



STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE



Släntsäkerhet vid förändrat klimat – prognosmetoder för grundvattentryck och portryck

Slutrapport, Fas 1

Bo Lind
Håkan Persson
Karin Lundström
Ann-Christine Hågeryd

Varia 605

LINKÖPING 2010



STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

Varia 605

**Släntsäkerhet vid förändrat klimat
– prognosmetoder för grundvattentryck
och portryck**

Slutrapport, Fas 1

Bo Lind
Håkan Persson
Karin Lundström
Ann-Christine Hågeryd



LINKÖPING 2010

Varia	Statens geotekniska institut (SGI) 581 93 Linköping
Beställning	SGI – Informationstjänsten Tel: 013–20 18 04 Fax: 013–20 19 14 E-post: info@swedgeo.se Internet: www.swedgeo.se
ISSN	1100-6692
ISRN	SGI-VARIA--10/605--SE
Dnr SGI	1-0505-0285
Proj.nr SGI	12900 – 13170 – 13529 – 13882

INNEHÅLL

1	Inledning – Förord	5
2	Syfte och Bakgrund	6
2.1	Syfte	6
2.2	Bakgrund	6
3	Fältstationer	8
3.1	Syfte med mätstationer	8
3.2	Krav på område där fältstationer placeras	8
3.3	Fältstation Harestad	9
3.4	Fältstation Äsperöd	10
3.5	Redovisning av mätningar	12
4	Grundvattentryck och porvattentryck i slutna akviferer	13
4.1	Samband mellan nederbörd, grundvatten och skred	13
4.2	Grundvattenbildning, grundvattenfluktuationer och portryck i slutna akviferer ...	14
4.2.1	Slutna akviferer	14
4.2.2	Grundvattenrespons och fluktuationer	14
5	Analys av grundvattenfluktuationer i slutna akviferer	16
5.1	Grundvattenrörens respons och funktion	16
5.2	Utvalda områden	19
5.3	Grundvattenfluktuationens variationsbredd	20
5.4	Frekvensen av höga grundvattentoppar	21
5.4.1	Konstruktion av frekvensdiagram	21
5.5	Utvärderingskriterier	22
5.6	Typmiljöer för slutna akviferer	22
5.7	Beskrivning av valda typområden	23
6	Resultat	24
6.1	Grundvattenfluktuationer i slutna akviferer	24
6.2	Grundvattenfluktuationer i typområden för slutna akviferer	25
6.3	Grundvattenfluktuationer i skilda geografiska regioner	26
6.3.1	Topografi och geologi	26
6.3.2	Klimat	29
6.3.3	Resultat för geografiska områden	30
6.4	Utvärdering av frekvensdiagram	31
6.4.1	Vad frekvensdiagrammen visar	31
6.4.2	Inverkan av perioder med avvikande grundvattennivåer	33
7	Sammanfattande analys av resultat	34
	Utvärderingen fortsätter	34
	Referenser	35
	Bilaga 1. Typområden för slutna grundvattenakviferer – exempel	37
	Bilaga 2. Grundvattenfluktuationer i slutna akviferer	49

1 INLEDNING – FÖRORD

Forskningsprojektet *Släntsäkerhet vid förändrat klimat - prognosmetoder för grundvattentryck och portryck*, har av Räddningsverket, Banverket, Formas, Vägverket och SGI tilldelats forskningsbidrag för 3 respektive 4 år.

Uppdragsnummer, Räddningsverket: 012-5300-2004

Uppdragsnummer, Banverket: S 05-3062/AL50

Uppdragsnummer, Formas: 245-2005-1794

Uppdragsnummer, Vägverket: AL90A 20005:16460

Föreliggande rapport avser slutrapportering av Fas 1 – utveckling av metod för prognostisering av grundvattentryck och porvattentryck i slutna akviferer med hänsyn till klimat. Projektet löper tidsmässigt vidare till mars 2011, med Fas 2, som innefattar verifiering av upprättade modeller.

Målet är att presentera en praktiskt användbar handledning för hur maximala grundvatten- och porvattentryck kan prognostiseras och utnyttjas i geotekniska beräkningar.

Projektet har drivits av Statens geotekniska institut under ledning av projektledare Bo Lind. I forskargruppen har även funnits Karin Lundström (SGI), Rolf Larsson (SGI), Ann-Christine Hågeryd (SGI), Claes Alén, (Chalmers), Göran Lindström (SMHI), Bo Thunholm (SGU) samt Marius Tremblay (Tyréns samt SGI).

Projektet har utförts som ett doktorandprojekt, med doktorand Håkan Persson, anställd vid SGI och med forskarutbildning förlagd till Chalmers. Huvudhandledare har varit Prof. Claes Alén, Chalmers och biträdande handledare Tekn dr. Karin Lundström samt Tekn dr. Torbjörn Edstam, SGI.

En referensgrupp med följande sammansättning har följt projektet:

Lars Nyberg, MSB och Karlstad universitet, Margareta Nisser-Larsson, Räddningsverket

Ingrid Södergren, Banverket och SGI

Björn Sellberg, Formas

Leif Jendeby, Vägverket

Följande rapporter finns tidigare från projektet:

- Presentation vid Räddningsverkets Forskardagar, 2006-02-16
- Artikel i Bygg & Teknik: Skredsäkerhet med hänsyn till klimatförändringar, Svahn, V, Alén, C, Sällfors, G, Lind, B, 2006, vol 98, no 2, pp 78-81
- Artikel i SGI-NU, 2006-1: Portrycksprognoser - nytt doktorandprojekt med många intressenter
- Delrapport 1, juni 2006
- Abstract och artikel till konferensen "Landslide and Climate Change", Isle of Wight, maj 2007.
- Poster, Isle of Wight, maj 2007
- Delrapport 2, november 2006.
- Delrapport 3, juni 2007
- Delrapport 4, november 2007
- Delrapport 5, juni 2008
- Håkan Persson, 2008: Estimation of pore pressure levels in slope stability calculations: Licentiatavhandling, Chalmers Univ. Of Technology. (SGI Rapport 73).
- Artikel, Persson, H., Lundström, K. 2009: Analysis of the effect from precipitation for triggering of landslides in Sweden. Submitted, *Canadian Geotechnical Journal*.
- Artikel I Samhällsbyggaren, 4, 2009: Jordskred – och hur grundvattnet påverkar stabiliteten. Persson, H. Samhällsbyggaren 4:2009: 53-58.

Föreliggande rapport har kvalitetsgranskats av Marius Tremblay.

2 SYFTE OCH BAKGRUND

2.1 Syfte

Denna rapport sammanfattar den rapportering som tidigare gjorts inom projektet. Mer fullödiga bearbetningar och slutsatser kommer att presenteras i den Guidebok som avses bli slutrapporteringen av hela projektet i mars 2011. I föreliggande rapport presenteras de undersökningar som gjorts och de slutsatser som hittills kan dras av resultaten.

Det övergripande syftet med projektet har varit att, med utgångspunkt i befintliga metoder och modeller, utveckla en mer tillförlitlig metod för grundvatten- och portrycksprognoser med hänsyn till klimatförhållanden. Avsikten är att förbättra det hydrogeologiska underlaget vid beräkningar av markstabilitet och verka förebyggande genom att förutse och motverka lerskred såväl under dagens klimat som vid förändrat klimat.

2.2 Bakgrund

Goda prognoser för grundvattennivåer och portryck är, tillsammans med prognoser av vattenstånd och vattenföring, nyckelparametrar för att förutse och motverka naturolyckor i form av ras och skred, bortspolning av väg- och järnvägsbankar, översvämningar samt skador på fördämningar.

För prognostisering av porvattentryck används idag dels en grov ingenjörsmässig bedömning med ledning av uppmätta porvattentryck i enskilda punkter dels Chalmersmetoden som består i en prognos med ledning av uppmätta portrycksvariationer över en viss tid i enskilda mätpunkter jämförda med observationer i SGU:s grundvattennät (Svensson och Sällfors 1985; Berntson 1983). Båda metoderna är förknippade med påtagliga osäkerheter. Den förstnämnda metoden innebär mer eller mindre generaliserade bedömningar för olika terrängavschnitt medan osäkerheterna med Chalmersmetoden är att observationspunkterna i SGU:s grundvattennät är glest fördelade och att en sådan punkt i ett område med liknande hydrogeologiska förhållanden ofta inte finns inom ett avstånd som gör jämförelsen helt relevant. Vidare visar dessa observationspunkter endast grundvattennivån och det antas att porvattentrycken i de tätare jordlagren varierar på samma sätt i tiden, om än med en annan variationsbredd. Beräkningsprogram (exempelvis Geo-slope, 1994) för tryckvariationen i tätare jordlager som en följd av tryckförändringar i ovan- och underliggande akviferer finns, men måste kopplas till uppmätta eller prognostiserade grundvattennivåer. Med denna typ av prognostisering, som endast beaktar nuvarande förhållanden, kan ingen uppskattning göras av inverkan av extremväder eller framtida klimatförändringar. Direkta grundvattenobservationer för specifika byggnads- och anläggningsprojekt kan av praktiska skäl endast omfatta en kortare tidsperiod. Prognoser för de grundvattensituationer som, beroende på problemställningen, kommer att vara dimensionerande under den livslängd som avses måste därför göras med någon metod som beaktar de extremvärden som statistiskt kan inträffa under den avsedda perioden eller som uppskattats på annat sätt, t.ex. enligt framtagna klimatscenarier.

Beskrivning av avrinning och flöden i vattendrag kan göras med en avrinningsmodell, den så kallade HBV-modellen, som utvecklats och successivt förfinats vid SMHI (Bergström 1976; Lindström et al. 1997). Detta är en begreppsmässig modell för modellering av avrinning baserad på klimatologiska data där också faktorer som topografi, ytjordarter och vegetationsförhållanden ingår. Den senaste versionen av modellen kan också användas till att beräkna grundvattennivåer i friktionsjord, dvs i öppna akviferer. Metoden kan således ge en uppskattning av tryckvariationerna i grundvattenakviferer och den kräver inte tillgång till något närliggande referensrör, men kräver å andra sidan en lokal kalibrering av ett antal ingående parametrar.

HBV-modellen (eller någon liknande modell) skulle alltså kunna prognostisera de grundvattendata som i sin tur är viktiga indata för portrycksprognostisering. För att metoden skall bli praktiskt

tillämpbar måste hydrogeologiska parametrar kalibreras för ett antal geologiska typområden och jordlagerföljder, så att empiriska värden som kan användas i prognostiseringen fås fram. En kombination, eller koppling, av de båda metoderna (HBV-modellen och Chalmersmetoden) skulle då kunna användas för att beskriva scenarier hur klimatförändringar i form av temperaturer och nederbörd skulle påverka grundvattenförhållandena. Variationerna i grundvattenakvifererna används till att beräkna variationerna i de tätare jordlagren.

3 FÄLTSTATIONER

I projektet ingick att upprätta fältstationer för uppföljning av grundvattentryck och porvattentryck. För att utnyttja tidigare erfarenheter lades dock ett omfattande arbete ner på att leta sammanhängande mätserier för porvattentryck och grundvattentryck i slutna akviferer med geotekniska förhållanden relevanta för sluttande lerterräng, där stabilitetsproblem kan föreligga eller där dränerande parametrar kan vara dimensionerande för stabiliteten. Det visade dock sig att långa mätserier är mycket fåtaliga och ingen serie kunde definieras från en relevant geoteknisk miljö som dessutom varit tillräckligt ostörd. Mot bakgrund av detta har fältstationerna ensamma fått stå för dataunderlaget.

Inom projektet har två fältstationer upprättats. Här beskrivs syfte med och krav på stationerna. Dessutom beskrivs vilka geotekniska undersökningar som utförts och vilken typ av mätutrustning som installeras. Sist ges en presentation över de områden som efter en utvalsprocess fastslagits som fältområden.

3.1 Syfte med mätstationer

Det övergripande syftet med fältstationerna har varit att studera klimatets (nederbördsmängdens, nederbördsintensitetens, nederbördens varaktighet, och temperaturens) inverkan på portrycks- och grundvattensituationen i en leravlagring i sluttande terräng. Fältstationerna förväntades också ge svar på följande frågeställningar:

1. Hur snabbt slår en förändring i grundvattensituationen igenom till portrycken i leran?
2. Hur varierar portryckssituationen med djupet vid olika nederbördssituationer?
3. Var i leravlagringen sker responsen av ett nederbördstillfälle först?
4. Vilka nederbördsmängder behövs för att detta skall ge utslag i en förändrad portryckssituation?
5. På vilket sätt påverkar nederbördens intensitet grundvatten och portrycksförhållandena?
6. Kan man ställa upp ett antal typtområden inom vilka portryckssituationen kan antas förändras likartat?
7. Kan man från extrema nederbördssituationer erhålla kunskap som kan användas för att bedöma portrycksförändringar i ett framtida förändrat klimat?
8. Hur påverkas portryckssituationen av en förändring av ett yttre vattenstånd? Hur snabbt sker förändringen?

Fältstationerna har upprättats för långsiktig uppföljning, bl.a. med stöd av avtal med fastighetsägare. Avsikten är att portrycksvariationer under lång tid skall observeras parallellt med grundvattentryck i underliggande akvifer. Nederbörd för respektive plats mäts under vissa perioder som komplement till SMHI:s stationsnät.

3.2 Krav på område där fältstationer placeras

- Enligt projektansökan var ambitionen att två fältstationer skulle instrumenteras inom projektet och som förslag angavs Göta älvdalen och Ångermanälven. Efter samråd med referensgruppen valdes dock att placera båda fältstationerna i västra Sverige. (Förhållandena längs flera Norrlandsälvar är speciella och kommer att studeras i annat forskningsprojekt vid SGI). Förutom kraven på långa mätserier har följande krav gällt för fältstationerna:
- Lera som underlagras av friktionsmaterial
- Lera med begränsad mäktighet (< 20 m)

- Underlagrande friktionsjord med viss mäktighet så att tillflöde till lerlagret kan antas ske även underifrån.
- Homogen lera. Få och endast tydliga lager eller skikt av silt/sand.
- Förhållandevis enkel topografi men väl definierad riktning hos grundvattenströmningen.
- Naturområde utan mänsklig påverkan.
- Positiva markägare.
- Lättbeskrivna randvillkor.

Efter undersökning av fem områden, Kattleberg, Harestad, Äsperöd, Ivarslund samt Ätran valdes slutligen Harestad och Äsperöd som fältstationer.

3.3 Fältstation Harestad

Harestad är beläget i Kungälv kommun. Området utgörs av ett plant lerområde i bruten bergsterräng, Figur 3.1 och Tabell 3.1. Område ingår i SGU:s grundvattennät och långa mätserier av grundvattenfluktuation finns att tillgå. Idag mäts grundvattennivån 24 gånger per år i total 7 rör som alla står i morän som överlagras av lera, se tabell nästa sida (i öppna akviferer finns ytterligare rör som inte behandlas här). Lerdjup varierar mellan 6 och 31 meter. Nederbörd mäts sedan länge vid Säve flygplats endast några kilometer söder om Harestad.

Efter utvärdering av grundvattennätet valdes en station nära lerområdets rand för uppföljning av grundvatten- och porvattentryck. En serie sonderingar utfördes för att bestämma jorddjup och friktionslager. Tre portryckspetsar, typ BAT (diam. 25 mm) samt två grundvattenrör installerades på varierande djup (Tabell 3.2). Kontinuerlig loggning av porvattentryck och grundvattentryck har genomförts under två års tid.



