. Metod

Arbetet har genomförts i fyra steg:

- Litteraturstudie där relevant information om berganläggningarna framtagits och sammanställts inom ramarna för huvudprojektet.
- Sammanställning och utvärdering av befintliga prognoser och använda prognosverktyg.
- Insamling, sammanställning och utvärdering av konstaterade grund- och ytvattenförhållanden runt berganläggningarna.
- Beräkning av teoretiskt påverkansområde och jämförelse med punkt 3.

3.1 Bergrum

En stor litteraturstudie där de olika anläggningarna har granskats har utförts. Ett omfattande material med miljökonsekvensbeskrivningar och undersökningar har studerats och sammanställts för att kunna ge en relevant beskrivning av utvalda bergrum. De punkter som söktes svar på är:

- Uppförande/driftstatus: När berganläggningen är planerad att uppföras alt. när den uppfördes, om den är i drift/när den lades ner och vad den ska ha/har för användningsområde.
- Berganläggningens djup (meter under markytan eller bergöverytan) och dimensioner (längd/volym) på huvuddelar samt ev. tillfarter (ramp, schakt m.m.).

- Genomförda förundersökningar.
- Genomförda grund- och ytvattenpåverkande åtgärder (injektering, infiltration m.m.).
- Övriga grund- eller ytvattenpåverkande verksamheter i området (markanvändning, urban/rural miljö, andra berganläggningar m.m.).
- Bergartstyp(-er), sprickförekomster.
- Jordart(-er), jordlagermaktighet.
- Ytvattenförekomster (sjöar, vattendrag och våtmarker).
- Topografiska förhållanden
- Potentiell grundvattenbildning till jord

Därefter har de olika anläggningarnas mätprogram studerats för att undersöka påverkansområde och jämförelse mellan prognoser och utfall.

I denna rapport har ”Grundvattenbildning i svenska typjordar - metodutveckling av en vattenbalansmodell” (Rodhe m.fl., 2006) använts för att få ut den potentiella grundvattenbildningen.

All information i detta examensarbete angående berganläggningarna är taget från SGUs arkiv i Stockholm och mätprogram uppförda vid miljösäkringen av bergrummen. Även mätprogrammen är tillhandahållna från SGU Stockholm.

3.2 Påverkansavstånd

Genom att studera flygfoton över områdena runt anläggningarna med observationspunkter för grundvatten (borrhål) utmärkta, se bilaga 2, valdes punkter på olika avstånd och olika sidor om anläggningen ut och undersöktes med hjälp av grafer. Återhämtning i området efter påbörjade miljösäkringsåtgärder eller hur grundvattensänkningen i området såg ut eftersöktes.

En teoretisk påverkan beräknades sedan för att undersöka om det fanns något direkt samband mellan mängd inläckt vatten och arean på det påverkade området. Värdena på inläckt vatten är tagna ur bilaga 1, där årsvärdet används för att utföra beräkningarna. Ett antagande att den mängd vatten som pumpats ut ur bergrummet under ett år är den samma som mängden vatten som läckt in i bergrummet under samma period gjordes. Värden på den potentiella grundvattenbildningen, i morän, i respektive område i Sverige där bergrummen ligger togs ur, som nämnts i avsnitt 3, ”Grundvattenbildning i svenska typjordar – översiktlig beräkning med en vattenbalansmodell” (Rodhe m.fl., 2006).

Med hjälp av dessa värden användes följande ekvationer för att räkna ut arean och således även radien på påverkansområdet. Tanken är att det finns en balans mellan nybildat grundvatten, R , och bortlett grundvatten, Q . Om till exempel mer vatten måste pumpas bort (Q ökar) så kommer arean som bergrummet påverkar även det bli större. I detta fall finns det uppmätta värden på Q som används för varje specifikt fall.

$$A = \frac{Q}{R} \quad (3)$$

där $Q \left[\frac{m^3}{\text{år}} \right]$ är mängd inläckt vatten per år, R är antagen grundvattenbildning $\left[\frac{m}{\text{år}} \right]$ och A är arean på påverkansområdet $[m^2]$,

och

$$A = \pi r^2 \Rightarrow r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (4)$$

där $A [m^2]$ är arean på påverkansområdet och $r [m]$ är radien på påverkansområdet.

Denna radie jämfördes sedan med de nivåer som sågs i grundvattenrören. Viktigt att påpeka är att värdena på antagen grundvattenbildning gäller för grundvattenbildning till jord och inte till berg. Grundvattenbildningen till berg är mindre eftersom materialet är tätare. Därför undersöktes en grundvattenbildning på en tredjedel och en på en tiondel av ursprungsvärdet för att se om dessa värden bättre representerade den riktiga grundvattenbildningen till berg och då även ett mer troligt påverkansavstånd.

3.3 Prognoser

Olika typer av prognoser har gjorts för anläggningarna. Vid uppförandet av miljökonsekvensbeskrivningen för varje anläggning har en modell upprättats för att prognosticera förorenings-spridning i området. Dessa modeller är baserade på grundvattendata och den geologiska kartläggningen som är utförd i området och anses därför kunna användas för kontroll av grundvattennivåer. Jämförelsen utfördes mellan prognosens grundvattennivåer vid uppfyllt bergrum och anläggningens mätprogram vid samma tidpunkt. Jämförelsen har gått till så att två grundvattenrör som passar ihop med motsvarande modells ekvidistanlinjer har valts ut. Ett medelvärde av anläggningens mätserie för det grundvattenröret har sedan fått representera verkligheten och jämförts med prognosens värde för samma punkt

SGU har själva gjort enklare prognoser för uppfyllningstiden av flera bergrum baserade endast på bergrummens totala volym och uppmätt inläckt vattenmängd. Dessa prognoser är väldigt enkla och tar inte hänsyn till några geologiska eller geografiska faktorer. Det kan ändå vara intressant att analysera dessa för att påvisa vilka skillnader det finns mellan olika prognosverktyg. Tabell 1 är en sammanställning av de läckvattenprognoser som SGU har gjort för uppfyllnaden av några av bergrummen. En prognos har gjorts vid de olika datumen som står i tabellen. Tiden i tabellen visar hur lång tid det kommer ta för bergrummet att fyllas upp från prognostillfället. Resultaten från prognoserna och utfallen sammanställdes och analyserades för att leta efter tydliga mönster och för besvara varför eventuella mönster uppstod.

Tabell 1. Sammanställning av läckvattenmängdsprognoser gjorda av SGU baserat på uppmätt inläckage taget vid tre olika tillfällen.

Anläggning-Nr	2000-08-16	2001-01-19	2007-09-26
Gällö - 148	10 mån	10 mån	
Hofors - 160	5 år	5 år	
Kälarne - 162	2 år	2 år	
Köping 1 - 147	3,5 år	3,5 år	
Lycksele - 149	2 mån	2 mån	
Lärbro - 141	1,5 år	1,5 år	
Lärbro - 165	3,5 år	2 år	
Motala - 154	10 år	10 år	10 år
Sala - 3908	2 mån	2 mån	
Skattkärr - 156	2 år	2 år	
Skogaby - 152	3 år	3 år	
Vad - 3801	3,5 år	3,5 år	
Vilshult - 150	15 år	5 år	
Vänersborg - 3794	2 mån	2 mån	
Värnamo - 144	5,5 år	5,5 år	7 år
Åtvidaberg - 140	18 år	16 år	12 år

4. Resultat

4.1 Bergrum

I detta avsnitt har 15 bergrum valts ut att presenteras utifrån de punkter som presenterades i avsnitt 3. Då flera företag har varit inblandade i avvecklingen har både mängden och typen av information skilt sig mellan de olika bergrummen. Alla nivåer i detta avsnitt anges i höjdsystemet RH00. RH00 står för rikets höjdsystem 1900 och använder Riddarholmen i Stockholm som nollpunkt (Lantmäteriet 2012). Värt att nämna är att oljeprodukten i bergrummen normalt ligger i direkt kontakt med bergytan, i detta avsnitt kallas det för ett ”oinklätt” bergrum. I de fall där en annan metod valts kommer det att skrivas ut.

4.1.1 Asphyttan

Anläggningen är belägen i Rockberget, cirka 1,5 km väster om Asphyttan i Värmlands län. Anläggningen består av ett oinklätt bergrum med en total lagringskapacitet på 57 000 m³, men endast cirka 50 000 m³ lagrades. Inlastningen skedde 1974 och diesel lagrades på fast vattenbädd fram till utlastningen 1995. Bergrummet ligger 30–34 m under markytan, som i området varierar mellan 144–148 m ö.h. (Svedberg & von Brömssen, 2001).

Berggrunden består av gråröd till rödgrå, medel- till grovkornig, förgnejsad granit. Berget är mycket tätt och det finns endast få sprickor. Närområdet täcks av ett tunt

moräntäcke omväxlande med berg i dagen. Primär recipient är Rockbergsbäcken som ungefär 700 m sydöst om anläggningen mynnar i sjön Aspen. Beräknad grundvattenbildning i området är cirka 375 mm/år (Rodhe m.fl., 2006).

Mätprogrammet kring anläggningen omfattar grundvattennivåmätningar i 10 mätpunkter, upp till cirka 150 m från anläggningen. Mätningar har avslutats i en mätpunkt 2003. Mätprogrammet omfattar även vattenbäddnivå. Mätdata finns tillgängliga från 1997 och framåt.

Som prognosverktyg har en numerisk grundvattenmodell konstruerats med hjälp av MODFLOW och MODPATH från US Geological Survey. Modellen är baserad på indata som t.ex. vattennivåer, geologi och läckvattenmängder och kalibrerad för att uppfylla angivet inläckage till anläggningen, uppmätta grundvattennivåer i närliggande brunnar och antagna och beräknade medelkonduktiviteter (Svedberg & von Brömssen, 2001) .

4.1.2 Blädinge

Anläggningen ligger cirka 6 km söder om Alvesta i Kronobergs län. Anläggningen består av sex oinklädda bergrum med en total lagringskapacitet på cirka 73 000 m³. Lagring på rörlig vattenbädd påbörjades 1966 och upphörde 1995. Både bensin och diesel lagrades i bergrummen fram till i mitten av 1980-talet, då all bensin byttes ut mot diesel. Bergrummen ligger 33–38 m under markytan som i området varierar mellan 151–155 m ö.h. (Berggren, 1996).

Berggrunden i området består av grå-röd mediumkornig granit. Jordtacket består av silt ovan morän, med en mäktighet på upp till 6 m. Det finns få sprickzoner i berget kring anläggningen. Sjön Salen är belägen nära anläggningen och är recipient för läckvattnet. Beräknad grundvattenbildning i området är cirka 300 mm/år (Rodhe m.fl., 2006).

Mätprogrammet kring anläggningen omfattar grundvattennivåmätningar i 20 mätpunkter, upp till cirka 900 m från anläggningen. Mätprogrammet omfattar även vattenbäddnivå och läckvattenflöde. Mätdata finns tillgängliga från 1998 och framåt.

Som prognosverktyg har en modell skapats med modelleringsverktyget GMS/MODFLOW. Modellen är baserad på olika konduktiviteter och nivåer. Modellen har kalibrerats så att en rimlig överensstämmelse erhöles mot grundvattennivåer och läckvattenflöde (Landin, 2002b).

4.1.3 Bålsta

Anläggningen ligger öster om Bålsta i Uppsala län. Anläggningen består av ett oinklätt bergrum som ligger mellan – 27 m ö.h. och -5 m ö.h., taket ligger 25–63 m under markytan. Anläggningen togs i bruk februari 1976. Diesel har lagrats under hela drifttiden. Lagringskapaciteten var cirka 120 000 m³ och produktvolymen har varierat från totalkapacitet till 90 000 m³ under drifttiden. Bergrummet tömdes på produkt i

mitten av 1991 för att sedan fyllas upp igen med diesel under samma år. Utlastningen skedde mellan 1995 och 1997. Lagringsprincipen var fast vattenbädd.

Bergarten i området är bandad sedimentgnejs med inslag av granit och pegmatit. Området runt bergrummet har branta sluttningar söder och väster om bergrummet och jordarten är lerig morän på sand. Närmast berget finns grus eller morän. Berget är tätt med endast ett fåtal sprickzoner. Ungefär 400 m söder om anläggningen ligger Mälaren som är recipient för läckvatten från anläggningen (Lindstrand & Palmgren, 1998). Beräknad grundvattenbildning i området är cirka 300 mm/år (Rodhe m.fl., 2006).

Mätprogrammet kring anläggningen omfattar grundvattennivåmätningar i 10 mätpunkter. Mätprogrammet omfattar även vattenbäddnivå. Mätdata finns tillgängliga från 1999 och framåt.

Som prognosverktyg har en tredimensionell modell med tre lager konstruerats med programmet Visual Modflow (Lindstrand & Palmgren, 1998).

4.1.4 Gånghester

Anläggningen ligger cirka 5 km nordost om Borås i Västra Götalands län. Anläggningen består av två oinklädda bergrum med en total lagringskapacitet på cirka 50 000 m³. Diesel lagrades under hela drifttiden som varade mellan 1976–1996. Lagringen skedde på en fast vattenbädd. Bergrummen ligger 27–33 m under markytan som i området varierar mellan 202–208 m ö.h. (Svedberg & von Brömssen, 2000).

Berggrunden består främst av granitisk migmatitisk gnejs. I området finns morän och torv men också berg i dagen. De översta 3–5 m av berget är uppsprucket med flertalet tydliga sprickzoner. Inga större vattendrag finns i området. Lillån är recipient för läckvattnet. Beräknad grundvattenbildning i området är cirka 450 mm/år (Rodhe m.fl., 2006).

Mätprogrammet kring anläggningen omfattar grundvattennivåmätningar i 8 mätpunkter, inom cirka 50 m från anläggningen. Mätprogrammet omfattar även vattenbäddnivå och ytvattennivå. Mätdata finns tillgängliga från 1999 och framåt.

Som prognosverktyg har en grundvattenmodell konstruerats för området med programvaran MODFLOW. Indata har bl.a. varit sprickformationer och grundvattennivåobservationer i flertalet observationspunkter. Modellen har sedan kalibrerats mot inläckage vid tomt lager (Svedberg & von Brömssen, 2000).

4.1.5 Gällö

Anläggningen är belägen söder om Gällö i Jämtlands län. Anläggningen består av sex oinklädda bergrum där två har använts för lagring av bensin och fyra för lagring av

diesel (Vistam 2002). Anläggningen ligger 30–40 m under markytan som varierar mellan 290–310 m ö.h. i området. Anläggningen togs i bruk 1969. Lagringskapaciteten var cirka 71 000 m³ men endast cirka 57 000 m³ produkt lagrades som mest fram till utlastningen som skedde mellan 1992–1994. Lagringsprincipen var fast vattenbädd.

