

Jämförelse av beräknad och verklig grundvattensänkning vid vägportar

Ida Franklin

Referat

Jämförelse av beräknad och verklig grundvattensänkning vid vägportar

Ida Franklin

Detta examensarbete är utfört på Vägverket Konsult i Karlstad. Syftet med arbetet är att med några exempel undersöka hur väl den beräknade permanenta grundvattensänkning överensstämmer med den verkliga grundvattensänkning som görs vid byggen av vägportar. Arbetet utfördes genom att under 6 månader mäta grundvattennivåerna vid tre vägportar. De undersökta portarna är en väg – järnvägport i Ölme, en gång- och cykelväg – vägport i Lidköping och en väg – järnvägport i Ulvåker.

I Ölme framkom att den permanenta grundvattensänkning har ett större influensområde än den beräknade. Differensen uppgick som mest till 30m vilket motsvarar en avvikelse på ca 80 %.

I Lidköping överensstämmer beräkningen av influensradierna väl med de uppmätta, medan grundvattennivån som beräkningarna gjordes från ligger drygt en meter för lågt.

I Ulvåker är den uppmätta avsänkning påverkad av yttre faktorer och därför kan inga slutsatser dras.

Vid grundvattensänkningar är det viktigt att den opåverkade grundvattennivån är känd, att brunnsradien sätts till ett tal mindre än 0,5 meter och att bestämningen av konduktiviteten är extra noga vid slutet akvifer. När grundvattennivåerna ska mätas bör avstånd och höjdnivå på grundvattenrören bestämmas noga, mätningarna utföras kontinuerligt under en längre tid och eventuell tillsats av frostskydd i grundvattenrören tänkas igenom.

Nyckelord: Grundvattensänkning, vägport, Thurner, Thiem, akvifer

Abstract

Comparison between actual and calculated drawdown of the groundwater table at road bridges.

Ida Franklin

Present master of science thesis has been carried out at the Swedish Road Administration consulting services (Vägverket Konsult) in Karlstad. The purpose of the study is to investigate how well the calculated drawdown of the groundwater table predicts the actual drawdown when the road and railway gates at the studied sites are built. For this purpose the groundwater levels at the three bridges were measured during 6 months. The bridges in question are two railway bridges situated in Ölme and Ulvåker and one road bridge crossing a pedestrian and cycling path in Lidköping.

In Ölme the calculated area of influence was smaller than the measured one. It differed up to 30 meters, i.e. 80 %.

In Lidköping the calculated area of influence agreed well with the measured one, but the groundwater level that the calculations were made from was more than one meter too low.

In Ulvåker the measured groundwater levels were influenced by other factors and no conclusions could be drawn.

When calculating how the groundwater level is affected from road and railway bridge constructions it is important to make sure to measure the groundwater level before the construction is made so that the unaffected level is known. Moreover the radius of the well should be set to a value less than 0.5 meters. It is also important that the conductivity is investigated thoroughly especially for confined aquifers. When measuring groundwater levels the examiner must make sure to plan the distances and depths of the piezometer wells, when to perform the measurements and how to protect the water in the wells from freezing.

Keywords: drawdown of groundwater table, road bridges, Thurner, Thiem, aquifer

Department of earth science
Uppsala University
Villa vägen 16
SE-752 36 Uppsala

ISSN 1401-5765

FÖRORD

Det här examensarbetet initierades av Björn Hedberg, geotekniker vid Vägverket Konsult i Karlstad. Examensarbetet ligger inom civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet och ämnesgranskare är Kennet Axelsson och examinator Allan Rodhe.

Arbetet har innefattat en del teori men också en stor praktisk del vilket har varit utmanande men otroligt roligt. Jag vill rikta ett stort tack till alla som varit inblandade i projektet speciellt min handledare Björn Hedberg som kom med idén och som alltid tagit sig tid och entusiastiskt diskuterat och svarat på frågor. Jag har verkligen lärt mig mycket, inte bara om grundvattensänkningar utan även om geoteknik och byggande i stort.

Jag vill även tacka Anders Holmstrand som alltid lyckats ordna fram verktyg och materiel och som varit bollplank för mer eller mindre lyckade idéer och praktiska lösningar. Alf Olsson har varit till stor hjälp i fält med sin styrka och kontrollerade hantering av slägga och tröga kopplingar. Stort tack också till Vägverket Konsults kontor i Karlstad för tillgång till arbetsrum, omtänksamma kollegor och riktigt gott kaffe.

Slutligen vill jag även tacka familjen som klarat av att ha mig boende hemma under den här tiden. Och sist, men inte minst, en stor kram till Björn Schröder för allt stöd och all (om än något våldsamt) hjälp i fält.

Karlstad, april 2005

Ida Franklin

1 INLEDNING	1
2 BAKGRUND	3
2.1 JORDTYPER.....	3
2.2 GRUNDVATTENSÄNKNING.....	4
2.3 UNDERSÖKTA PORTAR	5
2.3.1 Ölme.....	6
2.3.2 Lidköping.....	7
2.3.3 Ulvåker.....	8
3 GRUNDVATTENSTRÖMNING	9
3.1 AKVIFERER OCH GRUNDVATTENMAGASIN.....	10
3.2 HYDRAULISKA PARAMETRAR.....	10
3.2.1 Darcys lag	11
3.2.2 Tre vattenhastigheter.....	11
3.2.3 Flödesekvationen i en homogen, isotrop tvådimensionell akvifer	12
4 BERÄKNING AV AVSÄNKNINGENS UTBREDNING	15
4.1 FÖRENKLAD BERÄKNINGAR	15
4.1.1 Stationära och transienta förhållanden	15
4.1.2 Thurners ekvation	15
4.2 SLUTEN AKVIFER	15
4.2.1 Thiems brunnsekvation	15
4.3 ÖPPEN AKVIFER.....	16
4.3.1 Thiem-Dupuits ekvation	17
4.4 BERÄKNAD GRUNDVATTENSÄNKNING OCH PÅVERKAT OMRÅDE.....	17
4.4.1 Markens vattenförande egenskaper.....	17
4.4.2 Ölme.....	17
4.4.3 Lidköping.....	18
4.4.4 Ulvåker.....	18
5 ATT MÄTA GRUNDVATTENYTANS NIVÅ	19
5.1 GEOTEKNISK UNDERSÖKNING.....	19
5.2 OBSERVATIONER MED GRUNDVATTENRÖR.....	19
5.2.1 Inledning	19
5.2.2 Metod för installation av grundvattenrör	19
5.2.3 Mätning av vattennivån i grundvattenrör	20
5.2.4 Mäta grundvattennivåer vintertid.....	21
5.3 UTPLACERING AV GRUNDVATTENRÖR	22
5.3.1 Ölme.....	22
5.3.2 Lidköping.....	23
5.3.3 Ulvåker.....	23
5.4 UPPMÄTTA GRUNDVATTENNIVÅER	24

5.5 BERÄKNADE GRUNDVATTENNIVÅER	24
5.6 ATT JÄMFÖRA UPPMÄTT GRUNDVATTENNIVÅ MED BERÄKNAD	25
6 ANALYS AV UPPMÄTTA OCH BERÄKNADE GRUNDVATTENNIVÅER.....	27
6.1 ÖLME	27
6.1.1 Uppmätta värden	27
6.1.2 Ölme östra sidan	28
6.1.3 Ölme västra sidan.....	31
6.2 LIDKÖPING.....	33
6.3 ULVÅKER	37
7 ANALYS AV VARIATION I BERÄKNINGSPARAMETRAR	41
7.1 VARIATION AV KONDUKTIVITET.....	41
7.2 VARIATION AV MAXIMAL AVSÄNKNINGSNIVÅ	41
7.3 VARIATION AV BRUNNSRADIE.....	42
8 DISKUSSION.....	43
8.1 BERÄKNA GRUNDVATTENSÄNKNING.....	43
8.2 MÄTA GRUNDVATTENYTAN.....	43
8.3 JÄMFÖRELSE	44
9 SLUTSATSER	45
BILAGOR.....	I
A. HÄRLEDNING AV THIEM OCH THIEM-DUPOINTS EKVATION	I
B. UPPMÄTTA GRUNDVATTENNIVÅER.....	V

1 INLEDNING

Vid korsning mellan vägar eller väg och järnväg väljs nästan alltid ett utförande med planfri korsning av trafiksäkerhets- och framkomlighets skull. Även i många andra fall, t ex vid korsande gång- och cykelväg, utförs planfria korsningar. Det är ofta svårt att lyfta den övre vägen, speciellt vid korsning med järnväg. Detta leder till att vägporten och den undre vägen behöver grävas ned vilket i sin tur resulterar i djupa permanenta schakt.

Då grundvattenytan ofta ligger nära markytan innebär de djupa schakten i många fall att grundvattenytan behöver sänkas permanent. En sänkning kan, t ex om grunden utgörs av lera, orsaka sättningar i marken kring vägporten och i den korsande vägen/järnvägen. En annan konsekvens kan bli att grävda brunnar i närheten påverkas. Åtgärder för att undvika detta är ofta kostsamma. För att kunna optimera åtgärderna görs beräkningar på hur stor avsänkningen kommer att bli och vilken utbredning avsänkningstratten får. Beräkningarna utförs med Thiems ekvationer (Carlsson & Gustafsons, 1991) och Turners ekvation för maximal influensradie (Turner, 1967). Det är dock svårt att veta noggrannheten i beräkningarna då man är tvungen att göra flera antaganden.

Syftet med det här examensarbetet är att jämföra utsträckningen av den beräknade avsänkningen med den verkliga permanenta grundvattensänkningen, samt att försöka dra slutsatser om var osäkerheter i beräkningar ligger och hur beräkningarna ska göras för att erhålla rimliga resultat.

Undersökningarna görs vid tre portar som är projekterade av Vägverket Konsult i Karlstad. Två av portarna är väg som korsar järnväg och den tredje är gång- och cykelväg som korsar väg. Portarna är byggda under perioden 1994-2001, vilket betyder att de varit i bruk några år och därmed kan grundvattensänkningen ses som permanent.

2 BAKGRUND

För att åstadkomma planfri korsning mellan vägar eller mellan väg och järnväg, byggs ofta vägportar. När det inte går att lyfta den övre vägen måste vägporten och den undre vägen grävas ner, vilket resulterar i djupa schakt. Sker schaktningen under grundvattenytans nivå krävs vanligen att grundvattnet sänks innan byggandet startar. Portens djupa läge leder därför i många fall till att grundvattenytan måste sänkas permanent. Hur stort område som kommer påverkas av avsänkningen beror på de omgivande jordlagrens uppbyggnad, vattenledande förmåga och tillförsel av grundvatten.

2.1 JORDTYPER

Med avseende på jordens hållfasthetsegenskaper kan den klassificeras i tre grupper, se Figur 2.1. Jordar i samma grupp har liknade egenskaper och uppträder därför på ett likartat sätt då de utsätts för yttre påverkan. Följande tre huvudgrupper finns:

Kohesionsjord

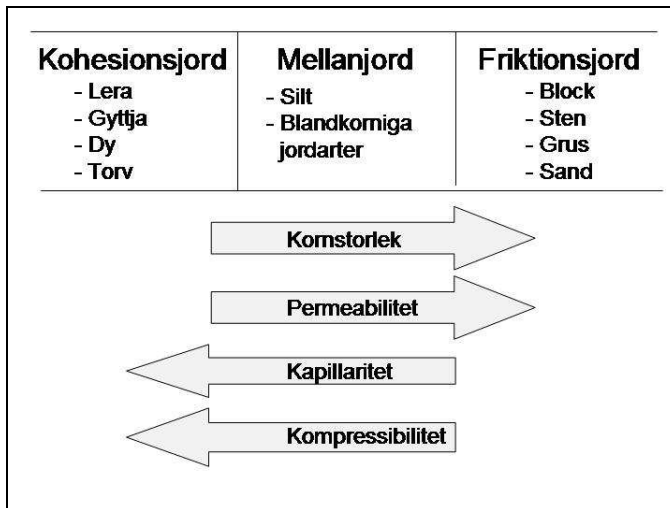
Kohesionsjordar utgörs av den finkorniga mineraljordarten lera och de organiska jordarterna gyttja, dy och torv. Dessa har låg permeabilitet och en skjuvhållfasthet som förutom av friktion även byggs upp av kohesion mellan partiklarna. Kohesionen i mineraljorden byggs upp av små partiklar (<0,06 mm) som attraheras till varandra genom kornens elektriska ytaktivitet, medan kohesionen i de organiska jordarterna beror av de organiska beståndsdelarna (Svensson, 2001). Kohesionen ger jorden förmågan att hålla samman utan ett omgivande tryck och då partiklar fäster vid varandra bildas aggregatstrukturer i marken.

Mellanjord

Mellanjordar utgörs av fraktionen silt och de blandkorniga jordarterna, vilka har en finjordshalt (partiklar < 0,06 mm) mellan 15 och 40 % (Karlsson & Hansbo, 1984). Hållfasthetsegenskaperna är ett mellanting mellan friktions- och kohesionsjordar, permeabiliteten är ofta låg och skjuvhållfastheten byggs upp av både friktion och kohesion.

Friktionsjord

Friktionsjordar utgörs av fraktionerna block, sten, grus och sand. De har hög genomsläpplighet (permeabilitet) och en skjuvhållfasthet som enbart utgörs av friktion mellan partiklarna. En friktionsjord har därför ingen förmåga att hålla samman utan ett omgivande tryck. (Axelsson, 2000)



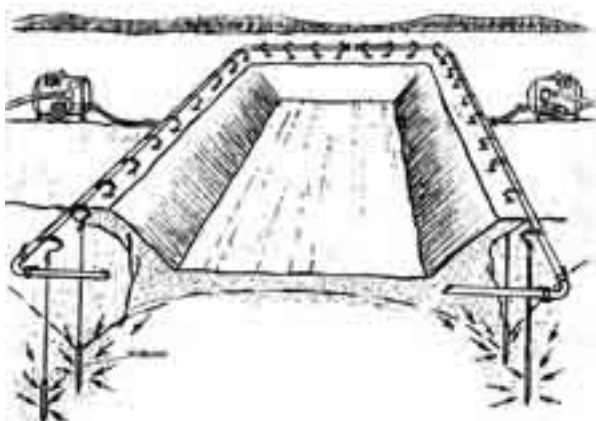
Figur 2.1 Jord klassificeras i tre grupper med avseende på hållfasthetsegenskaper. Pilarna beskriver de egenskaper som skiljer grupperna.

Beroende på jordlagrens permeabilitet tar det olika lång tid för grundvattennivån att stabiliseras efter en grundvattensänkning. Om marken består av friktionsmaterial med hög permeabilitet går det snabbt medan det kan ta månader innan nivån stabiliserats i en kohesionsjord.

2.2 GRUNDVATTENSÄNKNING

Det finns olika metoder för att sänka grundvattennivån för byggande i jord. Valet av metod är beroende av många faktorer som till exempel hur länge avsänkningen ska vara och hur stora vattenmängder som behöver pumpas bort. Som nämnts tidigare är även jordlagrens uppbyggnad och permeabilitet avgörande faktorer.

Under byggtiden sker en tillfällig avsänkning genom att vatten pumpas bort, antingen ur gropar under portens schaktbotten eller med sugfilterrör (wellpoints) som placeras kring porten, se Figur 2.2.



Figur 2.2 Wellpoints är filterspetsar anslutna till en ledning som suger bort vatten. Skiss ing. Owe Wramhed, Wellpoint Maskin AB.

Vilken metod som fungerar bäst beror på typen av jord, jordlagerföljder och hur stor grundvattensänkning som ska åstadkommas. För att sänka grundvattennivån i

kohesionsmaterial och finkornigare friktionsmaterial brukar wellpoints vara att föredra. Grövre friktionsmaterial brukar, på grund av sin höga permeabilitet, ha så stor vattentillströmning att wellpoints inte räcker och då är det lämpligt att dränera vattnet till en länsad pumpgröp. (Statens Geotekniska Institut, 1985)

Den permanenta grundvattensänkningen utförs efter byggnadstidens slut och är oftast inte lika omfattande som den tillfälliga. Avsänkningen görs genom att utströmmande grundvatten leds bort med dräneringsledningar anslutna till en brunn. Från brunnen transporteras vattnet antingen med självfall eller genom pumpning. Dagvatten som strömmar in i porten leds bort på samma sätt och blandas därmed med grundvattnet. (Hedberg, 2004)

Innan en grundvattensänkning utförs i ett område krävs olika förberedelser, annars kan det uppstå stora skador på mark och bebyggelse. När grundvattennivån sänks minskar vattentrycket i marken vilket ger en belastningsökning på 1 ton/m^2 per avsänkt meter (Axelsson, 2000). Detta betyder att även små sänkningar kan leda till sättningar i marken. Sättningarnas storlek beror till stor del på typen av jordart. I friktionsjordar sker oftast ingen nämnvärd kompression medan kohesionsjordar, som ofta har porvattenhalt på mer än 50 %, kan få stora sättningar (Knutsson & Morfeldt, 2002). Det bör även göras en inventering och dokumentation av brunnar som riskerar påverkan vid avsänkningen. På grund av osäkerhet i beräkningarna är det i detta läge bra med överdriven försiktighet så att även brunnar utanför det beräknade influensområdet kontrolleras (Hedberg, 2004).

Åtgärder för att undvika skador vid grundvattensänkning är normalt mycket kostsamma, samtidigt är kostnaderna för att åtgärda skador som uppstått ännu större. Därför är det viktigt att i förväg kunna beräkna hur stor den verkliga avsänkningen blir så att det varken uppstår skador eller åtgärder vidtas i onödan.

2.3 UNDERSÖKTA PORTAR

De undersökta portarna ligger kring Vänern, i Värmland och Västergötland, se Figur 2.3.

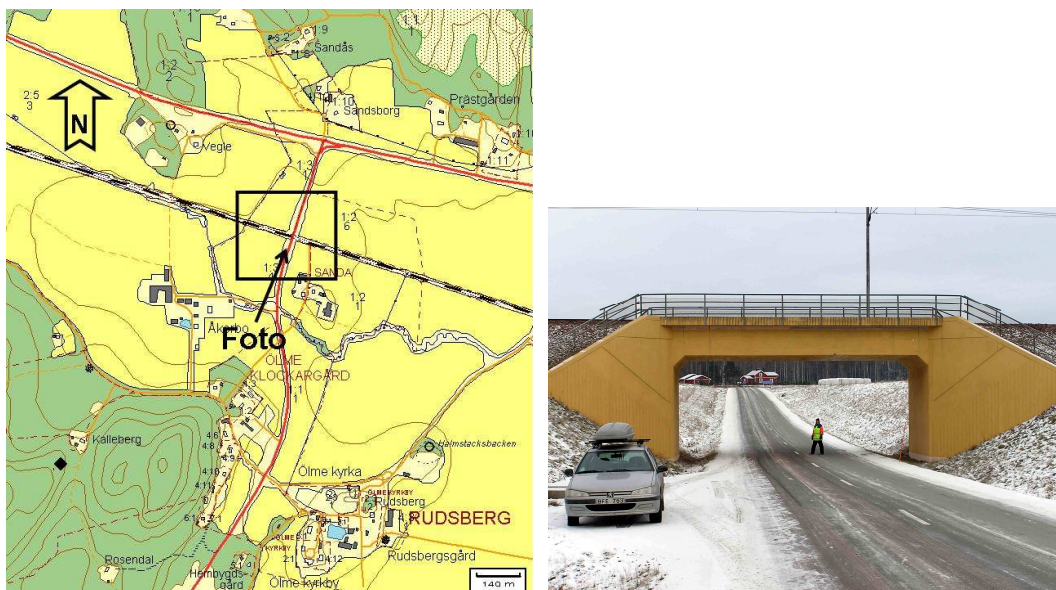


Figur 2.3. Karta över vägportarnas geografiska placering. Fyrkanterna markerar var de tre portarna är belägna. Kartmaterial från lantmäteriet, enligt licensavtal MF924931.

Markförhållandena på platserna är olika och har undersökts med flera geotekniska metoder. En översiktlig bild av undergrunderna finns i nedanstående avsnitt. Där markeras även nivån för grundvattenrörens vattenintag.

2.3.1 Ölme

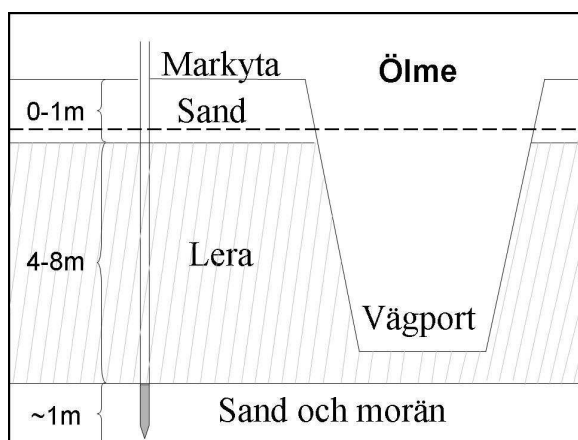
I Ölme, nordväst om Kristinehamn, byggdes under åren 1994-1996 en vägport under järnvägen som går mellan Karlstad-Laxå, se Figur 2.4a och b.



Figur 2.4. (a) Rektangeln markerar läget för porten i Ölme, där väg korsar järnväg. Kartmaterial från lantmäteriet, enligt licensavtal MF924931. Ekvidistans 5 meter.

(b) Väggporten i Ölme är 12 meter bred och 4,7 meter hög. Fotot är taget från söder med riktning norr. Fotograf Alf Olsson.

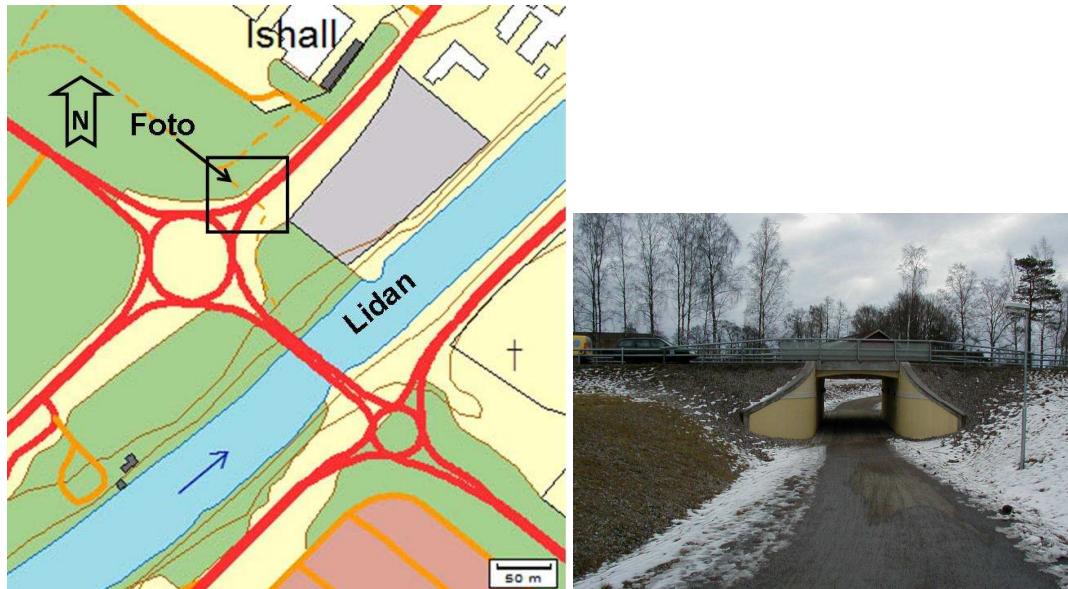
Området är flack jordbruksmark och strax nordost om porten ligger en ås av grus och sand. Ett sandlager från isälvsavlagringar finns närmast moränen som vilar på berg. Sanden överlagras av lera som avsattes när området var täckt av vatten. Då vattenytan sjönk svallade sand ut över leran. Undergrunden vid porten i Ölme består därför av ett övre sandlager som underlagras av lera, se Figur 2.5. Trycknivån för det underliggande vattenförande lagret ligger kring 0,5 - 1 meter under markytan. Under leran finns som omnämnt ett sandlager vilket underlagras av morän och berg. (Hedberg, 1995a)



Figur 2.5. Undergrunden i Ölme utgörs av sand och lera som överlagras sand och morän. Grundvattenytans ungefärliga läge markeras av en streckad linje. Grundvattenrören är satta i det understa lagret på 7-10 meters djup.