Figur 3. 1. Läge för fältstation Harestad.

Tabell 3.1. I Harestad finns följande grundvattenrör (stationer) ingående i SGU:s grundvattennät.

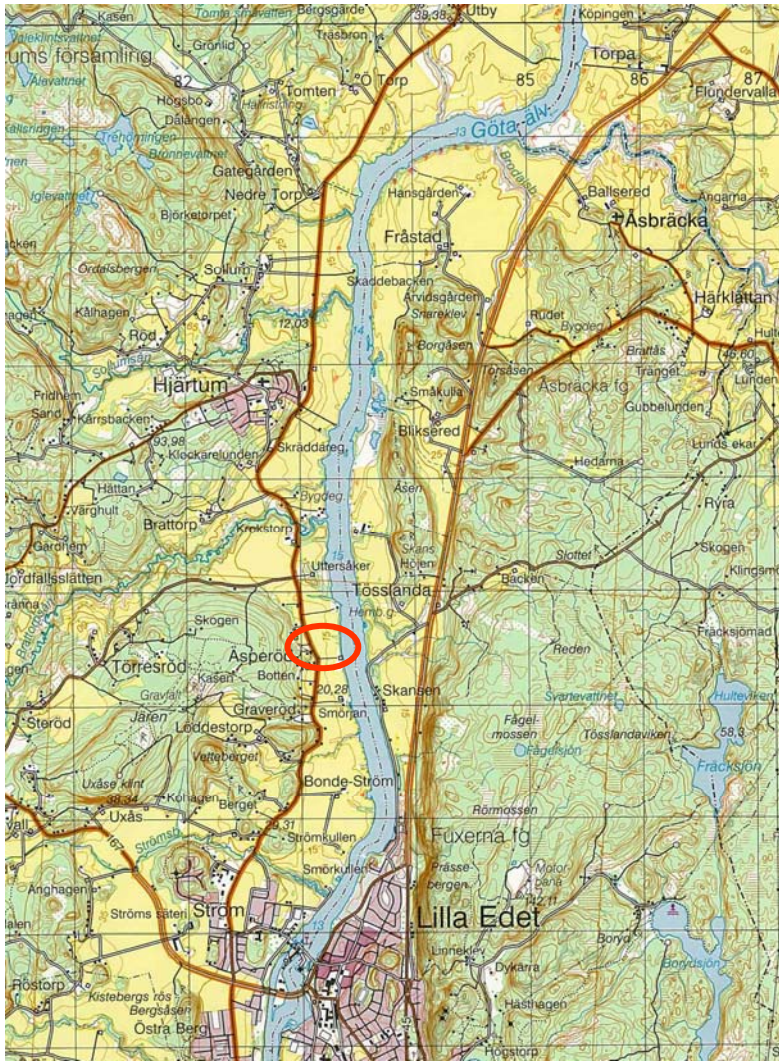
Station	Startår	Geohydrologiskt läge	Akvifär	Jordart	Täckjordart	Rörlängd (m)
1	1971	Utströmningsområde	Jord, sluten	Morän	Lera	25
3	1971	Intermediärt	Jord, sluten	Morän	Lera	15
5	1971	Intermediärt	Jord, sluten	Morän	Lera	31
6	1986	Intermediärt	Jord, sluten	Morän	Lera	10
7	1971	Utströmningsområde	Jord, sluten	Morän	Lera	15
10	1971	Intermediärt	Jord, sluten	Morän	Lera	10
11	1971	Intermediärt	Jord, sluten	Morän	Lera	6

Tabell 3.2. Utöver SGU:s stationer har inom projektet följande portryckspetsar installerats.

Station S(spets) R(rör)	Djup för spetsar (m u m.y.)	Läge (vid SGU:s station)
H1 (S)	5,88	Vid station 10
H2 (S)	8,94	Vid station 10
H3 (S)	2,94	Vid station 10
H5301 (R)	23,2	Vid station 1
H5305 (R)	40	Vid station 5

3.4 Fältstation Äsperöd

Området ligger strax norr om Lilla Edet på Göta älvs västra strand, se Figur 3.2. Bakom strandbrinken sluttar området svagt upp mot en väg. Sluttningens längd från moränkullen vid vägen ner till älven är ca 190 m. Vägen går just nedan en moränslänt upp mot berg. Inga geotekniska undersökningar har tidigare utförts i området. Inom ramen för projektet har ett antal sonderingar utförts som visar på lera vars mäktighet ökar från cirka 8 meter vid vägen till mer än 40 meter vid strandbrinken. Siltskikt förekommer i leran. Leran underlagras av mer än 5 meter morän. Området är väl definierat som en jämn sluttning.



Figur 3. 2. Läge för fältstation, Äsperöd.

I Äsperöd har följande grundvattenrör (Tabell 3.3) och porttryckspetsar (av typen BAT) installerats i en 140 m lång sektion längs slutningen nummerade från vägen och ner mot älven:

Tabell 3.3. Installerade portryckspetsar (S) och grundvattenrör (R) i Äsperöd.

Station	Startår	Geohydrologiskt läge	Akvifär	Jordart	Täckjordart	Rörlängd (m)	Djup umy (m)
ASP1 (S)	2007	Sluttning	Jord, sluten	Lera	Lera	2,94	2,4
ASP2 (R)	2007	Sluttning	Jord, sluten	Lera	Lera	6,90	6,3
ASP3 (S)	2007	Sluttning	Jord, sluten	Lera	Lera	6,80	6,3
ASP4 (S)	2007	Sluttning	Jord, sluten	Friktions jord	Lera	18,9	17,9
ASP5 (S)	2007	Sluttning	Jord, sluten	Lera	Lera	7,4	6,7
ASP6 (S)	2007	Sluttning	Jord, sluten	Lera	Lera	12,3	11,4
ASP7 (R)	2007	Sluttning	Jord, sluten	Lera/Friktionsjord	Lera	16,07	15,6
ASP8 (S)	2007	Sluttning	Jord, sluten		Lera	14,35	13,3
ASP9 (S)	2007	Sluttning	Jord, sluten	Friktions jord	Lera	18,82	17,8
ASP10 (S)	2007	Sluttning	Jord, sluten	Lera	Lera	15,3	14,5
ASP11 (S)	2007	Sluttning	Jord, sluten	Lera	Lera	17,4	16,6
ASP12 (S)	2007	Sluttning	Jord, sluten	Lera	Lera	9,27	8,3
ASP13 (S)	2007	Sluttning	Jord, sluten	Lera	Lera	34,41	33,4
ASP14 (S)	2007	Sluttning	Jord, sluten	Friktions jord	Lera	50	47,8
ASP15 (S)	2007	Sluttning	Jord, sluten	Lera	Lera	21,51	21,1

Kontinuerlig loggning av porvattentryck, grundvattentryck och nederbörd har gjorts med ca 3-8 veckors mellanrum under projektiden. Sammantaget finns kontinuerliga värden från olika kombinationer av portryckspetsar både i vertikalled och längs sluttningen. Det har dock inte varit möjligt att instrumentera samtliga spetsar vid ett och samma tillfälle. Nederbördsmätaren (av typen Casella) ger kontinuerlig registrering med 0,2 mm/puls.

3.5 Redovisning av mätningar

Mätningarna i Äsperöd och Harestad fortsätter under hösten 2009 och en utvärdering av nederbörd, grundvattenrespons samt portrycksrespons kommer att redovisas i en särskild rapport under 2010 och resultaten kommer att inkluderas i rekommendationerna i kommande handbok.

4 GRUNDVATTENTRYCK OCH PORVATTENTRYCK I SLUTNA AKVIFERER

En modell för simulering av grundvattentryck i slutna akviferer har utvecklats inom projektet. Detta har gjorts genom en modifiering av den sedan tidigare tillgängliga HBV-modellen. Den modifierade modellen kan utnyttjas för simulering av framtida klimateffekter. Metoden och dess teoretiska bakgrund har presenterats i, Persson (2008), *Estimation of pore pressure levels in slope stability calculations, Chalmers University Of Technology/SGI rapport 73*. Följande huvudslutsatser har dragits:

- SGU:s grundvattennät innehåller långa dataserier med grundvattendata, som skulle kunna användas för geotekniska tillämpningar i större utsträckning än vad som görs idag. Kvaliteten på dataserierna är dock bitvis låg.
- Grundvattennivåernas variationsbredd och mönster varierar beroende på de geologiska förhållandena på ett delvis förutsägbart sätt.
- I många av de studerade slutna akvifererna är grundvattennivåerna begränsade uppåt till följd av bräddning.
- Tester visar att den metod som av Skredkommissionen rekommenderas för bedömning av maximala grundvattennivåer och portryck goda resultat om flera referensrör används. Metoden har dock inte använts i någon större utsträckning.
- Med hjälp av en enkel konceptuell modell (en modifierad HBV-modell) kan man med hjälp av indata i form av nederbörd och temperatur, relativt väl simulera grundvattenfluktuationer. Detta förutsätter dock rimliga värden på modellparametrar, vilket t.ex. kan fås genom kalibrering.
- Med den modifierade HBV-modellen kan simulering av grundvattenförhållandena i ett förändrat klimat (med ökad temperatur och nederbörd) enkelt göras. Än så länge har bara preliminära tester gjorts, och mer detaljerade analyser måste göras innan mer långtgående slutsatser kan dras. Testerna, i Göteborgsområdet, visar dock på relativt små förändringar av maximala grundvattennivåer vid de klimatförändringar som kan förväntas enligt klimatscenarier presenterade av Rosby Centre, SMHI. De begränsade förändringarna i maximal grundvattennivå kan eventuellt förklaras med ökad avdunstning samt ökad bräddning.

4.1 Samband mellan nederbörd, grundvatten och skred

Studier av sambandet mellan några inträffade skred i Sverige, och den hydrologiska situationen vid skredtillfällena har gjorts inom projektet. Dels som en generell jämförelse av vilka tider på året då flest skred inträffat i olika delar av landet, och dels som mer detaljerade analyser av den hydrologiska situationen vid 11 historiska skred. Det bör påpekas att vid samtliga 11 skred var säkerhetsfaktorn mot skred låg, vilket innebär att skred kan ha orsakats av små förändringar i såväl den hydrologiska situationen som i andra parametrar. För dessa skred har sällan en ensam utlösande faktor kunnat identifieras, utan de antas istället ha orsakats från samverkan av flera faktorer. Studierna presenteras i artikeln: *Analysis of the role of precipitation, groundwater recharge and groundwater levels in the triggering of landslides in Sweden, av Persson och Lundström (2009)* och är skickad till *Canadian Geotechnical Journal* för granskning. Följande huvudslutsatser har dragits:

- Den generella jämförelsen visar på relativt starkt samband mellan inträffade skred och stor grundvattenbildning samt höga grundvattennivåer i vissa delar av Sverige. Mellan inträffade skred och nederbörd kan något samband dock inte ses. Påpekas bör dock att antalet registrerade skred i studien är tämligen litet, vilket alltså innebär stor osäkerhet i resultatet.
- De detaljerade analyserna tyder på att den hydrologiska situationen har varit mycket olika vid tidpunkten för när de studerade skreden inträffat, och i flera fall gett resultat som är motsägelsefulla till de slutsatser som dragits i geotekniska utredningar efter respektive skred.
- Vid sju av de 11 studerade skreden var grundvattennivån hög, vilket i nästan alla fall bekräftas av slutsatserna från de geotekniska utredningarna. För ett av skreden fann man dock att en ökad yttre last orsakade skredet, trots att förhållandena var blöta.

- För resterande fyra skredtillfällen visar analyserna på att förhållandena varit relativt torra och höga portryck alltså inte bör ha varit en orsak till skreden, vilket de geotekniska utredningarna, i tre av fallen, ändå anger.

4.2 Grundvattenbildning, grundvattenfluktuationer och portryck i slutna akviferer

4.2.1 Slutna akviferer

En sluten akvifer är en geologisk formation där det grundvattenförande lagret är täckt av ett lågpermeabelt lager och grundvattenförekomsten därmed avskild från atmosfärstrycket. Grundvattentrycket i en sluten akvifer är högre än atmosfärstrycket vilket också genererar ett vattentryck i porerna i det överliggande svårgenomträngliga lagret.

I slutna akviferer är infiltrationsområdet i stor utsträckning beläget utanför själva grundvattenmagasinet. Huvuddelen av grundvattenbildningen sker från infiltrationsområdet utanför de täta lagren och når den slutna akviferen genom lateral strömning. Vatten kan också tillföras magasinet som läckage genom de svårgenomsläppliga lagren ovanför akviferen, huvudsakligen från någon permanent vattenkälla, ytvatten eller grundvatten. Detta kan ge signifikanta tillskott vid låga grundvattennivåer t.ex till följd av avsänkning av grundvattennivå i den slutna akviferen genom tunnelbygge. Normalt är dock grundvattenbildningen från infiltration genom ovanliggande svårgenomsläppliga lager mycket liten i slutna akviferer.

Grundvattetrycket i slutna akviferer styrs av

- nettonederbörden
- nederbördsområdets storlek
- infiltrationsområdets utbredning och egenskaper (bl.a. fältkapaciteten)
- det lågpermeabla lagrets egenskaper (styvhet, sprickighet, genomsläpplighet, homogenitet)
- topografi (inklusive randområden och ev trösklar)
- akviferens porositet och hydrauliska konduktivitet

Grundvattenbildningen styrs också av jordarter och bergarter i infiltrationsområdet. Det råder emellertid en allmän uppfattning att infiltrationskapaciteten i de flesta svenska landskapstyper, t.ex kuperad bergs- och moränterräng, är tillräcklig för att infiltrera allt vatten vid normalt förekommande regn. Hur stor del av det infiltrerade vattnet som perkolerar genom marken och bildar grundvatten är dock i hög grad beroende av topografin och inte minst växternas upptag. Grundvattenbildningen sker därför huvudsakligen under icke växtperiod.

Det finns ofta hydraulisk förbindelse mellan berg och jord, bl.a. sker ju grundvattenbildningen i berg huvudsakligen genom infiltration från markytan och genom jordlager. Förbindelsen är dock ofta begränsad vilket medför att det i Sverige är vanligt med skilda grundvattentryck i jord och berg (se t.ex. Knutsson & Morfeldt 1993) Det sker ett utbyte av vatten, men detta sker långsamt och det är därför ofta relevant att tala om två skilda akviferer för jord respektive berg.

4.2.2 Grundvattenrespons och fluktuationer

Grundvattnets fluktuationer styrs förutom av nederbörden också av infiltrationsområdets utbredning och egenskaper, akviferens utbredning, transmissiviteten samt porositeten, eventuella bräddnivåer i akviferen och eventuella uttag av grundvatten. Rodhe, Lindström och Dahné (2008) har utvecklat en modell, baserad på HBV-modellen, för simulering av grundvattenbildningen och grundvattennivåfluktuationerna i några svenska typjordar. Modellen är kalibrerad för öppna akviferer, definierade som; *grov jord*, *morän* och *fin jord*.

Persson (2008) presenterar simuleringar av grundvattentryck i slutna akviferer med en delvis modifierad version av HBV-modellen. HBV-modellen (Bergström 1976; Lindström et al. 1997) har utnyttjats för liknande beräkningar tidigare (t.ex. Bergström och Sandberg, 1983; Johnsson, 1993) och i ett pågående projekt används modellen för att beräkna grundvattenbildning i morän samt grova jordar; för kalibrering har då, förutom avrinning, observationer av nivåer från SGU:s grundvattennät använts (Rodhe m.fl., 2006, 2008).