Berggrunden i området består av rödgrå till röd, grovt mikroklinporfyrisk granit. Området omkring bergrummet består till mesta del av berg i dagen eller ett tunt moräntäcke. Den övre delen av berget är kraftigt uppsprucken. Cirka 600 m väster om anläggningen ligger Revsundssjön och cirka 500 m öster om anläggningen ligger sjön Tuvtjärnen som är recipient för läckvatten från anläggningen. Beräknad grundvattenbildning i området är cirka 300 mm/år (Rodhe m.fl., 2006).

Mätprogrammet kring anläggningen omfattar grundvattennivåmätningar i 16 mätpunkter, upp till drygt 150 m från anläggningen. Mätprogrammet omfattar även vattenbäddnivå och läckvattenflöde (de senare mätningarna avslutades 2008). Mätdata finns tillgängliga från 1996 och framåt.

Som prognosverktyg har en tvådimensionell numerisk modell konstruerats med programmen WINFLOW och MODFLOW. Modellen är kalibrerad mot förhållanden som återspeglar länshållna cisterner (Sundberg m.fl., 1996).

4.1.6 Jönköping

Anläggningen är belägen cirka 3 km sydväst om Jönköping i Jönköpings län. Anläggningen består av 22 lagringscisterner i plåt som är förlagda i bergrum. Det finns cirka 60 cm tjock betong runt varje cistern. Total lagringskapacitet var cirka 79 000 m³ och flera olika produkter har lagrats under driften, bland annat blyad bensin, diesel och flygbränsle. Lagringen startade i mitten av 1960 och anläggningen tömdes i slutet av 1997 (Landin, 2002a).

Anläggningen ligger i en bergplint cirka 200 m ö.h och bergarten i området är främst yngre ögonförande granit med inslag av lerskiffer. Flertalet spricksystem finns i berget. Endast mindre bäckar och dammar finns i närheten av anläggningen. Beräknad grundvattenbildning i området är cirka 300 mm/år (Rodhe m.fl., 2006).

Information om eventuellt mätprogram saknas.

Som prognosverktyg har en modell konstruerats med programmet MODFLOW. Indata bestod bl.a. av topografiska nivåer och konduktiviteter (Landin, 2002a).

4.1.7 Kristinehamn

Anläggningen är belägen cirka 3 km nordväst om Kristinehamn i Värmlands län. Anläggningen består av tre oinklädda bergrum med en total lagringskapacitet på cirka

37 500 m³. Anläggningen invigdes 1969 och lagrade bensin på en fast vattenbädd fram till utlastningen 1997. Bergrummen ligger 30–33 m under markytan som i området varierar 55–58 m ö.h. 310 m ifrån anläggningen ligger ett annat bergrum som ägs av Statoil.

Berggrunden runt anläggningen består av en grå-röd, medelgrov och gnejsig granit. Stora delar av området utgörs av berg i dagen. Morän är den dominerande jordarten. Berget är relativt tätt, dock med en större sprickgrupp i närheten av anläggningen. 150 m öster om anläggningen ligger Varnumsviken som är recipient för läckvattnet (Sandstedt & von Brömssen, 2001). Beräknad grundvattenbildning i området är cirka 300 mm/år (Rodhe m.fl., 2006).

Mätprogrammet kring anläggningen omfattar grundvattennivåmätningar i 8 mätpunkter, inom cirka 50 m från anläggningen. Mätprogrammet omfattar även vattenbäddnivå. Mätdata finns tillgängliga från 1996 och framåt.

Som prognosverktyg har en tredimensionell finit differensmodell konstruerats med hjälp av MODFLOW. Modellen har kalibrerats mot inläckage och observerade vattennivåer i området (Jonasson, 1998).

4.1.8 Kälarne

Anläggningen är belägen cirka 5 km väster om Kälarne i Jämtlands län. Den består av ett oinklätt bergrum som ligger mellan +267 m ö.h. och +283 m ö.h. Markytan i området varierar mellan 300 och 330 m ö.h. Anläggningen började användas 1973 och den produkt som lagrades var diesel under hela drifttiden. Den totala lagringskapaciteten var 109 000 m³ och utlastningen skedde 1995. Lagringsprincipen var fast vattenbädd (VBB VIAK, 2000).

Dominerande bergart i området är grå, grovkornig granit som genomslås av ett antal diabasgångar med varierande tjocklek. Diabasgångarna medför sprickor i berget. Området runt bergrummet består främst av berg i dagen och sandig siltig morän. Cirka 500 m söder om anläggningen ligger Övsjön som är recipient för läckvatten från anläggningen (SGU, 2000). Beräknad grundvattenbildning i området är cirka 375 mm/år (Rodhe m.fl., 2006).

Mätprogrammet kring anläggningen omfattar grundvattennivåmätningar i 5 grundvattenrör i jord (upp till 100 m från anläggningen) och 6 borrhål i berg. Mätprogrammet omfattar även vattenbäddnivå och läckvattenflöde. Mätdata finns tillgängliga från 1996 och framåt.

4.1.9 Köping 2

Anläggningen ligger ungefär 3 km sydost om Köping i Västmanlands län.

Anläggningen består av två oinklädda bergrum med en total lagringskapacitet på 126 000 m³. Bergrummen ligger 10–33 m under markytan som i området varierar mellan 10–35 m ö.h. I anläggningen lagrades diesel under hela drifttiden. Köping 2 togs i bruk 1976 och tömdes i två omgångar under 1994–1995. Lagringsprincipen var fast vattenbädd.

Den dominerande bergarten i området är mycket svagt förskiffrad gnejsgranit, som delvis är grovkornig. Området omkring bergrummen har mycket berg i dagen med morän i sluttningar och även med inslag av postglacial lera. Flera små sprickzoner finns i berget (Arnbom, 2002). Norsabäcken som senare mynnar ut i Mälaren är recipient för läckvattnet. Beräknad grundvattenbildning i området är cirka 225 mm/år (Rodhe m.fl., 2006).

Mätprogrammet kring anläggningen omfattar grundvattennivåmätningar i 12 mätpunkter, upp till drygt 150 m från anläggningen. Mätningar har avslutats i tre mätpunkter (2003 respektive 2007). Mätprogrammet omfattar även vattenbäddnivå. Mätdata finns tillgängliga från 1999 och framåt.

4.1.10 Lärbro

Anläggningen ligger på Kappelhamnsvikens västra strand cirka 11 km norr om Lärbro i Gotlands län. Anläggningen består av 4 bergrum täckta med sprutbetonginklädda glasfibermattor med en lagringskapacitet på totalt cirka 44 600 m³. Anläggningen byggdes i två etapper, den första färdigställdes 1967 och bestod av tre bergrum och tillbyggnaden av det sista bergrummet var klart 1976. Lagringsprincipen var fast vattenbädd och under driften lagrades blyad och oblyad bensin samt diesel. De tre första bergrummen ligger 10,4 m under markytan medan det senast uppförda bergrummet ligger 16,45 m under markytan, som i området varierar mellan 3–16 m ö.h. Tömningen av de tre första bergrummen skedde under 1997 och det nyare bergrummet tömdes 1999 (Sandstedt & von Brömssen, 2003).

Berggrunden i området består av kalksten och mörkelsten. I berggrunden förekommer flera svaghetszoner. Anläggningen ligger cirka 100 m från Östersjön. Beräknad grundvattenbildning i området är cirka 300 mm/år (Rodhe m.fl., 2006).

Mätprogrammet kring anläggningen omfattar grundvattennivåmätningar i 25 mätpunkter, upp till drygt 150 m från anläggningen. I samband med avvecklingen föll 17 mätpunkter bort från mätprogrammet. Mätprogrammet omfattar även vattenbäddnivå, läckvattenflöde och ytvattennivå i havet. Mätdata finns tillgängliga från 1991 och framåt.

4.1.11 Motala

Anläggningen ligger cirka 7,5 km norr om Motala i Östergötlands län. Anläggningen

består av ett oinklätt bergrum med lagringskapacitet på cirka 48 000 m³. Inlastning skedde 1972 och diesel lagrades till slutet på 1995 då utlastning ägde rum. Bergrummet ligger 25–35 m under markytan, som i det närmaste området varierar mellan 115–123 m ö.h. Lagringsprincipen var fast vattenbädd (Granath & Ludvig, 1996).

Berggrunden består av röd gnejsgranit med granodioritisk sammansättning. Området består till största delen av berg i dagen och berggrunden är relativt sprickfattig. Tre sprickgrupper förekommer. Jordarten i området är morän som i vissa partier kan nå några meters mäktighet. Sjön Salstern är belägen cirka 400 m från anläggningen och är recipient för läckvattnet. Beräknad grundvattenbildning i området är cirka 225 mm/år (Rodhe m.fl., 2006).

Mätprogrammet kring anläggningen omfattar grundvattennivåmätningar i 6 mätpunkter, inom 100 m från anläggningen. Mätprogrammet omfattar även vattenbäddnivå, läckvattenflöde och ytvattennivå. Mätdata finns tillgängliga från 1993 och framåt.

4.1.12 Murjek

Anläggningen är insprängd i Murjekberget, cirka 2 km nordost om Murjek i Norrbottens län. Anläggningen består av ett oinklätt bergrum med en totalvolym på cirka 55 000 m³. Bergrummet togs i bruk 1974 och lagrade diesel till dess att det tömdes i slutet av 1996. Anläggningen har en bergtäckning på cirka 15 m och ligger mellan 233–255 m ö.h. Lagringsprincipen var fast vattenbädd.

Berggrunden i området består av både gnejser och graniter. Anläggningen överlagras av ett 1–10 m mäktigt moräntäcke. Det finns endast mindre vattendrag i omgivningen (Vistam, 1996). Beräknad grundvattenbildning i området är cirka 300 mm/år (Rodhe m.fl., 2006).

Mätprogrammet kring anläggningen omfattar grundvattennivåmätningar i 8 mätpunkter, upp till cirka 150 m från anläggningen. Mätprogrammet omfattar även vattenbäddnivå och läckvattenflöde. Mätdata finns tillgängliga från 1990 och framåt.

4.1.13 Sala

Anläggningen ligger cirka 5 km nordost om Broddbo i Västmanlands län. Anläggningen består av fyra oinklädda bergrum med en total lagringsvolym på cirka 127 000 m³. Totalt lagrades som mest cirka 100 000 m³ under drifttiden 1980–1996. Lagringsprincipen var rörlig vattenbädd och produkten som lagrades var först MC77 (ett slags flygbränsle) och därefter bensin. Bergrummen ligger cirka 40 m under markytan som i området varierar 100–120 m ö.h. (Kemakta Konsult AB & AB Jacobson & Wildmark, 1997).

Berggrunden i området består av gnejsgranit som är övertäckt av ett 2–6 m mäktigt moränlager. En stor och ett antal små diabasgångar finns i området och i anslutning till

dessa är berget uppsprucket. Sjön Storljusen som ligger ca 200 m öster om anläggningen är recipient för läckvattnet. Beräknad grundvattenbildning i området är cirka 225 mm/år (Rodhe m.fl., 2006).

Mätprogrammet kring anläggningen omfattar grundvattennivåmätningar i 15 mätpunkter, upp till drygt 100 m från anläggningen. Mätprogrammet omfattar även vattenbäddnivå och läckvattenflöde. Mätdata finns tillgängliga från 1996 och framåt. Mätningar har avslutats i vissa mätpunkter.

4.1.14 Skattkärr

Anläggningen ligger cirka 3 km öster om Skattkärr i Värmlands län. Anläggningen består av ett oinklätt bergrum som delvis förstärkts med sprutbetong. Den totala lagringskapaciteten är cirka 57 000 m³, där endast 50 000 m³ lagrades. Lagringsprincipen var fast vattenbädd. Diesel lagrades under hela drifttiden 1975–1996. Bergrummet ligger 21–37 m under markytan, som i området varierar mellan 56–72 m ö.h. (VBB VIAK, 1998).

Berggrunden i området består av gnejs med inslag av amfibolitskikt och glimmer. Berget täcks av morän med varierande mäktighet. Via bäckar och diken når läckvattnet recipienten (Vänern) cirka 1,2 km väster om anläggningen. Beräknad grundvattenbildning i området är cirka 300 mm/år (Rodhe m.fl., 2006).

Mätprogrammet kring anläggningen omfattar grundvattennivåmätningar i 15 mätpunkter. Mätprogrammet omfattar även vattenbäddnivå och läckvattenflöde. Mätdata finns tillgängliga från 1997 och framåt.

4.1.15 Vänersborg

Anläggningen ligger cirka 1 km nordväst om Vänersborg i Västra Götalands län. Anläggningen består av 4 bergrum med en total lagringskapacitet på 20 000 m³. Från inlastningen 1965 fram till 1980 lagrades MC77. Därefter lagrades diesel fram till utlastningen 1996. Fram till 1976 utnyttjades hela lagringsvolymen, därefter lagrades endast 16 000 m³ produkt. Lagringsprincipen var rörlig vattenbädd. Markytan i området varierar från Vänerns nivå (cirka 44 m ö.h.) till cirka 74 m ö.h direkt över anläggningen. Bergrummen ligger cirka 40 m under markytan.

Berggrunden utgörs av en enhetligt röd, grov, något skiffrig Kroppefjällsgranit. Jordlagren i höjdpartiet där bergrummen är insprängda är tunna och det finns områden med berg i dagen. I berget kring anläggningen finns det flertalet sprickor. Anläggningen är belägen nära sjön Vänern, som är recipient för läckvattnet (Ejdeling, 1999). Beräknad grundvattenbildning i området är ca 375 mm/år (Rodhe m.fl., 2006).

Mätprogrammet kring anläggningen omfattar grundvattennivåmätningar i 4 mätpunkter,

upp till cirka 180 m från anläggningen. Mätprogrammet omfattar även vattenbäddnivå, läckvattenflöde och ytvattennivå (Vänern). Mätdata finns tillgängliga från 1998 och framåt.

Som prognosverktyg har en modell konstruerats med hjälp av det finita element programmet SEEP/W som är utvecklat av GEO-SLOPE Intl. i Calgary, Kanada. Indata som modellen är baserad på är bl.a. diverse nivåer i området och grundvattennivåer i observationshål

4.1.16 Sammanfattning berggrum

Tabell 2, 3, 4 och 5 sammanfattar föregående avsnitt i tabellform.

Tabell 2. Sammanställning av antal berggrum, läge i relation till markyta, markytans läge, berggrummens totala volym och lagrad produkt.