2.3.2 Lidköping

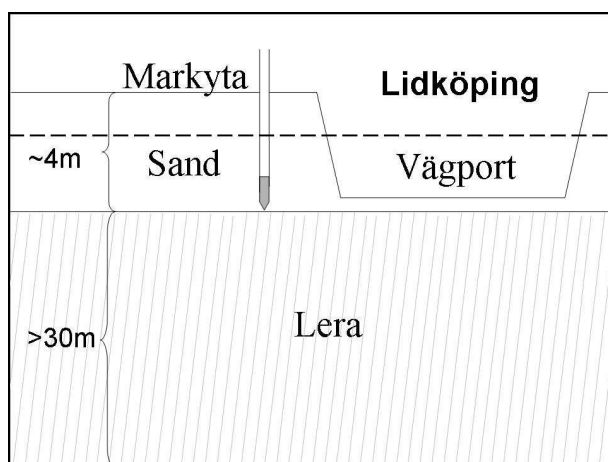
Vid Lidköping, på var sida om Lidan, finns två cirkulationsplatser. Den östra byggdes under åren 2001-2003 och i samband med detta anlades en port vid den västra cirkulationsplatsen. Detta gjordes för att få planskillnad mellan en gång- och cykelväg och Mellbygatan som går norrut ur cirkulationen, se Figur 2.6a och b.



Figur 2.6 (a) Karta över porten i Lidköping där gång- och cykelväg korsar väg. Rektangeln visar portens läge. Kartmaterial från lantmäteriet, enligt licensavtal MF924931.

(b) Porten i Lidköping är 4 meter bred och 2,7 meter hög. Fotot är taget från Nordväst mot Lidan. Fotograf Ida Franklin.

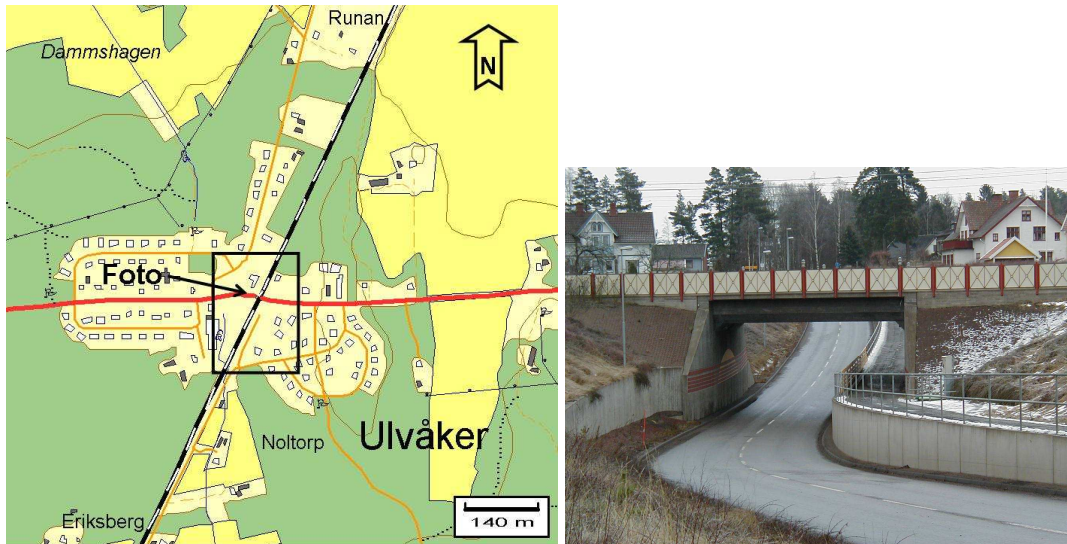
Undergrunden på platsen består av ett mäktigt lerlager som överlagras av ett drygt 4 m mäktigt lager med mellansand, se Figur 2.7. Djupet till fast botten är omkring 30 meter och grundvattennivån på platsen ligger ca 1,5 meter under markytan. (Hedberg & Josefson, 2001)



Figur 2.7. Undergrunden i Lidköping utgörs av sand och lera. Grundvattennytans ungefärliga läge markeras av en streckad linje. Grundvattenrören är satta i sandlagret på ca 3 meters djup.

2.3.3 Ulvåker

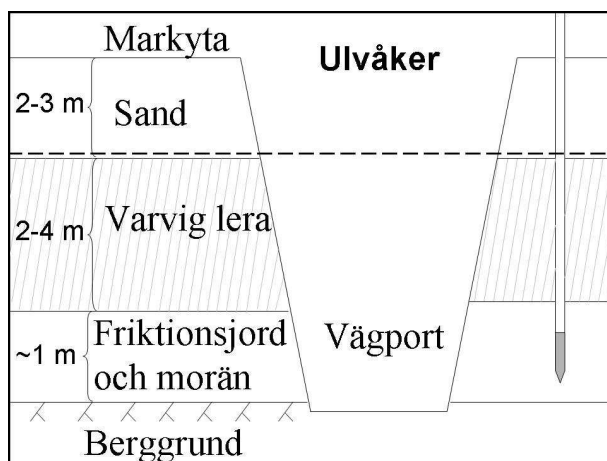
Ulvåker är en ort ca 15 km norr om Skövde. Genom byn går väg 936 vilken korsas av Västra Stambanan. För att få en planskild korsning mellan väg och järnväg byggdes mellan år 1994 och 1996 en vägport, se Figur 2.8a och b.



Figur 2.8 (a) Rektangeln visar läget för porten i Ulvåker, där väg korsar järnväg. Kartmaterial från lantmäteriet, enligt licensavtal MF924931.

(b) Porten i Ulvåker är 4,9 meter hög och 11 meter bred då både kör- och gångbana räknas in. Fotot är taget från väster med riktning öster. Fotograf Ida Franklin.

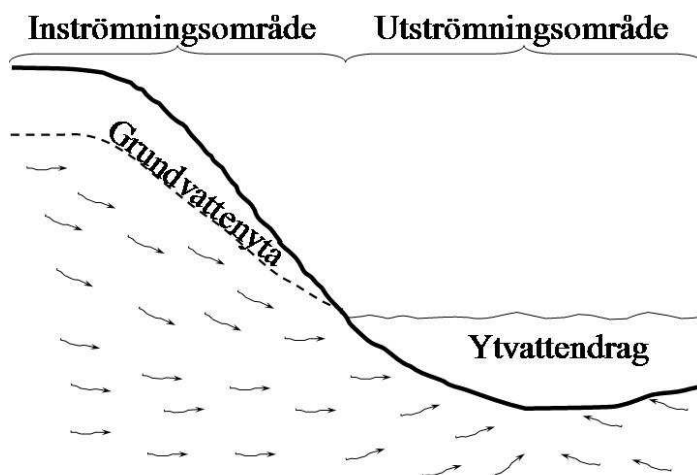
Fältundersökningar visade att undergrunden består av sand ner till ca 2,5 m djup. Därefter följer ett kring 3 meter mäktigt lager med varvig lera innehållande skikt av silt och sand. Leran underlagras av ett ca 1 meter mäktigt lager med friktionsjord och morän som vilar på berget. Undergrunden beskrivs schematiskt i Figur 2.9. Grundvattennivån återfinns normalt drygt 2 meter under markytan i övergången mellan sand- och lerlagret. (Hedberg, 1995b)



Figur 2.9. Undergrunden i Ulvåker utgörs av sand och varvig lera som överlagrar friktionsjord och morän. Grundvattentytans ungefärliga läge markeras av en streckad linje. Grundvattenrören är satta i det undre lagret på 5-6 meters djup.

3 GRUNDVATTENSTRÖMNING

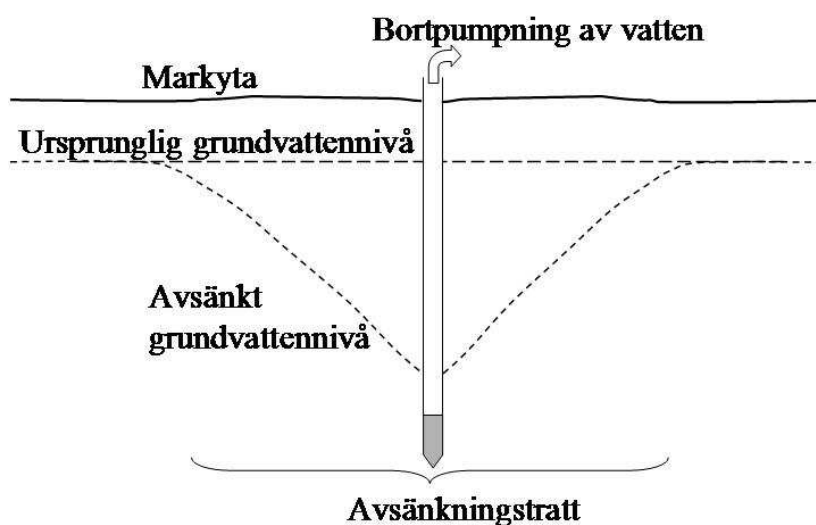
Grundvatten finns i all terräng, men djupet till grundvattenytan varierar beroende på geologi, klimat och topografi. I Sverige, där den geologiska undergrunden till största del består av morän och ett humitt klimat råder, ligger grundvattenytan ofta nära markytan och följer topografin. Nivåskillnader vid övergång från höjd till dal leder till en skillnad i totalpotential vilket gör att grundvattnet strömmar från högre till lägre liggande områden. Detta gör att högre liggande områden oftast fungerar som inströmningsområden medan dalar och ytvattendrag blir till utströmningsområden, se Figur 3.1.



Figur 3.1. Grundvatten strömmar från högre till lägre liggande områden.

Vid sänkning av grundvattnet bildas en avsänkningsträtt, det vill säga ett lokalt lågområde som fungerar som ett utströmningsområde, se Figur 3.2.

Avsänkningsträttens geometri (djup och lutning) beror på grundvattennivåns ursprungliga läge, det vattenförande lagrets konduktivitet och mäktigheten samt den volym vatten som pumpas bort per tidsenhet. Då grundvattenståndet fluktuerar med årstiderna kommer även avsänkningsträttens utsträckning och geometri att variera.



Figur 3.2. Avsänkning av grundvattenytan leder till ett lokalt trättformat utströmningsområde.

3.1 AKVIFERER OCH GRUNDVATTENMAGASIN

En akvifer är en geologisk bildning så genomsläpplig att grundvatten kan utvinnas ur den. Är akviferen dessutom begränsad till en hydraulisk enhet kallas det grundvattenmagasin (Knutsson & Morfeldt, 2002). Akviferer (och grundvattenmagasin) delas in i tre olika grupper:

Öppen akvifer

En öppen akvifer har en fri grundvattenyta där atmosfäriskt tryck råder. Bildningen av grundvatten sker genom att vatten som inte avdunstar vid markytan eller tas upp av växter perkolerar ner till grundvattenytan. Vid en grundvattensänkning är det de övre vattenförande delarna av akviferen som dräneras. Mängden vatten som avges kan vara stor och bestäms av vattenavgivningstalet. (Carlsson & Gustafson, 1991)

Sluten akvifer

En sluten akvifer är vattenförande lager som överlagras av låg- eller impermeabla skikt och trycknivån (grundvattennivån) står över akviferens övre gränssyta. Om trycknivån ligger över markytan kallas grundvattnet artesiskt. En grundvattensänkning gör att akviferen komprimeras samtidigt som vattnet kan expandera något (Carlsson & Gustafson, 1991). Detta betyder att ett litet vattenuttag kan leda till en stor avsänkning.

Läckande akvifer

En läckande akvifer överlagras och/eller underlagras av lågpermeabla skikt som gör att vatten kan tillföras eller lämna magasinet. Att magasinet är läckande visar sig oftast då grundvattennivån sänks eftersom det då kan bli nödvändigt att pumpa bort större mängder vatten.

Ofta förekommer flera typer av akviferer i samma jordlagerföljd. Det kan till exempel vara när svallat grus överlagras en tät lera (öppen akvifer) som i sin tur överlagras en isälvsomorän (sluten akvifer). (Knutsson & Morfeldt, 2002)

3.2 HYDRAULISKA PARAMETRAR

För att beskriva ett grundvattenmagasins egenskaper används hydrauliska parametrar. Parametrarna beräknas olika för de olika akvifertyperna, men de beskriver samma egenskaper och kan därför jämföras. De vanligaste hydrauliska parametrarna är:

K – Hydraulisk konduktivitet [m/s]

Beskriver akviferens förmåga att leda vatten. Definieras även av Darcys lag se ekvation 3.1.

T – Transmissivitet [m²/s]

Visar akviferens ledningsförmåga per breddenhet. Transmissiviteten beräknas ur hydrauliska konduktiviteten (*K*) och akviferens mäktighet

(*b*) enligt $T = \int_0^b K(z) dz$. Där *z* är vertikalaxeln.

S – Magasinskoefficient [-]

Den vattenvolym som akviferen avger per kvadratmeter då grundvattenytan sänks 1 meter.

S_s – Specifik magasinskoefficient [m^{-1}]

Den vattenvolym som avges per kubikmeter av akviferen då grundvattenytan sänks en meter.

S_y – Vattenavgivningstal [-]

Vattenavgivningstalet anger andelen jordvolymselement som dräneras vid sänkning av grundvattenytan. Den är den dominerande delen av magasinskoefficienten för en öppen akvifer.

Med dessa parametrar kan akviferens egenskaper till största delen beskrivas och därigenom erhålls en god uppfattning om grundvattenförhållandena i området. (Carlsson & Gustafson, 1991)

3.2.1 Darcys lag

År 1856 upptäckte Henri Darcy, genom att utföra strömningsförsök i en sandkolonn, att vattenföringen är proportionell mot gradienten i hydraulisk potential, tvärsnittsarean och konduktiviteten. Detta kallas Darcys lag och uttrycks enligt sambandet 3.1.

$$Q = -K \cdot A \cdot \frac{\partial h}{\partial L} \quad (3.1)$$

Q = vattenföring [m^3/s]

K = hydraulisk konduktivitet [m/s]

A = tvärsnittsarea [m^2]

$\frac{\partial h}{\partial L}$ = gradienten i hydraulisk potential [-]

Darcys lag gäller dock bara vid laminär strömning, det vill säga när all rörelse sker i skikt i strömriktningen. Då grundvatten strömmar i berg och jord är hastigheten vanligtvis låg och strömningen laminär men i vissa lägen, till exempel vid propumpning och i akviferer som utgörs av sprickor i berg, kan vattenhastigheten bli så stor att flödet blir turbulent. Dessa tillfällen är dock inte så vanliga, vilket gör att antaganden om laminär strömning oftast är relevanta och Darcys lag kan användas. (Strack, 1988)

3.2.2 Tre vattenhastigheter

Det finns tre typer av vattenhastigheter (Grip & Rodhe, 1985) som samtliga har enheten [m/s]:

v – Darcyhastigheten

Darcyhastigheten kallas även bruttonhastigheten och är grundvattenflödet per tvärsnittsarea. Darcyhastigheten är egentligen ingen hastighet utan ett flöde per kvadratmeter, vilket kan beräknas med ekvation (3.1).

v_p – Partikelhastigheten

Partikelhastigheten definieras som den hastighet grundvattnet transporterar en vattenpartikel och kallas även nettoghastigheten. Den uttrycks som $v_p = \frac{v}{n}$ där n står för porositeten vilket är kvoten mellan porvolym och total volym.

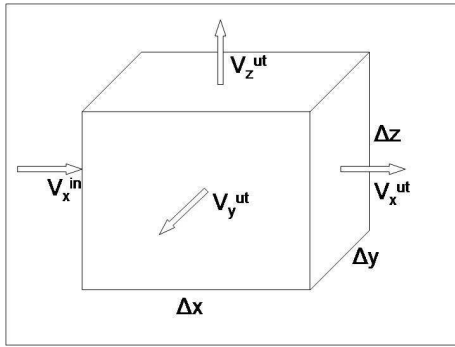
v_t – Tryckfortplantningshastigheten

Tryckfortplantningshastigheten är mycket större än både Darcy- och partikelhastigheten. Den bestämmer t ex den tid det tar i en vattenmättad jord innan det vid grundvattenytan märks att det regnar vid markytan.

Då dessa tre hastigheter beskriver olika saker har de också olika användningsområden. Vid analys av grundvattensänkningar behöver uttaget av vatten kunna beskrivas och då är Darcyhastigheten den mest tillämpbara. (Carlsson & Gustafson, 1991)

3.2.3 Flödesekvationen i en homogen, isotrop tvådimensionell akvifer

För att ta fram ett matematiskt uttryck för vattnets strömningar krävs förenklingar och antaganden som kan resultera i fel. Därför följer här en beskrivning av hur de ekvationer som används i beräkningarna tas fram. Till att börja med observeras ett volymselement med sidorna Δx , Δy och Δz och hastigheten på det vatten som strömmar genom respektive sida (se Figur 3.3).



Figur 3.3. Volymselement med beskrivning av sidlängder och vattenhastigheter.

Med hjälp av detta kan vattenströmningen beskrivas enligt ekvation (3.2) där volymskillnaden mellan ut- och inströmmande vatten ger en påverkan på totala vattenvolymen.

$$(v_x^{ut} - v_x^{in})\Delta y\Delta z + (v_y^{ut} - v_y^{in})\Delta x\Delta z + (v_z^{ut} - v_z^{in})\Delta x\Delta y = -\frac{\partial h}{\partial t} \cdot \frac{dV_w}{dh} \quad (3.2)$$

Under stationära förhållanden, dvs. när ingen förändring sker över tiden, kan strömningarna beskrivas på samma sätt men med högerledet noll eftersom den totala volymen inströmmande vatten är lika stor som uttagna vattenvolymen. (Strack, 1988) Genom att derivera Darcys lag, ekvation (3.1), med avseende på sträckan kan hastighetsändringen i varje punkt genom hela volymselementet beskrivas. Detta går att göra för alla tre huvudriktningar och i ekvation (3.3) visas uppställningen i x-led.

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial h}{\partial x} K_x \right) \quad (3.3)$$

Skillnaden mellan in- och utströmmande vatten kan med ekvation (3.3) utvecklas till ekvation (3.4). Även denna uppställning är möjlig för alla tre huvudriktningar, men här visas endast x-led.

$$v_x^{ut} - v_x^{in} = \left(v_x^{in} + \frac{\partial v_x}{\partial x} \Delta x \right) - v_x^{in} = \frac{\partial v_x}{\partial x} \Delta x = - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial h}{\partial x} K_x \right) \Delta x \quad (3.4)$$

Genom att kombinera ekvation (3.2) och (3.4) och därefter anta att en ändring i vattenvolym (dV_w) orsakad av en förändring av grundvattennivå (dh) är proportionell mot den ändrade volymen med den specifika magasinskoefficienten som proportionalitetskonstant (Carlsson & Gustafson, 1991) erhålls ekvation (3.5).

$$\left[\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) \right] \cdot V = \frac{\partial h}{\partial t} \frac{\partial V_w}{\partial h} = \frac{\partial h}{\partial t} \cdot V \cdot S_s \quad (3.5)$$

Till denna ekvation finns ett antal lösningar, som till exempel kan användas vid analys av provpumpning, men då krävs förenklande antaganden. Genom att göra några generella antaganden går ekvation (3.5) att förenkla utan att bli allt för specialiserad och därmed ej tillämplig. Till exempel är akviferens utsträckning i plan oftast 10-100 gånger större än utsträckningen i vertikalled, vilket gör att det största förändringarna sker i x, y-planet och därmed kan flödessituationen förenklas till två dimensioner. Därefter antas att materialet i akviferen är homogent och isotropt, vilket betyder att den hydrauliska konduktiviteten är lika i alla riktningar. Dessa antaganden ger ekvation (3.6) vilken kommer att förenklas ytterligare, men då krävs en mer preciserad kunskap om förutsättningarna på plats. (Knutsson & Morfeldt, 2002)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial h}{\partial y} \right) = \frac{\partial h}{\partial t} \cdot S_s \quad (3.6)$$

4 BERÄKNING AV AVSÄNKNINGENS UTBREDNING

4.1 FÖRENKLADE BERÄKNINGAR

För att kunna beräkna hur stort område som påverkas då grundvattenytan i portläget sänks till en viss nivå måste förutsättningarna definieras. Ett första steg är att titta på hur länge området varit under påverkan samt vilken typ av akvifer/magasin som finns på platsen. Detta görs för att förenkla beräkningarna och för att akviferer med ungefär samma uppbyggnad svarar på ett liknande sätt när de utsätts för påverkan.

4.1.1 Stationära och transienta förhållanden

När påverkan på en akvifer inleds, exempelvis då pumpning startar, rubbas jämvikten och tillståndet för akviferen blir transient. Om påverkan är konstant och fortgår under en längre period inträder efter en tid ett stationärt tillstånd. Stationära tillstånd är betydligt enklare att räkna med än transienta, eftersom ingen förändring sker över tiden, vilket dock är mycket sällsynt i verkligheten. Trots detta är de pseudostationära tillstånd som uppnås efter en tids provpumpning tillräckliga för att erhålla relevanta resultat.

4.1.2 Thurners ekvation

För att, vid en permanent grundvattensänkning, få en grov uppfattning om hur stor radien för påverkan är används Thurners empiriskt framtagna formel (Rosén, 2005).

$$R = 3000 \cdot s \cdot \sqrt{K} \quad (4.1)$$

R = maximal influensradie [m]

s = avsänkning i centrum [m]

K = hydraulisk konduktivitet [m/s]

Bakgrunden till formeln är oklar, men den ger genom enkla beräkningar en hänvisning om storleken på den maximala influensradien (Thurner, 1967).

4.2 SLUTEN AKVIFER

För en sluten akvifer är det möjligt att integrera både den hydrauliska konduktiviteten (K) och specifika magasinskoefficienten (S_s) över akviferens mäktighet (b), vilket ger transmissiviteten (T) och magasinskoefficienten (S) (Carlsson & Gustafson, 1991). Dessa antaganden gör att flödesekvationen för vattens tvådimensionella strömning i en sluten homogen isotrop akvifer (3.6) kan förenklas och uttryckas enligt ekvation (4.2).

$$\left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) \cdot K = \frac{\partial h}{\partial t} \cdot S_s = \frac{\partial h}{\partial t} \cdot \frac{S}{b} \quad (4.2)$$

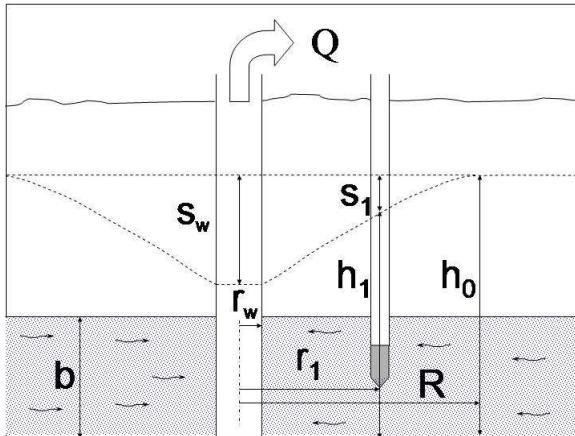
Det finns flera sätt att beräkna den avsänkning som uppstår när vatten pumpas ut ur en sluten akvifer. Många är lösningar till denna ekvation fast med olika yttre och inre randvillkor.