Erfarenheten visar att variationsmönstret i slutna och öppna akviferer är likartat (t.ex. Johnsson, 1993). Porvattentrycket i finkorniga jordar reagerar normalt snabbt tillsammans med ändringar i grundvattentrycket, åtminstone i övre respektive undre delen av finjordslagret. Fluktuationsdiagram presenterade av Persson (2008) visar porvattentryck som förändras mer eller mindre momentant i hela jordprofilen i ca 10 m djup lera. Undersökningar av Larsson och Åhnberg (2003) visar dock att öppna observationssystem (rör eller slangar) har en utjämnande effekt och kan missa kortvariga och snabba portrycksförändringar.

Grundvattnets fluktationsmönster är således likartat mellan öppna och slutna akviferer. Porvattentrycket i leror tycks följa dessa variationer mycket väl även i mäktiga sedimentlager. Portrycket reagerar mycket snabbt på ”yttre” tryckförändringar, t.ex till följd av last, och kan då variera snabbare än vid tryckförändringarna i grundvattennivån.

Grundvattentrycket liksom porvattentrycket i slutna akviferer påverkas också av laster på det täckande lerlagret. Lasten kan utgöras av fordon, fyllnadsmassor eller byggnader men laster till följd av ökat vatteninnehåll i lerans ytskikt, eller torrskorpa, har också framförts som en komponent (Bockgård 2004).

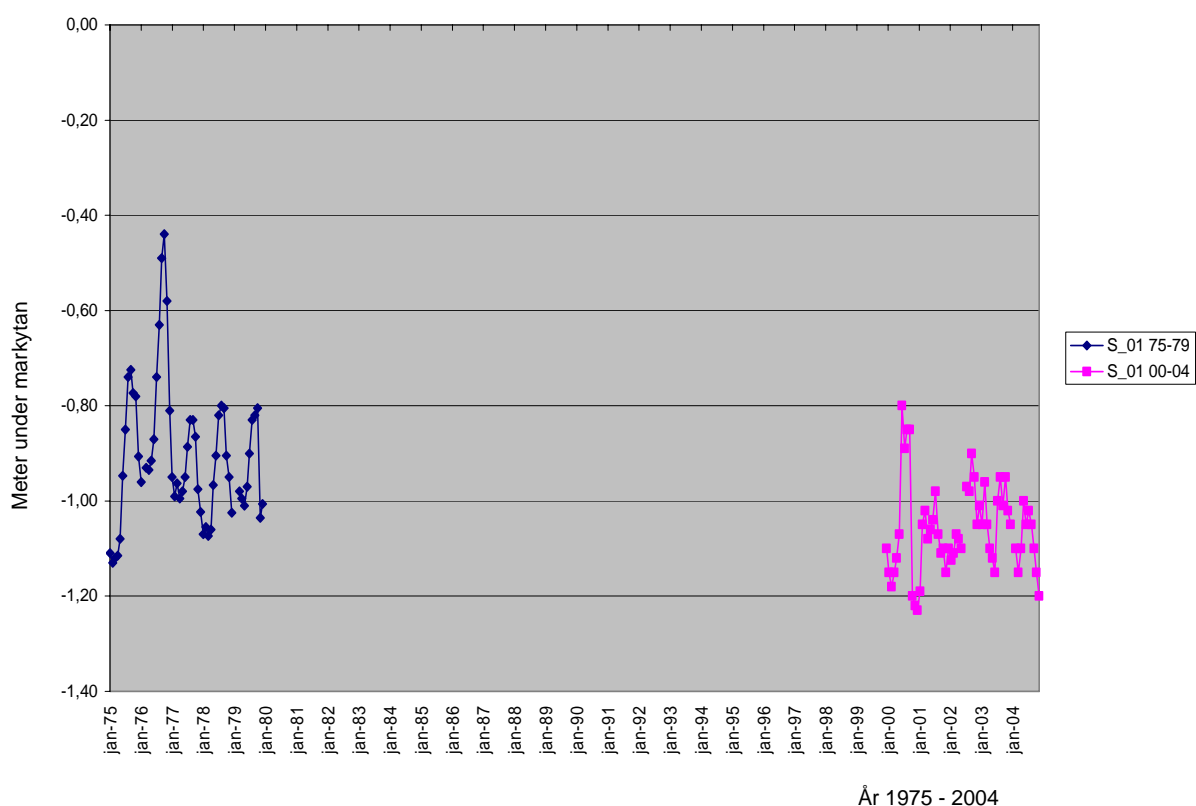
Porvattentrycket varierar också med lasten från atmosfärstrycket. Ökat atmosfärstryck ger också ökat porvattentryck i leran. Atmosfärstrycket verkar också direkt på vattenytan i öppna observationssystem så att grundvattennivån snarast sänks, eller behålls konstant, trots att totaltrycket i den slutna akviferen kan öka. Ytterligare faktorer som påverkar grundvattentryck och porvattentryck är tidjorden, dvs den töjning av jordsporpan som orsakas av månens gravitation. Tidjorden ger uttöjning och tillbakagång av jordskorpan på motsvarande sätt som tidvattenvågor. Töjningen är liten men innebär att jordskorpan lyfts, sprickor i marken utvidgas och grundvattennivån sänks. Tidjordsvariationen är i mellansverige ca 15 cm och kan under vissa förhållanden påverka grundvattennivån.

5 ANALYS AV GRUNDVATTENFLUKTUATIONER I SLUTNA AKVIFERER

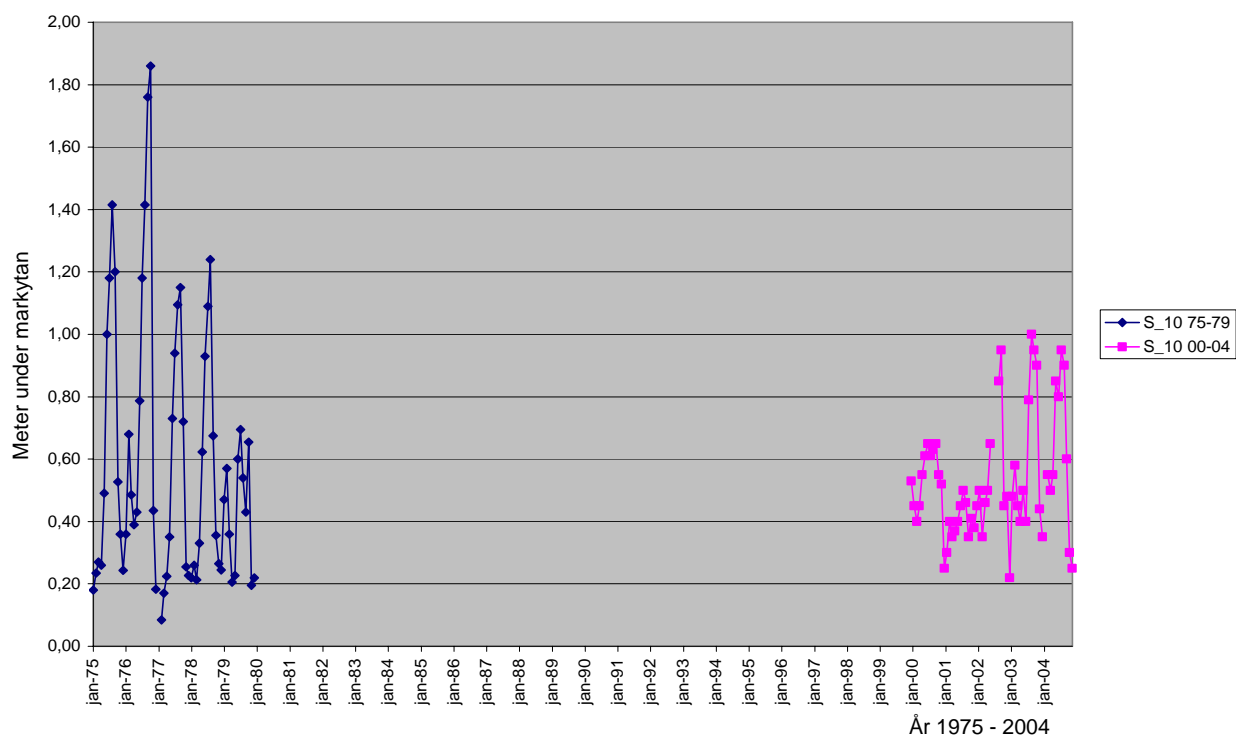
5.1 Grundvattenrörens respons och funktion

Grundvattenrörens låntidsfunktion har studerats hos några stationer i Harestad. Långa mätserier av fluktuationer och nederbörd har studerats hos fem utvalda rör, stationerna 1, 5, 6, 10, 11. Rören valdes med hänsyn till närhet till nederbördsstationen i Säve samt kontinuiteten i mätserierna. Information om nederbörd har hämtats från SMHI, station P878 (Säve) och P1001 (Sävenäs). I analysen har medelvärdet från daglig värden tagits, därefter summa på månadsmedelvärde.

En första studie avsåg rörens funktion. Fluktuationsmönstret jämfördes från 1970-talet fram till 2004, exempel från station 1 respektive 10. Vidare gjordes en utvärdering av nederbörd och grundvattennivå under ca 30 år.



Figur 5.1. Fluktuationsmönster, grundvatten, station 1 Harestad, under period 1975–1979 jämfört med 2000–2004.

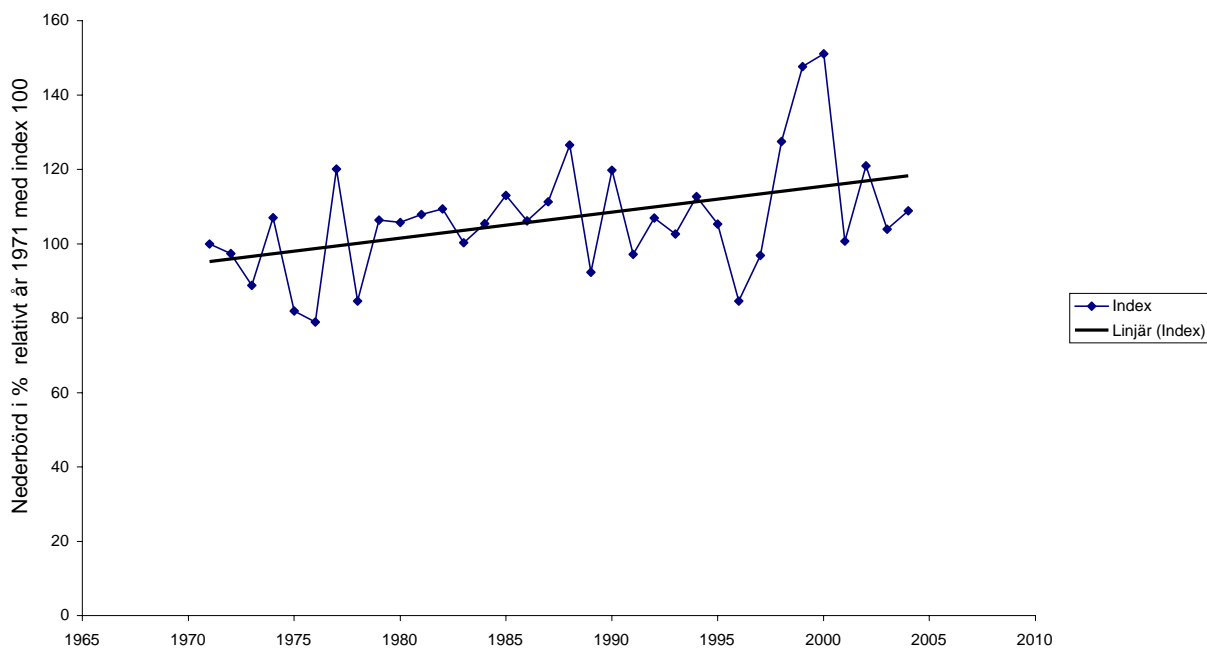


Figur 5.2. Fluktuationsmönster, grundvatten, station 10 Harestad, under period 1975–1979 jämfört med 2000–2004.

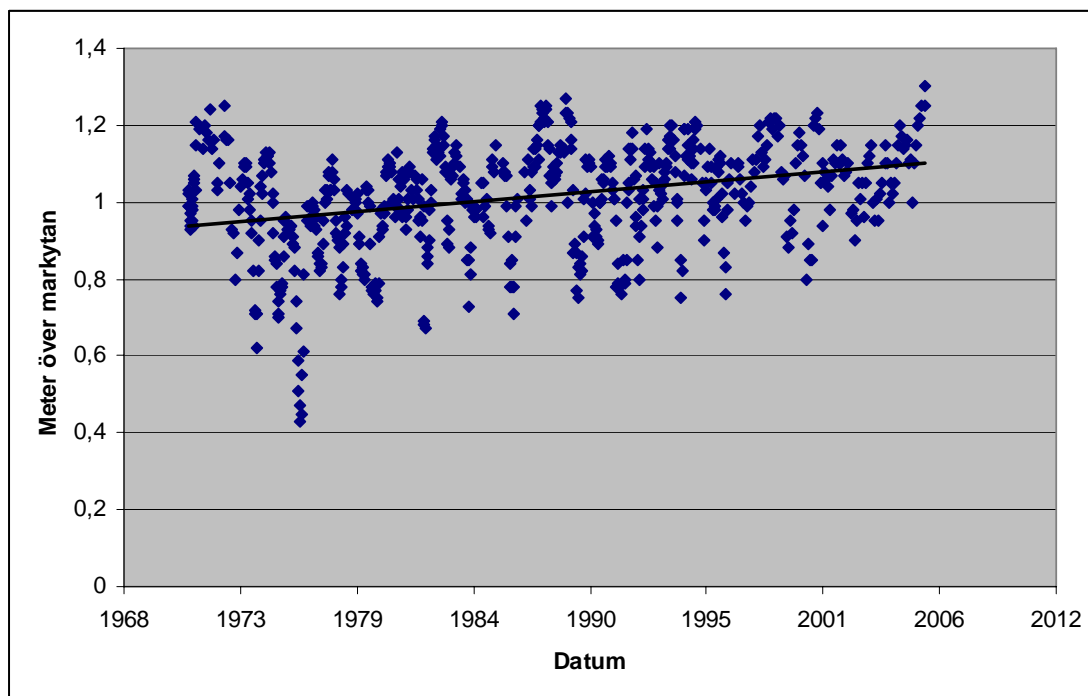
Av resultaten från studierna av rörrespons kan två huvudslutsatser dras:

- 1) Rörens respons på nederbörd är likartad under 1970-talet som under början av 2000-talet, men variationsbredden är något lägre under den senare perioden. Detta tolkas som att rören fungerar väl ännu efter 30 år – även om variationsbredden i vissa fall tycks ha minskat något vilket kan tyda på något försämrad respons speciellt vid kortvariga höga nivåer, se exempel från station 10 Harestad.
- 2) En långsiktig trend med ökad nederbörd (ca 0,7 % per år) har registrerats både i nederbörden och i grundvattenståndet, se nederbörd Figur 5.3, samt grundvattennivåer station 1 Harestad, Figur 5.4.