Anläggning	Antal berggrum	Läge [m*]	Markyta [m ö.h.]	Total volym [m³]	Produkt
Asphyttan	1 (Oinklätt)	30 - 34	144 - 148	57000	Diesel
Blädinge	6 (Oinklädda)	33 - 38	151 - 155	73000	Diesel, bensin
Bålsta	1 (Oinklätt)	5 - 27	30 - 68	120000	Diesel
Gånghester	2 (Oinklädda)	27 - 33	202 - 208	50000	Diesel
Gällö	6 (Oinklädda)	30 - 40	290 - 310	71000	Diesel, bensin
Jönköping	22 (Plåt-cisterner)	-	-	79000	Diesel, bensin
Kristinehamn	3 (Oinklädda)	30 - 33	55-58	37500	Bensin
Kälarne	1 (Oinklätt)	17 - 33	300 - 330	109000	Diesel
Köping 2	2 (Oinklädda)	10 - 33	10 - 35	126000	Diesel
Lärbro	4 (Betonginklädda)	10 - 16	3 - 16	44600	Diesel, bensin
Motala	1 (Oinklätt)	25 - 35	115 - 123	48000	Diesel
Murjek	1 (Oinklätt)	15	233 - 255	55000	Diesel
Sala	4 (Oinklädda)	40	100 - 120	127000	MC77, bensin
Skattkärr	1 (Oinklätt)	21 - 37	56 - 72	57000	Diesel
Vänersborg	4 (Oinklädda)	40	44 - 74	20000	MC77, diesel

*Meter under markytan.

Tabell 3. Sammanställning av invigningsår, utlastningsår, lagringsprincip och grundvattenbildning i respektive område.

Anläggning	Invigning	Utlastning	Lagringsprincip	G.v. bildning [mm/år]
Asphyttan	1974	1995	Fast vattenbädd	375
Blädinge	1966	1995	Rörlig vattenbädd	300
Bålsta	1976	1997	Fast vattenbädd	300
Gånghester	1976	1996	Fast vattenbädd	450
Gällö	1969	1994	Fast vattenbädd	300
Jönköping	1960	1997	-	300
Kristinehamn	1969	1997	Fast vattenbädd	300
Kälarne	1973	1995	Fast vattenbädd	375
Köping 2	1976	1995	Fast vattenbädd	225
Lärbro	1967	1999	Fast vattenbädd	300
Motala	1972	1995	Fast vattenbädd	225
Murjek	1974	1996	Fast vattenbädd	300
Sala	1986	1996	Rörlig vattenbädd	225
Skattkärr	1975	1996	Fast vattenbädd	300
Vänersborg	1965	1980	Rörlig vattenbädd	375

Tabell 4. Sammanställning av berggrund, sprickförekomster, områdesbeskrivning och tidpunkt för mätprogrammets uppförande.

Anläggning	Berggrund	Sprickor	Område	Mätprogram
Asphyttan	Gnejsgranit	Tätt berg	Berg i dagen, morän	Sedan 1997
Blädinge	Granit	Tätt berg	Silt, morän	Sedan 1998
Bålsta	Gnejs, granit	Tätt berg	Grus, morän	Sedan 1999
Gånghester	Gnejs	Fler spricksystem	Torv, morän, berg	Sedan 1999
Gällö	Granit	Mycket sprickor	Berg i dagen, morän	Sedan 1996
Jönköping	-	Fler spricksystem	-	-
Kristinehamn	Gnejsgranit	1 större grupp	Berg i dagen, morän	Sedan 1996
Kälarne	Granit	Diabasgångar	Berg i dagen, morän	Sedan 1996
Köping 2	Gnejsgranit	Små sprickzoner	Berg i dagen, morän	Sedan 1999
Lärbro	Kalksten	Fler spricksystem	-	Sedan 1991
Motala	Gnejsgranit	Tätt berg	Morän	Sedan 1993
Murjek	Gnejs, granit	-	Morän	Sedan 1990
Sala	Gnejsgranit	Diabasgångar	Morän	Sedan 1996
Skattkärr	Gnejs	-	Morän	Sedan 1997
Vänersborg	Granit	Fler spricksystem	Berg i dagen	Sedan 1998

Tabell 5. Sammanställning av använt program för modellering, antalet grundvattenmätpunkter i området och ytvattenrecipient.

Anläggning	Program	Antal mätpunkter	Recipient
Asphyttan	MODFLOW, MODPATH	10	Rockbergsbäcken
Blädinge	GMS/MODFLOW	20	Salen
Bålsta	Visual Modflow	10	Mälaren
Gånghester	MODFLOW	8	Lillån
Gällö	WINFLOW, MODFLOW	16	Tuvtjärnen
Jönköping	MODFLOW	-	Mindre bäckar
Kristinehamn	MODFLOW	8	Varnumsviken
Kälarne	-	5	Övsjön
Köping 2	-	12	Norsabäcken
Lärbro	-	25	Östersjön
Motala	-	15	Salstern
			Mindre
Murjek	-	8	vattendrag
Sala	-		Storljusen
Skattkärr	-	15	Vänern
Vänersborg	SEEP/W	4	Vänern

4.2 Påverkansområde

Anläggningarna presenteras först med en tabell som beskriver grundvattenrörens läge i relation till anläggningen och sedan med en eller flera grafer som visar grundvattenytans nivåförändring sedan mätserien inleddes. Flygfoton över anläggningarna med grundvattenrören utmärkta bifogas i bilaga 2. Då ingen bakgrundsinformation hittats angående grundvattennivåer innan berggrummen uppfördes har graferna studerats med avseende på en över tid stigande grundvattenyta. Detta har tolkats som återhämtning och således påverkan. Även variationer över kort tid har i fall där pumpning varit inblandat tolkats som påverkan då en variation i pumpad vattenmängd borde kunna utläsas i grundvattennivåerna. I fall där hydraulisk avledning har använts har en snabb förändring med en efterkommande stabil grundvattenyta tolkats som påverkan då bäddvattennivån i berggrummen har nått recipientens nivå.

Vid beräkningarna av det teoretiska påverkansområdet har ekvation 3 och 4 från avsnitt 3.2 använts. Påverkansområdet har i alla fall antagits vara cirkulärt för att på ett enkelt och enhetligt sätt kunna utföra de olika områdena. Beräkningarna har sedan utförts med olika värden för den teoretiska grundvattenbildningen för att se om en kvot mellan grundvattenbildning till jord och grundvattenbildning till berg kan hittas på detta sätt. I detta fall har en tredjedel och en tiondel av grundvattenbildning till jord undersökts för att se om den kan beskriva grundvattenbildningen till berg.

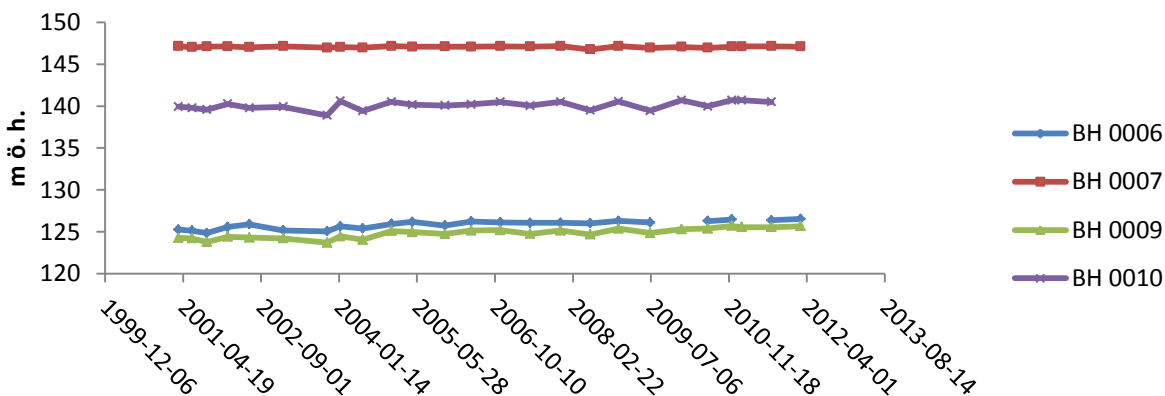
4.2.1 Asphyttan

I tabell 6 visas grundvattenrörens läge i relation till anläggningen.

Tabell 6. Grundvattenrörens läge i relation till anläggningen.

Rör	Avstånd [m]	Vädersträck
BH 0006	65	Syd
BH 0007	80	Norr
BH 0009	45	Norr
BH 0010	150	Syd

Anläggningen i Asphyttan fylls i naturligt. Detta alternativ används i de fall där uppfyllnadstiden är så pass lång att eventuella produktrester hinner påbörja sin nedbrytning innan grundvattnet börjar strömma ut ur bergrummet. En långsam återhämtning i grundvattenrören tolkas i dessa fall som att bergrummet påverkar sin omgivning då en höjd vattennivå i bergummet speglas i en höjd grundvattenyta i omgivningen. I figur 5 kan man utläsa en återhämtning i rören BH 0006, BH 0009 och BH 0010. Detta visar att påverkansområdet runt anläggningen i Asphyttan är större än 150 m söder om anläggningen och mindre än 80 m norr om anläggningen. BH 0010 påvisar en mindre höjning av grundvattenytan, dock visar mätserien stora svängningar och är således svårtolkad men anses ändå vara påverkad eftersom en höjning har skett. BH 0007 visar ingen förändring under hela förloppet så anses därför vara opåverkad.



Figur 5. Grundvattenytans nivå i fyra grundvattenrör vid Asphyttan sedan 2001.

4.2.1.1 Teoretiskt påverkansavstånd

Under antagande om konstant utpumpning av grundvatten på $Q = 3000 \text{ m}^3/\text{år}$ och en grundvattenbildning på $375 \text{ mm}/\text{år}$ beräknades påverkansområdet till 8000 m^2 och radien således till 57 m enligt ekvation 3 och 4.

På samma sätt undersöktes en grundvattenbildning på en tredjedel och en tiondel av det antagna ursprungsvärdet av grundvattenbildningen. De nya grundvattenbildningarna gav en påverkansradie på 98 m och 160 m.

4.2.2 Blädinge

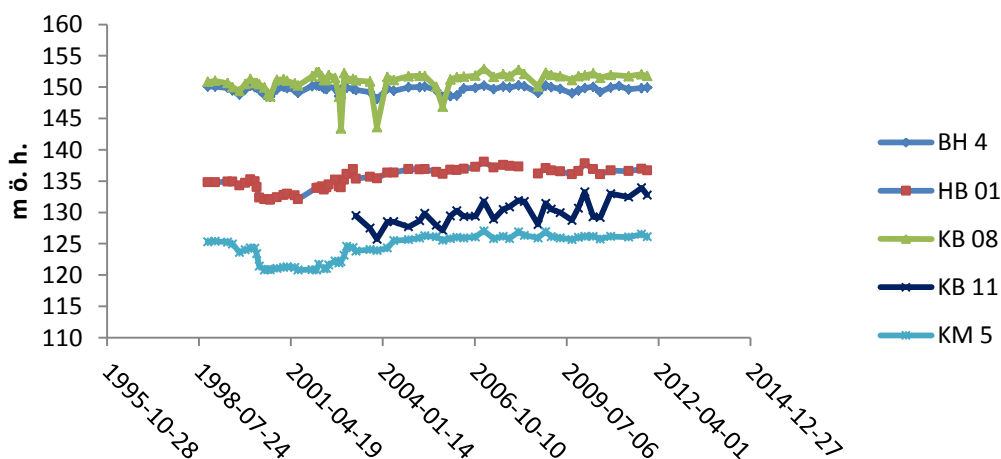
I tabell 7 visas grundvattenrörens läge i relation till anläggningen.

Tabell 7. Grundvattenrörens läge i relation till anläggningen.

Rör	Avstånd [m]	Vädersträck
BH 4	65	Norr
HB 01	200	Norr
KB 08	30	Väst
KB 11	65	Nordöst
KM 5	130	Väst

Anläggningen i Blädinge består av sex bergrum. Dessa är anslutna till varandra men ligger utspritt över området. Viktigt att påpeka är att denna anläggning fortfarande pumpas då föroreningen anses vara för kraftig i området. Då anläggningen pumpas kan nivåförändringar över kort tid ses som ett tecken på påverkan då skillnad i pumpad vattenmängd ger variation på grundvattenytan.

I figur 6 kan man se att BH 04, KB 08 och KB 11 påvisar variationer av grundvattenytan som i detta fall tolkas som att de kommer som en följd av variation av pumpningen då toppar kommer vid samma tillfällen. KM 5 och HB 01 visar ett liknande, mjukare mönster och bedöms vara påverkade och att det mjukare mönstret uppkommer av det faktum att de ligger längre bort. Sammanfattningsvis anses påverkansavståndet vara över 130 m i västlig riktning och över 200 m i nord- nordöstlig riktning.



Figur 6. Grundvattenytans nivå i fem grundvattenrör vid Blädinge sedan 1998.

4.2.2.1 Teoretiskt påverkansavstånd

Under antagande om konstant utpumpning av grundvatten på $Q = 38400 \text{ m}^3/\text{år}$ och en grundvattenbildning på $300 \text{ mm}/\text{år}$ beräknades påverkansområdet till 128000 m^2 och radien således till 202 m enligt ekvation 3 och 4.

På samma sätt undersöktes en grundvattenbildning på en tredjedel och en tiondel av det antagna ursprungsvärdet av grundvattenbildningen. De nya grundvattenbildningarna gav en påverkansradie på 350 m och 638 m.

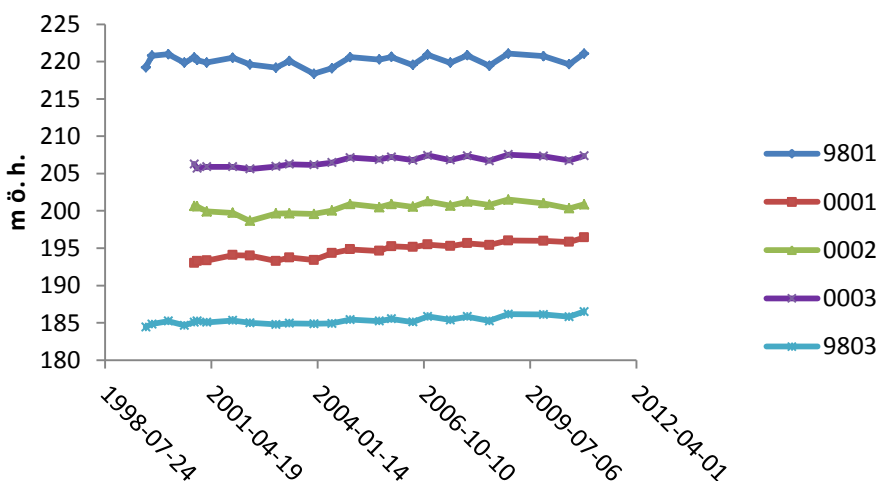
4.2.3 Gånghester

I tabell 8 visas grundvattenrörens läge i relation till anläggningen.