4.2.1 Thiems brunnsekvation

Ur flödesekvationen för en sluten homogen isotrop tvådimensionell akvifer (4.2) härleds Thiems brunnsekvation som gäller under stationära förhållanden.

$$s = s_w \left(1 - \frac{\ln(r/r_w)}{\ln(R/r_w)} \right) \quad (4.3)$$

Härledningen visas i bilaga A. Med Thiems brunnsekvation beräknas avsänkningsen (s) som skillnaden mellan den ursprungliga vattennivån (h_0) och vattennivån på ett visst avstånd (r) från pumpbrunnen (h_1). Detta görs genom att använda gränsvärden som brunnsradie (r_w), avsänkning i brunnen (s_w), ursprunglig grundvattennivå (h_0) och maximal influensradie (R), vilka visas i Figur 4.1. (Carlsson & Gustafson, 1991)



Figur 4.1. Horisontellt flöde kring en brunn och parametrar som används vid beräkningar.

4.3 ÖPPEN AKVIFER

För en öppen akvifer är ett vanligt antagande att tryckhöjden på varje nivå är lika med avståndet till grundvattenytan. Detta kallas Dupuit-Forchheimers approximation och praktiskt betyder det att allt grundvattenflöde sker i horisontalled. Med detta antagande kan ekvation (3.6) förenklas till det som brukar kallas den icke-linjära Boussinesqekvationen med formen

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(Kh \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(Kh \frac{\partial h}{\partial y} \right) = \frac{\partial h}{\partial t} \cdot S_y \quad (4.4)$$

Den icke-linjära Boussinesqekvationen är svår att lösa med analytiska metoder. För att linearisera ekvationen antas att de relativa variationerna i $K \cdot h$ är så små att $K \cdot h$ kan antas vara konstant. Detta ger ekvationen

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{\partial h}{\partial t} \cdot \frac{S_y}{Kh} \quad (4.5)$$

vilken liknar ekvationen för sluten akvifer.

4.3.1 Thiem-Dupuits ekvation

Genom att utveckla Boussinesqekvationen under antagande om stationära förhållanden, precis som för en sluten akvifer, erhålls Thiem-Dupuits ekvation.

$$s = s_w \left(1 - \sqrt{\frac{\ln(r/r_w)}{\ln(R/r_w)}} \right) \quad (4.6)$$

Med samma beteckningar som i (4.3), se även Figur 4.1. Ekvationen tas fram ungefär på samma sätt som Thiems ekvation för sluten akvifer, och härledningen visas i bilaga A.

4.4 BERÄKNAD GRUNDVATTENSÄNKNING OCH PÅVERKAT OMRÅDE

4.4.1 Markens vattenförande egenskaper

För att kunna beräkna en grundvattensänkings utbredning kring en vägport krävs kännedom om undergrundens hydrauliska konduktivitet. Den kan erhållas på flera olika sätt, med olika säkerhet och omkostnad. Vid de aktuella portarna har totalt tre metoder använts för att uppskatta den hydrauliska konduktiviteten.

Provpumpning

Genom att borra en brunn och sätta grundvattenrör på lämpliga avstånd kan ett kontrollerat vattenflöde pumpas bort och avsänkningens form och utbredning som funktion av tiden registreras (Carlsson & Gustafson, 1991). Med denna kännedom är det möjligt att beräkna de vattenförande lagrens hydrauliska egenskaper.

Slugförsök (enhålsförsök)

Finns det redan grundvattenrör utplacerade i området är slugförsök en enkel metod att använda. Då tillsätts vatten i rören så att nivån överskrider den naturliga vattennivån med ca en meter. Därefter mäts sjunkhastigheten och resultaten gör det möjligt att beräkna den vattenledande förmågan (Svenska Geotekniska Föreningen, 2004).

Analys med siktkurva

Med kännedom om jordlagrens kornstorleksfördelning i form av en siktkurva är det möjligt att ta fram typvärden på den vattenledande förmågan.

4.4.2 Ölme

I Ölme gjorde Statens Geotekniska Institut, SGI, en provpumpning, men den beräknade konduktiviteten blev så låg ($\sim 3,8 \cdot 10^{-6}$ m/s) att den inte kunde anses representativ för den undersökta friktionsjorden. För att konfirmera detta gjordes en jämförelse med siktkurvor vilket gav att konduktiviteten minst borde ligga kring $3 \cdot 10^{-5}$ m/s. Då det fanns tillgång till flera fungerande grundvattenrör utfördes även slugtest på sex ställen och resultatet blev en medelkonduktivitet på $2,4 \cdot 10^{-4}$ m/s. Detta anses vara representativt för fin sand vilket borde motsvara det vattenförande lagret mellan berg och lera, se Figur 2.5. (Rosén et al, 1995)

Grundvattennivån ska i läget för porten avsänkas i nivå med berggrunden, vilket blir en avsänkning på ca 5 meter. Beräkningar med Turners formel, se ekvation (4.1), ger

en maximal influensradie på ca 230 meter. Med en brunnsradie satt till 0,008 m, vilket kan liknas vid radien på hålen i dräneringsledningarna, ger Thiems brunnsekvation för sluten akvifer, se ekvation (4.3), en radie på ca 83 meter där avsänkningen är större än 0,5 meter. En sammanställning av beräkningsparametrarna visas i Tabell 4.1. Mängden vatten som måste avlägsnas för att hålla denna avsänkning uppskattas till $7,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$. (Rosén et al, 1995)

4.4.3 Lidköping

Avsänkingsberäkningarna för porten i Lidköping gjordes av Vägverket Konsult i Karlstad. I porten krävs en avsänkning på ca 2 meter. Genom att använda Turners ekvation för maximal influensradie och typvärden för konduktiviteten i mellansand ($K= 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$) beräknades att radien för påverkan uppgår till 60 meter. Radien för en avsänkning större än 0,5 m hamnar på ca 25 meter enligt beräkningar med Thiems ekvation för sluten akvifer där brunnsradien sattes till 1,5 meter. (Hedberg & Josefson, 2001; Josefson, 2004)

4.4.4 Ulvåker

Vid vägporten i Ulvåker har SGI genomfört en provpumpning. Utifrån denna beräknades konduktiviteten till att ligga i intervallet $1 - 7 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$, under antaganden om stationära förhållanden och sluten akvifer. I portläget ska avsänkningen vara 5,5 m vilket med en konduktivitet på $3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ beräknas ge en påverkan på flera hundra meter från avsänkningens centrum. Pumpbrunnens radie sattes till 0,0625 m och resultatet av SGIs beräkning med Turners och Thiems ekvationer för sluten akvifer blev en maximal influensradie på 285 meter och en radie på 132 meter där avsänkningen är 0,5 m. Beräkningsparametrarna finns även sammanställda i Tabell 4.1. För att upprätthålla den permanenta avsänkningen beräknas att det krävs länsning med $3,3 - 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$. (Gunnarsson et al, 1995)

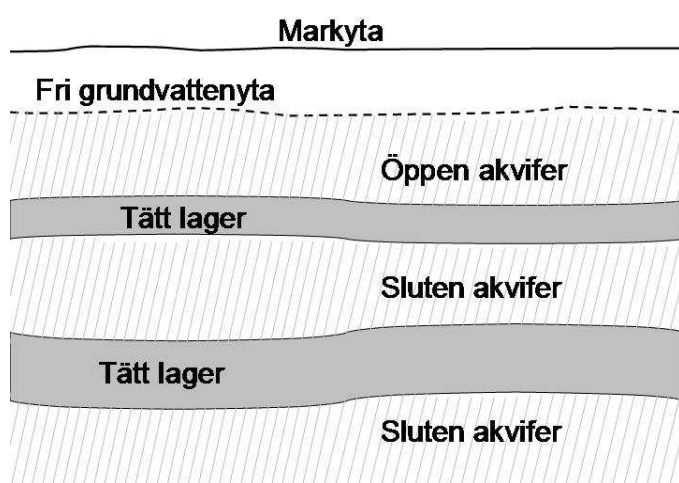
Tabell 4.1. Sammanställning av beräkningsparametrar för undersökta vägportar.

Vägport	Konduktivitet (k) [m/s]	Max avsänkning (s_w) [m]	Brunnsradie (r_w) [m]
Ölme	$2,4 \cdot 10^{-4}$	5	0,008
Lidköping	$1 \cdot 10^{-4}$	2	1,5
Ulvåker	$3 \cdot 10^{-4}$	5,5	0,0625

5 ATT MÄTA GRUNDVATTENYTANS NIVÅ

5.1 GEOTEKNISK UNDERSÖKNING

För att göra en bedömning av hur grundvattennivåerna i ett område kommer påverkas av en vägport krävs kännedom om den ursprungliga grundvattennivån och undergrunden. Detta kan erhållas genom en geoteknisk undersökning. Då görs t ex viktsondering och provtagning med kolv och det är viktigt att kablar i området märkts ut och att markägare har kontaktats. Om det visar sig att jorden består av flera täta jordlager kan det förekomma flera grundvattenytor, vilket betyder att grundvattnet behöver mätas på flera nivåer, se Figur 5.1. För att erhålla meningsfulla grundvattenmätningar bör mätnivåerna bestämmas efter områdets jordlagerföljd. (Vägverket, 1990)



Figur 5.1. Olika typer av akviferer gör att grundvattentrycket kan behöva mätas på flera nivåer.

5.2 OBSERVATIONER MED GRUNDVATTENRÖR

5.2.1 Inledning

För att erhålla en nivå på grundvattnet kan grundvattenrör användas. Grundprincipen bygger på att ett tätt rör med en öppen spets placeras på lämplig nivå i akviferen. Röret är öppet upptill men skyddas från nederbörd med en huva, se Figur 5.2a. Vattnet från akviferen strömmar in i röret, olika snabbt beroende på omgivande jordart, och ställer sig på nivån som motsvaras av grundvattennivån för det vattenförande jordlagret i vilket spetsen har placerats. Om jordlagret har extremt låg vattenledande förmåga (till exempel lerjord) kan det ta månader för rätt nivå att ställas in, medan det för en grovkornig jord kan räcka med bara några timmar.

5.2.2 Metod för installation av grundvattenrör

I denna undersökning används två metoder att sätta ut grundvattenrör. Den ena är att borra ett hål med en borrarbandvagn. I hålet sticks det sedan ner ett plaströr med 16 mm diameter. Plaströret är utrustat med en 0,2 meter lång filterspets som släpper in vatten utan att fyllas med små partiklar, se Figur 5.2b.



Figur 5.2 (a) Grundvattenrören stadgas med en stakkäpp och skyddas från nederbörd med en huva. Här grundvattenrör 80 vid porten i Ulvåker.

(b) Grundvattenrör med filterspets bredvid avvägningsstång (latta).

Den andra använda metoden bygger på att hålet görs för hand. Då används sonderingsstål med 22 mm diameter vilket utrustas med spets och slagnacke och slås ner i marken med slägga, se Figur 5.3a. Förutsättningen för att denna metod ska fungera är att rören inte ska ner så långt, att marken inte är för hård och att hålet inte rasar igen. Sedan sticks samma typ av plaströr ner som vid förborrat hål.

För att slutligen se att de satta grundvattenrören fungerar, så att exempelvis inte spetsen satts igen av lera, pumpas vatten ned i röret tills en självsjunkande grundvattenyta observerats.

5.2.3 Mätning av vattennivån i grundvattenrör

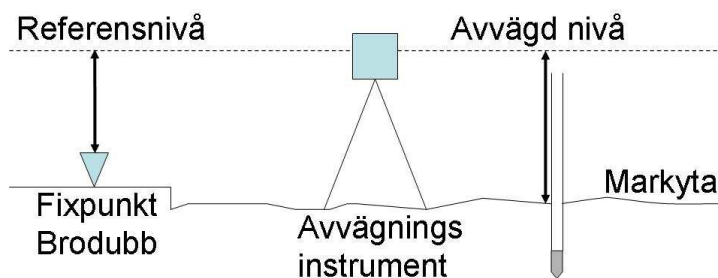
I den här undersökningen mäts vattennivån i grundvattenrören med hjälp av en koaxialkabel som ger utslag när änden på ledaren får kontakt med vattenytan och en strömkrets sluts, se Figur 5.3b.



Figur 5.3 (a) Sonderingsstål slås ned i marken med slägga. Personen på bilden är Alf Olsson. Foto Ida Franklin.

(b) Vattennivåerna i grundvattenrören mäts med en koaxialkabel som ger utslag vid kontakt med vatten. Foto Ida Franklin.

Därefter mäts längden på kabeln, vilket motsvarar skillnaden mellan rörets överkant och grundvattenytan. För att erhålla ett värde på grundvattennivån som går att jämföra med tidigare grundvattenmätningar görs en avvägning av markytan invid röret, se Figur 5.4. De avvägda marknivåerna relateras till fixa punkter, i den här undersökningen används avvägningsdubb på portarna. Därefter mäts avståndet mellan rörens överkant och markytan och på så sätt är de uppmätta grundvattennivåerna relaterade till omgivningen och går att jämföra med tidigare mätningar.



Figur 5.4. För att kunna jämföra nya grundvattennivåer med gamla relateras markytan invid rören till brodubbar, vilka kan ses som fixpunkter.

5.2.4 Mäta grundvattennivåer vintertid

Då undersökningen inleddes på hösten var det av intresse att hålla vattnet i grundvattenrören flytande så att mätningar kunde göras under vintern. Detta görs genom att tillsätta T-röd direkt i rören. Problemet med höga spritkoncentrationer är att det inte ger något utslag vid mätningar med koaxialkabel. Detta löses genom att tillsätta några saltkorn i spriten eller en liten dos saltlösning precis före mätning vilket höjer konduktiviteten så att utslaget vid kontakt med grundvattenytan blir mycket tydligt.

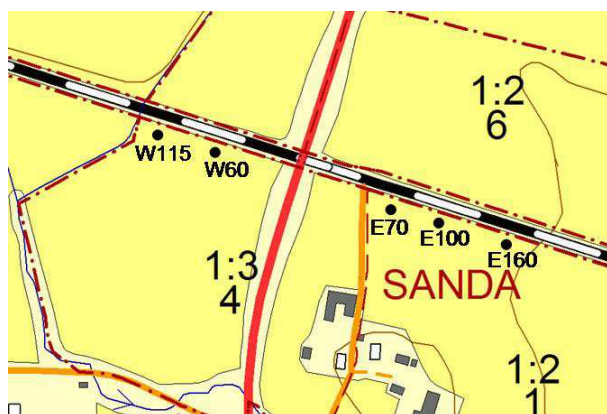
5.3 UTPLACERING AV GRUNDVATTENRÖR

För att hitta lämpliga placeringar av grundvattenrören studerades tidigare uppmätta vattennivåer kring portarna. Dessa mätningar härstammar till största delen från provpumpningar och kontroller då den tillfälliga grundvattensänkningen gjordes. Eftersom avsänkningarna vid de tre portarna är olika stora blev avstånden som grundvattenrören placerades på också olika.

För att få en tydlig beskrivning av avsänkningstrattens form och utsträckning i horisontalled sattes ett rör där avsänkning enligt beräkningarna var 0,5 m, ett rör närmare portens centrum för att kunna uppskatta var avsänkning var ca 1 m och ett rör längre bort där grundvattennivån kunde antas vara opåverkad. Anledningen till att radien där avsänkning är 1 respektive 0,5 m är intressant beror på att det innanför dessa områden är aktuellt med förstärkningsåtgärder. Vid två av portarna gjordes endast mätningar längs en sida av porten, medan i Ölme gjordes försök att mäta grundvattennivån på båda sidor längs järnvägen, se Figur 5.5. De exakta mätnivåerna för varje grundvattenrör visas i Bilaga B och grafer över resultaten återfinns i avsnitt 6.

5.3.1 Ölme

Vid vägporten i Ölme fanns ett kvarlämnat grundvattenrör från de uppföljande mätningar som gjordes 1997. Detta rör fungerade inte från början, men efter urspolning med vatten erhöles en självsjunkande vattenyta vilket gjorde att röret ansågs fungera. Utöver detta rör, som kallas W115, sattes fyra nya grundvattenrör med hjälp av borrhandsvagn. Samtliga rör visas i Figur 5.5.

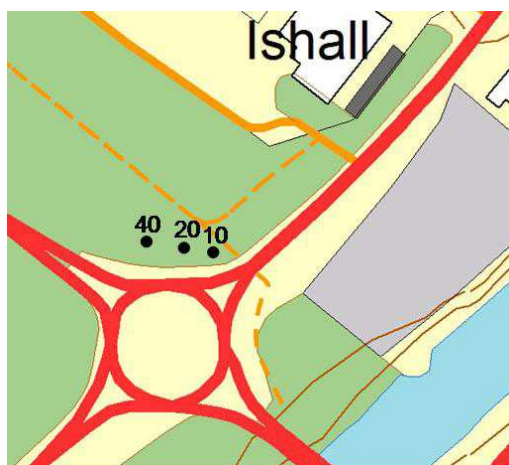


Figur 5.5. Grundvattenrörens placering längs båda sidor om porten i Ölme. Rören betecknas med väderstreck och avstånd till avsänkningens centrum.

Grundvattenrören sattes den 4 oktober 2004 och därefter mättes vattennivån under sex månader. Tyvärr erhöles orimligt höga vattennivåer från rör W115, och detta rör åtgärdades genom att spetsen slogs ut med sonderingsjärn och ett nytt grundvattenrör med filterspets sattes i det gamla röret. Detta gjordes i början av februari och därmed finns endast en rimlig mätning från detta rör.

5.3.2 Lidköping

Vid den undersökta vägporten i Lidköping fanns inga gamla grundvattenrör kvar. Här sattes tre nya rör inom 40 meters avstånd från porten, se Figur 5.6.

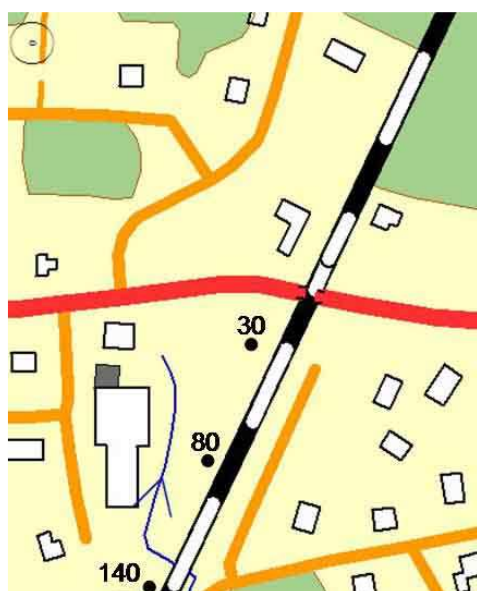


Figur 5.6. Grundvattenrörens placering vid porten i Lidköping. Grundvattenrören betecknas med avståndet till vägportens centrum i meter.

Rören sattes den 11 november 2004 och grundvattennivån mättes en gång i månaden under fem månader. Tyvärr vandaliserades röret som ligger 40 meter från portens centrum efter första mätningen och blev inte mätbart förrän i januari 2005. Därför finns det färre mätningar från detta rör.

5.3.3 Ulvåker

Även vid porten i Ulvåker var alla gamla grundvattenrör borttagna. Här sattes tre nya rör inom 140 meter från porten, se Figur 5.7. Rören sattes 29 november, 2004 och mätningarna skedde en gång per månad under fyra månader.



Figur 5.7 Grundvattenrörens placering vid porten i Ulvåker. Grundvattenrören betecknas med avståndet till porten i meter.

5.4 UPPMÄTTA GRUNDVATTENNIVÅER

Från de uppmätta värdena för varje grundvattenrör plockades den högsta och lägsta grundvattennivån ut för att få en uppfattning om inom vilket intervall grundvattennivån fluktuerar. Från det högsta och lägsta uppmätta värdet beräknades även ett medelvärde för varje grundvattenrör, vilket ger medelnivå på grundvattennivån i området. För att få en trovärdig uppskattning av grundvattenytans utseende mellan mätpunkterna tillämpades dels en linjeanpassning ”för hand” och dels en linjäranpassning med minsta kvadratmetoden.

Vid linjeanpassning för hand prickas de högsta och lägsta grundvattennivåerna in på ett millimeterpapper där avståndet till portcentrum avsätts utefter x-axeln och grundvattennivån är y-axel, se ex Figur 6.2. Även portens torrläggingsnivå ritas in, och som origo sätts torrläggingsnivån i portens centrum. Därefter skissas den kontinuerliga grundvattenytan som en linje med de uppmätta värdena som hållpunkter.

Teoretiskt avtar en grundvattensänkning i en sluten akvifer med den naturliga logaritmen på avståndet till brunnens centrum, se ekvation 4.3. Om avståndet logaritmeras erhålls därför ett rätlinjigt samband mellan avstånd och grundvattennivå. De observerade värdena prickades in i ett diagram och en rät linje, skriven på formen $y=kx+m$, anpassades till medelvärdesnivån. I formeln motsvaras y av den uppmätta grundvattennivån och x av det logaritmerade avståndet till dräneringsrören plus 1, $\ln(r_{drän}+1)$. Talet 1 adderas till avståndet på grund av att grundvattennivån på avståndet noll från dräneringsrören är känd men talet noll går inte att logaritmera, en addition av talet 1 ger också en lämplig form på kurvan.

En grundvattensänkning i en öppen akvifer har inte ett lika tydligt teoretiskt samband som en avsänkning i en sluten akvifer, men då avsänkningens form i en tvådimensionell skärning liknar den naturliga logaritmens kurva anpassades en linje till de uppmätta grundvattennivåerna på samma sätt som för de slutna akvifererna.

5.5 BERÄKNADE GRUNDVATTENNIVÅER

De beräknade grundvattennivåerna erhålls enligt ekvation 4.3 och 4.6 i form av en avsänkning (s) och måste därför dras bort från den normala grundvattenytan (h_0) för att få det avsänkta grundvattenståndet ($h_{avsänkt}$), $h_{avsänkt}=h_0-s$. Den naturliga jorden kring portarna är inte helt homogen vilket gör att den naturliga grundvattenytan inte är ett slätt plan. Men då det efterfrågade är vilket område som påverkas av avsänkningen och inte exakt hur avsänkningen slår mot lokala inhomogeniteter, blir beskrivningen tydligast om den beräknas från ett plan. Nivån på planet, som här efter kallas den opåverkade grundvattenytan, sätts till portens torrläggingsnivå plus nivå som enligt beräkningarna sänktes i portens centrum, se Tabell 5.1.

Tabell 5.1 Den opåverkade grundvattennivån är torrläggingsnivån plus avsänkta nivå i porten. Höjdnivåerna är angivna i lokala höjdsystem. Portradien visar torrläggingsnivåns utsträckning i horisontalled.