Nederbördsutveckling Sävenäs 1971-2004



Figur 5.3. *Nederbörd station Sävenäs, Göteborg. Indexerade årsmedelvärden under perioden 1971–2004, jämfört med 1971 där index satts till 100. (SMHI station Säve).*



Figur 5.4. *Grundvattenvariation i station 1, Harestad, under period 1971–2004. Meter över markytan, vilket visar en stigande grundvattennivå under perioden.*

5.2 Utvalda områden

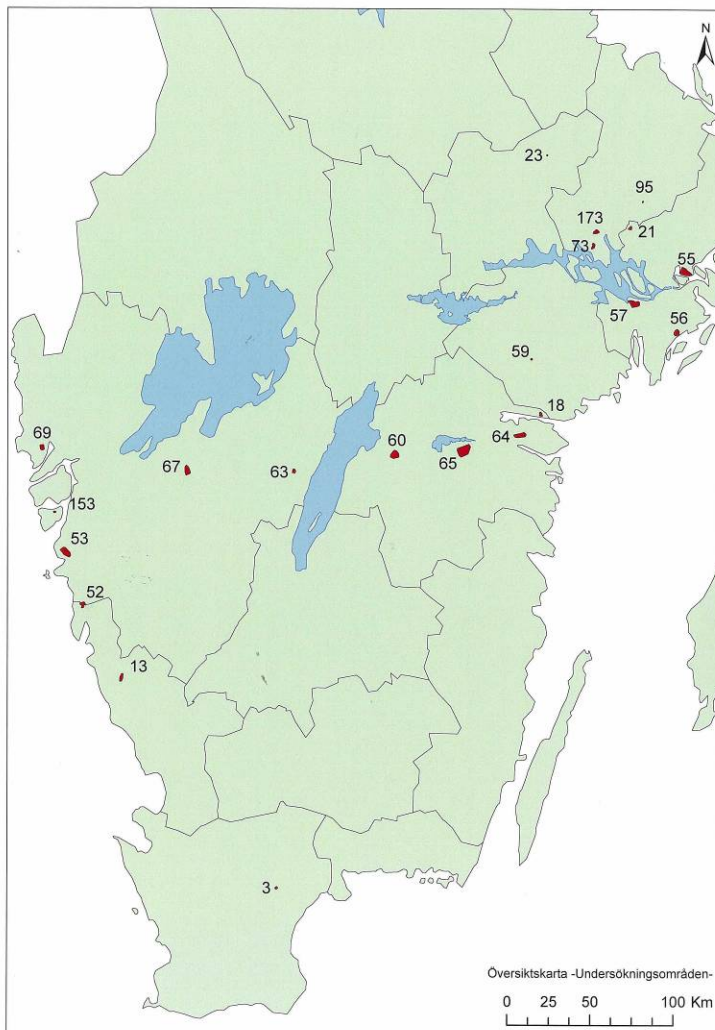
En analys har utförts över grundvattenfluktuationer i slutna akviferer i södra Sverige. Syftet med analysen var att studera storleken på fluktuationer (maximala variationsbredden) och hur denna påverkas av topografi, geologi, klimat och läge inom avrinningsområdet. För analysen gick samtliga områden i SGU:s grundvattendatabas igenom där grundvattenrör angetts sitta genom lerlager. En analys visade dock att flera av områdena var svårtolkade eller att det var tveksamt om de kunde betraktas som slutna akviferer. Efter genomgång utvaldes 16 områden för vidare analys. Av Figur 5.5 framgår läget för SGU:s grundvattenrör som bedömts sitta i slutna akviferer och i Tabell 1 beskrivs de olika områdena (områdena 3, 173, 60, 153 samt 95 enl SGU:s numrering valdes bort).

För alla dessa områden gäller, enligt SGU:s uppgifter (SGU,1985), att grundvattenrören är placerade i jord i slutna akviferer. Inom varje område finns ett flertal grundvattenrör (kallade stationer). Endast stationer med en mätperiod längre än 4 år har studerats i detta arbete. I vissa områden medtogs alla stationer i analysen medan endast vissa togs med i andra. Totalt har 134 enskilda grundvattenrör ingått i studien – summerat från tabellen nedan. Av Tabell 5.1 framgår även vilka stationer som har använts och av vilken anledning andra inte använts.

Tabell 5.1. Utvalda områden och stationer ur SGU:s grundvattennät.

Område Nr och namn	Jordart i markyta enligt jordartskarta	Befintliga stationer, nr	Icke medtagna stationer Nr och kommentar
13. Varberg	Lera, sand	2, 3, 4, 5	
18. Kolmården	Lera och organisk jord, gyttjelera	1, 2, 3	3 (ur funktion)
21. Sigtuna	Postglacial lera	1-7	
23. Tärnsjö	Lera	13	
52. Kungsbacka	Glaciallera och organisk jord	3, 4, 7, 8, 10- 14	3, 4 (läge utanför valt flikigt ¹ område) 7 (troligen ur funktion)
53. Kungälv	Lera	1-16	3 och 5 (troligen ur funktion) 14 (ur funktion) 15, 16 (läge utanför valt flikigt ¹ område)
55. Vaxholm	Lera och organisk jord	1-5, 7-19	1, 4, 7-17 (läge utanför valt flikigt ¹ område)
56. Haninge	Postglacial lera, gyttjelera och glaciallera	1-19	1-3,8,9,12,14-19 (läge utanför valt flikigt ¹ område)
57. Södertälje	Glaciallera, postglacial lera.	1-19	1-3, 6-8, 10, 11, 16-19 (läge utanför valt flikigt ¹ område)
59. Flinckesta	Glaciallera	4-6, 7, 9-10	4,5,7 (kort mätperiod)
63. Karstorp	Lera	5	5 (ur funktion)
64. Vikbolandet	Glaciallera och postglacial lera	2, 4, 5	4 (ur funktion)
65. Linköping	Glaciallera och postglacial lera	1, 3, 4, 7, 8	3 (troligen ur funktion) 4 (?)
67. Vara	Finsand	1-4	
69. Lysekil	Lera-silt	2-4	4 (ur funktion)
73. Enköping	Isälvs sediment, postglacial lera och gyttjelera	145-160	149,153-155 (ur funktion) 151 (i morän) 145, 146, 148, 150,152 158 160 (kort mätperiod)

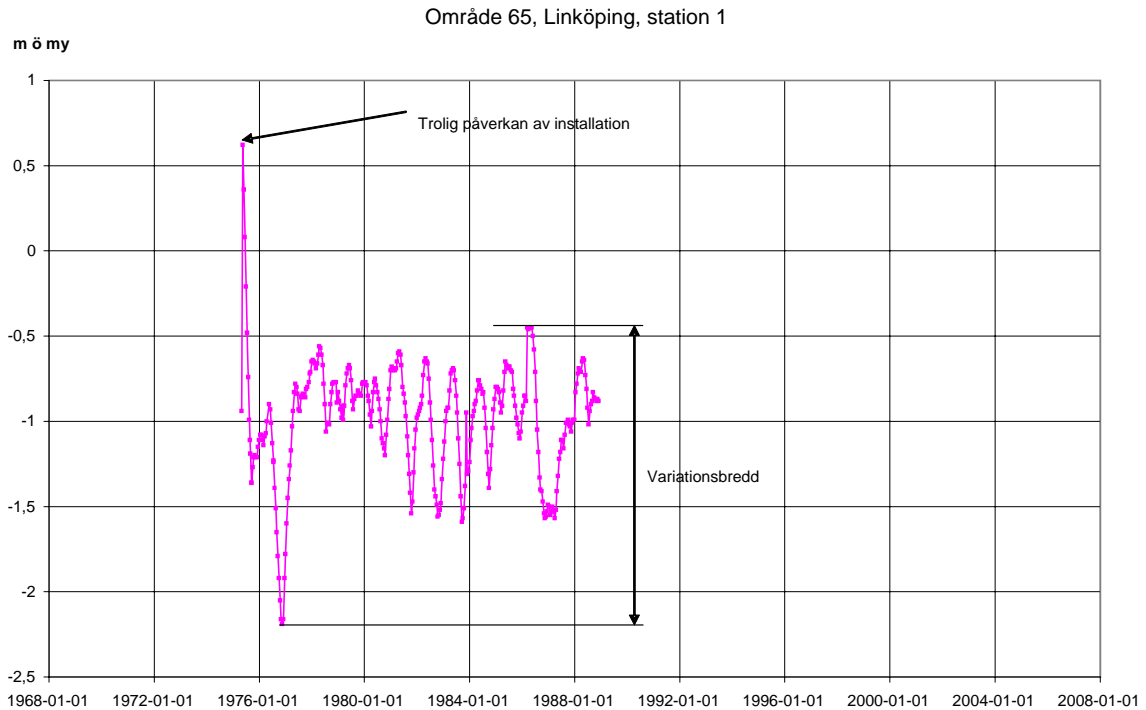
¹ Avrinningsområden har delats in i tre olika geohydrologiska typområden, se vidare Kapitel 5.6.



Figur 5.5. Översiktskarta visande läget för SGU:s grundvattenrör i slutna akviferer.

5.3 Grundvattenfluktuationens variationsbredd

Grundvattennivå i förhållande till markytan för varje station har plottats mot tiden. Resultaten har studerats varvid störningar vid installationen, egendomliga spikar och svårtolkade förändringar har rensats bort, se Figur 5.6. Den maximala variationsbredden har därefter bestämts för varje station som skillnaden mellan högsta och lägsta värdet under mätperioden.



Figur 5.6. Exempel på grundvattennivåmätning över tiden där värden i början av mätperioden har påverkats av installationen. Således är värden före 1976-09-16 inte medtagna i analysen av maximal variationsbredd.

5.4 Frekvensen av höga grundvattentoppar

Till grundvattnets karakteristiska fluktuationsmönster hör också frekvensen av toppar och dalar. Det vill säga hur ofta som specifika toppar respektive extrema lågvärden förekommer. Hit hör också frågan om maximala respektive minimala nivåer. I vissa fall finns en bräddnivå som reglerar toppvärden som då relativt ofta kan nå upp till en viss nivå, men aldrig högre. Vid bedömning av maximala porvattentryck för beräkning av släntstabilitet är det också intressant att veta hur ofta höga värden förekommer. Är det flera gånger per år eller har det skett endast någon enstaka gång under en mångårig observationsperiod?

För att studera frekvensen av stora eller små grundvattenfluktuationer har diagram över antalet uppmätta tillfällen med viss variationsbredd upprättats för varje enskild grundvattenstation, se bilaga 2. Stor spridning i frekvens innebär en ojämn kurva med både stora och små toppar utefter hela kurvan. Ett abrupt slut uppåt (åt höger på x-axeln) i frekvensdiagrammet innebär en tydlig maxnivå för grundvattenröret och således en bräddnivå. Låg frekvens av stora variationsbredder innebär istället enstaka uppmätta toppvärden. På detta sätt har grundvattenmönstret utvärderats i relation till rörens placering i olika lägen och typområden.

5.4.1 Konstruktion av frekvensdiagram

Frekvensdiagrammen har konstruerats genom att antalet tillfällen som grundvattennivån registrerats inom ett visst nivåintervall (om 5 cm) har plottats på y-axeln, samtidigt som x-axeln visar motsvarande nivåer. För att diagrammen ska vara någorlunda jämförbara har samma skala valts på x-axeln för samtliga diagram.

5.5 Utvärderingskriterier

Variationsbredden för de olika typområdena har analyserats med hänsyn till lerdjup, avstånd till dalbotten och avstånd till infiltrationsområde för varje station.

Med **lerdjup** avses här lerans totala mäktighet ner till friktionsjord. Lerans mäktighet och uppbyggnad varierar inom olika delar av vårt land. Utmed kusterna är lerdjupen ofta stora och leran utgörs av en övre lös postglacial lera underlagrad av en något fastare skiktad glacial lera medan lerorna i mellersta delarna av landet ofta inte är lika mäktiga och till större del utgörs av glaciallera. Det förväntades att variationsbredden skulle öka med minskat lerdjup.

Avstånd i meter till dalbotten avser här avståndet från grundvattenrörets läge till lerområdets närmaste, lägsta punkt. Ofta ligger denna punkt i mitten av dalgången och intill ett vattendrag. Det förväntades att variationsbredden skulle öka med ökat avstånd till dalbotten.

Avstånd i meter till infiltrationsområde avser här avståndet från grundvattenröret till kanten på närmaste högre belägna fastmarksområde. Terräng som utgörs av berg, morän, isälvsmaterial eller svallsediment. Det förväntades att variationsbredden skulle öka med minskat avstånd till infiltrationsområdet.

För varje observationsområde, innehållande flera grundvattenstationer, har ytan för **hela** områdets avrinningsområde bestämts med hjälp av topografisk karta i skala 1:50 000 och med ekvidistansen 5 m. Varje avrinningsområde har delats upp i ett infiltrationsområde och ett lerområde.

Lerområdet utgörs av den del av avrinningsområdet, som enligt jordartskartan består av lera. Resterande del av avrinningsområdet, ofta högre belägna partier definieras i denna rapport som infiltrationsområde. **Kvoten har beräknats som ytan för infiltrationsområdet delat med ytan för lerområdet.**

De på detta sätt bestämda avrinningsområdena motsvarar därför inte respektive stations egentliga avrinningsområde, utan ytan kan vara mer eller mindre relevant beroende på områdets geometri och stationens placering inom området. Speciellt inom områden som klassats som flikig lerterräng återfinns flera stationer, som ligger isolerade i trånga dalgångar

5.6 Typmiljöer för slutna akviferer

Flera olika koncept för att indela landskapet i karakteristiska geohydrologiska typmiljöer har utarbetats på olika håll i världen. Systemen med hydrogeologiska typmiljöer utgår från en uppdelning av landskapet med avseende på storskaliga naturförutsättningar beträffande, geologi, topografi etc. I Sverige har indelningen framförallt fokuserat på typområden för tolkning av grundvattendata och bedömning av grundvattenkvalitet (NV, Typområden; NV, 1999) men typområden har också definierats för grundvattenförekomst för vattenförsörjning, samt riskhantering längs vägar (t.ex. Stejmar-Eklund, 2002; Winnerstam, 2005).

Gemensamt för de presenterade typområdena, såväl i Sverige som i andra länder är att slutna akviferer vanligen presenteras som ett samlat typområde. Ingen distinktion görs för små slutna bäcken respektive för vida flacka akviferer. Samtidigt är det väl känt att dessa miljöer skiljer sig från varandra och att grundvattentryckets och porvattentryckets respons på nederbörden varierar.

För att praktiskt kunna bedöma maximal grundvattennivå utifrån ett simulerat eller förväntat nederbördsscenario bör hänsyn tas till de lokala och regionala geohydrologiska förhållandena.

I föreliggande projekt studeras variationerna i slutna akviferer uppdelat inom;

- slutna akviferer, samtliga studerade rör
- slutna akviferer indelade i olika typområden,

- slutna akviferer i olika regioner (Västra Sverige, Mellansverige, Östra Sverige.)

5.7 Beskrivning av valda typområden

De 16 utvalda områdena indelades in i fyra olika hydrogeologiska typområden med avseende på lerans utbredning i plan, geometrisk landform, topografi och närheten till vattendrag och fastmark. Som utgångspunkt för studien gjordes en preliminär indelning i följande områden:

Isolerade lerbäcken karakteriseras av relativt stora och plana lerområden som till största delen är omgärdade av fastmark, berg i dagen, morän eller isälvsediment. Områdets yta kan variera från en till några kvadratkilometer. Exempel på ett isolerat lerbäcken visas i Bilaga 1 förhållanden för område Varberg (nr 13). Områdena 13, 21, 23, 52, 53, 59, 65, 69 och 73:147 sorterades in under detta typområde.