Tabell 8. Grundvattenrörens läge i relation till anläggningen.

Rör	Avstånd [m]	Vädersträck
9801	20	Väst
0001	40	Väst
0002	55	Öst
0003	35	Syd
9803	20	Norr

Anläggningen i Gånghester fylls i naturligt. Den ligger i en bergssluttning vilket förklarar de stora skillnaderna i grundvattennivå mellan de olika rören. Figur 7 visar att samtliga serier, sakta men säkert, ökar och bedöms vara påverkade då en långsam uppfyllning av bergsrummet påverkar omgivningen på samma sätt.



Figur 5. Grundvattenytans nivå i fem grundvattenrör vid Gånghester sedan 1999.

4.2.3.1 Teoretiskt påverkansavstånd

Under antagande om konstant utpumpning av grundvatten på $Q = 42000 \text{ m}^3/\text{år}$ och en grundvattenbildning på $450 \text{ mm}/\text{år}$ beräknades påverkansområdet till 93333 m^2 och radien således till 172 m enligt ekvation 3 och 4.

På samma sätt undersöktes en grundvattenbildning på en tredjedel och en tiondel av det antagna ursprungsvärdet av grundvattenbildningen. De nya grundvattenbildningarna gav en påverkansradie på 299 m och 541 m.

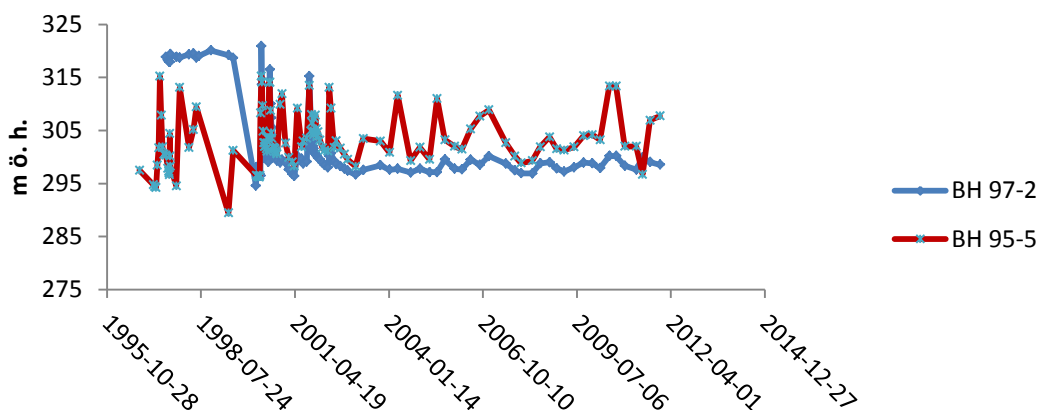
4.2.4 Gällö

I tabell 9 visas grundvattenrörens läge i relation till anläggningen.

Tabell 9. Grundvattenrörens läge i relation till anläggningen.

Rör	Avstånd [m]	Vädersträck
BH 97-2	33	Väst
BH 97-3	33	Syd
BH 97-4	65	Syd
BH 95-4	65	Norr
BH 95-5	115	Väst
BH 95-6	30	Öst
9902	115	Norr
9903	60	Öst

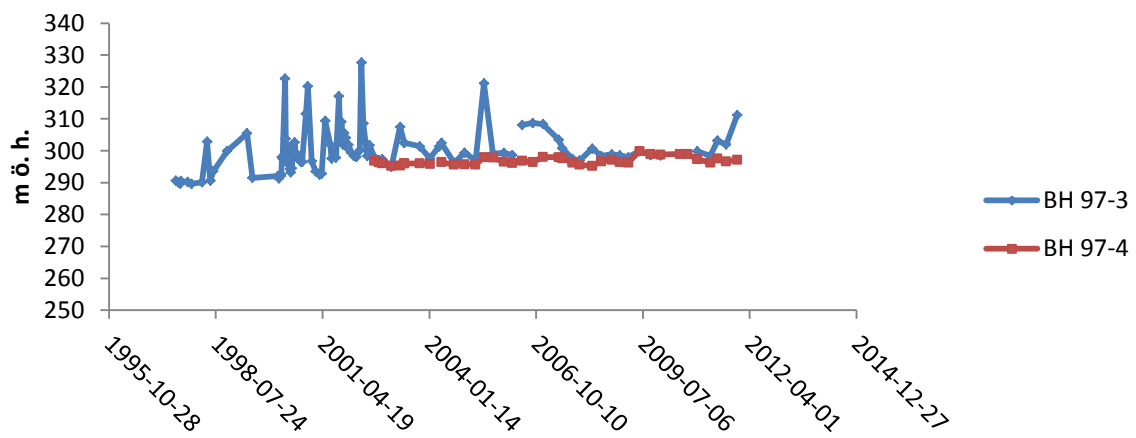
I Gällö har miljösäkringsmetoden hydraulisk avledning varit aktiv sedan 2001. I dessa fall anses en tydlig förändring i grundvattenytans beteende före och efter den tidpunkten då den hydrauliska avledningen trädde i kraft som en tecken på påverkan. I figur 8 ser man hur de kraftiga grundvattensvängningarna mattas i rör BH 97-2 efter det att den hydrauliska avledningen trädde i kraft. Svängningarna fortsätter i BH 95-5 men tycks mattas även här, dock mycket långsammare. Detta kan förklaras med att rör BH 97-2 ligger närmare än BH 95-5 men med den stora skillnaden i beteende som bakgrund anses BH 95-5 vara opåverkad.



Figur 8. Grundvattenytans nivå i två grundvattenrör vid Gällö sedan 1996.

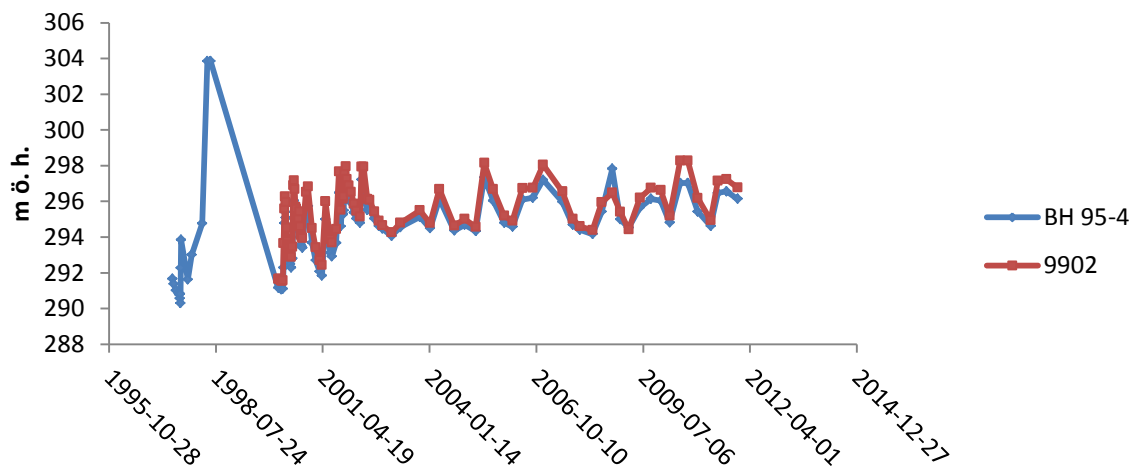
Figur 9 illustrerar grundvattenrörens söder om anläggningen. De söder om den västra delen av anläggningen. Rör 97-3 ligger i närheten av två berggrum vilket kan förklara de kraftiga

svängningarna i mätserien och tolkas således att vara påverkad. BH 97-4 ligger både längre bort och i en sådan position att endast ett bergrum skulle ha påverkat det dock tolkas den jämna serien som att röret är opåverkat.



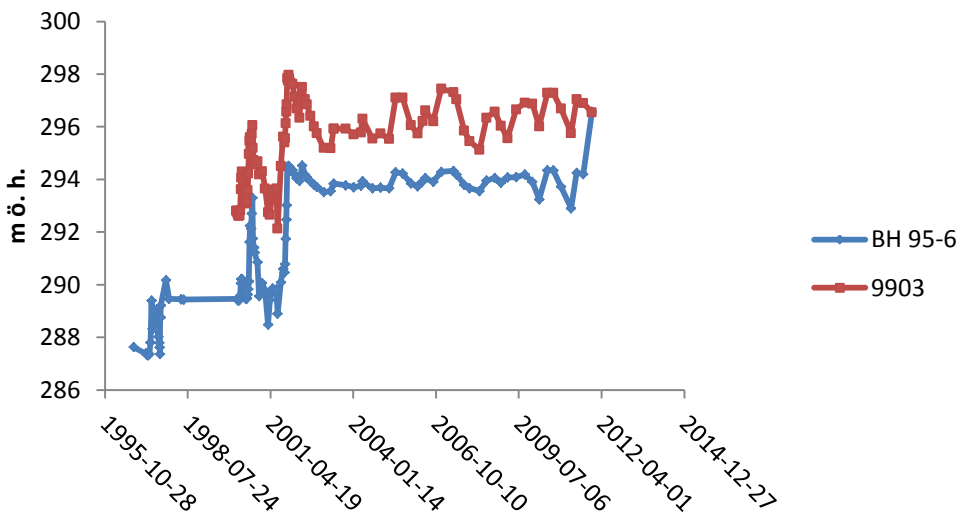
Figur 9. Grundvattenytans nivå i två grundvattenrör vid Gällö sedan 1997.

Figur 10 visar grundvattenrören som ligger norr om anläggningen. Trots att mätserierna har stora svängningar kan en viss höjning av grundvattenytan urskiljas efter 2001 och serierna anses därför vara påverkade.



Figur 10. Grundvattenytans nivå i två grundvattenrör vid Gällö sedan 1997.

I figur 11 kan man se en tydlig höjning av grundvattenytan i båda mätrören när den hydrauliska avledningen trädde i kraft 2001. Detta tolkas som att båda rören är påverkade av anläggningen.



Figur 11. Grundvattenytans nivå i två grundvattenrör vid Gällö sedan 1996.

Sammanfattningsvis anses påverkansavståndet i västlig riktning vara 33 - 115 m. Söder om anläggningen är påverkansavståndet mellan 33 – 65 m. Norr om anläggningen är påverkansavståndet större än 115 m och öst om anläggningen är området påverkat mer än 60 m.

4.2.4.1 Teoretiskt påverkansavstånd

Under antagande om konstant utpumpning av grundvatten på $Q = 83500 \text{ m}^3/\text{år}$ och en grundvattenbildning på $300 \text{ mm}/\text{år}$ beräknades påverkansområdet till 278333 m^2 och radien således till 297 m enligt ekvation 3 och 4.

På samma sätt undersöktes en grundvattenbildning på en tredjedel och en tiondel av det antagna ursprungsvärdet av grundvattenbildningen. De nya grundvattenbildningarna gav en påverkansradie på 565 m och 941 m.

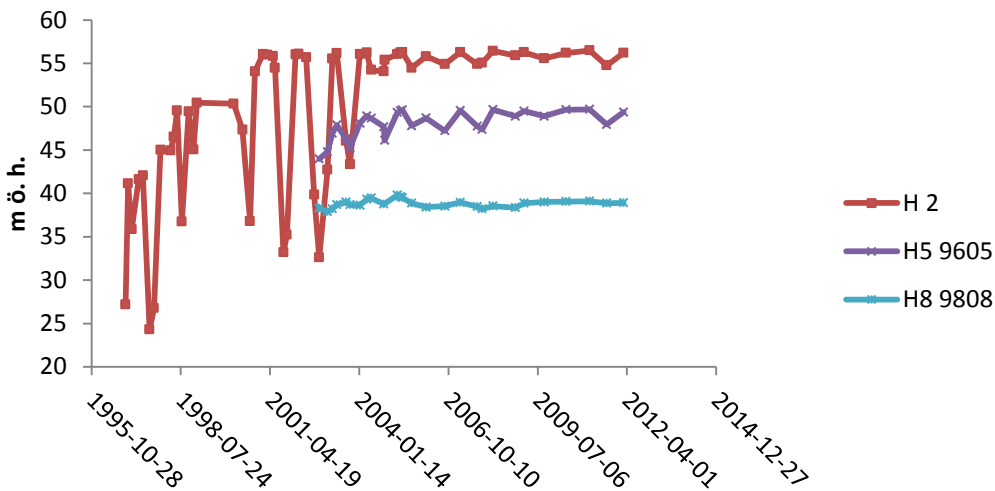
4.2.5 Kristinehamn

I tabell 10 visas grundvattenrörens läge i relation till anläggningen.

Tabell 10. Grundvattenrörens läge i relation till anläggningen.

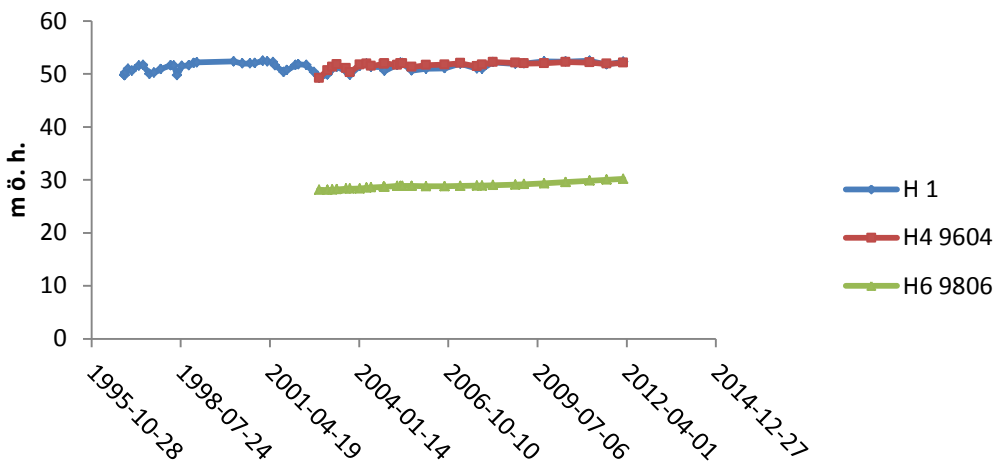
Rör	Avstånd	
	[m]	Vädersträck
H1	10	Väst
H2	10	Norr
H4 9604	30	Syd
H5 9605	40	Öst
H6 9806	60	Väst
H8 9808	40	Norr

Figur 12 illustrerar grundvattenrören norr och öster om anläggningen. De kraftiga svängningarna i början av H 2 kan förklaras av att anläggningen pumpades förr i tiden. Denna pumpning har upphört och anläggningen tillåts att återfyllas på naturlig väg. En svag återhämtning kan urskiljas ur rören H 2 och H5 9605 och anses då vara påverkade. H8 9808 är relativt plan men har stigit med 0,6 m sedan 2002 och bedöms således vara påverkad.