Vägport	Torrläggingsnivå [m]	Avsänkt nivå i porten [m]	Opåverkad grundvattennivå [m]	Portradie [m]
Ölme	+48,0	5	+53	6
Lidköping	+46,0	2	+48	3,75
Ulvåker	+75,9	5,5	+81,4	7

Då torrläggingsnivån inte bara gäller i vägportens centrum utan i hela det dränerade området i porten beräknades avsänkningsnivån från portens ytterkant. Portarnas radier visas i Tabell 5.1.

5.6 ATT JÄMFÖRA UPPMÄTT GRUNDVATTENNIVÅ MED BERÄKNAD

För att kunna jämföra ytorna som beskriver de högsta och lägsta uppmätta nivåerna, med ytan som visar avsänknningen ritas dessa på samma millimeterpapper. Då det är extra intressant att jämföra var avsänknningen är 1 respektive 0,5 meter markeras dessa punkter. För att kunna göra detta krävs en uppskattning av nivån för den opåverkade grundvattenytan vid de högsta och lägsta mättillfällena. Dessa sattes till nivån i grundvattenröret som placerats längst bort från porten.

För att se skillnaden för de matematiskt anpassade grundvattenytorna ritas både diagram med uppmätt grundvattenyta och beräknad grundvattenyta inlagda och diagram med skillnaden mellan dessa båda.

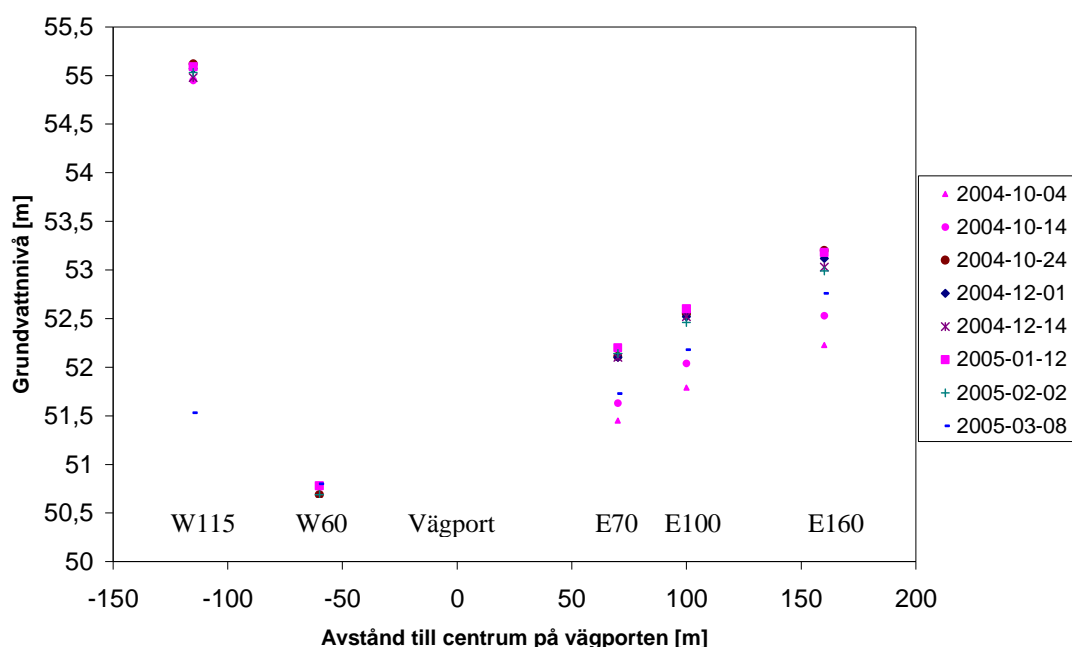
6 ANALYS AV UPPMÄTTA OCH BERÄKNADE GRUNDVATTENNIVÅER.

Under nästan ett halvt års tid gjordes mätningar i de utplacerade grundvattenrören. Siffrvärden på de uppmätta nivåerna för varje grundvattenrör visas i Bilaga B. En översiktlig beskrivning av grundvattenytans variationer vid portarna ges i detta kapitel.

6.1 ÖLME

6.1.1 Uppmätta värden

Grundvattennivåerna i Ölme visade sig vara låga under hösten, för att sedan stiga och nå sin kulmen i mitten av januari. Det gamla röret, rör W115, ger orimligt höga nivåer och i mitten av februari repareras röret. Det tas därför ingen hänsyn till de orimliga grundvattennivåerna och därmed finns endast ett användbart mätvärde från rör W115. De uppmätta grundvattennivåerna visas i Figur 6.1.

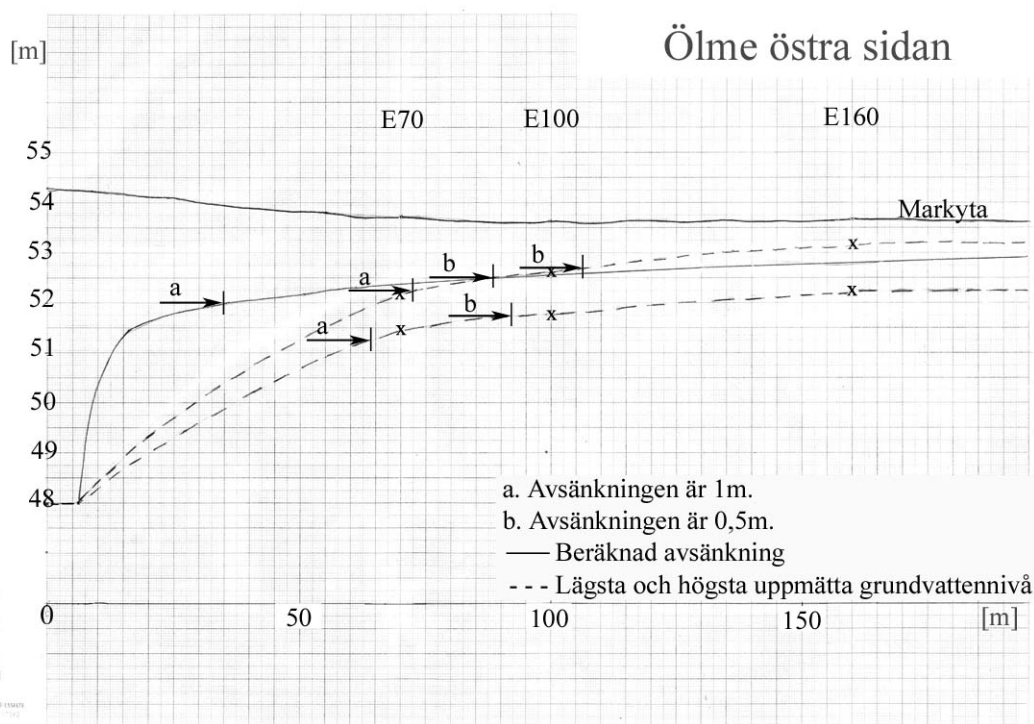


Figur 6.1 Uppmätta grundvattennivåer vid vägporten i Ölme. Centrum på vägporten befinner sig i noll på x-axeln. Avstånden på den västra sidan om porten representeras av negativa tal och den östra av positiva tal.

För att kunna anpassa en linje delas mätningarna från porten i Ölme i den östra och den västra delen.

6.1.2 Ölme östra sidan

I Figur 6.2 visas de uppmätta och beräknade grundvattennivåerna för den östra delen vid vägporten i Ölme uppritade på millimeterpapper enligt den metod som beskrivs i avsnitt 5.4. De opåverkade grundvattennivåerna har satts till nivån som mättes i grundvattenröret längst bort från porten, och ifrån dessa nivåer har radien där avsänkning är 1 respektive 0,5 meter markerats.



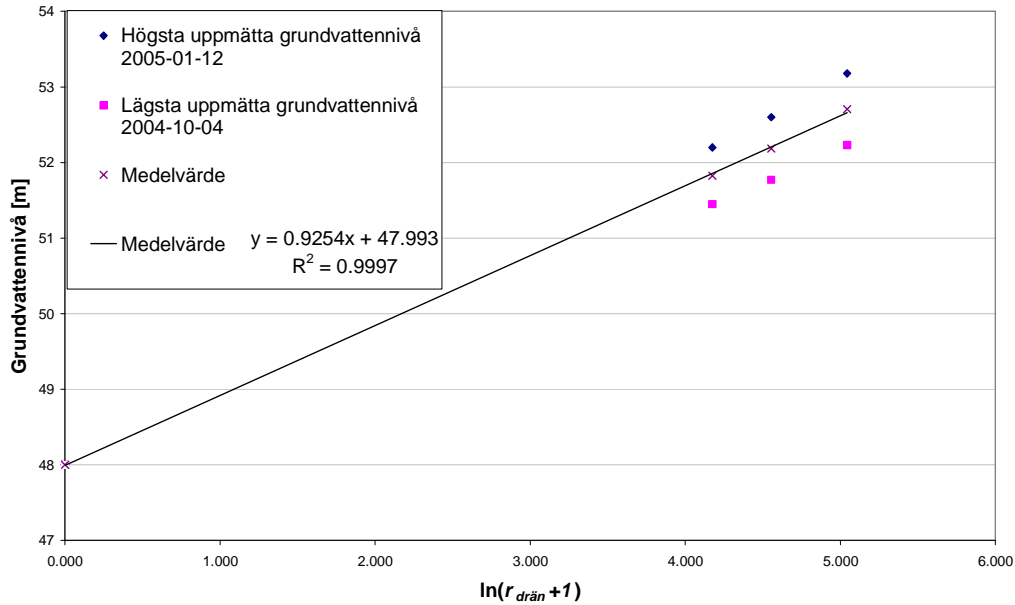
Figur 6.2 Beräknade och uppmätta grundvattennivåer för östra sidan av porten Ölme uppritade på millimeterpapper. Linjerna mellan mätpunkterna har anpassats för hand.

Jämförs pilarna i Figur 6.2 ses att den beräknade avsänkning generellt har en mindre radie för påverkan än de uppmätta. Det gäller både gränsen där avsänkning är 1 meter (pil markerad med a) och gränsen där avsänkning är 0,5 meter (pil markerad med b). För numeriska värden se Tabell 6.1.

Tabell 6.1. Influenstradier för östra sidan vid porten i Ölme. För kolumn a är grundvattnet avsänkt 1 meter, för kolumn b är det avsänkt 0,5 meter.

	a [m]	b [m]
beräknad, sluten akvifer	34	89
uppmätt, lägsta gv-nivå	64	92
uppmätt, högsta gv-nivå	72	107

För att approximera en linje till de uppmätta grundvattennivåerna används ytterligare en metod. Avståndet till dräneringsrören ($r_{drän}$) adderas med talet ett, logaritmeras och en rät linje anpassas enligt beskrivning i avsnitt 5.4. Detta ger en matematisk beskrivning av den uppmätta grundvattentytan, se Figur 6.3 och ekvation 6.1.



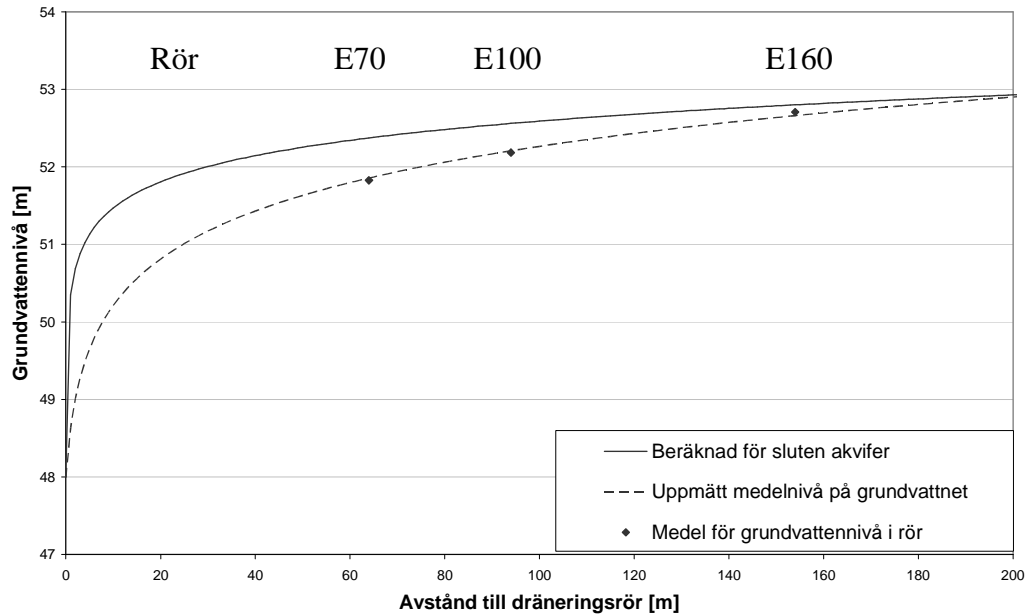
Figur 6.3 Grundvattennivåer för östra sidan om vägporten i Ölme, där avståndet till dräneringsrören logaritmerats. En rät linje anpassas med minsta kvadratmetoden till medelvärdespunkterna.

$$h_{skattad} = 0,9254 \cdot \ln(r_{drän} + 1) + 47,993 \quad (6.1)$$

$$R^2 = 0,9997$$

$h_{skattad}$ = skattad grundvattennivå [m]
 $r_{drän}$ = avstånd till dräneringsrör [m]

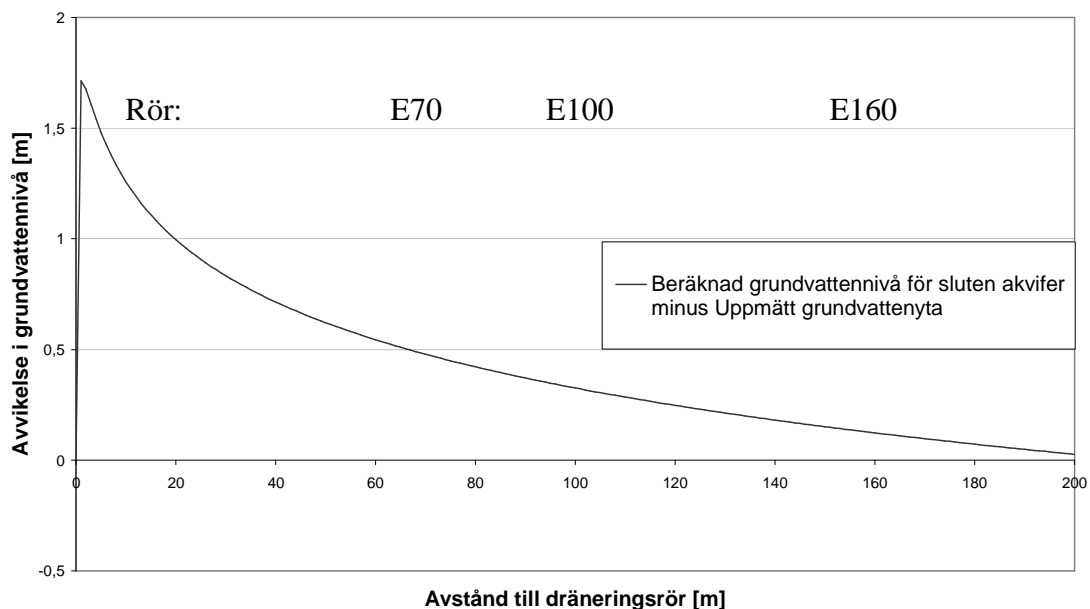
Linjen som anpassats till de uppmätta värdena ritas i samma diagram som linjen för den beräknade avsänkningen. För att kontrollera den anpassade linjen ritas medelvärdesnivån för vattnet i grundvattenrören ut. Observera att avståndet till dräneringsrören inte logaritmerats i Figur 6.4.



Figur 6.4 Beräknad och uppmätt grundvattenyta som funktion av avstånd till dränering. Medelvattennivån för grundvattenrören är markerade.

Kurvan som anpassats matematiskt till de uppmätta grundvattennivåerna har inte planat vid grundvattenrör E160, som antagits vara opåverkad grundvattennivå. Nära porten ligger den beräknade grundvattennivån nästan en meter över den uppmätta. Skillnaden minskar då avståndet till porten ökar och den opåverkade grundvattennivån för de båda grundvattenytorna verkar vara samma.

Genom att subtrahera den uppmätta grundvattenytan från den beräknade ges en överblick över hur skillnaden mellan ytorna varierar, se Figur 6.5.

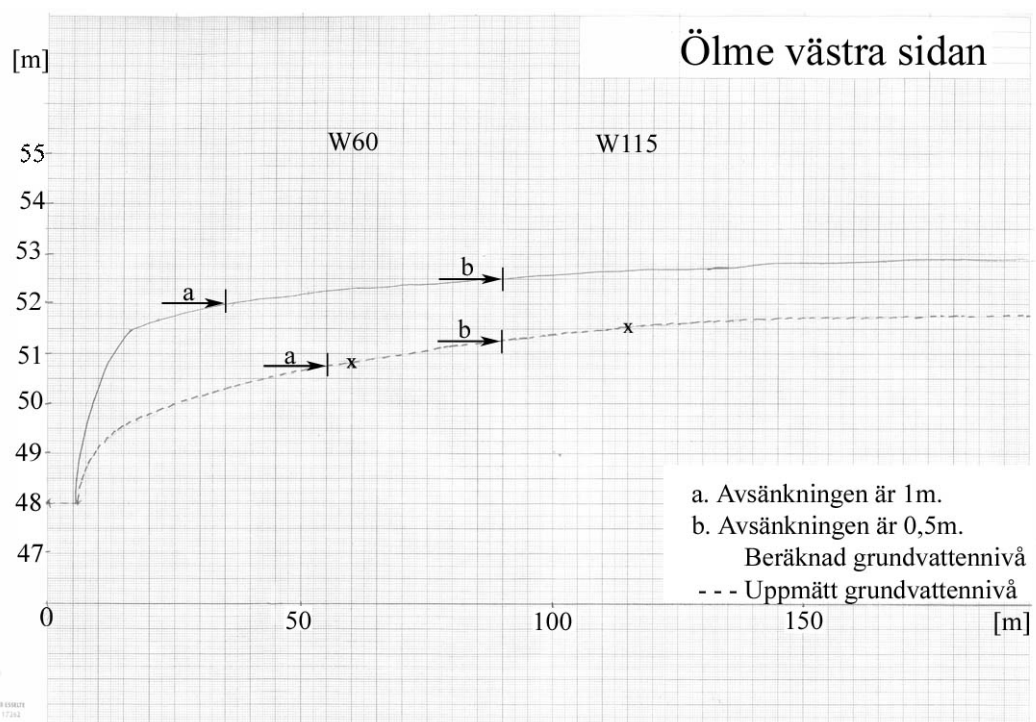


Figur 6.5 Skillnaden mellan beräknad och uppmätt grundvattennivå ritad för östra sidan om porten i Ölme.

Närmast porten är den beräknade vattennivån hög, vilket resulterar i en avvikelse på över 1,5 meter. Därefter minskar skillnaden då avståndet till vägporten ökar.

6.1.3 Ölme västra sidan

För den västra sidan i Ölme finns två grundvattenrör, varav det ena (rör W115) endast har en rimlig grundvattennivå uppmätt. Den rimliga mätningen gjordes 2005-03-08 och är uppritade på millimeterpapper i Figur 6.6. De opåverkade grundvattennivåerna antas ligga på samma nivå som för den östra sidan i Ölme, och ifrån denna nivå beräknas var avsänkning är 1 respektive 0,5 meter.



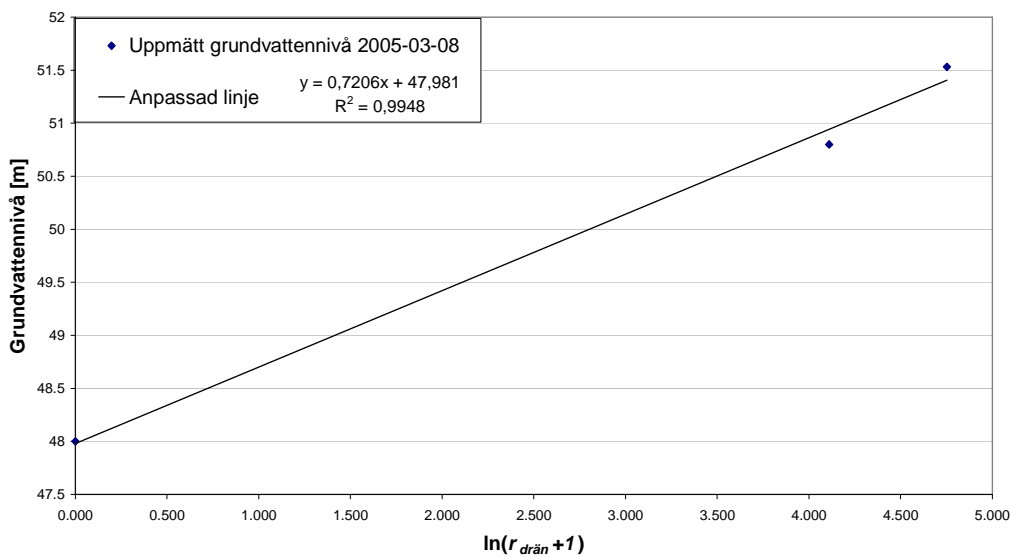
Figur 6.6 Uppmätta grundvattennivåer för den västra sidan om porten i Ölme. Linjerna mellan mätpunkterna har anpassats för hand.

När pilarna i Figur 6.6 jämförs ses att influensradien där avsänkning är 0,5 meter (pilar markerade med b) överensstämmer väl, medan den beräknade influensradien där avsänkning ska vara 1 meter (pilar markerade med a) är för liten. Numeriska värden visas i Tabell 6.2.

Tabell 6.2 Influensradier för västra sidan vid porten i Ölme. För kolumn a är grundvattnet avsänkt 1 meter, för kolumn b är det avsänkt 0,5 meter.

	a [m]	b [m]
beräknad, sluten akvifer	34	89
uppmätt grundvattennivå	56	90

Ytterligare en linje anpassas genom att avståndet till dräneringsrören logaritmeras enligt beskrivning i avsnitt 5.4. Detta ger en matematisk beskrivning av den uppmätta grundvattenytan, se Figur 6.7 och ekvation 6.2.