Flikig lerterräng karakteriseras av områden som i plan utgörs av smala stråk och bäcken med finsediment, lera och silt, som begränsas av fastmark. Jorddjupet är oftast mindre än för isolerade lerbäcken. Områdets utsträckning kan variera från ett par till flera kilometer. Ofta har inom detta område analyser utförts på delar av dessa områden med någorlunda sammanhängande lerområden. Exempel på en isolerad lerterräng visas i Bilaga 1, förhållanden för område Kolmården (nr 18). Områdena 18, 55, 56 och 57 sorterades in under detta typområde.

Lerdalgång karakteriseras av områden med mäktiga finsediment, lera och silt, som är belägna vid större vattendrag, typ Göta älvs dalgång. Områdena är belägna utmed vattendraget mellan fastmarksområdet och vattendraget. Inget område sorterades in under detta typområde. Som exempel på en lerdalgång visas i Bilaga 1 förhållanden för område Äsperöd där SGU inte har några grundvattenrör men där SGI bedriver forskning om portrycksförhållanden.

Lerslätt avser ett slättlandskap, som utgörs av finsediment, lera och silt. Området har ingen naturlig begränsning och det förekommer inga eller endast ett fåtal mindre fastmarkspartier i området. Exempel på en lerslätt visas i Bilaga 1 förhållanden för område Vara (nr 67). Områdena 63, 64, 67, 73:156, 73:157 och 73:159 sorterades in under detta typområde.

Tillgången på data med långa observationsserier i slutna akviferer är dock begränsad och det var möjligt att hitta representativa data endast från områdena; isolerade lerbäcken, flikig lerterräng, samt lerslätt. Som ett viktigt typområde har också lerdalgång identifierats men ingen av SGU:s grundvattenstationer kan klassas till denna typ.

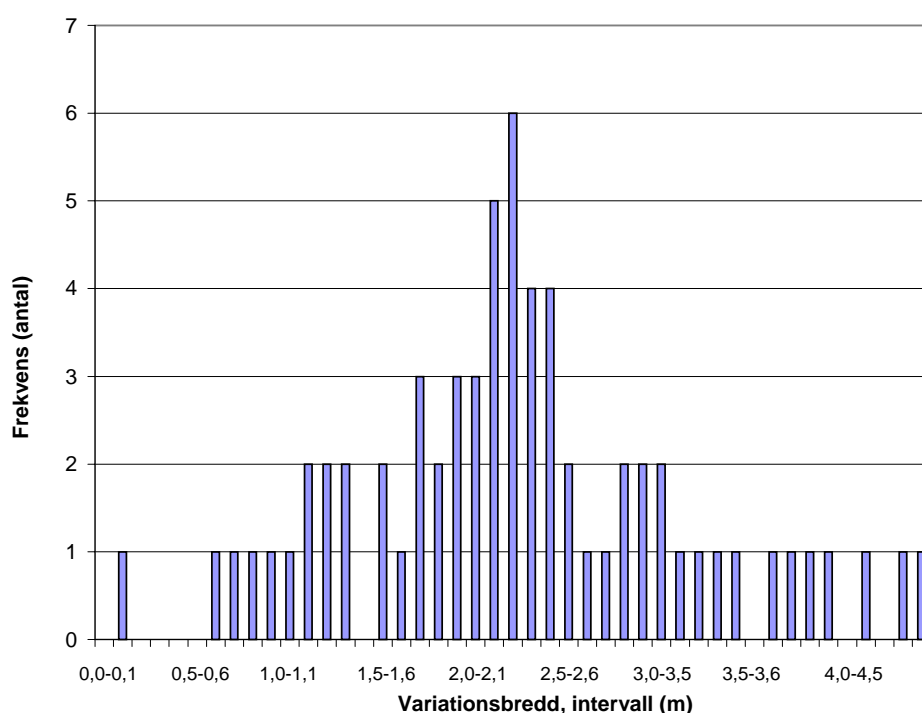
I Bilaga 1 finns läget för SGU:s grundvattenrör markerat på respektive karta. Jordlagrens mäktighet på principsektionerna är ungefärligt bedömda med utgångspunkt från att området är en sluten akvifär och att grundvattenröret spets neddrivits i friktionsjord.

Indelningen är i mångt och mycket översiktlig. Det kan finnas stora likheter mellan t.ex en del av ett flikigt lerområde och ett slutet lerbäcken eller en central del av ett större flikigt lerområde och en lerslätt. Inom ett område kan det också förekomma kombinationer av flera mindre typområden. I många fall torde grundvattenrörens placering inom respektive typområde med avståndet till t ex infiltrationsområde, fastmark, dalbotten och närmsta vattendrag ha större inverkan på variationsbredden än inom vilket storskaligt typområde de ligger.

6 RESULTAT

6.1 Grundvattenfluktuationer i slutna akviferer

Resultaten över bestämd maximal variationsbredd för samtliga utvalda områden visade att variationsbredden varierar mellan 0,2 och 4,6 meter. Hög variationsbredd, över 4 meter, återfanns i Sigtuna (område 21) och Vikbolandet (område 64) medan låg variationsbredd, under 1 meter, återfanns i Kungälv (område 53). Maximal variationsbredd, som en frekvensfördelning, redovisas för samtliga utvalda områden i Figur 6.1. Av figuren framgår att variationsbredd kring 2,1 och 2,2 meter är de som har högst frekvens, dvs de som är vanligast förekommande. Endast i ett grundvattenrör har mindre variationsbredd än 0,5 m uppmätts och på motsvarande sätt finns endast enstaka rör med variationsbredder över 4,5 m. Samtliga diagram med resultaten från analysen av variationsbredden redovisas i Bilaga 1 och sammanfattas i Tabell 6.1.



Figur 6.1. Maximal variationsbredd för samtliga utvalda områden. Staplar redovisar antal stationer där variationsbredden ligger i intervallet motsvarande angivet värde +0,1 m.

Grundvattnets variationsbredd i de studerade slutna akvifererna varierar således mellan ca 0,2 och 4,6 m, med en koncentration av värden mellan ca 2 – 2,5 m. Lerdjupen i de studerade områdena varierar mellan 3 och 36 m och det finns en tendens att variationsbredden minskar med ökande lerdjup. På motsvarande sätt finns en svag tendens att variationsbredden ökar med ökat avstånd från observationsröret till dalbotten. Möjligen kan motsvarande tolkning ges beträffande avståndet från rör till infiltrationsområde, dvs ett ökande avstånd ger minskande variationsbredd. Sammantaget blir bilden att det tycks finnas en tendens att grundvattenfluktuationerna är större (större variationsbredd) för rör som sitter nära randen av en sluten akvifer. Ju längre ut i lerbäckenet man kommer desto mindre blir variationsbredden. Denna tendens är ännu tydligare om man exkluderar lerslätter, dvs om man enbart betraktar flikig lerterräng och isolerade lerbäcken.

Det tycks också finnas en koppling mellan grundvattenfluktuationerna och relationen mellan infiltrationsområdets storlek och lerområdets storlek. Spridningen i variationsbredd minskar när kvoten mellan infiltrationsområde och lerområde ökar. Den största spridningen, dvs rör med både stora och små variationsbredder finns i akviferer där infiltrationsområdet är relativt litet gentemot lerområdet. Stora infiltrationsområden tycks verka stabiliserande på grundvattennivån så att fluktuationsmönstren blir mer likartade med variationsbredder omkring 1,5 – 2 m.

Tabell 6.1. *Sammanfattande resultat från utvärdering av grundvattenvariationsbredder i slutna akviferer i Sverige.*

	Alla stationer
Allmänt om uppmätt variationsbredd	Variationsbredd mellan 0,2 och 4,6 m.
Lerdjup	Lerdjup 3-36 m. Variationsbredden minskar med ökat lerdjup.
Avstånd till dalbotten	Avstånd 0-400 m. Variationsbredden ökar med ökat avstånd till dalbotten.
Avstånd till infiltrationsområde	Avstånd 10->500 m. Svagt samband att variationsbredden minskar med ökat avstånd till infiltration.
Kvot mellan infiltrationsområde och lerområde	Kvot 0,3-5,4. Variationsbredden ökar med ökad kvot upp till ett värde på kvoten av 2. För värden på kvoten över 2 minskar variationsbredden med ökad kvot.

6.2 Grundvattenfluktuationer i typområden för slutna akviferer

Det finns en koppling mellan å ena sidan grundvattnets fluktuationsmönster och å andra sidan geografiska och hydrogeologiska förhållanden. De observationsserier som finns tillgängliga från slutna akviferer är dock relativt få och tydliga kopplingar mellan variationsbredd och typområde är inte helt lätta att göra. Dock finns vissa tendenser. Det tycks som variationsbredden varierar mest, dvs det finns både rör med stor variationsbredd och rör med liten variationsbredd, i relativt grunda lägen inom slutna lerbäcken och flikig lerterräng. På lerslätter tycks variationen mindre och de flesta rör har en maximal variationsbredd mellan ca 2,5 och 4 m.

Beträffande lerdjup finns en tendens att variationsbredden minskar med lerdjupet i isolerade lerbäcken. För övriga områden finns ingen tydlig koppling mellan lerdjup och variationsbredd. Det är svårt att hitta samband mellan rörets placering i förhållande till dalbotten men möjligen finns en viss tendens till att variationsbredden ökar med ökat avstånd från lerbotten på lerslätten. dvs. ju längre ut i den slutna akviferen man befinner sig desto mindre är svängningarna, eller variationsbredden.

Det finns stor spridning hos infiltrationsområdets storlek vid isolerade lerbäcken allt från infiltrationsområden som är mer än fem gånger så stora som lerområdet till det motsatta där lerområdet är mer än dubbelt så stort som infiltrationsområdet. Spridningen är mindre för flikig lerterräng och minst för lerslätter där själva lerområdet normalt är lika stort eller större än infiltrationsområdet. Det finns en tendens till att variationsbredden minskar när infiltrationsområdet ökar. Tydligast är detta för flikig lerterräng men tendensen finns också i isolerade lerbäcken över en

viss storlek. I tabell 6.2 sammanfattas utvärderingen av grundvattnets variationsbredder i olika terrängtyper.

Tabell 6.2. Utvärdering av grundvattenfluktuationens variationsbredd i olika typer av slutna akviferer i Sverige.

	Flikig lerterräng 9 stationer, 20 rör	Lerslätt 5 stationer, 10 rör	Isolerat lerbäcken 16 stationer, 37 rör
Beskrivning av området			
Allmänt om uppmätta variationsbredder	1 < variationsbredd < 3,7 m. Hög variationsbredd saknas.	2,3 < variationsbredd < 4,2 m. Låg variationsbredd saknas.	0,2 < variationsbredd < 4,6 m.
Lerdjup	Lerdjup 4-25 m. Inga tydliga samband.	Lerdjup 3-12 m. Inga samband.	Lerdjup 3-36 m. Variationsbredden minskar med ökat lerdjup.
Avstånd till dalbotten	Avstånd 0-300 m. Inga samband.	Avstånd 130-350 m. Korta avstånd saknas. Variationsbredden ökar med ökat avstånd till dalbotten.	Avstånd 5-400 m. Inga tydliga samband.
Avstånd till infiltrationsområden	Avstånd 5-150 m. Inga samband.	Avstånd 5-500 m. Svag tendens att variationsbredden minskar med ökat avstånd till infiltration.	Avstånd 5-275 m. Svag tendens att variationsbredden minskar med ökat avstånd till infiltration.
Kvot mellan infiltrationsområden och lerområde	Kvot 0,9–3,5. Variationsbredden minskar med ökad kvot.	Kvot 0,3–3. Svag tendens att variationsbredden minskar med ökad kvot. Dock få punkter.	Kvot 0,4-5,4. Variationsbredden ökar med ökad kvot upp till ett värde på kvoten av 2. Variationsbredden minskar med ökad kvot för värden på kvoten över 2.

6.3 Grundvattenfluktuationer i skilda geografiska regioner

Det svenska landskapet kan delas in i olika naturgeografiska regioner med avseende på topografi och andra naturgeografiska förhållanden. Denna indelning innefattar också skillnader i jordartsförhållanden. Mot bakgrund av detta har vi undersökt grundvattnets fluktuationsmönster inom skilda geografiska regioner. De utvalda grundvattenområdena indelades utifrån 3 olika geografiska lägen; Västra Sverige, Mellansverige och Östra Sverige. Dessa områden skiljer vad det gäller topografi, geologi och klimatologiska förutsättningar vilket beskrivs nedan.

6.3.1 Topografi och geologi

Västra Sverige

Området karaktäriseras av en starkt sönderskuren terräng med djupa sprickdalar och däremellan höga bergplataer. Höjdskillnaderna mellan dalbottarna under jordlagren och plåtarna kan ofta uppgå till mer än 200 m. Plåtarna domineras av kalt berg. Morän förekommer sparsamt och bildar vanligen tunna täcken. Längs kusten förekommer ryggsformade israndbildningar av morän och isälvsmaterial. I

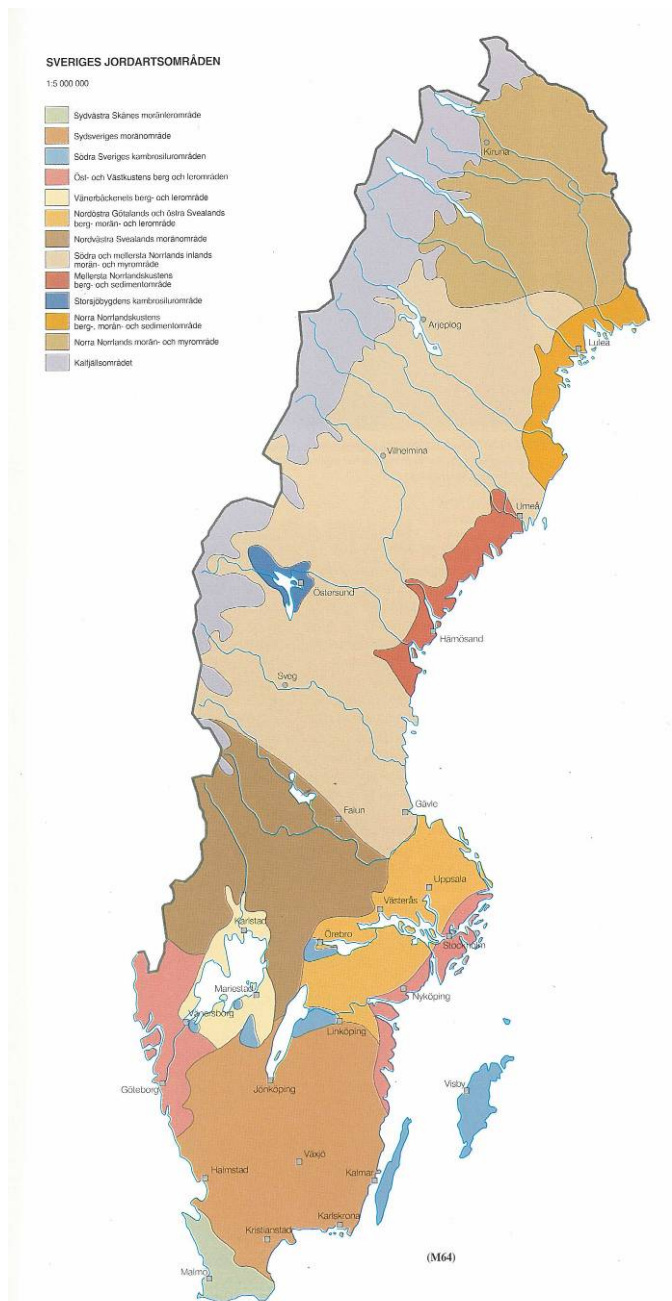
dalgångarna finns jordlager med betydande mäktighet, mellan 50 och 100 m är inte ovanligt. Huvuddelen av jordlagren utgörs av glaciallera, medan de översta delarna utgörs av postglacial lera med en mäktighet av i allmänhet 5-10 m. Saltvattenavlagrad lera har speciella egenskaper, som skiljer sig från sötvattenavlagrad lera. Särskilt gäller det den marint avsatta glaciala leran, som inte är varvig utan svagt skiktad. När porvattnet urlakas av sött vatten från nederbörden kan det bildas kvicklera. De geologiska förhållandena framgår av Figur 6.2. (*Sveriges jordartsområden*).