Figur 12. Grundvattenytans nivå i tre grundvattenrör vid Kristinehamn sedan 1996.

I figur 13 visas grundvattenrören söder och väster om anläggningen. En återhämtning kan urskiljas ur samtliga serier och de anses därmed vara påverkade.



Figur 13. Grundvattenytans nivå i tre grundvattenrör vid Kristinehamn sedan 1996.

Sammanfattningsvis anses påverkansavståndet vara större än 40 m norr ut. Större än 60 m väster ut. Större än 40 m öster ut och större än 30 m söder ut.

4.2.5.1 Teoretiskt påverkansavstånd

Under antagande om konstant utpumpning av grundvatten på $Q = 2400 \text{ m}^3/\text{år}$ och en grundvattenbildning på $300 \text{ mm}/\text{år}$ beräknades påverkansområdet till 8000 m^2 och radien således till 50 m enligt ekvation 3 och 4.

På samma sätt undersöktes en grundvattenbildning på en tredjedel och en tiondel av det antagna ursprungsvärdet av grundvattenbildningen. De nya grundvattenbildningarna gav en påverkansradie på 87 m och 160 m .

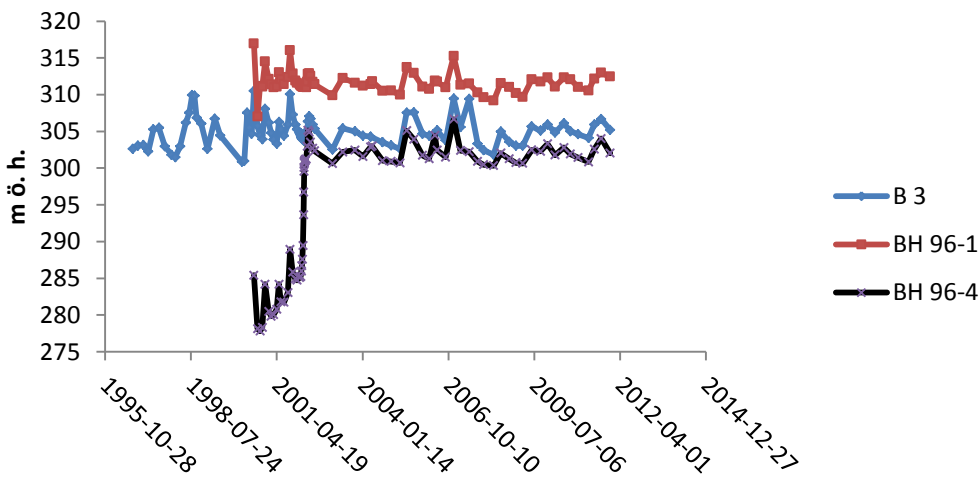
4.2.6 Kälarne

I tabell 11 visas grundvattenrörens läge i relation till anläggningen.

Tabell 11. Grundvattenrörens läge i relation till anläggningen.

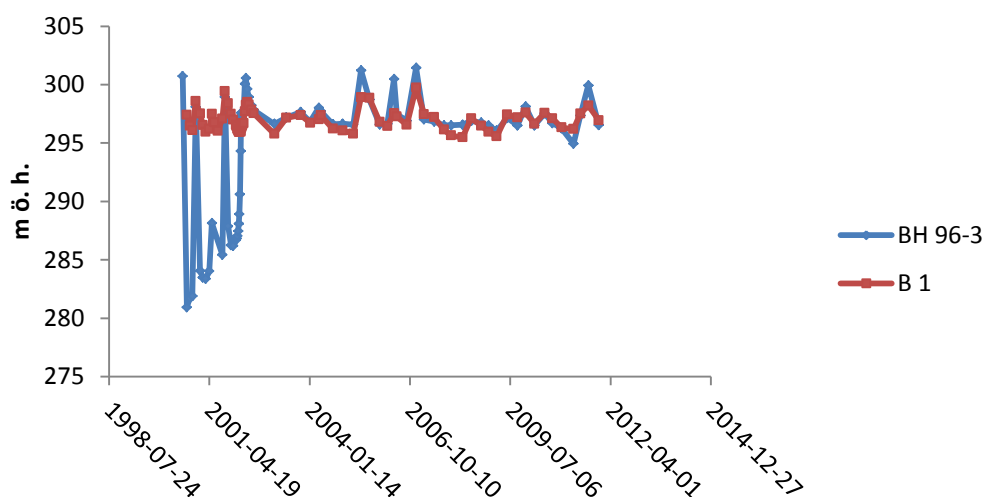
Rör	Avstånd [m]	Vädersträck
B 1	50	Syd
B 3	100	Sydväst
BH 96-1	30	Väst
BH 96-3	60	Sydöst
BH 96-4	30	Sydväst

Anläggningen i Kälarne ligger i sydvästra delen av en bergssluttning. Hydraulisk avledning kopplades in 2002. I Figur 14 kan man se hur grundvattenytan i rör BH 96-4 höjs drastiskt när den hydrauliska avledningen kopplas in vilket tyder på att röret är påverkat. BH 96-1 ligger i en kraftig sluttning och tycks inte vara påverkad. B 3 ligger längre bort än BH 96-4 och följer samma mönster som de andra efter 2002 och bedöms således att vara opåverkad.



Figur 14. Grundvattenytans nivå i tre grundvattenrör vid Kälarne sedan 1996.

I figur 15 visas rören som ligger syd och sydöst om anläggningen. Båda ligger på ungefär samma avstånd från anläggningen. B 1 ligger väldigt centrerat söder om anläggningen och BH-96-3 ligger söder om anläggningens östra del. BH 96-3 ligger närmare bergsryggen än B 1. De kraftiga svängningarna i BH 96-3 mattas efter det att den hydrauliska avledningen träder i kraft och bedöms då att vara påverkad. B 1 påvisar inte samma mönster men ligger mellan BH 96-4 och BH 96-3 som båda är påverkade och kan då tyckas borde vara påverkad.



Figur 15. Grundvattenytans nivå i två grundvattenrör vid Kälarne sedan 2000.

Sammanfattningsvis anses påverkansavståndet vara större än 60 m sydöst om anläggningen och mellan 30 – 100 m sydväst om anläggningen.

4.2.6.1 Teoretiskt påverkansavstånd

Under antagande om konstant utpumpning av grundvatten på $Q = 50000 \text{ m}^3/\text{år}$ och en grundvattenbildning på $375 \text{ mm}/\text{år}$ beräknades påverkansområdet till 133333 m^2 och radien således till 206 m enligt ekvation 3 och 4.

På samma sätt undersöktes en grundvattenbildning på en tredjedel och en tiondel av det antagna ursprungsvärdet av grundvattenbildningen. De nya grundvattenbildningarna gav en påverkansradie på 357 m och 651 m.

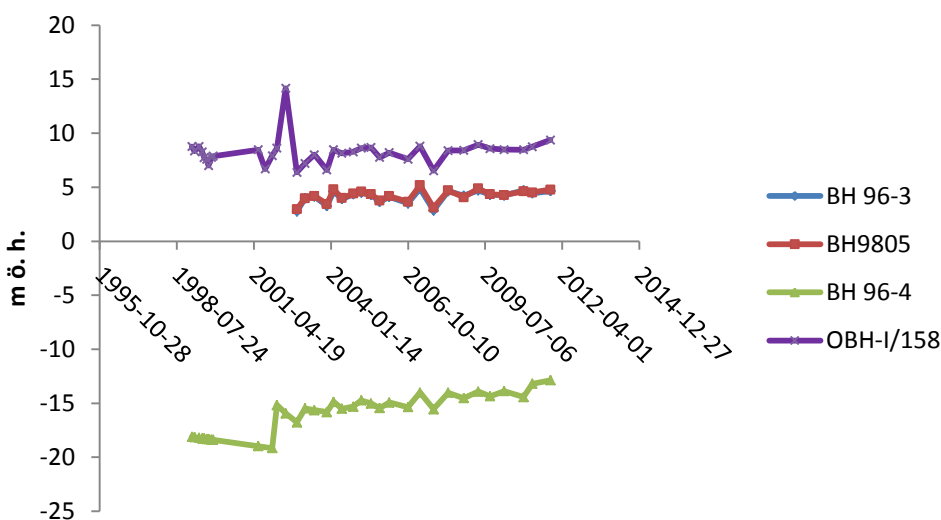
4.2.7 Köping 2

I tabell 12 visas grundvattenrörens läge i relation till anläggningen.

Tabell 12. Grundvattenrörens läge i relation till anläggningen.

Rör	Avstånd [m]	Vädersträck
BH9805	200	Väst
OBH-I/158	45	Norr
BH 96-3	85	Väst
BH 96-4	30	Syd

Köping 2 återfylls naturligt. I figur 16 kan man se att samtliga grundvattenrör påvisar en återhämtning och bedöms således att vara påverkade. Viktigt att påpeka är att Köping 1 ligger ca 400 – 500 m väst om Köping 2 vilket förklarar det stora påverkansavståndet väster ut.



Figur 6. Grundvattenytans nivå i fyra grundvattenrör vid Köping 2 sedan 1999.

4.2.7.1 Teoretiskt påverkansavstånd

Under antagande om konstant utpumpning av grundvatten på $Q = 2750 \text{ m}^3/\text{år}$ och en grundvattenbildning på $225 \text{ mm}/\text{år}$ beräknades påverkansområdet till 12222 m^2 och radien således till 62 m enligt ekvation 3 och 4.

På samma sätt undersöktes en grundvattenbildning på en tredjedel och en tiondel av det antagna ursprungsvärdet av grundvattenbildningen. De nya grundvattenbildningarna gav en påverkansradie på 108 m och 197 m.

4.2.8 Lärbro

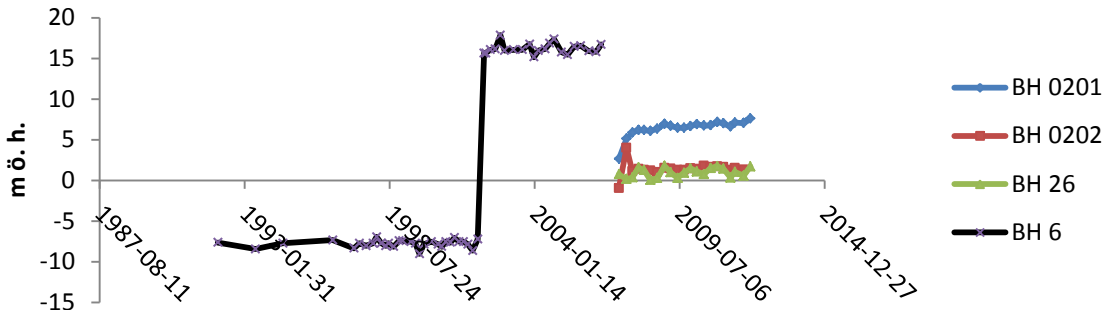
I tabell 13 visas grundvattenrörens läge i relation till anläggningen.

Tabell 13. Grundvattenrörens läge i relation till anläggningen.

Rör	Avstånd	
	[m]	Vädersträck
BH 0201	30	Norr
BH 0202	160	Norr
BH 26	50	Öst
BH 6	60	Öst

Anläggningen i Lärbro ligger ca 100 m väst om Östersjön och en hydraulisk avledning har varit aktiv sedan 2007. Det finns tyvärr inga grundvattenrör på olika avstånd väster om anläggningen. Majoriteten av mätserierna som startades 1991 är dessutom avbrutna 2006.

Figur 17 visar grundvattenrör norr och öster om anläggningen. Om rören är påverkade av anläggningen eller av att Östersjön ligger så nära är svårt att avgöra men min slutsats är att de är påverkade av både anläggningen och Östersjön då berggrunden är kalkrik och således full av sprickor.



Figur 7. Grundvattenytans nivå i fyra grundvattenrör vid Lärbro sedan 1992.

Anläggningen i Lärbro ligger så nära Östersjön att den bedömdes som ointressant när det kommer till beräkningen av det teoretiska påverkansavståndet.

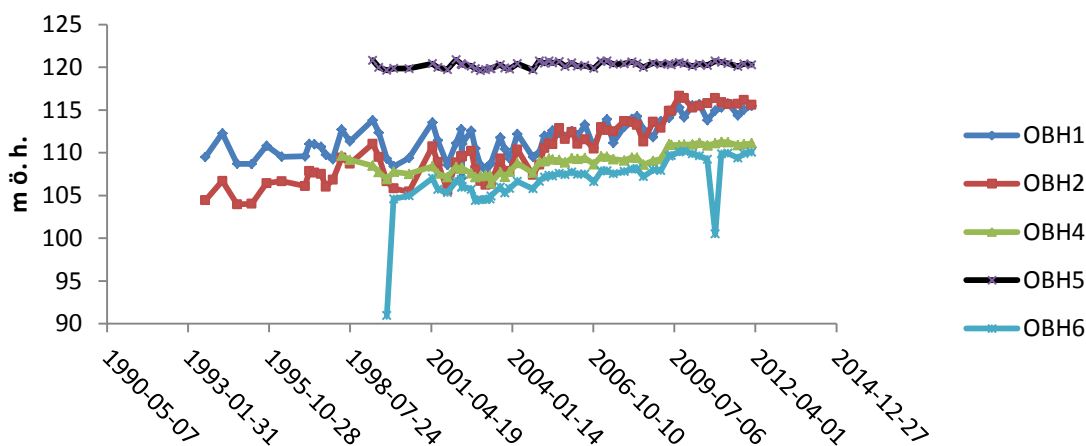
4.2.9 Motala

I tabell 14 visas grundvattenrörens läge i relation till anläggningen.

Tabell 14. Grundvattenrörens läge i relation till anläggningen.

Rör	Avstånd	
	[m]	Vädersträck
OBH1	20	Syd
OBH2	60	Norr
OBH4	20	Syd
OBH5	45	Syd
OBH6	60	Syd

Anläggningen i Motala har haft en hydraulisk avledning inkopplad sedan 2009. Figur 18 visar en tydlig återhämtning i alla rör utom OBH 5, med ett tydligt hopp 2009. OBH 5 ligger i närhet till anläggningens tillfartsramp medan de andra ligger närmare berggrummet.



Figur 8. Grundvattenytans nivå i fem grundvattenrör vid Motala sedan 1993.

Sammanfattningsvis är påverkansavståndet över 60 m norr och syd om anläggningen.