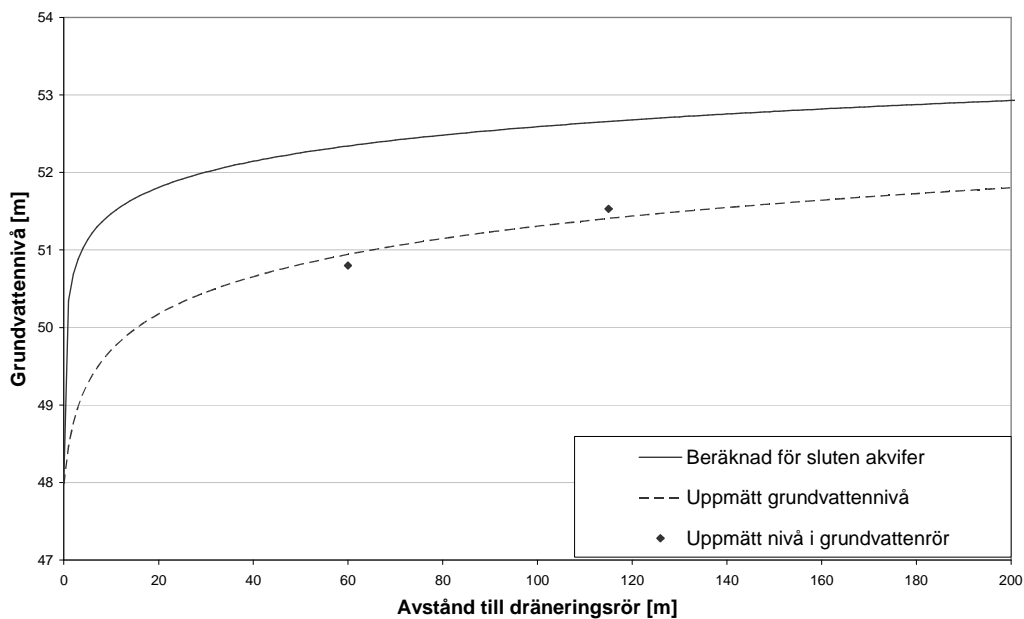
Figur 6.7 Grundvattennivåer där avståndet till dräneringsrören logaritmerats för västra sidan om porten i Ölme. En rät linje anpassas med minsta kvadratmetoden till de uppmätta punkterna.

$$h_{skattad} = 0,7206 \cdot \ln(r_{drän} + 1) + 47,981 \quad (6.2)$$

$$R^2 = 0,9948$$

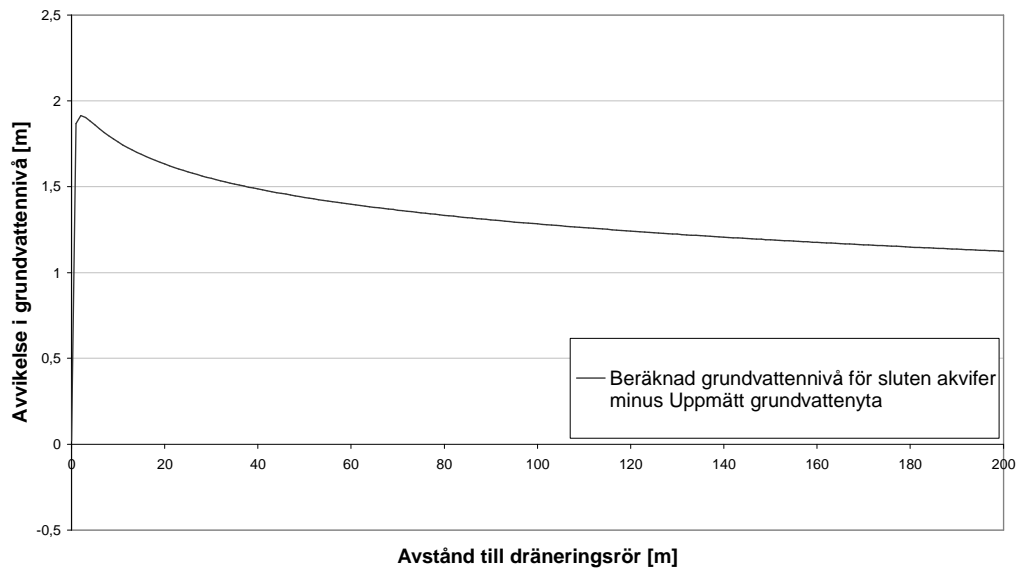
$h_{skattad}$ = skattad grundvattennivå [m]
 $r_{drän}$ = avstånd till dräneringsrör [m]

Den anpassade linjen ritas i samma diagram som den beräknade, se Figur 6.8.



Figur 6.8 Beräknad och uppmätt grundvattennivå ritade som funktion av avstånd till dräneringsrör. Den uppmätta medelvattennivån för varje rör är markerad med en punkt.

Grundvattenytorna ser ut att ha ett konstant mellanrum på drygt en meter. Detta visas tydligare i Figur 6.9 där skillnaden mellan ytorna ritas.

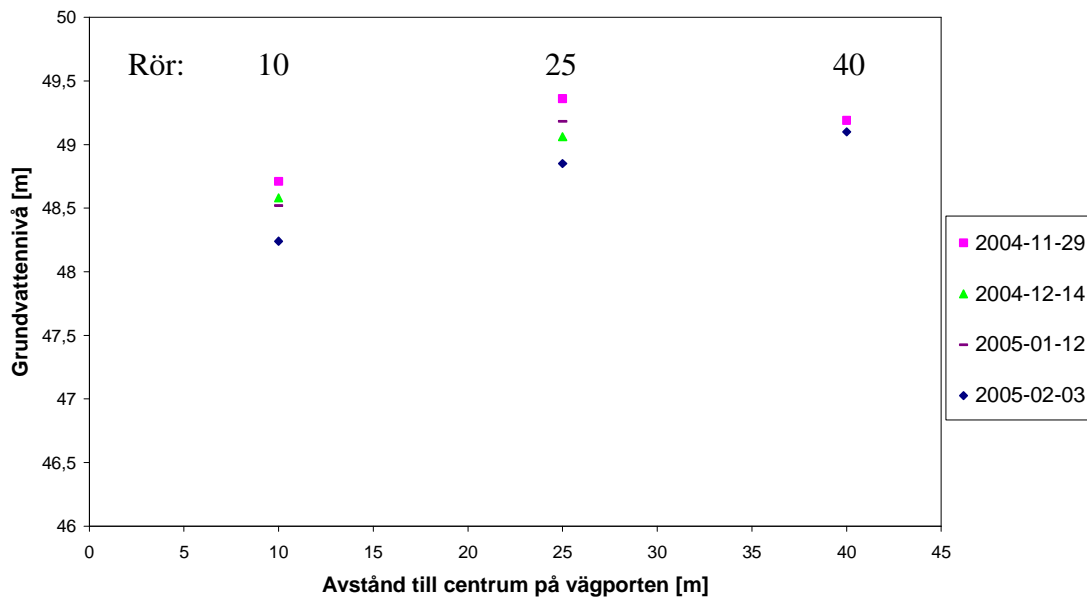


Figur 6.9 Skillnaden mellan den beräknade och den uppmätta grundvattennivån för västra sidan om porten i Ölme.

Skillnaden mellan grundvattenytorna är störst närmast porten och minskar då avståndet till dräneringsrören ökar. Men skillnaden blir dock aldrig noll utan stannar på drygt 1 meter.

6.2 LIDKÖPING

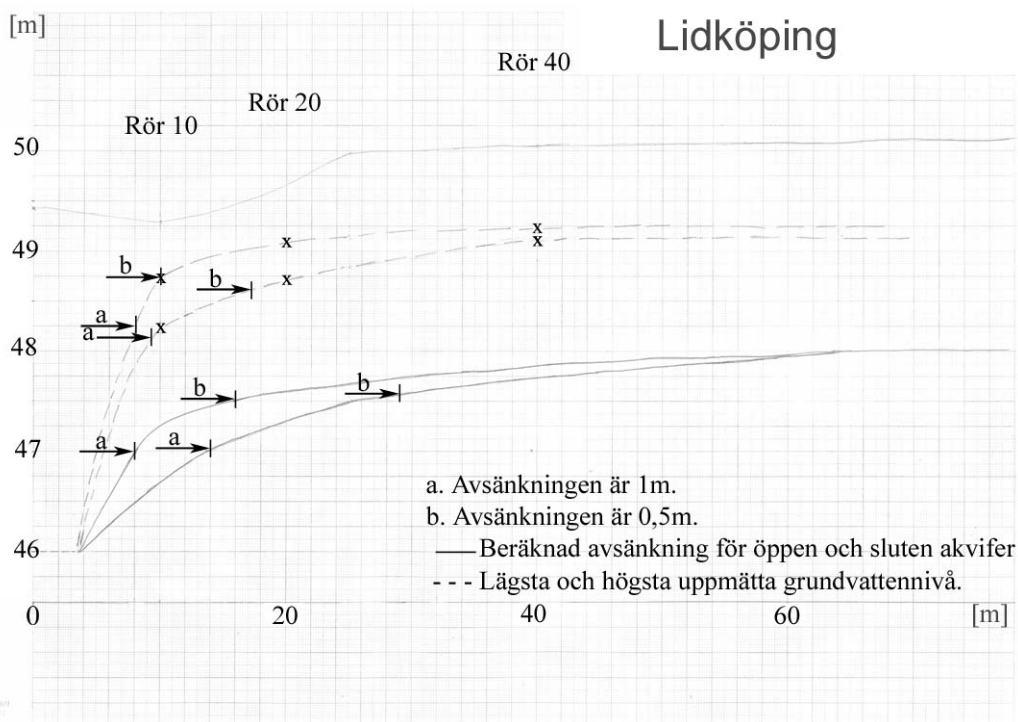
De grundvattennivåer som mätts upp i grundvattenrören i Lidköping visas i Figur 6.10.



Figur 6.10 Uppmätta grundvattennivåer vid vägporten i Lidköping. Vägportens centrum befinner sig i noll på x-axeln.

Grundvattnet i Lidköping hade sin högsta nivå då mätningarna inleddes i slutet av november. Därefter sjönk nivån för att nå sitt lägsta värde i början av februari. Rör 40 vandaliserades efter första mätomgången och reparerades inte förrän i januari vilket betyder att det finns få mätningar från detta rör.

I Figur 6.11 ritas de uppmätta och beräknade grundvattennivåerna på millimeterpapper och en linje anpassas för hand. De opåverkade grundvattennivåerna har satts till nivån som mättes i grundvattenröret längst bort från porten, och ifrån dessa nivåer har radien där avsänkning är 1 respektive 0,5 meter markerats.



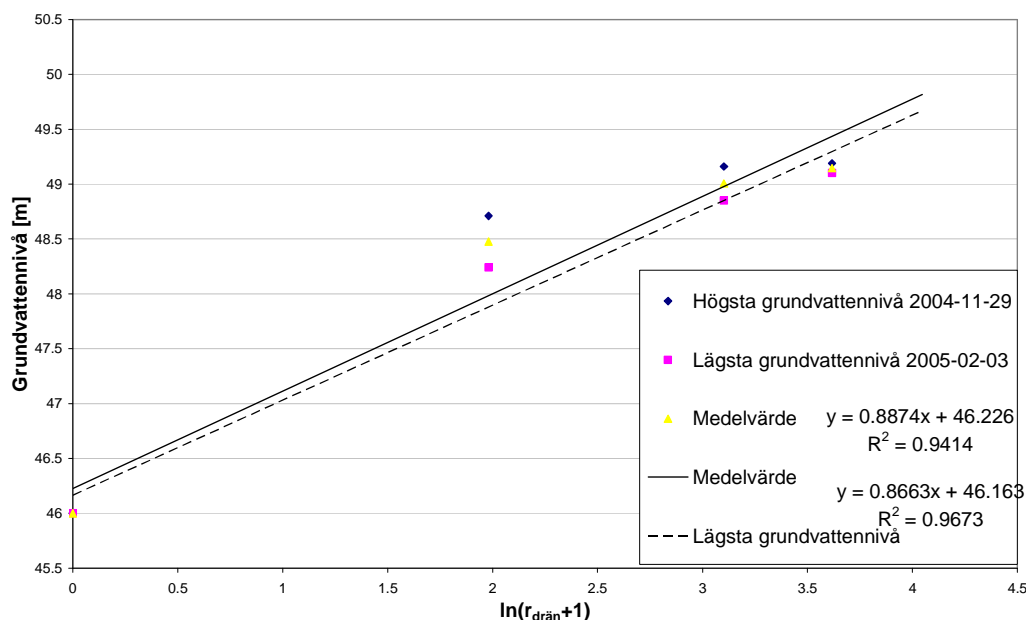
Figur 6.11 Grundvattenytorna i Lidköping uppritade på millimeterpapper. Linjerna mellan mätpunkterna har anpassats för hand. Den grundvattennivå som beräknats för slutna akvifer ligger under den nivå som beräknats för öppna akvifer.

För porten i Lidköping är den opåverkade grundvattennivå som används för beräkningarna nästan 2 meter lägre än den uppmätta opåverkade grundvattennivån. Jämför influensradierna, avståndet från centrum till pilarna, syns att avsänkning som beräknas för öppna akvifer ger en bättre överensstämmelse med de uppmätta värdena. För numeriska värden på influensradier se Tabell 6.3

Tabell 6.3. Influensradier för porten i Lidköping. För kolumn a är grundvattnet avsänkt 1 meter, för kolumn b är det avsänkt 0,5 meter.

	a [m]	b [m]
beräknad, öppen akvifer	8	16
beräknad, slutna akvifer	14	29
uppmätt, lägsta gv-nivå	9	17
uppmätt, högsta gv-nivå	8	10

Ytterligare en linjeanpassning gjordes genom att en rät linje anpassades med minsta kvadratmetoden, se kap 5.4, till både medelvärdesnivån och den låga grundvattennivån då avståndet till dräneringsrören logaritmerats, se Figur 6.12.



Figur 6.12 Grundvattennivåer för porten i Lidköping, där avståndet till dräneringsrören logaritmerats. En rät linje anpassas till det uppmätta grundvattnets medelvärdesnivå och låga nivå.

Linjen som anpassats till grundvattnets medelvärdesnivå beskrivs i ekvation 6.3 och linjen som anpassats till de låga mätvärdena visas i 6.4.

$$h_{skattad} = 0,8874 \cdot \ln(r_{drän} + 1) + 46,226 \quad (6.3)$$

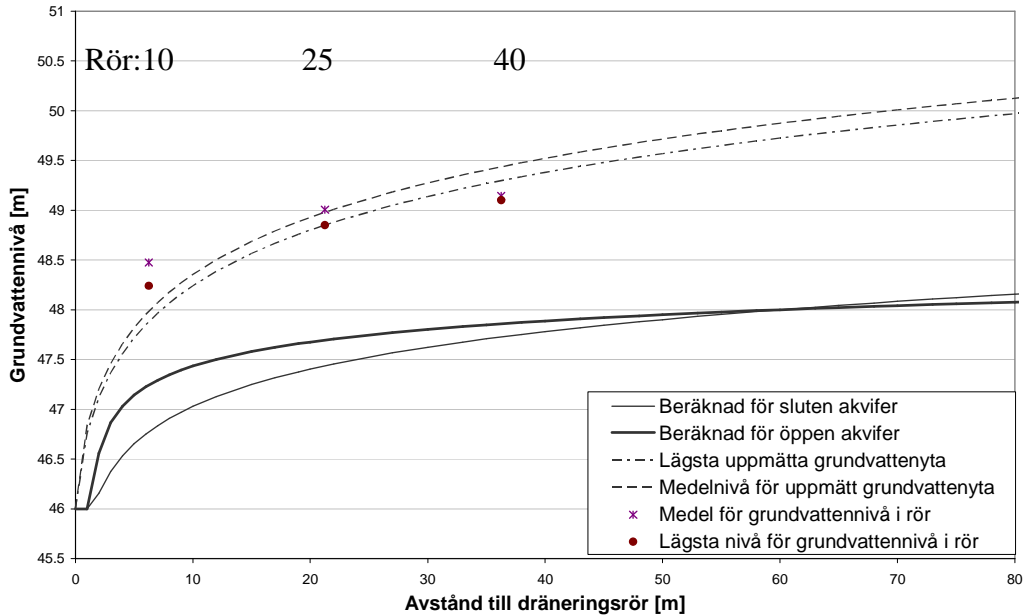
$$R^2=0,9414$$

$$h_{skattad} = 0,8663 \cdot \ln(r_{drän} + 1) + 46,163 \quad (6.4)$$

$$R^2=0,9673$$

$h_{skattad}$ = skattad grundvattennivå [m]
 $r_{drän}$ = avstånd till dräneringsrör [m]

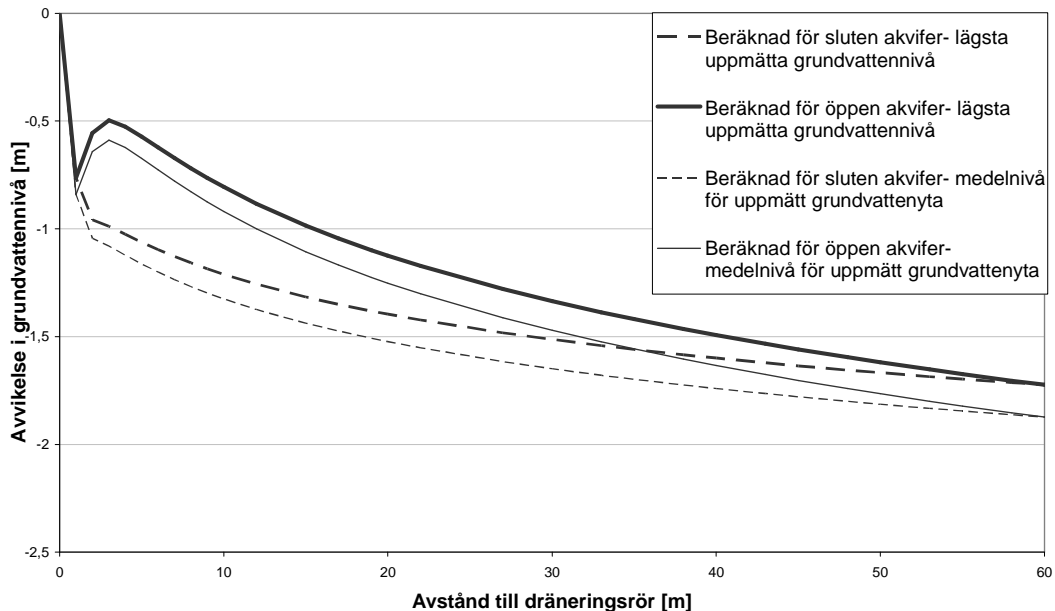
De båda anpassade linjerna ritas in i samma diagram som de beräknade grundvattennivåerna, se Figur 6.13. För att kontrollera anpassningarna ritas även de uppmätta grundvattennivåerna ut. Observera att avståndet till dräneringsrören inte är logaritmerade i detta diagram.



Figur 6.13 Linjen som anpassats till medelvärdet av de uppmätta grundvattennivåerna ritas i samma diagram som de beräknade vattennivåerna. Även medelvärdesnivån för grundvattenrören markeras.

I Lidköping ligger den uppmätta grundvattennivån inte alls i samma intervall som den beräknade, det skiljer nästan två meter. De anpassande linjerna beskriver inte heller de uppmätta nivåerna speciellt bra och planar inte ut tillräckligt snabbt.

Genom att subtrahera de uppmätta nivåerna från de beräknade erhålls en beskrivning över skillnaden mellan ytorna och det är möjligt att se vilken anpassning och beräkningsmetod som är mest lika.

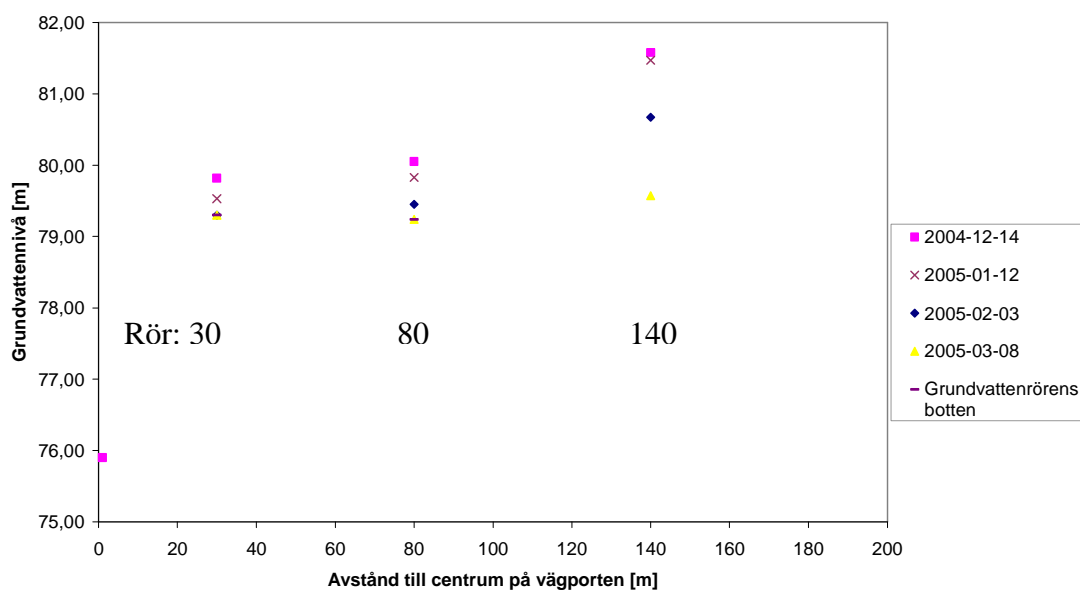


Figur 6.14 Skillnaden mellan de beräknade och de uppmätta grundvattennivåerna ritas som funktion av avståndet till dräneringsrören.

Närmast porten överensstämmer de beräknade och de uppmätta grundvattennivåerna relativt väl för att längre bort från avsänkningen centrum skilja upp till två meter. Detta är ett resultat av att de opåverkade grundvattenytorna ligger på så olika nivå.

6.3 ULVÅKER

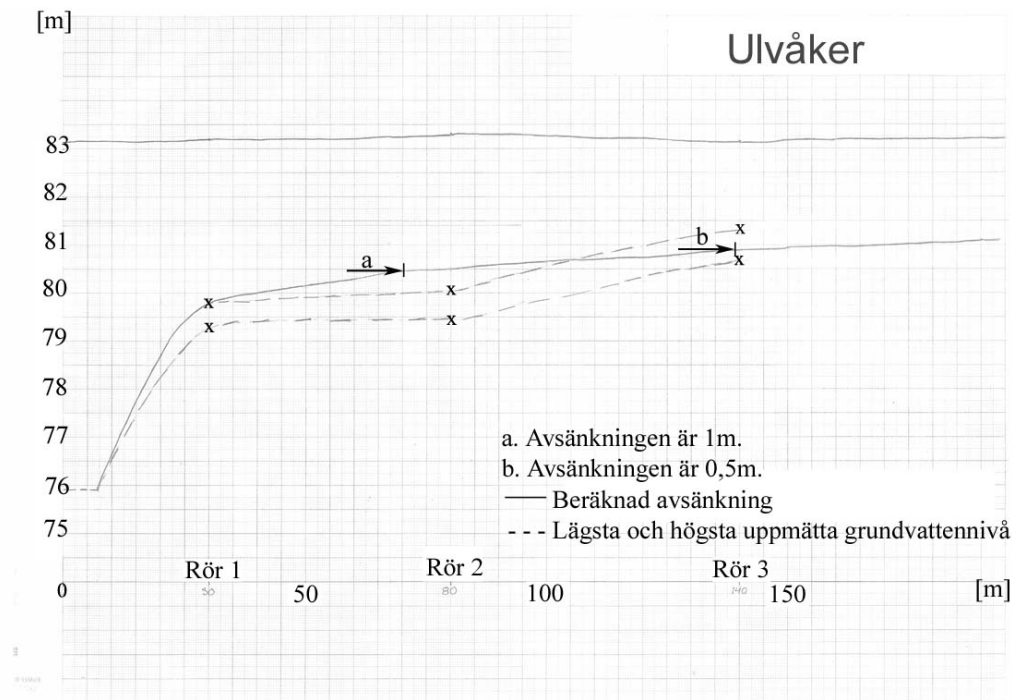
I början av mars hade grundvattennivån i rören i Ulvåker sjunkit så lågt att de två grundvattenrören närmast porten inte räckte till grundvattenytan, därmed saknas mätvärden. Annars syns det i Figur 6.15 att grundvattennivåerna är vid sitt högsta läge under december, för att sedan sjunka under de följande vintermånaderna.