Mellansverige

Området sträcker sig från Västgötaslätten i väster till Östgötaslätten i öster och från Sydsvenska höglandet i söder till Väner och trakterna kring Kolmården i norr. Södra delarna av området ligger inom "Sydsveriges moränområde". Området ligger till stora delar över högsta kustlinjen (HK) och morän är den dominerande jordarten, men isälvsediment och torv förekommer också rikligt främst söder om Vättern. De västra delarna av "Mellansverige" utgörs av "Vänerbäckens berg och lerområde" med utbredda lerslätter, och södra delarna av "Nordöstra Götalands berg-, morän- och lerområde" med den s k Västgötaslätten i väster om Vättern och den s k Östgötaslätten öster om Vättern. Inom slättområdena utgörs berggrunden av kambro-siluriska bergarter vilket ger kalkhaltiga jordar. Finsedimenten domineras av glaciallera, som är brun och varvig. I lägre partier täcks den av yngre postglaciala leror och organisk jord. Svallsediment förekommer främst i anslutning till isälvsavlagringar och vid moränslutningar.

Östra Sverige

Området ligger inom "Nordöstra Götalands och östra Svealands berg-, morän- och lerområde". Området är småkuperat med berg och morän i höjderna och finkorniga sediment i sänkorna. Hela området med undantag av några höjdparter sydost om Askersund samt norr om Åby, ligger under HK. Moränens mäktighet är vanligen mellan 1 och 5 m. Isälvsavlagringar i form av åsar löper i nord-sydlig huvudriktning genom området. Dessutom förekommer utbredda och mäktiga avlagringar av isälvsediment främst sand. Svallsediment, i regel endast några meter mäktiga, uppträder på moränslutningar och i anslutning till isälvsavlagringar. Den glaciala leran är varvig och lokalt kalkhaltig. Mäktigheten kan vara mer än 15 m och i lågt liggande partier överlagras den glaciala leran av postglacial grå lera och gyttjelera.

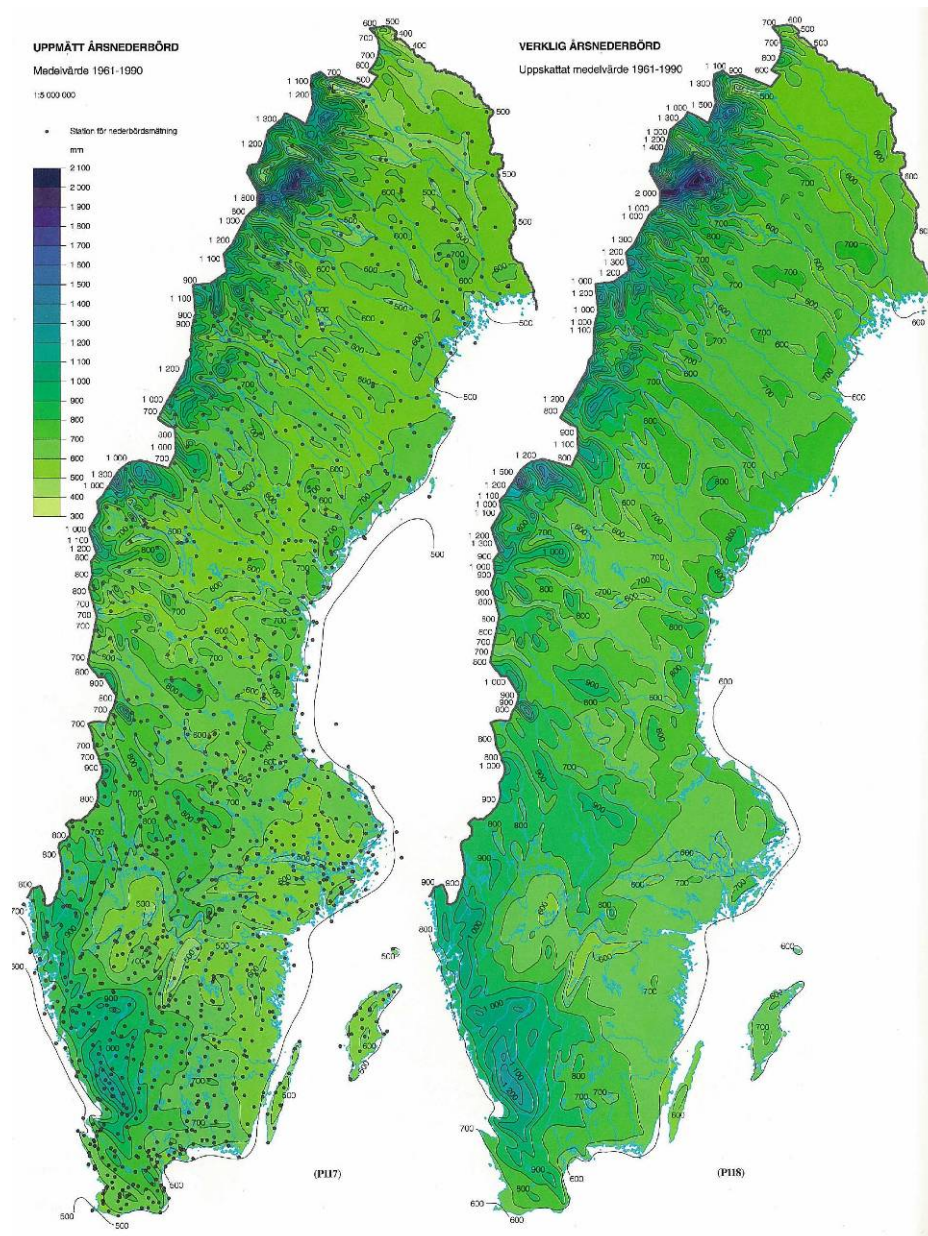


Figur 6.2. Sveriges jordartsområden. Ur Sveriges Nationalatlas, Berg och jord (1998).

6.3.2 Klimat

De nederbördsrikaste områdena i vårt land finns bl a på västsidan av Sydsvenska höglandet, se Figur 6.3. Tvärs över Sydsvenska höglandet varierar medelnederbörden drastiskt. Från västkusten inåt land ökar den snabbt och når sitt maximum ett par tre mil från kusten. Den genomsnittliga uppmätta årsnederbörden uppgår här som mest till mellan 1100 och 1200 mm i inre Halland på ett avstånd av 2–3 mil från kusten. Under den våtare perioden, från juli till januari, är medelnederbörden där 100–130 mm per månad.

I de östra delarna av södra Sverige varierar den verkliga årsnederbörden med mellan 600mm och 700 mm/år.



Figur 6.3. Kartorna visar verklig uppmätt nederbörd och verklig årsnederbörd, som i allmänhet är ca 10–20 % högre än den som mätts upp direkt. Efter Sveriges Nationalatlas: Klimat, sjöar och vattendrag (1995).

6.3.3 Resultat för geografiska områden

Variationsbredden för de olika geografiska områdena har analyserats med hänsyn till lerdjup, avstånd till dalbotten, avstånd till infiltrationsområde samt infiltrationsområdet storlek (kvoten lerområde/infiltrationsområde) för varje station på samma sätt som för de geohydrologiska typområdena. I flera avseenden tycks sambanden till grundvattnets variationsbredd starkare med denna geografiska indelning än för de studerade typområdena.

Allmänt verkar skillnaden mellan olika slutna akviferer vara större i östra delarna av landet jämfört med framförallt mellansverige, där ju bl.a. lerslätterna finns representerade. Variationsbredden är således störst för östra Sverige.

Variationsbredden tycks minska med större lerdjup inom västra Sverige. Denna tendens stämmer väl med den allmänna tendensen för samtliga studerade slutna akviferer men är svårare att spåra inom de andra två geografiska områdena, där fåtalet punkter i mellansverige snarare pekar på den motsatta trenden.

Variationsbreddens beroende av rörens lägen syns bäst i västra Sverige, men antyds också i Mellansverige, där närhet till lerområdets rand och infiltrationsområdet tycks innebära större variationsbredd. Beroendet av infiltrationsområdets storlek kan ses i alla tre regioner genom att grundvattenvariationsbredden minskar när infiltrationsområdet ökar i storlek. Samma tendens, således, som för typområdena ovan. Slutsatserna från utvärderingen av de geografiska regionerna sammanfattas i tabell 6.3.

Tabell 6.3. Resultat från analys av variationsbreddens variation med lerdjup, avstånd till dalbotten och avstånd till infiltrationsområde.

	Västra Sverige 7 stationer, 23 rör	Mellansverige 5 stationer, 9 rör	Östra Sverige 18 stationer, 32 rör
Allmänt om uppmätta variationsbredder	Variationsbredd mellan 0,2 och 3 m. Hög variationsbredd saknas.	Variationsbredd mellan 1,8 och 4 m. Låg variationsbredd saknas.	Variationsbredd mellan 1 och 4,6 m. Låg variationsbredd saknas.
Lerdjup	Lerdjup 4-36 m Variationsbredden minskar med ökat lerdjup.	Lerdjup 3-13 m. Inga mätare på stora djup. Variationsbredden ökar med ökat lerdjup.	Lerdjup 4-16 (25) m. Inga mätare på stora djup Inga samband.
Avstånd till dalbotten	Avstånd 5-400 m. Inga tydliga samband.	Avstånd 130-350 m . Korta avstånd saknas. Variationsbredden ökar med ökat avstånd till dalbotten.	Avstånd 10-300 m. Variationsbredden minskar med ökat avstånd till dalbotten.
Avstånd till infiltrationsområde	Avstånd 5-280 m. Variationsbredden minskar med ökat avstånd till infiltration.	Avstånd 10-500 m. Inga samband.	Avstånd 5-190 m. Inga samband.
Kvot mellan infiltrationsområde och lerområde	Kvot 0,4-5,4. Inga samband.	Kvot 0,3-3,0. Inga samband.	Kvot 0,4-3,6. Inga tydliga samband.

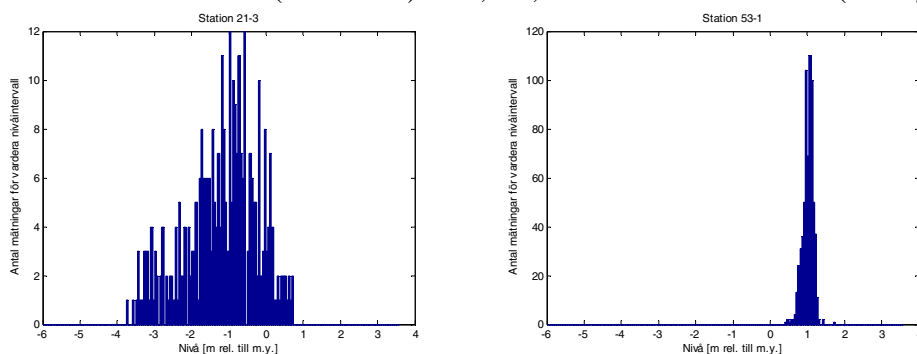
6.4 Utvärdering av frekvensdiagram

För bedömning av risker och släntsäkerhet är det viktigt att känna till hur ofta höga värden förekommer (även om denna hänsyn inte alltid tas i ”traditionell” släntanalys). Har hög maxnivå registrerats vid endast enstaka tillfällen under en lång observationsperiod eller förekommer höga värden ofta?

Fluktuationsmönstret skiljer mycket mellan olika grundvattenobservationsrör även inom samma slutna akvifer. Rörens kvalitet och funktion har stor betydelse för uppmätta värden, men även rörets exakta placering i akviferen har betydelse. Vid analysen av fluktuationsmönstret utifrån hur antalet registreringar av en viss grundvattennivå har vissa specifika mönstren kunnat urskiljas.

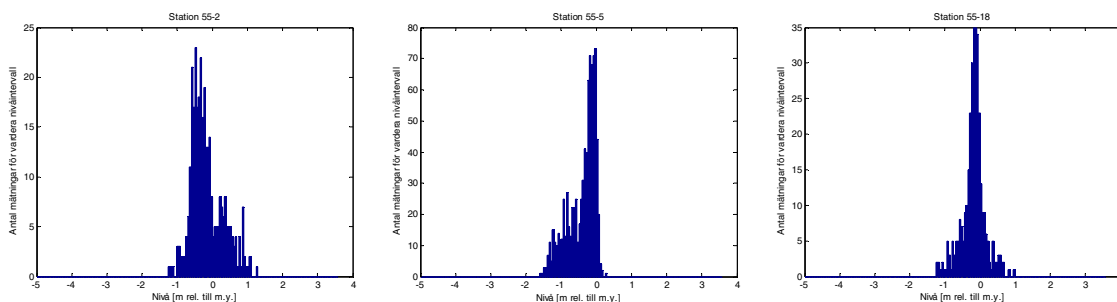
6.4.1 Vad frekvensdiagrammen visar

Då frekvensdiagrammen från de olika stationerna jämförs ses tydligt att de skiljer sig en hel del åt. Tydligast är kanske att variationsbredden varierar mellan de olika stationerna. I figuren, 6.4 är variationen i station 21-3 (till vänster) ca. 4,5 m, medan den i station 53-1 (till höger) är omkring 1 m.



Figur 6.4. Exempel på frekvensdiagram med olika variationsbredd.

Dock skiljer sig även frekvensdiagrammens form tydligt från varandra, där tre huvudkategorier har urskiljts och exemplifieras med stationerna 55-2, 55-5 och 55-18, Figur 6.5. Utseendet som exemplifieras med station 55-2 har betecknats ”vänster”, station 55-5 som ”höger” och station 55-18 som ”centrisk”.



Figur 6.5. Tre identifierade huvudkategorier för frekvensdiagrammens form, exemplifierade med station 55-2 till vänster, station 55-5 i mitten samt station 55-18 till höger.

Framtagna histogram har delats in i tre grupper baserat på histogrammens form. De olika grupperna beskrivs i Tabell 6.4. Tolkningen av fluktuationsmönster inom respektive typområde ses i Tabell 6.5.

Tabell 6.4. Beskrivning av använda grupper för indelning av histogram.

Grupp	Förklaring	Kommentar
Centrisk	Histogrammen visar på ett brett mätområde med en koncentration i mätområdets centrala del.	Grundvattennivån uppvisar vanligen ett medelvärde runt vilket nivån varierar både uppåt som nedåt. Bredden och koncentrationen på mätområdet varierar mellan stationerna.
Vänster	Histogrammen visar på ett brett mätområde men med en koncentration i mätområdets vänstra (lägre) del.	Grundvattennivån varierar men har de flesta värdena bland de lägre nivåerna. Höga värden förekommer med är mer sällsynta än låga värden.
Höger	Histogrammen visar på ett brett mätområde men med en koncentration i mätområdets högra (övre) del.	Grundvattennivån varierar men har de flesta värdena bland de högre nivåerna. Låga värden förekommer men är mer sällsynta än höga värden.

Tabell 6.5. Fluktuationsmönster, uttryckt i frekvensdiagram, inom respektive typområde.