4.2.9.1 Teoretiskt påverkansavstånd

Under antagande om konstant utpumpning av grundvatten på $Q = 5200 \text{ m}^3/\text{år}$ och en grundvattenbildning på $225 \text{ mm}/\text{år}$ beräknades påverkansområdet till 23111 m^2 och radien således till 86 m enligt ekvation 3 och 4.

På samma sätt undersöktes en grundvattenbildning på en tredjedel och en tiondel av det antagna ursprungsvärdet av grundvattenbildningen. De nya grundvattenbildningarna gav en påverkansradie på 149 m och 271 m.

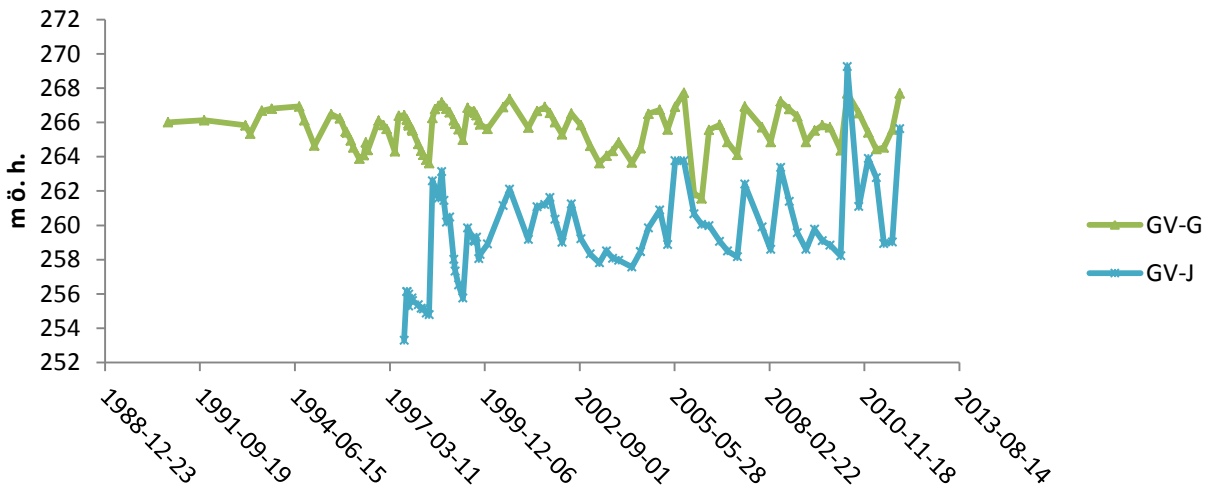
4.2.10 Murjek

I tabell 15 visas grundvattenrörens läge i relation till anläggningen.

Tabell 15. Grundvattenrörens läge i relation till anläggningen.

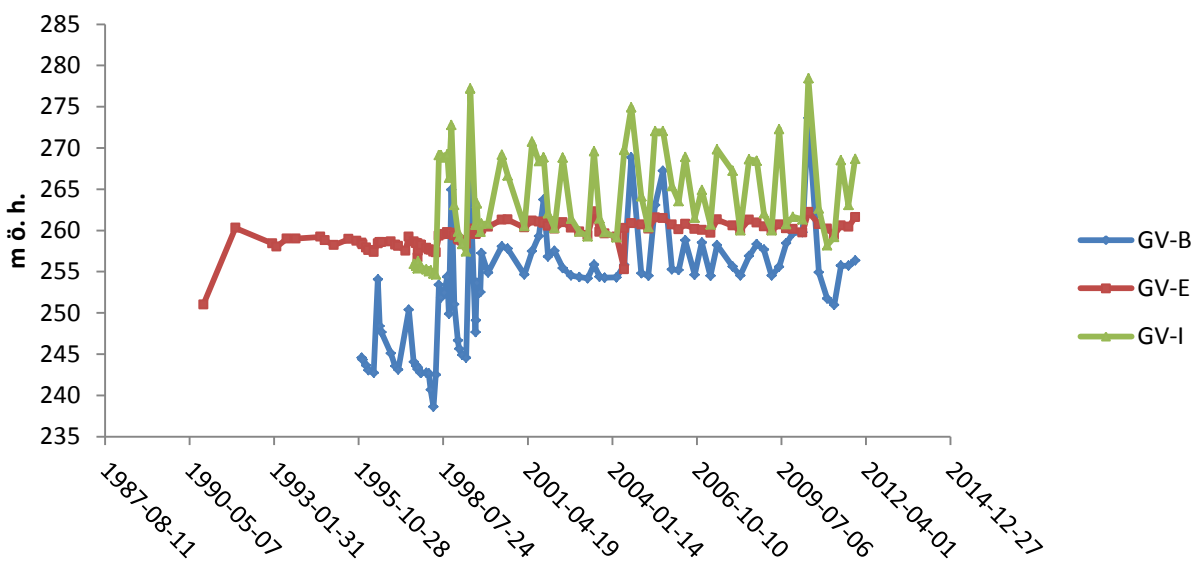
Rör	Avstånd	
	[m]	Vädersträck
GV-B	2-3	Syd
GV-E	90	Norr
GV-G	130	Väst
GV-I	30	Norr
GV-J	100	Väst

Anläggningen ligger i nordvästra delen av en bergsslutning. Hydraulisk avledning kopplades in 1999. Figur 19 visar mätserierna från grundvattenrören som ligger väst om anläggningen. Dessa serier är svårtolkade, båda påvisar ett liknande mönster både innan och efter 1999. GV-J anses påvisa en svag återhämtning trots de stora svängningarna. GV-G anses, med stor osäkerhet, vara opåverkad då ingen direkt återhämtning kan urskiljas ur serien,



Figur 9. Grundvattenytans nivå i två grundvattenrör vid Murjek sedan 1990.

Figur 20 visar mätrören som ligger norr och syd om anläggningen. I GV-B och GV-E kan en tydlig skillnad utläsas efter 1999 då den hydrauliska avledningen trädde i kraft. GV-I fortsätter svänga kraftigt även efter 1999 och anses således vara opåverkad. Detta kan bero på att GV-I ligger längre ner i bergssluttningen.



Figur 10. Grundvattenytans nivå i tre grundvattenrör vid Murjek sedan 1990.

Sammanfattningsvis anses påverkansavståndet vara större än 90 m norr om anläggningen. Mellan 100 – 130 m väst om anläggningen och större än 2-3 m söder om anläggningen.

4.2.10.1 Teoretiskt påverkansavstånd

Under antagande om konstant utpumpning av grundvatten på $Q = 91600 \text{ m}^3/\text{år}$ och en grundvattenbildning på $300 \text{ mm}/\text{år}$ beräknades påverkansområdet till 305333 m^2 och radien således till 312 m enligt ekvation 3 och 4.

På samma sätt undersöktes en grundvattenbildning på en tredjedel och en tiondel av det antagna ursprungsvärdet av grundvattenbildningen. De nya grundvattenbildningarna gav en påverkansradie på 540 m och 986 m .

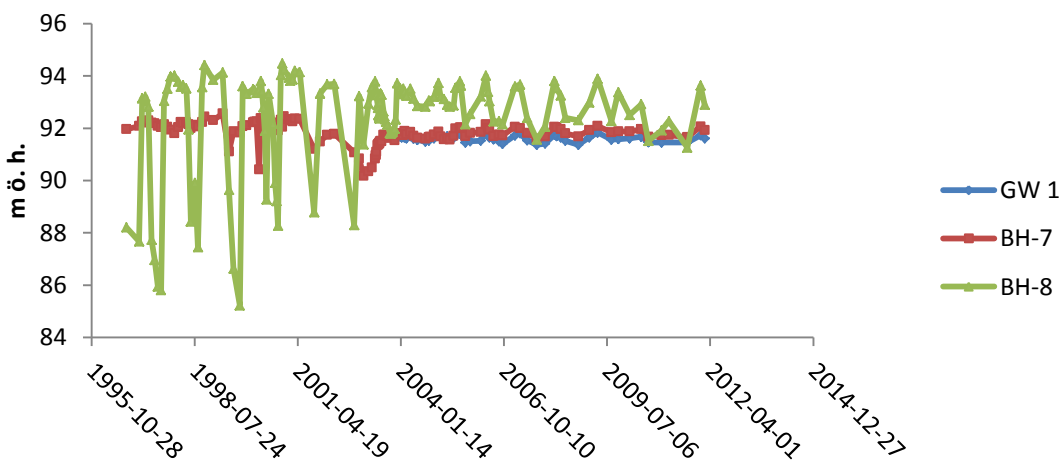
4.2.11 Sala

I tabell 16 visas grundvattenrörens läge i relation till anläggningen.

Tabell 16. Grundvattenrörens läge i relation till anläggningen.

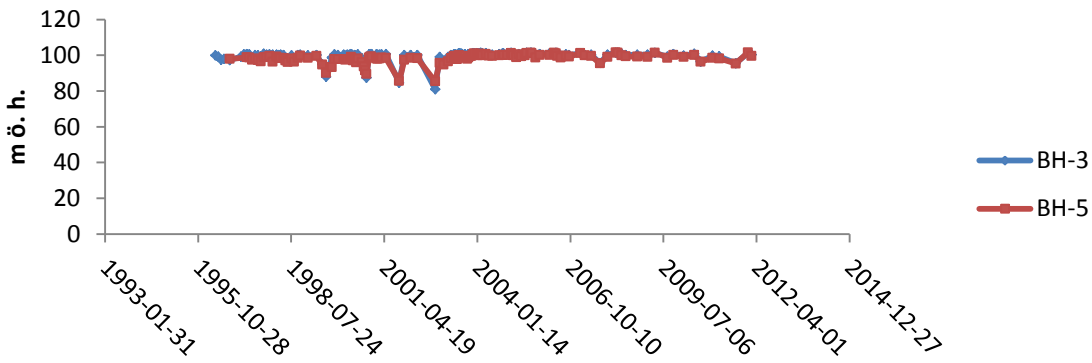
Rör	Avstånd [m]	Vädersträck
GW 1	100	Nordöst
GW 2	100	Öst
BH-3	15	Syd
BH-5	75	Syd
BH-6	45	Öst
BH-7	20	Nordöst
BH-8	100	Norr

Anläggningen i Sala fick hydraulisk avledning 2003. Figur 21 visar grundvattenrören norr om anläggningen. Alla serier påverkas tydligt av den hydrauliska avledningen som träder i kraft 2003 och bedöms vara påverkade.



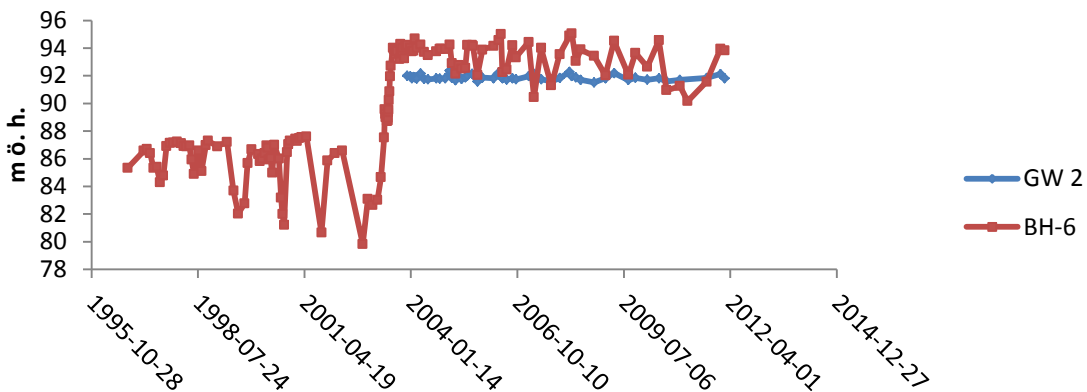
Figur 11. Grundvattenytans nivå i tre grundvattenrör vid Sala sedan 1996.

Figur 22 illustrerar grundvattenrörens syd om anläggningen. Den är svårtolkad men båda serierna tycks stabilisera sig när den hydrauliska avledningen kopplas på och bedöms således vara påverkade.



Figur 22. Grundvattenytans nivå i två grundvattenrör vid Sala sedan 1996.

I figur 23 ses tydligt att BH-6 påverkas av den hydrauliska avledningen. Mätningen av GW 2 inleds efter det att den hydrauliska avledningen kopplats på så det är omöjligt att avgöra om den är påverkad eller ej.



Figur 23. Grundvattenytans nivå i två grundvattenrör vid Sala sedan 1996.

Sammanfattningsvis anses påverkansavståndet norr om anläggningen vara över 100 m. Påverkansavståndet syd om anläggningen bedöms vara större än 75 m och större än 45 m öst om anläggningen.

4.2.11.1 Teoretiskt påverkansavstånd

Under antagande om konstant utpumpning av grundvatten på $Q = 131200 \text{ m}^3/\text{år}$ och en grundvattenbildning på $225 \text{ mm}/\text{år}$ beräknades påverkansområdet till 583111 m^2 och radien således till 431 m enligt ekvation 3 och 4.

På samma sätt undersöktes en grundvattenbildning på en tredjedel och en tiondel av det antagna ursprungsvärdet av grundvattenbildningen. De nya grundvattenbildningarna gav en påverkansradie på 746 m och 1362 m.

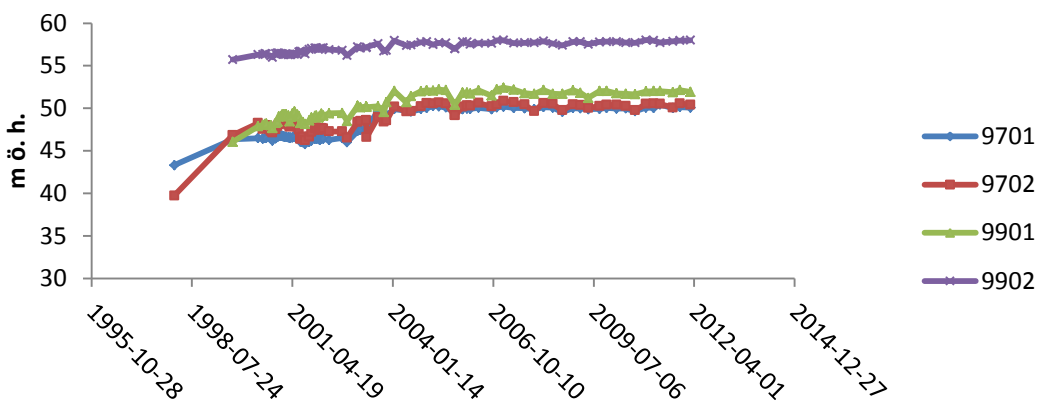
4.2.12 Vänersborg

I tabell 17 visas grundvattenrörens läge i relation till anläggningen.