Figur 6.15 De uppmätta grundvattennivåerna i Ulvåker.

I Figur 6.15 syns att de uppmätta grundvattennivåerna inte följer den parabel som en avsänkning brukar. Det är rör 80 som har ovanligt låga grundvattennivåer. På grund av detta görs dels en linjeanpassning till alla medelnivåpunkterna och dels en justerad anpassning där bara medelnivåerna för rör 30 och 140 tagits med.

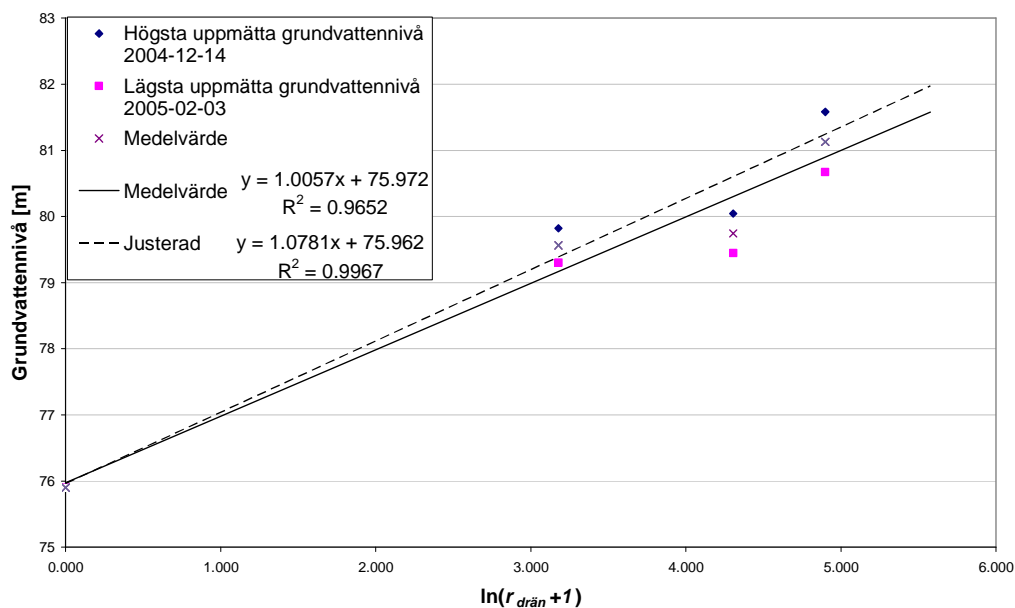
De högsta och lägsta uppmätta grundvattennivåerna ritas på ett millimeterpapper och en linje anpassas för hand. Även den beräknade avsänkningen ritas in på pappret, se Figur 6.16. De opåverkade grundvattennivåerna sätts till nivån som mättes i grundvattenröret längst bort från porten, och ifrån dessa nivåer markeras var radien där avsänkningen är 1 respektive 0,5 meter ligger.



Figur 6.16 Grundvattenytorna i Ulvåker uppritade på millimeterpapper, linjerna mellan mätpunkterna har anpassats för hand.

Avsänkning i Ulvåker följer inte den förväntade formen och den opåverkade nivån är okänd. Detta gör att det inte är möjligt att sätta ut gränser där avsänkning är 1 respektive 0,5 meter.

Ytterligare en linjeanpassning görs genom att avståndet till dräneringsrören logaritmeras enligt avsnitt 5.4. Detta resulterar i en matematisk beskrivning av grundvattennivåerna, se Figur 6.17 samt ekvation 6.5 och 6.6.



Figur 6.17 Diagram över hur grundvattennivån beror av det logaritmerade avståndet till dräneringsrören i Ulvåker. Råta linjer har anpassats till mätvärdena med minsta kvadratmetoden.

Linjen som anpassats till grundvattenrörrens medelvärdesnivåer beskrivs i ekvation 6.5 och den justerade linjens ekvation beskrivs i 6.6.

$$h_{skattad} = 1,0057 \cdot \ln(r_{drän} + 1) + 75,972 \quad (6.5)$$

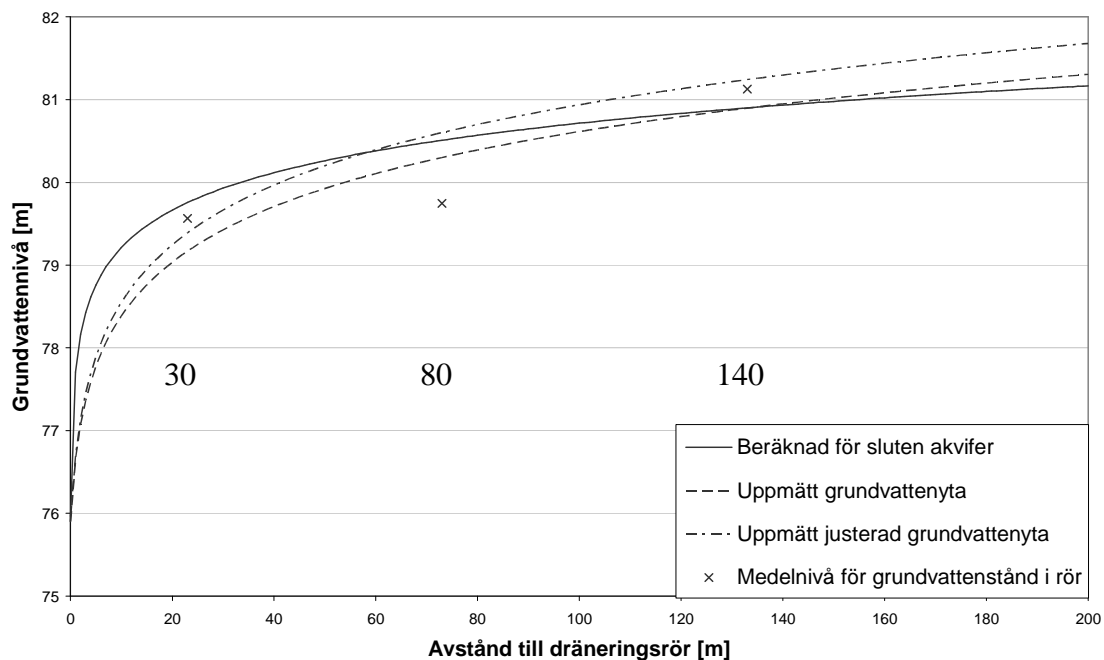
$$R^2=0,9652$$

$$h_{skattad} = 1,0781 \cdot \ln(r_{drän} + 1) + 75,962 \quad (6.6)$$

$$R^2=0,9967$$

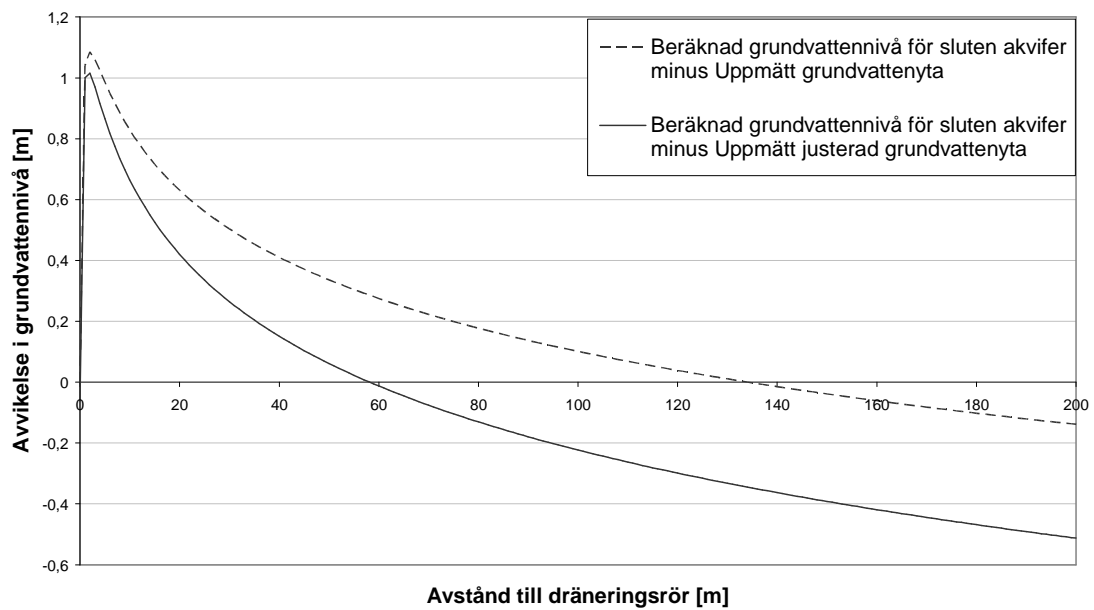
$h_{skattad}$ = skattad grundvattennivå [m]
 $r_{drän}$ = avstånd till dräneringsrör [m]

För att jämföra kurvorna som anpassats efter de uppmätta värdena med den beräknade kurvan ritas dessa i samma diagram, se Figur 6.18. Även medelnivån för varje grundvattenrör har ritats in i figuren, för att kontrollera linjeanpassningarnas överensstämmelse. Observera att avståndet till dräneringsrören inte är logaritmerat i denna graf.



Figur 6.18 Beräknade, uppmätta och justerade uppmätta grundvattennivåer ritas som funktioner av avståndet till dräneringsrören. Den uppmätta medelvattennivån för varje grundvattenrör är markerad med en punkt.

Figur 6.18 visar på att den uppmätta linjen som inte justerats ligger närmare det beräknade värdet. För att tydliggöra skillnaderna undersöks differensen mellan de beräknade och de uppmätta värdena.



Figur 6.19 Skillnaden mellan det beräknade och det uppmätta samt de justerade uppmätta värdena ritas som funktion av avståndet till dräneringsrören.

Figur 6.19 visar att den anpassade uppmätta linjen som justerats ger ett mindre fel nära porten men ett större fel efter ca 100 meter. På stort avstånd från porten uppgår felet för den justerade linjen till drygt 0,5 meter, medan den ickejusterade linjens fel är betydligt mindre.

7 ANALYS AV VARIATION I BERÄKNINGSPARAMETRAR

För att undersöka känsligheten för variationer i de parametrar som används för beräkning av grundvattensänkning undersöks hur radierna för 1 meters avsänkning (r_1), 0,5 meters avsänkning ($r_{0,5}$) och maximala influensradien påverkas då en beräkningsparameter ändras. Analysen utgår ifrån en vägport som har originalparametrar som ligger nära de undersökta portarnas; konduktiviteten (K) är 10^{-4} m/s, avsänkning i portens centrum (s_w) är 5 m och brunnsradien (r_w) är 0,008 m. Analysen görs både för öppen och sluten akvifer, för att se om variationen slår olika.

7.1 VARIATION AV KONDUKTIVITET

För mellansand ligger konduktiviteten i intervallet 10^{-3} - 10^{-5} m/s. Då samtliga konduktiviteter som används för beräkning vid de undersökta vägportarna ligger kring 10^{-4} undersöks hur influensradierna ändras om konduktiviteten sätts till extremvärdena för detta intervall, se Tabell 7.1.

Tabell 7.1 Maximal influensradie och radier för avsänkning 0,5 och 1 m beräknade för olika konduktiviteter. Beräkningarna är gjorda för både öppen och sluten akvifer.

	r_1 [m]	Rel. avvikelse [%]	$r_{0,5}$ [m]	Rel. avvikelse [%]	R [m]	Rel. avvikelse [%]
Öppen akvifer	4,3		23,1		150	
$K = 10^{-3}$ m/s	9,1	108,9	58,8	154,1	474,3	216,2
$K = 10^{-5}$ m/s	2,1	-52,1	9,1	-60,6	47,4	-68,4
Sluten akvifer	21		56,1		150	
$K = 10^{-3}$ m/s	52,7	151,2	158	181,8	474,3	216,2
$K = 10^{-5}$ m/s	8,3	-60,2	19,9	-64,5	47,4	-68,4

I Tabell 7.1 ses att en högre konduktivitet leder till större influensradier. Konduktiviteten har en större påverkan för beräkningar som utförs för sluten akvifer än för beräkningar som görs för en öppen akvifer.

7.2 VARIATION AV MAXIMAL AVSÄNKNINGSNIVÅ

Då grundvattennivåerna varierar och de inledande grundvattenmätningarna är få är det i många fall svårt att bedöma vad den maximala avsänkningsnivån ska sättas till. I Tabell 7.2 visas vad utslaget blir då den maximala avsänkningsnivån varierar med ± 2 meter.

Tabell 7.2 Maximal influensradie och radier för avsänkning 0,5 och 1 m beräknade för olika maximal avsänkning. Beräkningarna är gjorda för både öppen och sluten akvifer.

	r_1 [m]	Rel. avvikelse [%]	$r_{0,5}$ [m]	Rel. avvikelse [%]	R [m]	Rel. avvikelse [%]
Öppen akvifer	4,3		23,1		150	
$s_w = 3$ m	0,5	-88,4	5,2	-77,5	90	-40,0
$s_w = 7$ m	14,1	225,1	51,7	123,5	210	40,0
Sluten akvifer	21,0		56,1		150	
$s_w = 3$ m	4,0	-80,8	19,0	-66,1	90	-40,0
$s_w = 7$ m	49,1	134,1	101,5	81,0	210	40,0

En stor avsänkning ger större influensradier. Det relativa felet är störst för den öppna akviferen men eftersom influensradierna är större för en sluten akvifer än för en öppen, blir avvikelsen i meter ändå större för den slutna akviferen.

7.3 VARIATION AV BRUNNSRADIE

Hur parametern brunnsradie (r_w) ska tolkas för en vägport är oklart. Antingen används radien på hålen i dräneringsrören (0,008 m), radien på brunnen som länsas (0,5 m) eller radien på vägporten (6 m). Hur influensradierna ändras då definitionen av brunnsradien görs olika visas i Tabell 7.3.

Tabell 7.3 Maximal influensradie och radier för avsänkning 0,5 och 1 m beräknade för olika definition av brunnsradien. Beräkningarna är gjorda för både öppen och sluten akvifer.

	r_1 [m]	Rel. avvikelse [%]	$r_{0,5}$ [m]	Rel. avvikelse [%]	R [m]	Rel. avvikelse [%]
Öppen akvifer	4,3		23,1		150	
$r_w = 0,5$ m	19,2	343,1	50,8	119,4	150	0,0
$r_w = 6$ m	47,1	984,0	81,4	251,8	150	0,0
Sluten akvifer	21,0		56,1		150	
$r_w = 0,5$ m	47,9	128,7	84,8	51,2	150	0,0
$r_w = 6$ m	78,8	275,8	108,7	93,9	150	0,0

Hur brunnsradien definieras har effekt på radierna där avsänkningen är 0,5 och 1 m men inte på maximala influensradien. Stora brunnsradier ger en orealistisk form på avsänkningskurvans utseende, och det bör därför finnas en begränsning på hur stor brunnsradie som får användas.

8 DISKUSSION

8.1 BERÄKNA GRUNDVATTENSÄNKNING

Överlag är det svårt att räkna på vattens rörelser i jorden då förutsättningarna aldrig är homogena, vilket ofta är ett grundläggande antagande för beräkningarna. För att minska risken för felaktigheter på grund av inhomogenitet kan de geotekniska undersökningarna och inventeringen av brunnar och lokala avsänkingsområden göras noggrannare. Dock är undersökningar både kostsamma och tidskrävande och därför blir det nödvändigt att göra kompromisser i säkerhet för att spara pengar och tid.

Vid de undersökta vägportarna har en svårighet varit att bestämma den normala opåverkade grundvattennivån, som avsänkningen beräknas från. Ett sätt att komma till rätta med problemet är att göra inledande grundvattenmätningar under ett år innan bygget startar. Då är grundvattnets variationsintervall redan känt och en grundvattenyta som ligger mellan medelnivå och hög nivå kan användas i beräkningarna. Detta hade till exempel gjort skillnad för beräkningarna vid porten i Lidköping.

För att snabbt få en uppfattning av den maximala påverkansradien vid en grundvattensänkning används ofta Thurners formel. Bakgrunden till formeln är dock oklar och då parametrarna som används för beräkning är få och osäkra bör det tas i beaktande att den är en grov uppskattning av det påverkade områdets storlek.

I Thiems formler för avsänkingsberäkningar används parametern brunnsradie, r_w , och vad en brunnsradie är för en vägport råder det delade meningar om. Skillnaden ligger i om man definierar brunnsradien som radien för hela vägporten, vilket normalt ligger kring 6-7 meter, eller som radien på dräneringsrören, vilka ligger kring 8 mm. Efter diskussioner med Bengt Rosén på SGI drogs slutsatsen att parametern brunnsradie inte går att applicera på en vägport. Kravet på en brunn är bland annat att den skär hela det vattenförande lagret med ett vattenintag på alla nivåer vilket resulterar i att det endast förekommer horisontell strömning. Detta är inte jämförbart med horisontellt lagda dräneringsledningar som sänker grundvattennivån till en yta vilket resulterar i att vertikal strömning förekommer under ytan. För att beräkningarna ska fungera bör brunnsradien sättas till ett värde mindre än 0,5 m.

Den hydrauliska konduktiviteten är en parameter som är svår att uppskatta. Analysen av variationen i beräkningsparametrarna visar på att ett fel i konduktiviteten ger ett större utslag i beräkningarna för en sluten akvifer än beräkningarna för en öppen. Det är därmed extra viktigt att vara noggrann i bestämningen av konduktiviteten för en sluten akvifer.

8.2 MÄTA GRUNDVATTENYTAN

När grundvattenytan skulle mätas var dilemmat på vilket avstånd från vägporten de tre grundvattenrören skulle placeras för att på bästa sätt ge en uppskattning av avsänkningstrattens utseende. Det eftersökta är på vilket avstånd från vägporten som avsänkningen är 1 respektive 0,5 meter. För att bestämma storleken på avsänkningen måste även den opåverkade grundvattennivån vara känd. Denna kan erhållas genom att mäta tillräckligt långt bort från porten. Görs mätningarna för långt bort från vägporten

kan det dock vara en annan grundvattennivå än den som skulle ha varit vid porten utan avsänkning.

Det hade varit lämpligt att sätta fler grundvattenrör för att få fler kända nivåer och kunna göra en bättre anpassning, speciellt hade det varit bra att ha ett grundvattenrör på det avstånd från porten som enligt Thurners formel beräknats till maximal influensradie.

För att hålla vattnet i rören flytande hela vintern tillsattes T-röd. Densiteten för T-röd och vatten skiljer så att T-röd har en densitet på ca $0,8 \text{ g/cm}^3$ medan vattens densitet är ca 1 g/cm^3 . I varje rör tillsattes 1 dl T-röd som då väger 80 g vilket motsvarar en höjd på ca 0,57 meter i grundvattenrören. Motsvarande tyngd vatten skulle ge en höjd på 0,45 meter i grundvattenrören vilket resulterar i ett fel på upp till 12 cm. Men för att kunna göra avläsningar med koaxialkabeln tillsattes även en liten volym saltvatten. Densiteten på saltvattnet är okänd men högre än densiteten på rent vatten vilket borde kunna ge en liten utjämning av skillnaden i densiteter. Dessutom tillsattes samma volym T-röd i samtliga grundvattenrör vilket gör att felet inte borde ge någon större påverkan på avsänkningens utseende utan bara en förhöjd grundvattennivå.

Nivåmätningarna i grundvattenrören pågick mellan tre och sex månader, för de tre vägportarna. Detta är egentligen en för kort tid, då det är lämpligt att göra mätningar under minst ett år för att få med grundvattnets hela variation. Därför planeras mätningarna att fortsätta även efter det att detta examensarbete har avslutats.

Ytterligare osäkerheter ligger i den interpolation som gjordes mellan de uppmätta nivåerna. Linjerna som anpassats med minsta kvadratmetoden konvergerar inte tillräckligt snabbt och de beskriver inte alltid de uppmätta nivåerna. Den linjeanpassningen som gjordes för hand är på så sätt mer tillfredsställande, men vid en avvikelse (som i Ulvåker) blir det omöjligt att dra några slutsatser.

8.3 JÄMFÖRELSE MELLAN BERÄKNAD OCH UPPMÄTT AVSÄNKNING

För att kunna jämföra den beräknade avsänkningen med den uppmätta grundvattenytan behövde dessa skrivas om på samma form. Den beräknade avsänkningen passades in genom att den maximala avsänkningsnivån, s_w , sattes till torrläggingsnivån i porten. Porten torrläggingsnivå är nivån för dräneringsrören. Höjdnivån på dräneringsrören varierar något eftersom rören lutar mot en brunn, men som torrläggingsnivå sattes den lägsta nivån som fanns i portläget.

Jämförs influensradierna, både där avsänkningen är 0,5 meter och 1 meter, för de uppmätta och beräknade grundvattennivåerna vid de tre undersökta vägportarna ses en tendens till att det är svårare att bestämma avsänkningen för en sluten akvifer än för en öppen. Men det bör tas i beaktande att mätningar på bara tre portar är svårt och osäkert att dra några generella slutsatser från.

Genom att subtrahera den uppmätta grundvattenytan från den beräknade avsänkningen ges en överblick över hur skillnaden mellan ytorna varierar. För samtliga portar har kurvan samma utseende, men skillnaden mellan de opåverkade vattennivåerna gör att den ibland ligger över och ibland under x-axeln. För en konsult borde en skillnad som är större än noll vara att föredra eftersom hon då har marginalerna på sin sida.

9 SLUTSATSER

Beräkning av grundvattensänkning:

- Mät grundvattennivåerna innan byggandet startar (helst under ett helt år) så att nivån avsänkningen beräknas från är någorlunda riktig.
- Görs beräkningarna för en sluten akvifer bör bestämningen av konduktiviteten vara extra noggrann.
- Parametern brunnsradie (r_w) går inte att applicera på en vägport utan måste uppskattas. För att beräkningarna ska bli trovärdiga bör den sättas till ett tal mindre än 0,5 m.

Mäta grundvattenytans nivå:

- Tänk efter vid utplaceringen av grundvattenrören; vilket antal, på vilken höjdnivå och på vilket avstånd till porten ska de sättas.
- Planera mätningarna så att de utförs kontinuerligt under längre tid (gärna ett år).
- Var noga med vad som tillsätts i rören, olika densiteter kan ge fel i höjdmätningarna.
- Se alltid till att allt som tas med ut i fält fungerar!