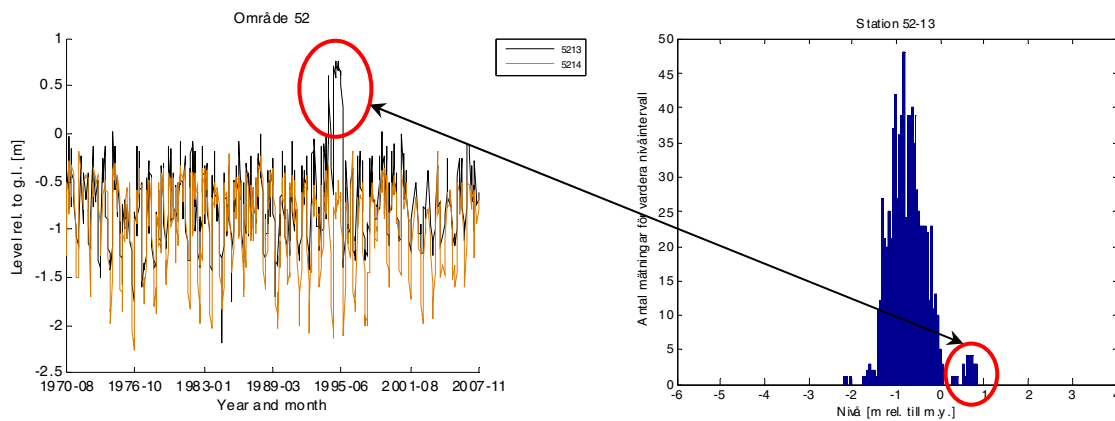
Typutseende Histogram	Område-station	Typområden för slutna akviferer	Geografiskt läge
Centrisk	13-3,5	Isolerat lerbäcken	Väst
	18-1,2	Flikig lerterräng	Öst
	21-3,4,5,7	Isolerat lerbäcken	Öst
	23-13	Isolerat lerbäcken	Öst
	53-1,4,7,8,12	Isolerat lerbäcken	Väst
	55-18	Flikig lerterräng	Öst
	56-5,6,17	Flikig lerterräng	Öst
	57-5,9,12,14	Flikig lerterräng	Öst
	59-6,9	Isolerat lerbäcken	Öst
	64-2	Lerslätt	Mellan
	67-1,2,3,4	Lerslätt	Mellan
	73-147	Isolerat lerbäcken	Öst
	73-156	Lerslätt	Öst
Höger	13-4	Isolerat lerbäcken	Väst
	21-1,2	Isolerat lerbäcken	Öst
	52-8,10,11,12,14	Isolerat lerbäcken	Väst
	53-2,6,9,10,11,13	Isolerat lerbäcken	Väst
	55-3,5,19	Flikig lerterräng	Öst
	56-4,7,10,11,13,18	Flikig lerterräng	Öst
	57-4,15	Flikig lerterräng	Öst
	59-10	Isolerat lerbäcken	Öst
	65-1,8	Isolerat lerbäcken	Mellan
	69-2,3	Isolerat lerbäcken	Väst
	73-157,159	Lerslätt	Öst
Vänster	13-2	Isolerat lerbäcken	Väst
	21-6	Isolerat lerbäcken	Öst
	52-13	Isolerat lerbäcken	Väst
	55-2	Flikig lerterräng	Öst
	57-13	Flikig lerterräng	Öst
	64-5	Lerslätt	Mellan
	65-7	Isolerat lerbäcken	Mellan

Från tabellen ovan kan följande slutsats dras: Alla olika typer av fluktuationsmönster förekommer i samtliga typområden och andra faktorer än typområden påverkar kurvornas utseende, exv bräddning, trösklar, infiltrationsmöjligheter, höjdskillnader, avrinningsområdets storlek, etc. Maximala trycknivån förekommer ofta i fluktuationsmönster ”höger” på så sätt ger frekvensdiagrammen vägledning vid bedömning av risker. Fluktuationsmönstret varierar inom samtliga områden. På basis av nuvarande

underlag finns ingen möjlighet att se att frekvensen av höga grundvattentryck skulle vara högre inom vissa typer av slutna akviferer än andra.

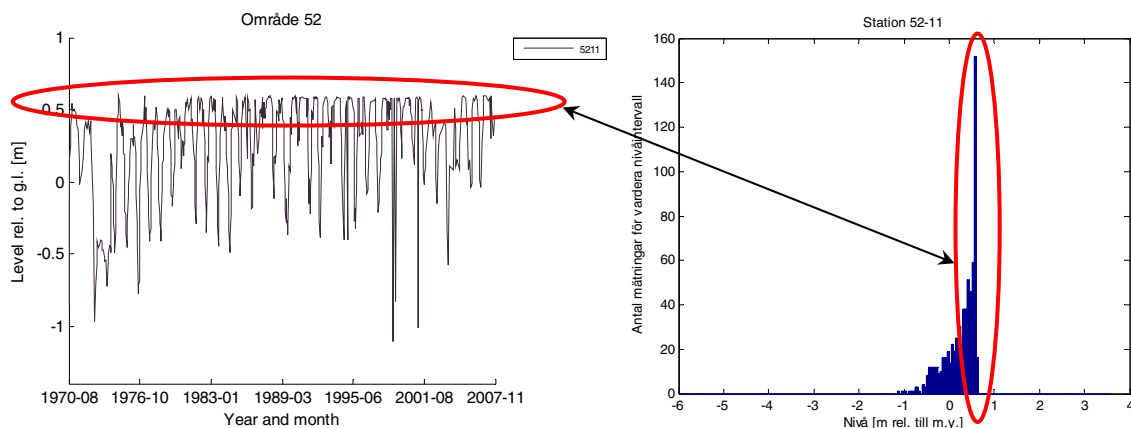
6.4.2 Inverkan av perioder med avvikande grundvattennivåer

För vissa grundvattenrör uppvisar fluktuationerna under vissa perioder ett oväntat mönster. Om nivåerna under dessa perioder avviker från nivåerna under resten av tidsserien ses detta tydligt i frekvensdiagrammen. Figur 6.6, nedan visas data från station 52-13 (och för 52-14 som jämförelse), där den höga toppen i tidsserien, under mitten av 1990-talet, orsakar den lilla toppen till höger i frekvensdiagrammet. Om dessa nivåer är felaktiga, innebär det att felaktiga slutsatser avseende frekvensdiagrammets form och ev variationsbredden kommer att dras.



Figur 6.6. Tidsserie och frekvensdiagram för uppmätta grundvattennivåer i station 55-13.

Ett annat exempel på hur grundvattenfluktuationernas utseende påverkar frekvensdiagrammet visas för station 52-11, Figur 6.7. Från tidsserien ses att nivåerna når en mycket tydlig maxnivå vid nivån ca. 0,6 m, vilket i frekvensdiagrammet visas som en kraftig topp. Orsaken till detta har tolkats som att grundvattennivån regleras genom bräddning. Bräddning kan ske genom flöde över en naturlig terrängtröskel men kan också, vilket torde vara fallet i de redovisade exemplet, bero på att grundvattenröret är för kort, och att vatten alltså strömmar ut ur röret då grundvattentrycket i den slutna akviferen är högre än rörets överkant.



Figur 6.7. Exempel på bräddnivå och hur detta återspeglas i frekvensdiagram för uppmätt grundvattennivå. Station 52-11.

7 SAMMANFATTANDE ANALYS AV RESULTAT

Det tillgängliga underlaget för analys av maximala nivåer i slutna akviferer i Sverige är fortfarande mycket begränsat och de fortsatta analyserna inom detta projekt förväntas ge viktiga kunskapsstillskott. Nedan redovisas endast några generella slutsatser.

Det finns ett samband mellan stabiliteten i sluttande lerterräng och grundvattentryck och porvattentryck. Vid en generell jämförelse mellan nederbörd och skred registrerade i SGI:s skreddatabas kunde dock inget samband mellan nederbörd och skred styrkas. Däremot har en kopplingen mellan lerskred och *grundvattenbildning* kunnat styrkas i en studie av 11 inträffade lerskred i Sverige. Det är vanligen flera samverkande faktorer som ligger bakom att ett skred inträffar. Fortfarande är dock antalet studerade skred i Sverige mycket begränsat och mer forskning krävs för att dra mer långtgående slutsatser. Allmänt är uppfattningen att porvattentrycket som enskild faktor har svag koppling till djupa lerskred – undantag kan dock vara situationer med artesiskt grundvattentryck.

Underlaget för att beskriva och utvärdera generella mönster hos grundvattnets fluktuationer i slutna akviferer i Sverige är mycket begränsat. I SGU:s samlade grundvattendatabas finns endast 16 områden representerade som kan klassas som akviferer under lerlager. Variationerna mellan enskilda grundvattenrör är stora. Inom projektet har det utvecklats en metod att bedöma vilka maximala trycknivåer som kan uppkomma idag och på längre sikt med hänsyn till förändrat klimat, genom att genomföra så långa mätserier som möjligt i det aktuella området och därefter genomföra prognossimuleringar med den modifierade HBV-modellen, kalibrerad med hjälp av relevanta grundvattenserier. Modellen har hittills testats endast i två områden, där dock resultaten i båda fallen blivit goda – med god överensstämmelse mellan modellerade och uppmätta grundvattennivåer.

För enklare ingenjörsmässiga tillämpningar och för en allmän förståelse av det hydrogeologiska systemet kan dock uppgifter om vanliga generella fluktuationsmönster hos grundvattnet vara till hjälp. Grundvattnets fluktuationer i slutna akviferer i Sverige varierar inom vida gränser, från omkring 0,5 m till nära 5 m. Vanligast dock är fluktuationer (variationensbredd) på omkring 2 meter. Det är inte möjligt att förlita sig på allmän kunskap om grundvattenfluktuationer för att kunna ange ett högsta grundvattentryck. Därtill är de lokala variationerna alltför stora. Det finns dock fog för att säga att variationsbredden hos grundvattnet tycks minska med ökande lerdjup. Man kan oftare förvänta stor variationsbredd nära randen av ett lerområde än längre ut i lerbäckenet. Det tycks också som variationsbredden allmänt sett är mindre i områden med stora infiltrationsområden. Stora infiltrationsområden (stor kvot mellan infiltrationsarea och lerarea) tycks i viss mån verka stabiliserande på grundvattennivåerna.

Höga, nära maximala, trycknivåer hos grundvattnet förekommer ofta i vissa områden och mycket sällan i andra. Genom att upprätta frekvensdiagram över nivåer fås en bild av situationen. Det har emellertid inte gått att se någon skillnad på frekvensen av höga värden mellan de olika typområdena.

Utvärderingen fortsätter

Utvärderingen av grundvattenfluktuationer och maximala nivåer i slutna akviferer fortsätter med stöd från Banverket, SGU och SGI. De samlade resultaten och erfarenheterna sammanställs i en ”Handbok för val av maximala grundvattentryck och porvattentryck” som kommer att publiceras mars 2011.

REFERENSER

- Bergström, S. Sandberg, G. (1983). "Simulation of Groundwater Response by Conceptual Models – Tree Case Studies." *Nordic Hydrology* 14(2): 71-84.
- Bergström, S. (1976). Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. SMHI Reports RHO, No. 7. Norrköping, Sweden.
- Berntson, J. A. (1983). Portrycksvariationer i leror i Göteborgsregionen. Institutionen för Geoteknik med grundläggning. Göteborg, Chalmers Tekniska Högskola. Licentiatavhandling.
- Bockgård, N. (2004). Groundwater recharge in chrystalline bedrock. Processes, estimation and modelling. Dept. of Earth Sciences, Uppsala univ. PhD-thesis.
- Johansson, Å. (2006). Samtal med Åke Johansson, granskare vid myndighetsfunktionen, SGI.
- Johnson, J. (1993). Utveckling av metodik för simulering och prognos av grundvattennivåer. Uppsala, Sveriges geologiska undersökning,.
- Knutsson, G., Morfeldt, C-O. (1993). Grundvaten, teori & tillämpning. Svensk Byggtjänst, Stockholm.
- Larsson, R., Åhnberg, H. (2003). Long-term effects of excavations at crests of slopes. Pore pressure distribution – Shear strength properties – Stability – Environment, Swedish Geotechnical Institute, SGI, Report 61, Linköping.
- Lindström, G., B. Johansson, et al. (1997). "Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model." *Journal of Hydrology* 201(1-4): 272-288.
- NV, Typområden: Naturvårdsverket, Typområden för tolkning av grundvattendata, Broschyr.
- NV,1999: Naturvårdsverket (1999). *Bedömningsgrunder för miljö kvalitet: grundvatten*. Stockholm: Naturvårdsverket förlag. (Rapport 4915).
- Persson, H., Alén, C., Lind, B.B. (2007). Development of a pore pressure prediction model: *In*, McInnes, R., Jakeways, J., Fairbank, H., Mathie, E., eds, *International Conference on "Landslides and Climate Change", Isle of Wight, 21-24 May, 2007, pp 229-235*.
- Persson, H.(2008). Estimation of pore pressure levels in slope stability calculations: Licentiatavhandling, Chalmers Univ. Of Technology, (SGI Rapport 73).
- Persson, H., Lundström, K. (2009). Analysis of the effect from precipitation for triggering of landslides in Sweden. Submitted to Canadian Geotechnical Journal.
- Rodhe, A., G. Lindström, et al. (2006). Grundvattenbildning i svenska typjordar - översiktlig beräkning med en vattenbalansmodell. Uppsala, Department of Earth Sciences - Hydrology, Uppsala University.
- Rodhe, A., Lindström, G., Dahné, J. (2008). Grundvattenbildning i svenska typjordar - metodutveckling av en vattenbalansmodell. Sveriges geologiska undersökning.

Svensson, C., Sällfors, G. (1985). Beräkning av dimensionerande grundvattentryck - 1. Göteborgsregionen. Chalmers tekniska högskola. Geohydrologiska forskningsgruppen. Meddelande 78. Göteborg.

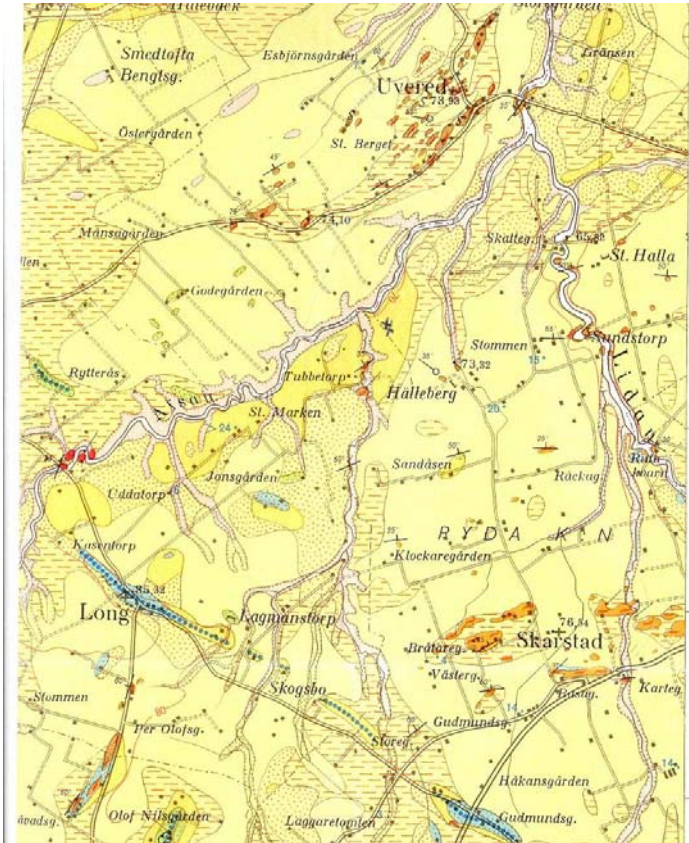
Skredkommissionen (1995). Anvisningar för släntstabilitetsutredningar. IVA. Skredkommissionen. Rapport 3:95.