Tabell 17. Grundvattenrörens läge i relation till anläggningen.

Rör	Avstånd	
	[m]	Vädersträck
9701	65	Väst
9702	15	Sydöst
9901	30	Öst
9902	160	Väst

Figur 24 redovisar samtliga grundvattenrör runt anläggningen i Vänersborg. Den hydrauliska avledningen trädde i kraft 2003. Viktigt att påpeka är att rör 9701 ligger knappt 30 m ifrån tillfartsrampen. Alla mätserier påvisar en återhämtning av grundvattenytan och bedöms vara påverkade.



Figur 12. Grundvattenytans nivå i fyra grundvattenrör vid Vänersborg sedan 1998.

4.2.12.1 Teoretiskt påverkansavstånd

Under antagande om konstant utpumpning av grundvatten på $Q = 7300 \text{ m}^3/\text{år}$ och en grundvattenbildning på $375 \text{ mm}/\text{år}$ beräknades påverkansområdet till 19466 m^2 och radien således till 79 m enligt ekvation 3 och 4.

På samma sätt undersöktes en grundvattenbildning på en tredjedel och en tiondel av det antagna ursprungsvärdet av grundvattenbildningen. De nya grundvattenbildningarna gav en påverkansradie på 136 m och 249 m .

5. Diskussion

I tabell 18 presenteras resultaten från beräkningarna av den teoretiska grundvattenbildningen. I kolumnen r(uppmätt) har det största uppmätta påverkansavståndet summerats. Detta för att det teoretiska påverkansområdet räknats ut med hjälp av ekvationen för arean på en cirkel. I själva verket är aldrig påverkansavståndet lika stor åt alla håll men det är intressant att se hur långt bort bergrummen påverkar sin omgivning som mest. Som nämndes i avsnitt 3.2 Påverkansavstånd är grundvattenbildningen till berg mindre än till morän och en grundvattenbildning på en tredjedel respektive en tiodel av ursprungsvärdet undersöktes. Dessa värden representeras av $r(1/3)$ och $r(1/10)$.

Tabell 18. Sammanställning av påverkan avstånd.

Anläggning	Teoretiska r			
	r [m]	r(1/3) [m]	r(1/10) [m]	r(uppmätt) [m]
Asphyttan	57	98	160	>150
Blädinge	202	350	638	>200
Gånghester	172	299	541	>55
Gällö	297	565	941	>115
Kristinehamn	50	87	160	>60
Kälarne	206	357	651	60 < r < 100
Köping 2	62	108	197	>45
Motala	86	149	271	>60
Murjek	312	540	986	100 < r < 130
Sala	431	746	1362	>100
Vänersborg	79	136	249	>160

Påverkansavståndet är nästan alltid mycket större i en enskild riktning än resterande riktningar sett från bergrummet. I de studerade fallen kan man se att bergrummen påverkar området mindre än 150 m i nästan alla fall, med undantag för ett vädersträck.

I avsnitt 4.1 Bergrum presenterades de lokala sprickförekomsterna. Om dessa jämförs med resultatet av denna teoretiska beräkning ser man tydligt att ju tätare berg, desto bättre överensstämmelse. De beräknade värdena ligger i närheten av vad graferna visar, inga extrema värden fås i dessa fall, till skillnad från t.ex. Salas värden som ligger mellan 400 – 1400 m då graferna visat en påverkan under 100 m. Dock är värdena som är utlästa ur graferna inte ett exakt värde utan ett minimum eller ett maximum. Detta bidrar till osäkerheten i denna metod då det kan visa sig att påverkan är mycket större än vad som kunde utläsas ur graferna. Bergrummet i Asphyttan ligger i vad som beskrivs som tätt berg och dessa beräkningar stämmer väl överens med det som kan läsas ur graferna i avsnitt 4.2.1 Asphyttan. Det samma gäller Gällö som ligger i ett kraftigt uppsprucket berg och beräkningarna ger stora skillnader jämfört med de uppmätta nivåerna. Berget runt Kristinehamn är även det tätt, med undantaget av en större sprickformation, och även här stämmer beräkningarna bra överens med graferna.

Sala är ytterligare ett exempel på mycket uppsprucket berg, och som vi ser på beräkningarna blir utfallet därefter. Stora sprickförekomster kommer leda till ett osäkert värde på Q då det i detta fall är ett årsvärde och stora variationer kan ske från år till år. Ett osäkert värde på det inläckta vattnet kommer således leda till ett osäkert värde på påverkansavståndet. Metoden tycks dock fungera bra när det gäller området med tätt berg men skulle troligtvis även fungera om det inläckta vattnet mättes under en längre period så att ett mer exakt värde kan räknas ut.

Volymen på bergrummet påverkar både det uppmätta och det teoretiska påverkansavståndet. Av de fem största bergrummen visar alla utom ett en uppmätt påverkan på över 100 m. Detsamma gäller för den teoretiska påverkan, fyra av fem bergrum påvisar värden som går mot det extrema. Allra tydligast syns detta i Sala som får teoretiska värden upp till nästan 1400 m påverkan. Omvänt visar de fem minsta bergrummen både en mindre uppmätt och en mindre teoretisk påverkan. Framför allt tycks de teoretiska värdena vara mer stabila men Murjeks värden som nästan når 1000 m påverkan är det stora undantaget. En kombination mellan storleken på anläggningen och antalet bergrum anläggningen består av verkar ge den bästa bilden av hur volymen påverkar uppmätt och teoretisk påverkan. Vänersborg och Kristinehamn är de två minsta anläggningarna, men anläggningarna består av fyra respektive tre bergrum. Om man jämför de teoretiska värdena med de uppmätta så stämmer de väl överens med varandra i båda fallen.

En tydlig tendens som kan urskiljas är att i de anläggningar där bergrummen tillåts att fyllas naturligt (Asphyttan, Gånghester, Kristinehamn och Köping 2) finns ett klart samband mellan de teoretiska och de uppmätta påverkansavstånden.

Tabell 19 visar det tydligaste sambandet som påträffades under denna undersökning. Låga värden på läckvattnet, Q, ger mer jämförbara värden med både det uppmätta och det teoretiska påverkansområdet. Vidare lades sprickbildningen in i tabellen för att visa att mycket sprickor ofta bidrar till stora värden på läckvattnet som i sin tur ger extrema värden på påverkansavståndet, både teoretiskt och uppmätt.

Tabell 19. Samband mellan påverkan av avstånd och läckvatten.

Anläggning	Teoretiska r			r(uppmätt) [m]	Q [m ³]	Sprickbildning
	r [m]	r(1/3) [m]	r(1/10) [m]			
Kristinehamn	50	87	160	>60	2 400	1 större grupp
Köping 2	62	108	197	>200	2 400	Små sprickzoner
Asphyttan	57	98	160	>150	3 000	Tätt berg
Gånghester	172	299	541	>55	4 200	Fler spricksystem
Motala	86	149	271	>60	5 200	Tätt berg
Vänersborg	79	136	249	>160	7 300	Fler spricksystem
Blädinge	202	350	638	>200	38 400	Tätt berg
Kälarne	206	357	651	60 < r < 100	50 000	Diabasgångar
Gällö	297	565	941	>115	83 500	Mycket sprickor
Murjek	312	540	986	100 < r < 130	91 600	-
Sala	431	746	1362	>100	131 200	Diabasgångar

Tyvärr finns det ej tillräckligt med grundvattenrör i en relativt rak linje bort från anläggningarna för att direkt kunna se var påverkansavståndet slutar. I flera fall finns det inga mätpunkter tillräckligt långt borta för att kunna utföra en mer givande analys. Alla tre framräknade påverkansavstånd är större än det som kunde urskiljas ur mätserierna. Dock kan man se att påverkansavståndet tycks stämma bäst överens med en antagen grundvattenbildning som är mindre än den antagna grundvattenbildningen till morän. Det går inte att ge ett exakt svar på hur mycket mindre grundvattenbildningen till berg är än grundvattenbildningen till jord med hjälp av denna undersökning men man kan se att den är som mest en tredjedel av grundvattenbildningen till jord. Det skiljer sig från fall till fall då bland annat lokala sprickformationer finns.

5.2 Prognoser

5.2.1 Enkla läckvattenmodeller

SGU har själva gjort prognoser för uppfyllningstiden av flera bergrum baserade endast på bergrummens totala volym och uppmätt inläckt vattenmängd. Dessa prognoser är väldigt enkla och tar inte hänsyn till några geologiska eller geografiska faktorer. Det kan ändå vara intressant att analysera dessa för att påvisa vilka skillnader det finns mellan olika prognosverktyg. Tabell 1 är en sammanställning av de läckvattenprognoser som SGU har gjort för uppfyllnaden av några av bergrummen. En prognos har gjorts vid de olika datumen som står i tabellen. Tiden i tabellen visar hur lång tid det beräknas ta för bergrummet att fyllas upp från och med prognostillfället. Tabell 20 visar en jämförelse mellan läckvattenprognoserna och verkliga uppfyllnadstider. Ett minus i tabellen indikerar att prognostiden var kortare än den verkliga uppfyllningstiden. T.ex. Gällö, -26 indikerar att det tog 26 månader längre tid för anläggningen att vattenfyllas än vad prognosen förutspådde.

Tabell 20. Jämförelse av observerad uppfyllnadstid och prognoser med enkla läckvattensmodeller som presenterats i tabell 1.

Anläggning	Uppmätt [Månader]	Diff 1 [Månader]	Diff 2 [Månader]	Diff 3 [Månader]
Gällö	36	-26	-26	
Hofors	68	-8	-8	
Kälarne	30	-6	-6	
Köping 1	48	-6	-6	
Lycksele	9	-7	-7	
Lärbro	24	-6	-6	
Lärbro	26	15	-2	
Motala	122	-2	-2	-2
Sala	2	0	0	
Skattkärr	38	-14	-14	
Skogaby	82	-46	-46	
Vad	36	6	6	
Vilshult	80	100	-20	
Vänersborg	12	-10	-10	
Värnamo	85	-19	-19	1
Åtvidaberg	172	44	20	-28

Det man direkt kan konstatera är att denna typ av prognos tycks underskatta uppfyllnadstiden. I 26 fall av 35 säger prognosen att uppfyllnadstiden kommer vara kortare än den i själva verket var. Detta kan bero på att tillrinningen kommer minska ju mer bergrummet fylls upp då den hydrauliska gradienten mot bergrummet minskar. Skillnaden mellan det första och andra prognostillfället är endast cirka fem månader vilket borde medföra att prognosen borde vara i stort sett samma vid de olika tillfällena då inte mycket hinner hända på så kort tid. I 13 av 16 fall stämmer även detta men i några fall är det en skillnad mellan prognoserna. Prognoserna för Vilshult har en skillnad på 10 år. En sådan här stor skillnad kan endast förklaras med att något har blivit fel i någon av beräkningarna då området inte påvisar några unika skillnader från övriga anläggningar (Djurberg och Gunsell 1997) och inga nya rör för grundvattenmätningar har tillkommit under denna period (anläggningens mätprogram 2011)

Trots att anläggningarna i Lärbro endast ligger ca 100 m ifrån varandra påvisar prognoserna olika uppfyllnadstid. Dock är den verkliga uppfyllnadstiden nästan densamma vilket är logiskt då de som tidigare nämnt ligger nära varandra. Skillnaden i prognoser kan vara en följd av berggrunden som består av kalksten. Kalksten är vanligen mer porös än den kristallina berggrunden och är således mer belägen att påvisa lokala skillnader.

5.2.2 Numeriska grundvattenmodeller

Tabell 21 visar vilket program som användes vid prognostiseringen av (vid tidpunkten) framtida grundvattennivåer. Den visar även vilken typ av modell som simulerades av

programmet. I de fall då diskretiseringsmetod (t.ex. finita differens – eller finita elementmetoden) framgick har denna redovisats i tabellen.

Tabell 21. Använt modelleringsprogram, antal dimensioner och modelltyp för respektive anläggning.

Anläggning	Program	Modelltyp
Gånghester	FLOWPATH	Finita differenser (3D)
Jönköping	MODFLOW	Finita differenser (3D)
Vänersborg	SEEP/W	Finita element (2D)
Asphyttan	MODFLOW och MODPATH	Finita differenser (3D)
Kristinehamn	MODFLOW	Finita differenser (3D)
Gällö	WINFLOW och MODFLOW	Finita differenser (2D)
Blädinge	GMS/MODFLOW	Finita differenser (3D)

I Tabell 22 visas resultatet från jämförelsen mellan prognoser och utfall för de numeriska grundvattenmodellerna. För Gånghester har rör 0001 och 9803 valts ut, för Vänersborg har rör 9701 och 9902 valts, för Kristinehamn har H5 9605 och H8 9808 valts ut och för Gällö valdes BH 9902 och BH 95-3. Prognoser har alltid gällt för grundvattennivåer vid uppfyllt bergrum. För Blädinge var en prognos gjord gällande hydraulisk avledning dock valdes pumpning istället och därför har den prognosen ratats ur denna undersökning. För Jönköping valdes istället miljösäkringsmetoden sköljning och ventilering. I tabellen ska Prognos 1 jämföras med Rör 1 och Prognos 2 med Rör 2. Prognos 1 resp. 2 visar vad prognosen trodde att grundvattennivån skulle vara för respektive grundvattenrör. Rör 1 resp. 2 visar det verkliga utfallet.

Tabell 23 illustrerar sambandet mellan avståndet till grundvattenröret och prognosens fel.

Tabell 22. Jämförelse mellan prognoser och uppmätta grundvattennivåer i utvalda rör.

Anläggning	Prognos 1 [m ö h]	Prognos 2 [m ö h]	Rör 1 [m ö h]	Rör 2 [m ö h]
Gånghester	210	215	195	185
Jönköping	-	-	-	-
Vänersborg	50	65	50	58
Asphyttan	-	-	-	-
Kristinehamn	56	54	48	39
Gällö	300	300	295	296
Blädinge	-	-	-	-

Tabell 23. Samband mellan avstånd och fel.

Anläggning	Avstånd rör 1 [m]	Avstånd rör 2 [m]	Fel rör 1 [m ö h]	Fel rör 2 [m ö h]
Gånghester	20	30	15	30
Vänersborg	65	150	0	7
Kristinehamn	40	50	8	15
Gällö	65	115	5	4

Trots att endast fyra prognoser har studerats kan man se att i tre av fyra fall har prognosen ett större fel vid röret som ligger längst bort från anläggningen. Längre bort från anläggningen hinner yttre faktorer påverka grundvattennivån mer. T.ex. är risken för att stöta på lokala sprickformationer större ju längre bort från anläggningen man mäter alternativt modellerar. Med andra ord är det svårare att utföra bra prognoser då påverkan är stor. Alla prognoser påvisar flera meters fel. Endast Vänersborgs prognos har prickat rätt, dock visar analysen av påverkansområdet i avsnitt 1 att grundvattennivån fortfarande stiger i det röret så om några år kan det visa sig att prognosen är felaktig. Det kan dock observeras att de två prognoser med bäst anpassning till verkligheten båda är baserade på tvådimensionella modeller.