REFERENSER

Tryckta källor

- Axelsson, K. (2000) *Introduktion till Geotekniken*, Avdelningen för Byggnadsteknik, Ingenjörshögskolan i Jönköping
- Carlsson, L. Gustafson, G. (1991) *Provpumpning som geohydrologisk undersökningsmetodik*, R66:1991, Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
- Grip, H. Rodhe, A. (2000) *Vattnets väg från regn till bäck*, Hallgren & Fallgren studieförlag, Uppsala
- Gunnarsson, A. Rosén, B. Sandros, C. (1995) *Tekniskt PM, Provpumpning för bro under västra Stambanan, Ulvåker*, Statens Geotekniska Institut, Linköping
- Hedberg, B. (1995a) *Väg 580 Bro B1, Vägport under järnväg vid Ölme k:a, Bygghandling, Teknisk beskrivning geoteknik nr 2 (TBb/geo 2)*, Vägverkets konsultavdelning, Karlstad
- Hedberg, B. (1995b) *Väg 936 vägport under Stambanan i Ulvåker, Bygghandling, Teknisk beskrivning geoteknik (TB/geo)*, Vägverkets konsultavdelning, Karlstad
- Hedberg, B. Josefson, A. (2001) *Väg 44/2602 Cirkulationsplats i Lidköping, Gc-port under Mellbygatan. Objektspecifik teknisk beskrivning, bro geoteknik (OTBb/geo 1)*, Vägverket Konsult, Karlstad
- Karlsson, R. Hansbo, S. (1984) *Jordarternas indelning och benämning*, Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
- Knutsson, G. Morfeldt, C-O. (2002) *Grundvatten: teori & tillämpning*, Svensk Byggtjänst AB, Stockholm
- Rosén, B. Gunnarsson, A. Sandros, C (1995) *Grundvattenförhållanden väg 580 Ölme*, Statens Geotekniska Institut, Linköping
- Statens Geotekniska Institut (1985) *Länshållning vid schaktningsarbeten*, Vägforskningsgruppen vid Svenska Byggnadsentreprenörföreningen, Linköping
- Strack, O.D.L. (1988) *Groundwater Mechanics*, Department of Civil and Mineral Engineering, University of Minnesota
- Svenska Geotekniska Föreningen (2004) *Fälthandbok Miljötekniska markundersökningar*, SGF rapport 1:2004, Statens geotekniska institut, Lidköping
- Svensson, C. (2001) Ingenjörgeologisk hemsida, <http://connywww.tg.lth.se/> (2005-02-02)
- Thurner, A. (1967) *Hydrogeologie*, Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Graz, Springer –Verlag, Wien

Vägverket (1990) *Mätning av grundvattennivå och portryck*, Publ.1990:41,
Serviceavdelningen Väg- och Brokonstruktion, Sektionen för geoteknik, Borlänge

Muntliga källor

Hedberg, B. (2004, 2005) Vägverket Konsult, Karlstad, Muntlig information

Josefson, A. (2004) Vägverket Konsult, Göteborg, Muntlig information

Rosén, B. (2005) SGI, Linköping, Muntlig information

BILAGOR

A. HÄRLEDNING AV THIEM OCH THIEM-DUPUITS EKVATION SLUTEN AKVIFER

Flödesekvationen för en sluten homogen isotrop tvådimensionell akvifer visas i ekvation A.1.

$$\left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) \cdot K = \frac{\partial h}{\partial t} \cdot S_s = \frac{\partial h}{\partial t} \cdot \frac{S}{b} \quad (\text{A.1})$$

Genom antagande om att stationära förhållanden råder, sker inga förändringar över tiden, vilket gör att alla tidsderivator kan sättas till noll. Då beräkningarna behandlar propumpning och därmed radiella grundvattenströmningar skrivs ekvationen även om till polära koordinater (ekvation A.2).

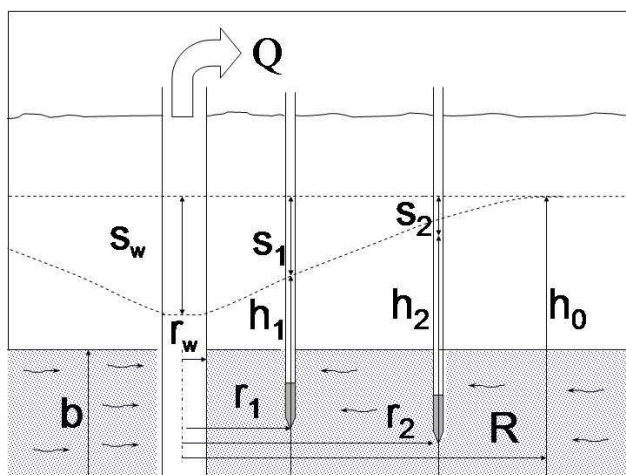
$$\frac{\partial^2(hKb)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(hKb)}{\partial y^2} = \frac{\partial^2(hKb)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial(hKb)}{\partial r} = \frac{\partial^2(hT)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial(hT)}{\partial r} = 0 \quad (\text{A.2})$$

Genom att integrera ekvation A.2 ges sambanden som ses i ekvation A.3 och A.4.

$$r \cdot \frac{\partial(hT)}{\partial r} = C_1 \quad (\text{A.3})$$

$$hT = C_1 \ln r + C_2 \quad (\text{A.4})$$

Vidare kan en brunn och det radiella (horisontella) flödet kring en brunn ses som en cylinder där höjden, h , är vattennivån i cylinderns ytterkant och radien, r , är avståndet mellan brunncentrum och mätpunkten (Figur A.1). Vattenströmningen genom cylindern måste vara lika med mängden vatten som pumpas ut, Q . För att beskriva strömningen genom cylindern används Darcys lag där cylinderns area, A , beskrivs som $2\pi rb$ och b är tjockleken för den slutna akviferen, se ekvation A.5. (Carlsson & Gustafson, 1991)



Figur A.1 Horisontellt flöde kring en brunn och parametrar som används vid beräkningar.

$$Q = KA \frac{dh}{dr} = 2\pi r b \frac{d(Kh)}{dr} = 2\pi r \frac{d(Th)}{dr} \quad (\text{A.5})$$

Genom att kombinera ekvation A.4 med Darcys lag (ekvation A.5) erhålls ett uttryck där vattennivån beror av akviferens transmissivitet, mängden vatten som pumpas ut och avståndet till brunncentrum (ekvation A.6).

$$h = \frac{Q}{2\pi T} \ln r + C \quad (\text{A.6})$$

Genom att jämföra avsänkningen (s) på två avstånd från pumpbrunnen försvinner integrationskonstanten (C), se ekvation A.7.

$$s_1 - s_2 = h_2 - h_1 = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (\text{A.7})$$

I Figur A.1 visas att den ursprungliga grundvattennivån (h_0) ligger på avståndet R från pumpgropen och den avsänkta nivån i pumpbrunnen (h_w) finns på avståndet r_w . Med dessa randvillkor kan avsänkningen (s_w) beräknas som skillnaden mellan h_0 och h_w , se ekvation A.8.

$$s_w = h_0 - h_w = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{R}{r_w} \quad (\text{A.8})$$

Tas skillnaden i stället mellan avsänkningen ett visst avstånd från brunncentrum (s) och avsänkningen i brunnen (s_w), se Figur A.1, kan ytterligare en ekvation på samma form tas fram, se ekvation A.9.

$$s_w - s = h - h_w = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{r}{r_w} \quad (\text{A.9})$$

Genom att lösa ut transmissiviteten (T) ur ekvationerna A.8 och A.9 kan dessa sättas lika med varandra och förenklingar göras, se ekvation A.10.

$$T = \frac{Q}{2\pi(s_w)} \ln \frac{R}{r_w} = \frac{Q}{2\pi(s_w - s)} \ln \frac{r}{r_w} \quad (\text{A.10})$$

Genom att lösa ut avsänkningen på ett godtyckligt valt avstånd från brunnen (s) ur ekvation A.10 så erhålls Thiems ekvation på den form som används för beräkningar, se ekvation A.11. Med denna ekvation är det möjligt att beräkna hur stor avsänkning som erhålls ett bestämt avstånd från brunncentrum.

$$s = s_w \left(1 - \frac{\ln(r/r_w)}{\ln(R/r_w)} \right) \quad (\text{A.11})$$

ÖPPEN AKVIFER

Härledningen för Thiem-Dupuits ekvation för en öppen akvifer är mycket lik härledningen för Thiems ekvation för en sluten akvifer. Därför är denna härledning något kortfattad. Med utgångspunkt i den lineariserade Boussinesqekvationen

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{\partial h}{\partial t} \cdot \frac{S_y}{Kh} \quad (\text{A.12})$$

antas att stationära förhållanden råder vilket ger ekvation A.13. Samtidigt skrivs ekvationen om till polära koordinater.

$$\frac{\partial^2 (h^2 K)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 (h^2 K)}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 (h^2 K)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial (h^2 K)}{\partial r} = 0 \quad (\text{A.13})$$

Genom att integrera ekvation A.13 två gånger erhålls ekvation A.14 och A.15.

$$r \cdot \frac{\partial (h^2 K)}{\partial r} = C_1 \quad (\text{A.14})$$

$$h^2 K = C_1 \ln r + C_2 \quad (\text{A.15})$$

Genom att kombinera dessa båda ekvationer med Darcys lag, se ekvation A.5, erhålls ett uttryck där grundvattennivån är en funktion av volymen vatten som pumpas bort, konduktiviteten och avståndet till brunncentrum, se ekvation A.16.


$$h^2 = \frac{Q}{2\pi K} \ln r + C \quad (\text{A.16})$$

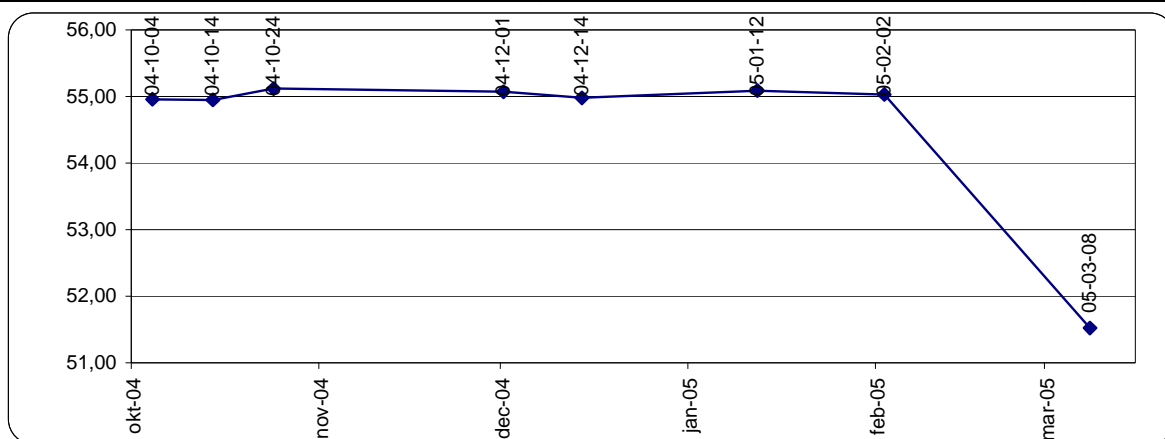
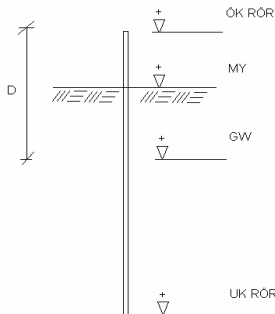
Vidare används samma randvillkor som vid härledningen av Thiems brunnsekvation (se ekvation A.7-A.10) och detta resulterar slutligen i ekvation A.17 som är den form av Thiem-Dupuits ekvation som tillämpas vid grundvattensänkningens beräkningar.

$$s = s_w \left(1 - \sqrt{\frac{\ln(r/r_w)}{\ln(R/r_w)}} \right) \quad (\text{A.17})$$

B. UPPMÄTTA GRUNDVATTENNIVÅER

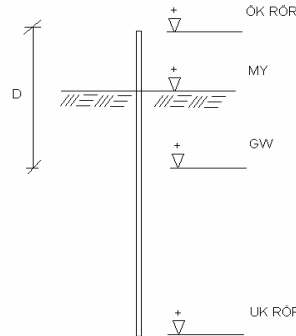
B.1 UPPMÄTTA GRUNDVATTENNIVÅER I ÖLME

 Konsult		MÄTNING AV GRUNDVATTENNIVÅ		
UPPDRAGSNR:		HÖJDSYSTEM: RH		
UPPDRAG: Ölme vägport		Fältuppgifter m		
VÄG/REFLINJE: väg 580/ 302+405		RÖRDIAMETER: 25 mm		
SEKT/SIDA: längs järnväg		TOT LÄNGD INKL SPETS:		
BORRHÅL NR: 4, W115		RÖRLÄNGD ÖVER MY: 0,70		
INST.DATUM: 04-10-04		FILTERLÄNGD:		
ÖK RÖR NIVÅ: 55,93		RÖRTYP/MTRL (Rö,Rf,Pp): Blå plast		
MY NIVÅ: 55,23		ÖK RÖR = ÖVERKANT RÖR MY = MARKYTANS NIVÅ D = AVLÄST DJUP UNDER ÖK RÖR GW = ÖK RÖR - D UK RÖR = UNDERKANT RÖR(SPETS)		
UK RÖR NIVÅ: 55,93				
INSTALL. AV: A.H. & I.F.		Registr. av :		
DATUM	AVLÄST DJUP M UNDER ÖK RÖR	GRUNDVATTENNIVÅ + M	ANMÄRKNING	AVLÄST AV
04-10-04	0,97	54,96	urspolat till 10,4 m	A.H&I.F
04-10-14	0,98	54,95	Tillsatt 1dl T-röd	I.F.
04-10-24	0,81	55,12		I.F.
04-12-01	0,86	55,07		I.F.
04-12-14	0,95	54,98		I.F.
05-01-12	0,84	55,09		I.F.
05-02-02	0,90	55,03		I.F.
05-03-08	4,40	51,53		I.F.
05-02-09			Reparation	A.O&I.F



MÄTNING AV GRUNDVATTENNIVÅ

UPPDRAGSNR:
UPPDRAG: Ölme vägport
VÄG/REFLINJE: väg 580/ 302+405
SEKT/SIDA: längs järnväg
BORRHÅL NR: 5, W60
INST.DATUM: 2004-10-04
ÖK RÖR NIVÅ: 55,85
MY NIVÅ: 54,85
UK RÖR NIVÅ: 45,20
INSTALL. AV: A.H. & I.F.

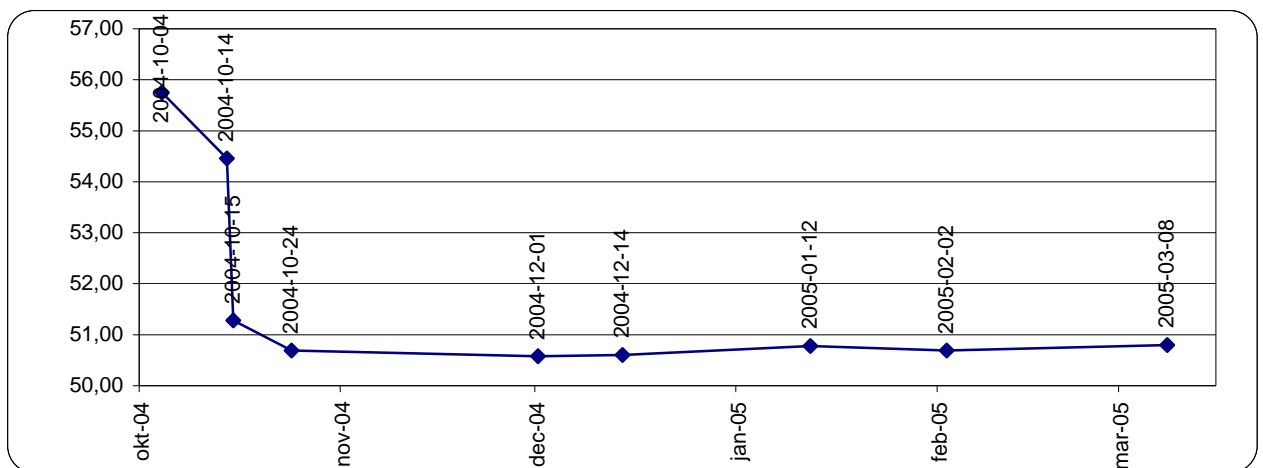


HÖJDSYSTEM:	RH
Fältuppgifter	m
RÖRDIAMETER:	16 mm
TOT LÄNGD INKL SPETS:	10,65
RÖRLÄNGD ÖVER MY:	1,00
FILTERLÄNGD:	0,25
RÖRTYP/MTRL (Rö,Rf,Pp):	EI

ÖK RÖR = ÖVERKANT RÖR
 MY = MARKYTANS NIVÅ
 D = AVLÄST DJUP UNDER ÖK RÖR
 GW = ÖK RÖR - D
 UK RÖR = UNDERKANT RÖR(SPETS)

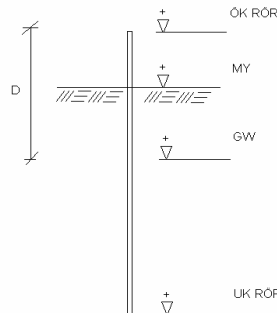
Registr. av :

DATUM	AVLÄST DJUP M UNDER ÖK RÖR	GRUNDVATTEN-NIVÅ + M	ANMÄRKNING	AVLÄST AV
2004-10-04	0,10	55,75	Ej stabil, ev pumpas	A.H&I.F
2004-10-14	1,39	54,46	Tillsatt ca 1dl T-röd	I.F.
2004-10-15	4,57	51,28	Spolad	A.H&I.F
2004-10-24	5,16	50,69		I.F.
2004-12-01	5,27	50,58	Ej fryst! +~1dl Tröd	I.F.
2004-12-14	5,25	50,60		I.F.
2005-01-12	5,07	50,78		I.F.
2005-02-02	5,16	50,69		I.F.
2005-03-08	5,05	50,80		



MÄTNING AV GRUNDVATTENNIVÅ

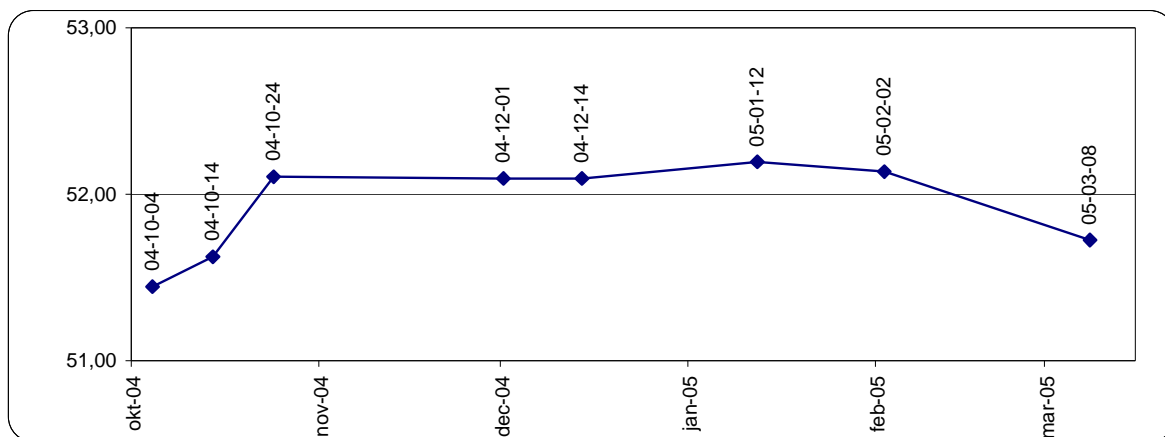
UPPDRAGSNR:
UPPDRAG: Ölme vägport
VÄG/REFLINJE: väg 580/ 302+405
SEKT/SIDA: längs järnväg
BORRHÅL NR: 1, E70
INST.DATUM: 04-10-04
ÖK RÖR NIVÅ: 54,29
MY NIVÅ: 53,74
UK RÖR NIVÅ: 48,04
INSTALL. AV: A.H. & I.F.



HÖJDSYSTEM:	RH
Fältuppgifter	m
RÖRDIAMETER:	16 mm
TOT LÄNGD INKL SPETS:	6,25
RÖRLÄNGD ÖVER MY:	0,55
FILTERLÄNGD:	0,25
RÖRTYP/MTRL (Rö,Rf,Pp):	EI
ÖK RÖR = ÖVERKANT RÖR	
MY = MARKYTANS NIVÅ	
D = AVLÄST DJUP UNDER ÖK RÖR	
GW = ÖK RÖR - D	
UK RÖR = UNDERKANT RÖR(SPETS)	

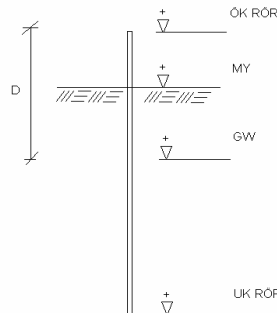
Registr. av :

DATUM	AVLÄST DJUP M UNDER ÖK RÖR	GRUNDVATTENNIVÅ + M	ANMÄRKNING	AVLÄST AV
04-10-04	2,84	51,45		A.H.&I.F
04-10-14	2,66	51,63	tillsatt ca 1dl T-röd	I.F.
04-10-24	2,18	52,11		I.F.
04-12-01	2,19	52,10	ej fryst	I.F.
04-12-14	2,19	52,10		I.F.
05-01-12	2,09	52,20		I.F.
05-02-02	2,15	52,14		
05-03-08	2,56	51,73		



MÄTNING AV GRUNDVATTENNIVÅ

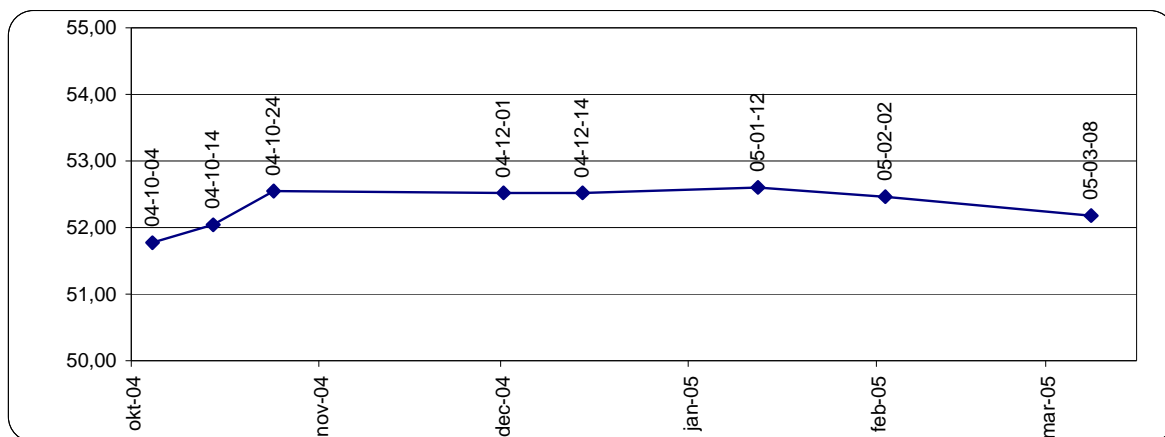
UPPDRAGSNR:
UPPDRAG: Ölme vägport
VÄG/REFLINJE: väg 580/ 302+405
SEKT/SIDA: längs järnväg
BORRHÅL NR: 2, E100
INST.DATUM: 04-10-04
ÖK RÖR NIVÅ: 54,67
MY NIVÅ: 53,67
UK RÖR NIVÅ: 47,12
INSTALL. AV: A.H. & I.F.