Sammanfattningsvis kan det sägas att prognoserna som är gjorda i samband med avvecklingen av Statens oljelager inte lyckats förutspå framtida grundvattenförhållanden. Vad detta beror på är svårt att säga utan att gå in i respektive modell och studera dem i detalj.

6. Slutsatser

Det finns omfattande information angående bergrummen och deras omgivning då en MKB är utförd för alla bergrum. Grundvattennivåer, jordart, bergtyp, sprickformationer och dylik information finns för alla områden. Det finns även information om bergrummens volym, utformning och läge i relation till markytan.

Det som har påverkat områdena är faktorer som bergrummens storlek och lokala sprickförekomster och påverkan är väldigt skild från fall till fall, allt från påverkansavstånd på 50 m till 500 m.

I de bergrum som valdes i denna studie fanns det relativt lite information angående prognoserna och prognosverktygen. Någon utförlig beskrivning av prognosen finns sällan att tillgå utan bara en kortfattad sammanfattning av prognosen och dess utfall presenteras. Prognoserna som är utförda i miljökonsekvensbeskrivningarna är, precis som resten av miljökonsekvensbeskrivningarna, fokuserade på vilka direkta konsekvenser föroreningar har eller skulle ha på omgivningen mer än på hur bergrummen i sig påverkar grundvattnet. Av de 15 undersökta hade 8 någon form av information om prognosmetoden och 4 hade tillräcklig information för en jämförelse. Modelltyp och använt program är den vanligaste informationen och Modflow är det vanligast använda programmet. Det måste dock understrykas att informationen som denna rapport är baserad på är tagen ur SGUs arkiv. Det kan mycket väl

finnas mer information om modellerna hos företaget som utfört miljökonsekvensbeskrivningen.

Metoden som är testad i denna undersökning är alltför enkel och ger alltför spridda resultat för att kunna tillämpas i framtiden. Denna studie visar dock att mängden läckvatten tycks vara nyckeln för att på ett effektivt sätt kunna förutspå påverkan. Värdena på läckvattnet i denna undersökning är årsmedelvärden och ger i vissa fall höga värden som i sin tur ger extrema påverkansavstånd. Ett värde framräknat av flera års mätningar skulle ge en mer trovärdig bild av hur mycket vatten som läcker in i bergrummen.

Avvecklingen av statens oljelager har bidragit med en omfattande kartläggning av geologi och grundvattenförhållanden i relativt stora delar av Sverige. Även om den undersökta metoden inte kan tillämpas som den ser ut nu i framtiden har rapporten bidragit till insamling och sammanställning av information som med största sannolikhet kommer vara användbar i framtiden. Framtida test av metoden med nya och mer säkra värden på mängden läckvatten bör visa om den är utvecklingsbar eller om det inte blir säkrare än så här.

7. Referenser

Angivna diarienummer avser Statens oljelagers arkiv för avveckling av oljeberedskapslager. Arkivet finns att tillgå hos SGU i Stockholm.

Anderberg, J., (2005). *Strategi för avveckling av bergrumsanläggningar*. SGU. Dnr 9073-1177/2001.

Arnbom, J-O., (2002). *Anläggningspärm – Köping 2 – anläggning 158*. Terratema AB. Dnr 9045-218/96.

Axelsson, C-L & Follin, S., (2000). *Grundvattensänkning och dess effekter vid byggnation och drift av ett djupförvar*. SKB. R-00-21. S. 25.

Berggren, B., (1996). *Study on environmental impact from oil stockpile caverns in rock. Installation 143, Blädinge*. KM. Dnr 9052-271/95.

Bäck, P-E., (1998). *Miljökonsekvensbeskrivning till vattendomansökan – avseende bortledande av vatten från bergrumsanläggningen vid Gällö*. Terratema AB. Dnr 9032-019/97.

Djurberg, H & Gunsell, C., (1997) *Efterbehandling i samband med avveckling av bergrumsanläggningar – Vilshult*. VBB VIAK. Dnr 9059-406/96.

Ejdeling, G., (1999). *Statens oljelager. Geomiljön i berg, Vänersborg*. VBB VIAK. Dnr 9047-302/97.

Granath, Å & Ludvig, B., (1996). *Geomiljöundersökning av bergrum, etapp II, Motala – Områdesbeskrivning och hydrogeologi*. SGI. 9053-209/96.

Grip, H & Rodhe, A., (2003). *Vattnets väg från regn till bäck*. Uppsala: Hallgren & Fallgren Studieförlag AB.

Jonasson, S., 1998. *Kristinehamn. SOL – Geomiljön i berg, etapp 2*. Scandiaconsult bygg och mark AB. Dnr 9055-212/96.

Kemakta Konsult AB & AB Jacobson & Wildmark., (1997). *Geomiljön i berg Etapp 2. Miljöriskbedömning och förslag till efterbehandlingsåtgärder. Anläggningen i Sala*. Dnr 9039-222/96.

Landin, O., (2002-2). *SGU ANL. 143 – BLÄDINGE. AVVECKLING. Förutsättningar för Hydraulisk Avledning. Slutrapport*. J&W Energi och Miljö. Kemakta Konsult AB. Dnr 9057-596/2001.

Landin, O., (2002-1). *SGU ANL.3791 – JÖNKÖPING. MILJÖKONSEKVENSBESKRIVNING*. J & W Energi och Miljö. Dnr 9049-168/2001.

Lantmäteriet. (2012). http://www.lantmateriet.se/templates/LMV_Page.aspx?id=10596

Lindstrand, O & Palmgren, S., (1998). *Statens oljelager. GEOMILJÖN I BERG, ETAPP 3 BÅLSTA*. VBB VIAK. Dnr 9044-301/97.

Naturvårdsverket., (2003). *BRANSCHFAKTA: Avveckling av oljelager i oinklädda bergrum*. 91-620-8157-8. Utgåva 2. S: 3,4,5,10,11,12.

Rodhe, A., Lindström, G., Dahné, J., (2008). *Grundvattenbildning i svenska typjordar - metodutveckling av en vattenbalansmodell*. SGU.

Rodhe, A., Lindström, G., Rosberg, J., Pers, C., (2006). *Grundvattenbildning i svenska typjordar – översiktlig beräkning med en vattenbalansmodell*. SGU.

Sandstedt, H & von Brömssen, M., (2001). *SGU. ANL. 146 KRISTINEHAMN. MILJÖRISKBEDÖMNING. NATURLIG ÅTERRINNING*. Scandiaconsult Sverige AB . Dnr 9055-720/98.

Sandstedt, H & von Brömssen, M., (2003). *Översiktlig teknisk beskrivning. SGU- anläggning 141/165, Lärbro*. Scandiaconsult Sverige AB. Dnr 9065-0645/2004.

Stiftelsen Bergtektisk Forskning. (2013). http://www.befoonline.org/web/En_artikelsida.aspx

Sundberg, J., Back P-E., Tabermann S-O., (1996). *Statens Oljelager – Geomiljön i berg. Redovisning av undersökningar i Gällö*. Terratema AB. Dnr 9052-269/95.

Svedberg, B & von Brömssen, M., (2000). *SGU – STATENS OLJELAGER. ANL.153 GÅNGHESTER. MILJÖRISKBEDÖMNING. NATURLIG ÅTERRINNING*. Scandiaconsult Sverige AB. Dnr 9054-1084/99.

Svedberg, B & von Brömssen, M., (2001). *SGU. ANL. 157 ASPHYTTAN. MILJÖRISKBEDÖMNING. NATURLIG ÅTERRINNING*. Scandiaconsult Sverige AB. Dnr 9050-1085/99.

VBB VIAK., (1998). *SGU – STATENS OLJELAGER. ANL. 156 – SKATTKÄRR. AVVECKLING. MILJÖKENSEKVENSBESKRIVNING*. VBB VIAK. Dnr 9051-318/97.

VBB VIAK., (2000). *SGU – STATENS OLJELAGER ANL. 162 – KÄLARNE. AVVECKLING. ÖVERSIKTLIG TEKNISK BESKRIVNING. HANDLING 13.3*. VBB VIAK. Dnr 9035-721/98.

Vistam, C., (1996). *GEOMILJÖN I BERG ETAPP 2. MURJEK ANL 164. KM*. Dnr 9037-215/96.

Werner, K., Onkenhout, J., Löv, Å., (2012). *Effekter på grund- och ytvattenförhållanden vid grundvattenbortledning från berganläggningar. Steg 1 - Förstudie*. ISSN 1104 – 1773.

7. Bilagor

7.1 Bilaga 1

Pump: Inläckande vatten pumpas ut i bestämd hastighet/mängd tills vattenkvaliteten uppnår god.

Anläggning-Nr	Byggt år	Antal bergrum	Total volym	Produkt bergrum	Utlastad år.mån	Inläckn.dygn medel / total år	Lvp stopp år.mån
Asphyttan - 157	-74	1	57 000	Diesel	95.11	8,2/3 000	99.11
Blädinge - 143	-66	6	73 000	Diesel	95.03	105/38 400	09.05
Bålsta - 159	-76	1	121 000	Diesel	97.07	8/2 900	99.10
Gånghester - 153	76	1	50 000	Diesel	96.07	11,5/4 200	98.04
Gällö - 148	-69	6	70 000	Blyad bensin, Diesel	93.04	226/83 500	99.11
Hofors - 160	-74	1	54 000	Diesel	95.11	28/10 480	96.10
Junsele - 163	-75	3	74 000	Blyad bensin, Diesel	95.06	75/27 300	96.10
Kristinehamn - 146	-68	3	37 000	Blyad bensin	96.09	6,5/2 400	97.11
Kälarne - 162	-73	1	115 000	Diesel	96.05	130/50 000	99.09
Köping 1 - 147	-69	4	35 000	Blyad bensin, Diesel	94.10	31/11 400	98.
Köping 2 - 158	-76	1	130 000	Diesel	95.08	7,5/2 750	
Ludvika - 3792	54-56	3	170 000	Diesel	96.11	22/8 000	97.06
Lycksele - 149	-66	5	73 000	Blyad bensin, Diesel	93.05	120/43 400	00.07
Lärbro - 141	-67	3	14 000	Blyfri bensin	97.05	56/20 300	Pump
Lärbro - 165	-76	3	40 000	Diesel	97.05		00.05
Motala - 154	-72	1	48 000	Diesel	95.10	14/5 200	98.03
Murjek - 164	-74	1	55 000	Diesel	96.02	254/91 600	99.07
Otterbäcken D - 155	-76	1	114 000	Diesel	98.09	45/16 500	00.06
Otterbäcken G - 3902	-77	3	130 000	Gasol	03.01	14/5 200	99.06
Pilgrimstad	-73	4	43 000	Flygbränsle. Bensin	96.02		Pump
Ramsjö - 161	-73	1	57 000	Diesel	95.06	2,1/790	96.12
Sala - 3908	-78	4	120 000	Blyfri bensin	96.09	360/131 200	Pump
Skattkärr - 156	-76	1	57 000	Diesel	96.03	66/24 000	99.11
Skogaby - 152	-84	3	133 000	Blyad bensin, Diesel	94.05	75/27 400	97.11
Vad - 3801	-68	4	27 000	Flygbränsle	82.06	20/7 300	97.05
Vetlanda - 151	-73	1	112 000	Diesel	94.07	17,5/6 400	98.09
Vilshult - 150	-73	1	55 000	Diesel	94.06	20/7 600	97.02
Vänersborg - 3794	-65	4	12 000	Diesel	96.11	20/7 300	Pump
Värnamo - 144	-68	4	53 000	Blyad bensin, Diesel	93.11	27/9 800	01.03
Åtvidaberg - 140	-68	3	46 000	Diesel	96.09	6,7/2 450	98.10
						Drifttid	

Anläggning-Nr	2000-08-16 Tid vatten-fylln	2000-08-16 Vatten-fylld år	2001-01-19 Tid vatten-fylln	2001-01-19 Vatten-fylld år	2007-09-26 Tid vatten-fylln	2007-09-26 Vatten-fylld år	2012-03-21 Tid vatten-fylln	2012-03-21 Vatten-fylld år
Asphyttan - 157	12 år	2012	20 år	2020	15 år	2015	15 år	2015
Blädinge - 143	2 mån	Pump		Pump	Pump			
Bålsta - 159	50 år	2050	50 år	2050+	50 år	2050+	38 år	2038
Gånghester - 153	12 år	2010	12 år	2010	15 år	2013	19 år	2017
Gällö - 148	10 mån	2001	10 mån	2001				
Hofors - 160	5 år	2002	5 år	2002				
Junsele - 163								
Kristinehamn - 146	15 år	ev 2013	15 år	2013+	18 år	2016+	26 år	2024
Kälarne - 162	2 år	2001	2 år	2001				
Köping 1 - 147	3,5 år	2001	3,5 år	2001				
Köping 2 - 158	30 år		30 år	2030+	34 år	2034	34 år	2034
Ludvika - 3792	2 mån	2001	2 mån	2001	Pump			2020
Lycksele - 149	2 mån	2001	2 mån	2001				
Lärbro - 141	1,5 år	2004	1,5 år	Pump				
Lärbro - 165	3,5 år	2004	2 år	2002 - 05				
Motala - 154	10 år	2008	10 år	2008	10 år	2008		
Murjek - 164								
Otterbäcken D - 155	7 år	2008	7 år	2008	10 år	2010	15 år	2015
Otterbäcken G - 3902	25 år	2025	25 år	2025	Forcerat	2004		
Pilgrimstad		Pump	2 mån		Forcerat	2008		
Ramsjö - 161	80 år	2080	80 år	2080	80 år	2080	80 år	2080
Sala - 3908	2 mån	2002	2 mån	2002				
Skattkärr - 156	2 år	2001	2 år	2001				
Skogaby - 152	3 år	2001	3 år	2000				
Vad - 3801	3,5 år	2002	3,5 år	2000 01				
Vetlanda - 151	18 år	ev 2016	18 år	2016	18 år	2016	20 år	2018
Vilshult - 150	15 år	2012	5 år	2001 - 02				
Vänersborg - 3794	2 mån	2002	2 mån	2002				
Värnamo - 144	5,5 år	2006	5,5 år	2006	7 år	2008		
Åtvidaberg - 140	18 år	2016	16 år	2014	12 år	2010		
PROGNOS								

7.2 Bilaga 2