HÖJDSYSTEM:	RH
Fältuppgifter	m
RÖRDIAMETER:	16 mm
TOT LÄNGD INKL SPETS:	7,55
RÖRLÄNGD ÖVER MY:	1,00
FILTERLÄNGD:	0,25
RÖRTYP/MTRL (Rö,Rf,Pp):	EI
ÖK RÖR = ÖVERKANT RÖR	
MY = MARKYTANS NIVÅ	
D = AVLÄST DJUP UNDER ÖK RÖR	
GW = ÖK RÖR - D	
UK RÖR = UNDERKANT RÖR(SPETS)	

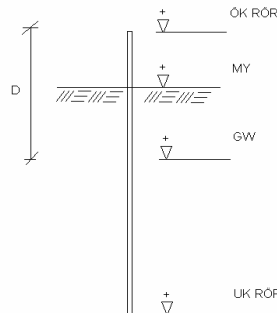
Registr. av :

DATUM	AVLÄST DJUP M UNDER ÖK RÖR	GRUNDVATTENNIVÅ + M	ANMÄRKNING	AVLÄST AV
04-10-04	2,90	51,77		A.H.&I.F
04-10-14	2,63	52,04	tillsatt ca 1dl T-röd	I.F.
04-10-24	2,13	52,55		I.F.
04-12-01	2,15	52,52	Ej fryst.	I.F.
04-12-14	2,15	52,52		I.F.
05-01-12	2,07	52,60		I.F.
05-02-02	2,21	52,46		
05-03-08	2,49	52,18		



MÄTNING AV GRUNDVATTENNIVÅ

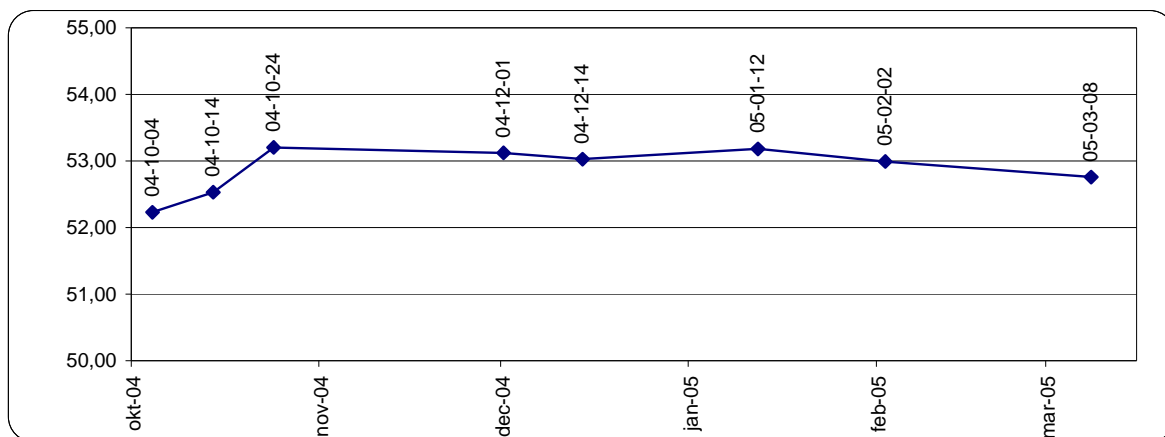
UPPDRAGSNR:
UPPDRAG: Ölme vägport
VÄG/REFLINJE: väg 580/ 302+405
SEKT/SIDA: längs järnväg
BORRHÅL NR: 3, E160
INST.DATUM: 04-10-04
ÖK RÖR NIVÅ: 54,67
MY NIVÅ: 53,67
UK RÖR NIVÅ: 47,17
INSTALL. AV: A.H. & I.F.




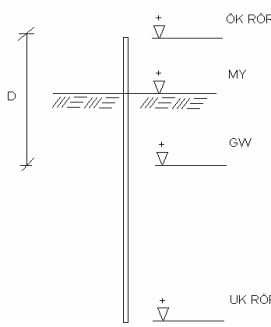
HÖJDSYSTEM:	RH
Fältuppgifter	m
RÖRDIAMETER:	16 mm
TOT LÄNGD INKL SPETS:	7,50
RÖRLÄNGD ÖVER MY:	1,00
FILTERLÄNGD:	0,25
RÖRTYP/MTRL (Rö,Rf,Pp):	EI
ÖK RÖR = ÖVERKANT RÖR	
MY = MARKYTANS NIVÅ	
D = AVLÄST DJUP UNDER ÖK RÖR	
GW = ÖK RÖR - D	
UK RÖR = UNDERKANT RÖR(SPETS)	

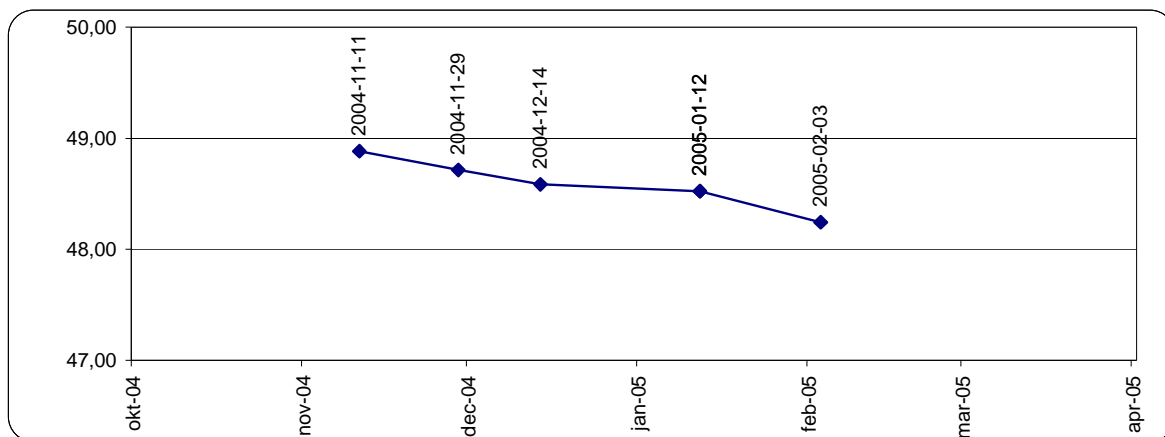
Registr. av :

DATUM	AVLÄST DJUP M UNDER ÖK RÖR	GRUNDVATTENNIVÅ + M	ANMÄRKNING	AVLÄST AV
04-10-04	2,44	52,23		A.H.&I.F
04-10-14	2,14	52,53	Tillsatt ca 1dl T-röd	I.F.
04-10-24	1,47	53,20		I.F.
04-12-01	1,55	53,12	Ej fryst.	I.F.
04-12-14	1,65	53,03		I.F.
05-01-12	1,49	53,18		I.F.
05-02-02	1,68	52,99		
05-03-08	1,91	52,76		



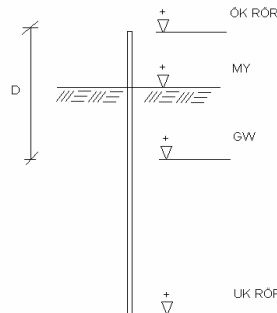
B.2 UPPMÄTTA GRUNDVATTENNIVÅER I LIDKÖPING

		MÄTNING AV GRUNDVATTENNIVÅ		
Konsult		HÖJDSYSTEM: RH		
UPPDRAGSNR:		Fältuppgifter: m		
UPPDRAG: GC-port under Mellbyg.		RÖRDIAMETER: 16 mm		
VÄG/REFLINJE: Mellbygatan		TOT LÄNGD INKL SPETS: 3,17		
SEKT/SIDA: 10,24 m från brodubb		RÖRLÄNGD ÖVER MY: 0,11		
BORRHÅL NR: 1		FILTERLÄNGD: 0,25		
INST.DATUM: 2004-11-11		RÖRTYP/MTRL (Ró,Rf,Pp): EI		
ÖK RÖR NIVÅ: 49,45				
MY NIVÅ: 49,34				
UK RÖR NIVÅ: 46,28				
REGISTR. AV: I.F + B.Schröder				
REGISTR. AV:				
INSTALL. AV: I.F + B.Schröder		ÖK RÖR = ÖVERKANT RÖR MY = MARKYTANS NIVÅ D = AVLÄST DJUP UNDER ÖK RÖR GW = ÖK RÖR - D UK RÖR = UNDERKANT RÖR(SPETS)		
DATUM	AVLÄST DJUP M UNDER ÖK RÖR	GRUNDVATTENNIVÅ + M	ANMÄRKNING	AVLÄST AV
2004-11-11	0,57	48,88		I.F.
2004-11-29	0,74	48,71		I.F.
2004-12-14	0,87	48,58		I.F.
2005-01-12	0,93	48,52		I.F.
2005-01-12	0,93	48,52		I.F.
2005-02-03	1,21	48,24		I.F.



MÄTNING AV GRUNDVATTENNIVÅ

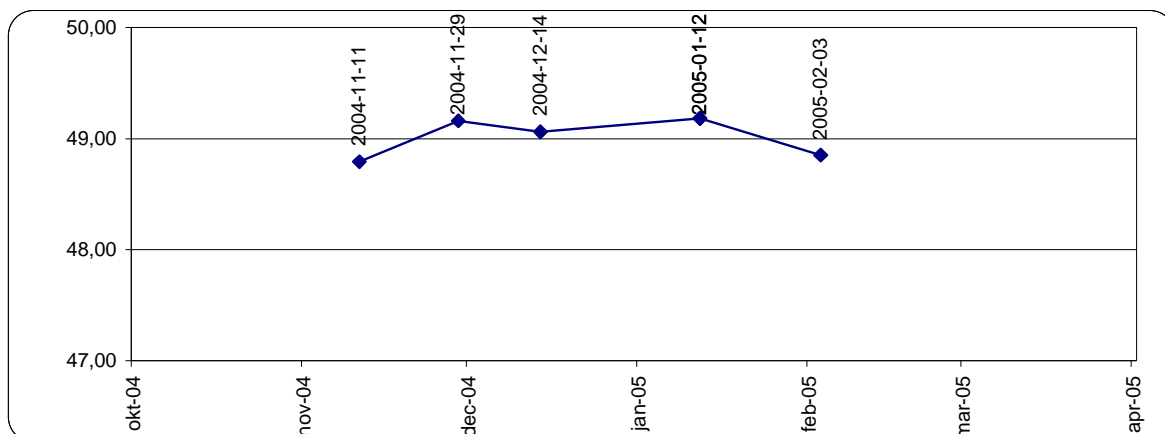
UPPDRAGSNR:
UPPDRAG: GC-port under Mellbyg.
VÄG/REFLINJE: Mellbygatan
SEKT/SIDA: 25,60 m från brodubb
BORRHÅL NR: 2
INST.DATUM: 2004-11-11
ÖK RÖR NIVÅ: 50,09
MY NIVÅ: 49,97
UK RÖR NIVÅ: 46,58
INSTALL. AV: I.F. + B.Schröder



HÖJDSYSTEM:	RH
Fältuppgifter	m
RÖRDIAMETER:	16 mm
TOT LÄNGD INKL SPETS:	3,51
RÖRLÄNGD ÖVER MY:	0,12
FILTERLÄNGD:	0,25
RÖRTYP/MTRL (Rö,Rf,Pp):	EI
ÖK RÖR = ÖVERKANT RÖR	
MY = MARKYTANS NIVÅ	
D = AVLÄST DJUP UNDER ÖK RÖR	
GW = ÖK RÖR - D	
UK RÖR = UNDERKANT RÖR(SPETS)	

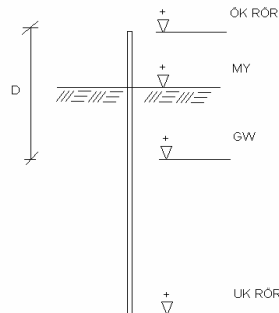
Registr. av :

DATUM	AVLÄST DJUP M UNDER ÖK RÖR	GRUNDVATTENNIVÅ + M	ANMÄRKNING	AVLÄST AV
2004-11-11	1,30	48,79		I.F.
2004-11-29	0,93	49,16		I.F.
2004-12-14	1,03	49,06		I.F.
2005-01-12	0,91	49,18		I.F.
2005-01-12	0,91	49,18		I.F.
2005-02-03	1,24	48,85		I.F.



MÄTNING AV GRUNDVATTENNIVÅ

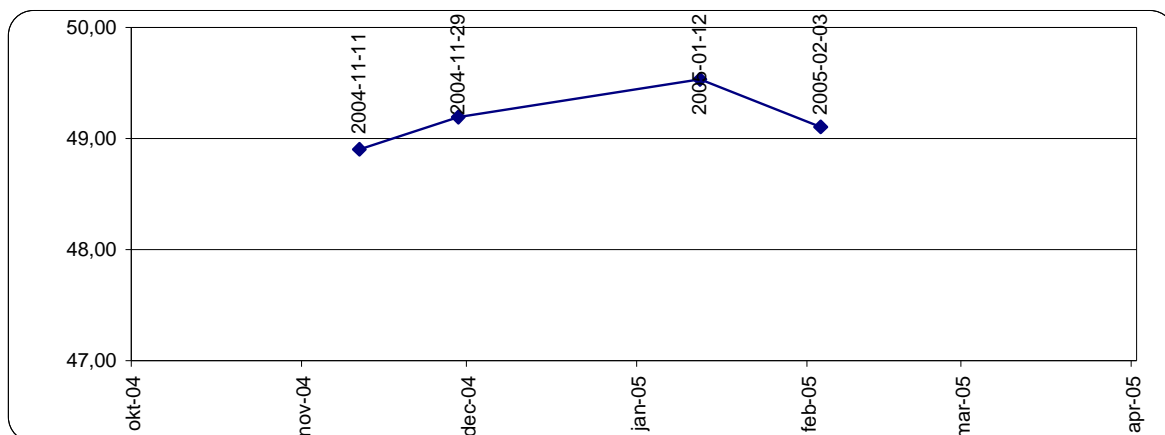
UPPDRAGSNR:
UPPDRAG: GC-port under Mellbyg.
VÄG/REFLINJE: Mellbygatan
SEKT/SIDA: 41,06 m från brodubb
BORRHÅL NR: 3
INST.DATUM: 2005-01-12
ÖK RÖR NIVÅ: 50,20
MY NIVÅ: 50,09
UK RÖR NIVÅ: 47,70
INSTALL. AV: I.F.





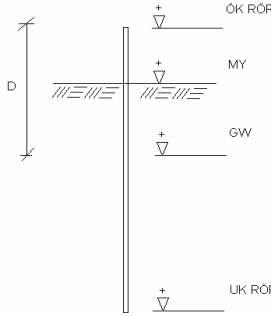
HÖJDSYSTEM:	RH
Fältuppgifter	m
RÖRDIAMETER:	16 mm
TOT LÄNGD INKL SPETS:	2,50
RÖRLÄNGD ÖVER MY:	0,11
FILTERLÄNGD:	0,25
RÖRTYP/MTRL (Rö,Rf,Pp):	EI
ÖK RÖR = ÖVERKANT RÖR	
MY = MARKYTANS NIVÅ	
D = AVLÄST DJUP UNDER ÖK RÖR	
GW = ÖK RÖR - D	
UK RÖR = UNDERKANT RÖR(SPETS)	

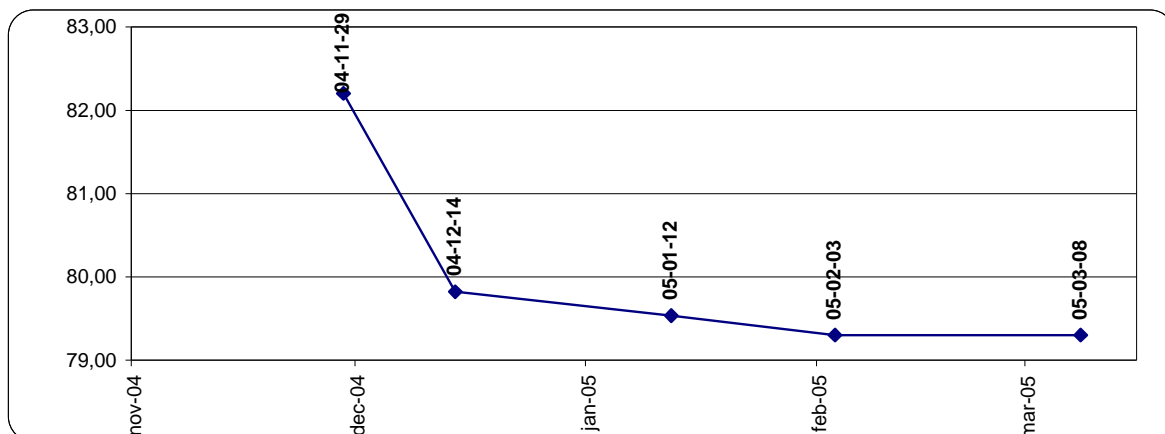
Registr. av :

DATUM	AVLÄST DJUP M UNDER ÖK RÖR	GRUNDVATTENNIVÅ + M	ANMÄRKNING	AVLÄST AV
2004-11-11	1,30	48,90		I.F.
2004-11-29	1,01	49,19		I.F.
2005-01-12	0,67	49,53	ej sjunkit färdigt	I.F.
2005-02-03	1,10	49,10		I.F.



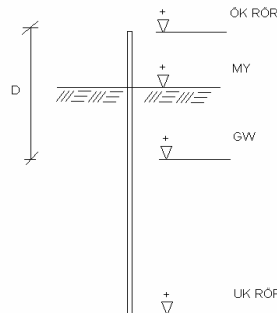
B.3 UPPMÄTTA GRUNDVATTENNIVÅER I ULVÅKER

		<h2>MÄTNING AV GRUNDVATTENNIVÅ</h2>		
		HÖJDSYSTEM: RH		
UPPDRAGSNR:		Fältuppgifter: m		
UPPDRAG: Vägport under järnväg		RÖRDIAMETER: 16 mm		
VÄG/REFLINJE: Stora vägen		TOT LÄNGD INKL SPETS: 5,25		
SEKT/SIDA: 30 m från vägkant		RÖRLÄNGD ÖVER MY: 1,35		
BORRHÅL NR: 2		FILTERLÄNGD: 0,25		
INST.DATUM: 04-11-29		RÖRTYP/MTRL (Rö,Rf,Pp): EI		
ÖK RÖR NIVÅ: 84,55		ÖK RÖR = ÖVERKANT RÖR MY = MARKYTANS NIVÅ D = AVLÄST DJUP UNDER ÖK RÖR GW = ÖK RÖR - D UK RÖR = UNDERKANT RÖR(SPETS)		
MY NIVÅ: 83,20				
UK RÖR NIVÅ: 79,30				
INSTALL. AV: I.F+B.S+A.O				
Registr. av :				
				
DATUM	AVLÄST DJUP M UNDER ÖK RÖR	GRUNDVATTENNIVÅ + M	ANMÄRKNING	AVLÄST AV
04-11-29	2,35	82,20	Ej stab. Tillsatt Tröd	I.F
04-12-14	4,73	79,82	tillsatt saltlösning	I.F
05-01-12	5,02	79,53	OK	I.F.
05-02-03	5,25	79,30	Svagt utslag	I.F
05-03-08	5,25	79,30	Inget utslag, torrt	I.F



MÄTNING AV GRUNDVATTENNIVÅ

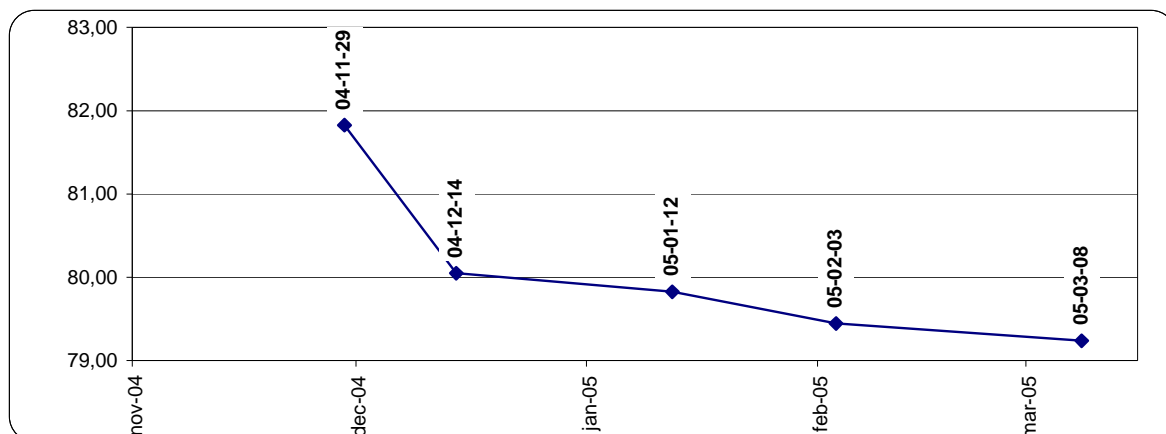
UPPDRAGSNR:
UPPDRAG: Vägport under järnväg
VÄG/REFLINJE: Stora vägen
SEKT/SIDA: 80 m från vägkant
BORRHÅL NR: 2
INST.DATUM: 04-11-29
ÖK RÖR NIVÅ: 84,49
MY NIVÅ: 83,32
UK RÖR NIVÅ: 79,24
INSTALL. AV: I.F.+B.S.+A.O



HÖJDSYSTEM:	RH
Fältuppgifter	m
RÖRDIAMETER:	16 mm
TOT LÄNGD INKL SPETS:	5,25
RÖRLÄNGD ÖVER MY:	1,17
FILTERLÄNGD:	0,25
RÖRTYP/MTRL (Rö,Rf,Pp):	EI
ÖK RÖR = ÖVERKANT RÖR	
MY = MARKYTANS NIVÅ	
D = AVLÄST DJUP UNDER ÖK RÖR	
GW = ÖK RÖR - D	
UK RÖR = UNDERKANT RÖR(SPETS)	

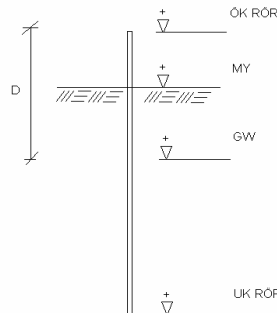
Registr. av :

DATUM	AVLÄST DJUP M UNDER ÖK RÖR	GRUNDVATTENNIVÅ + M	ANMÄRKNING	AVLÄST AV
04-11-29	2,66	81,83	Ej stab. Tillsatt Tröd	I.F.
04-12-14	4,44	80,05	tillsatt saltlösning	I.F.
05-01-12	4,66	79,83	Plastpåse borta	I.F.
05-02-03	5,04	79,45		
05-03-08	5,25	79,24	Inget utslag, torrt	IF



MÄTNING AV GRUNDVATTENNIVÅ

UPPDRAGSNR:
UPPDRAG: Vägport under järnväg
VÄG/REFLINJE: Stora vägen
SEKT/SIDA: 140 m från vägkant
BORRHÅL NR: 3
INST.DATUM: 04-11-29
ÖK RÖR NIVÅ: 83,38
MY NIVÅ: 83,15
UK RÖR NIVÅ: 77,94
INSTALL. AV: I.F.+B.S.+A.O



HÖJDSYSTEM:	RH
Fältuppgifter	m
RÖRDIAMETER:	16 mm
TOT LÄNGD INKL SPETS:	5,44
RÖRLÄNGD ÖVER MY:	0,23
FILTERLÄNGD:	0,25
RÖRTYP/MTRL (Rö,Rf,Pp):	EI
ÖK RÖR = ÖVERKANT RÖR	
MY = MARKYTANS NIVÅ	
D = AVLÄST DJUP UNDER ÖK RÖR	
GW = ÖK RÖR - D	
UK RÖR = UNDERKANT RÖR(SPETS)	

Registr. av :

DATUM	AVLÄST DJUP M UNDER ÖK RÖR	GRUNDVATTENNIVÅ + M	ANMÄRKNING	AVLÄST AV
04-11-29	2,56	80,82	Ej stab. Tillsatt Tröd	I.F.
04-12-14	1,80	81,58	tillsatt saltlösning	I.F.
05-01-12	1,91	81,47	Stakkäpp avbruten	I.F.
05-02-03	2,71	80,67		
05-03-08	3,81	79,57		I.F.