Sveriges Nationalatlas, Berg och Jord (1998).

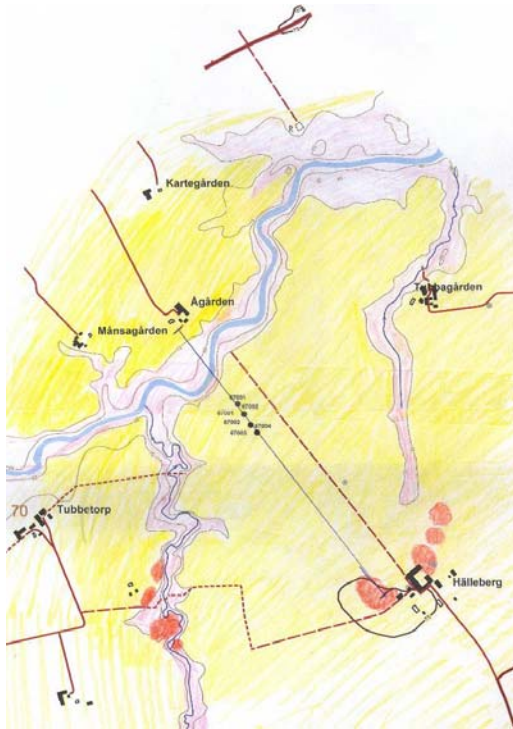
Sveriges Nationalatlas, Klimat, sjöar och vattendrag (1995).

BILAGA 1. TYPOMRÅDEN FÖR SLUTNA GRUNDVATTENAKVIFERER – EXEMPEL

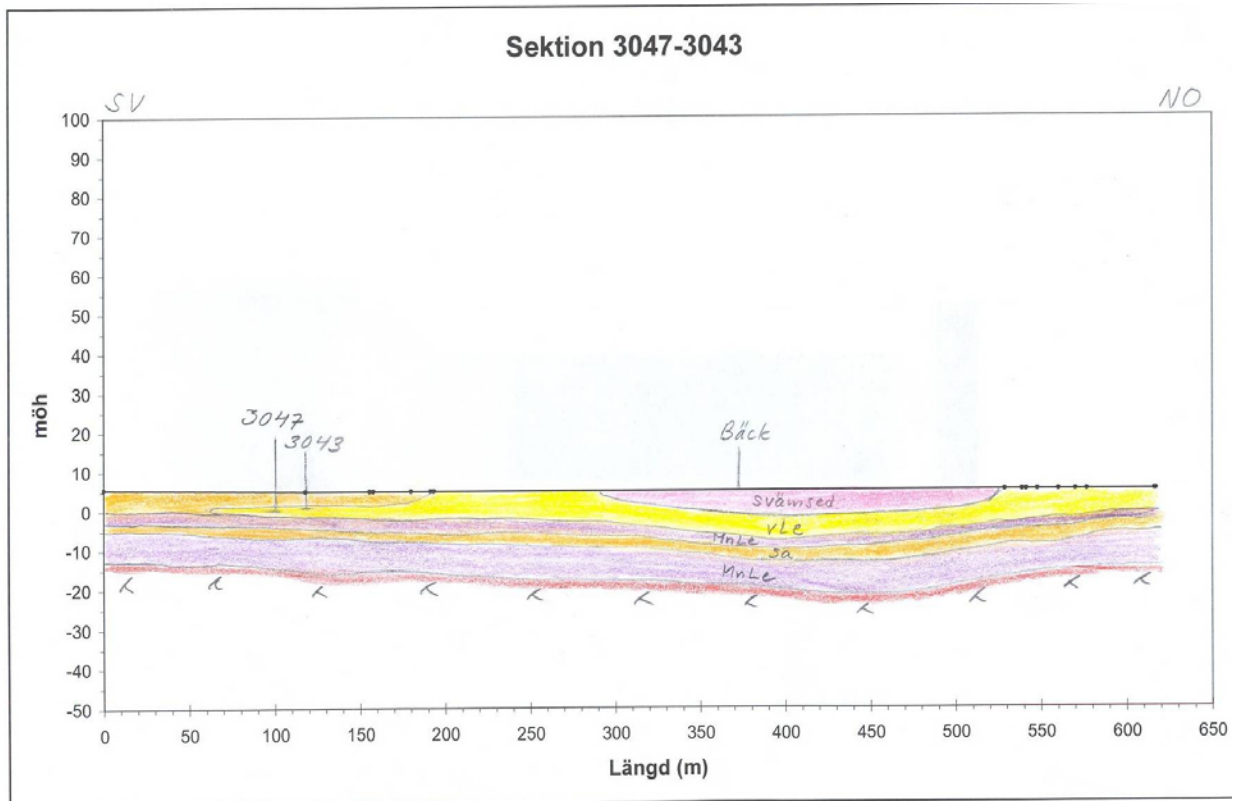
Typområde lerslätt



Figur B:1, 1 . Geologisk jordartskarta över område nr 67 Vara (typområde lerslätt). Källa: SGU Ser Aa nr 116.

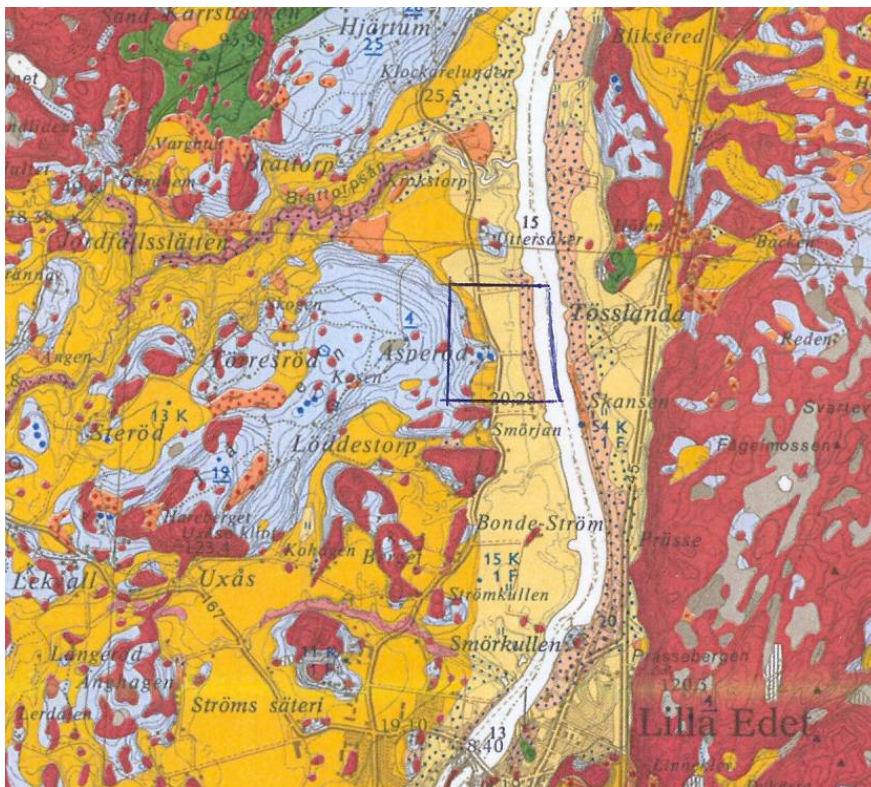


Figur B:1, 2. Generaliserad jordartskarta över område nr 67 Vara (typområde lerslätt), med läget för 4 st grundvattenrör i lera. Källa: SGU Ser Aa nr 116.

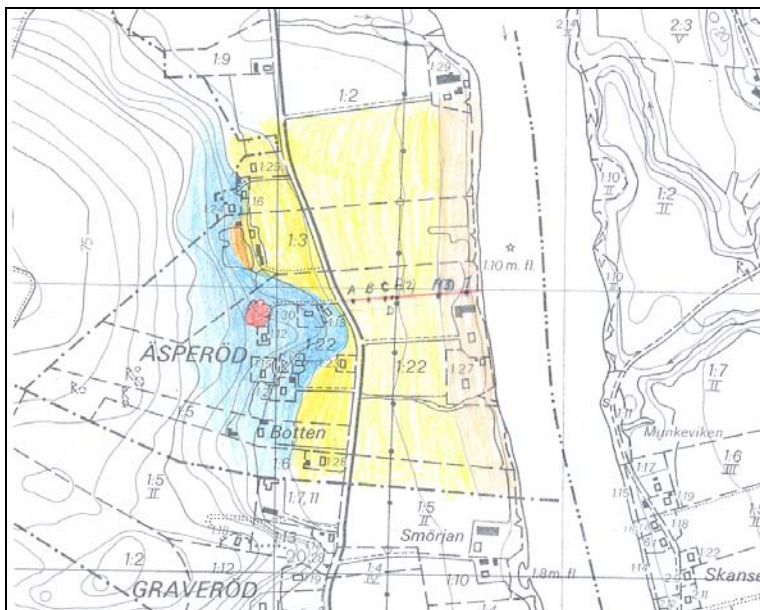


FigurB:1, 3. Principsektion för en lerslätt. Område 3 Kristianstad (typområde lerslätt), sektion 3047-3043. Varvig lera (gul) underlagrad av sand (orange) och morän (blå) på berg (röd).

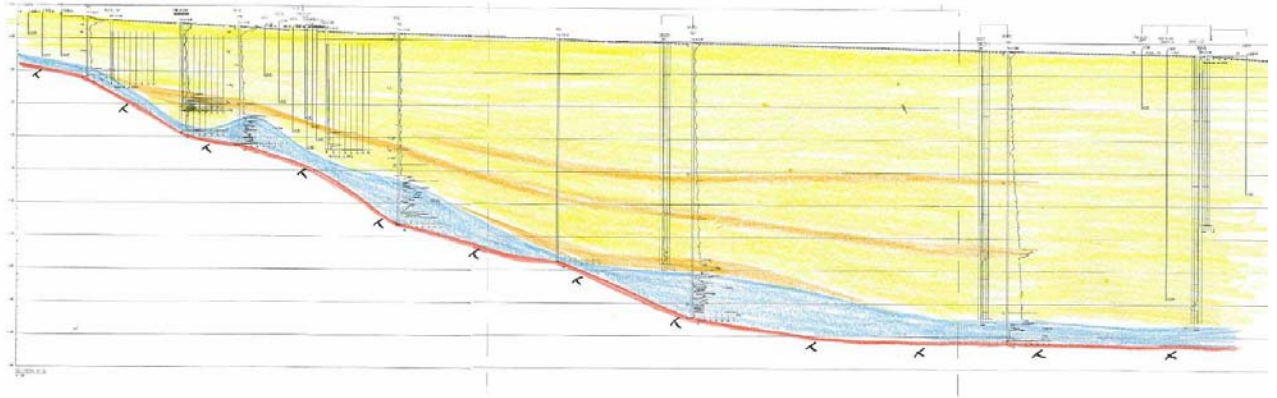
Typområde lerdalgång



Figur B:1, 4. Geologisk jordartskarta med markerat läge för undersökningsområdet Äsperöd (typområde erdalgång) vid Göta älvs västra strand ca 2 km norr om lilla Edet. Källa: SGU Ser Ae nr 48.

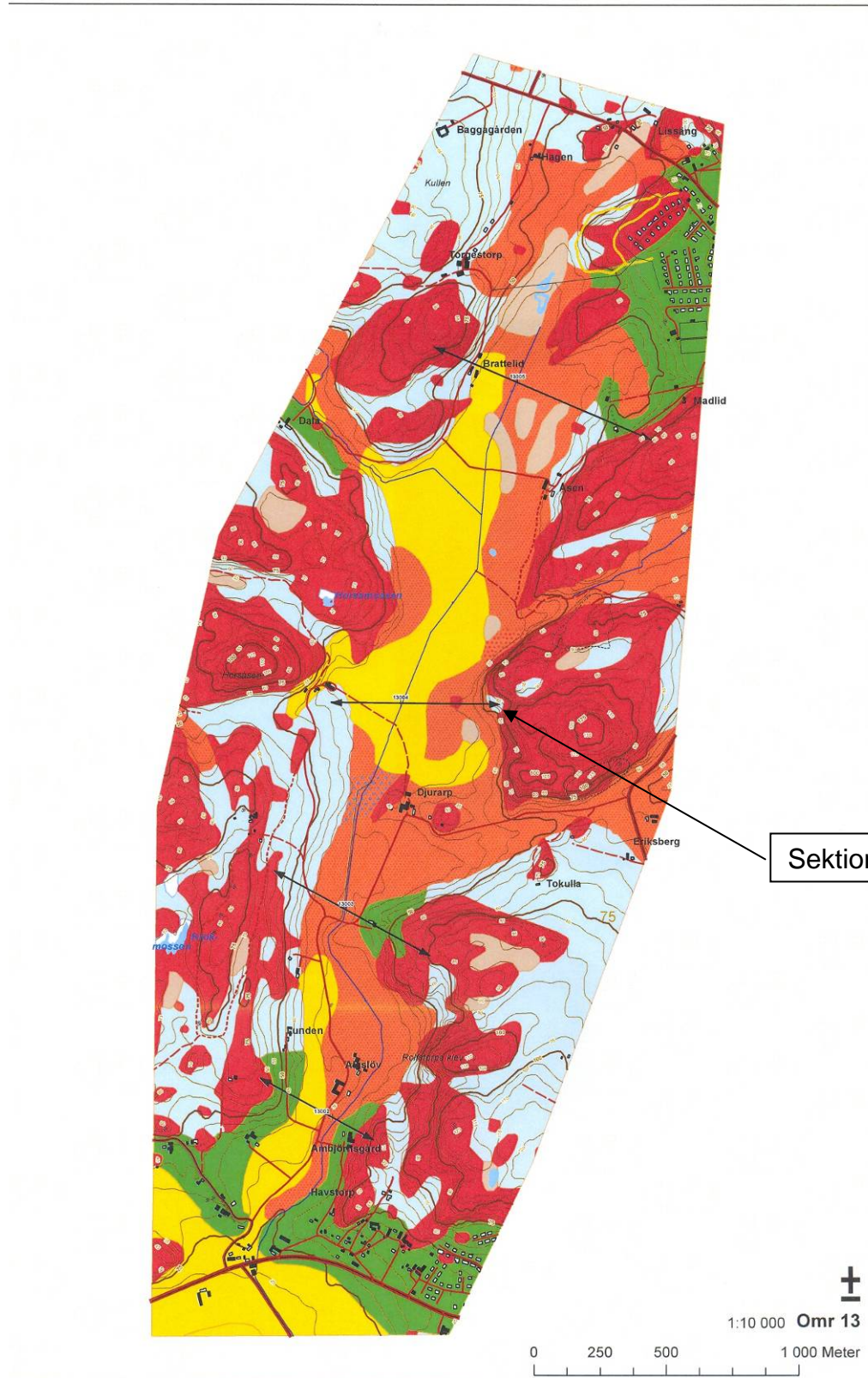


Figur B:1, 5. Översiktlig jordartskarta över Äsperöd med markerad sektion för grundvattentrör och porttryckspetsar enligt figur B6.

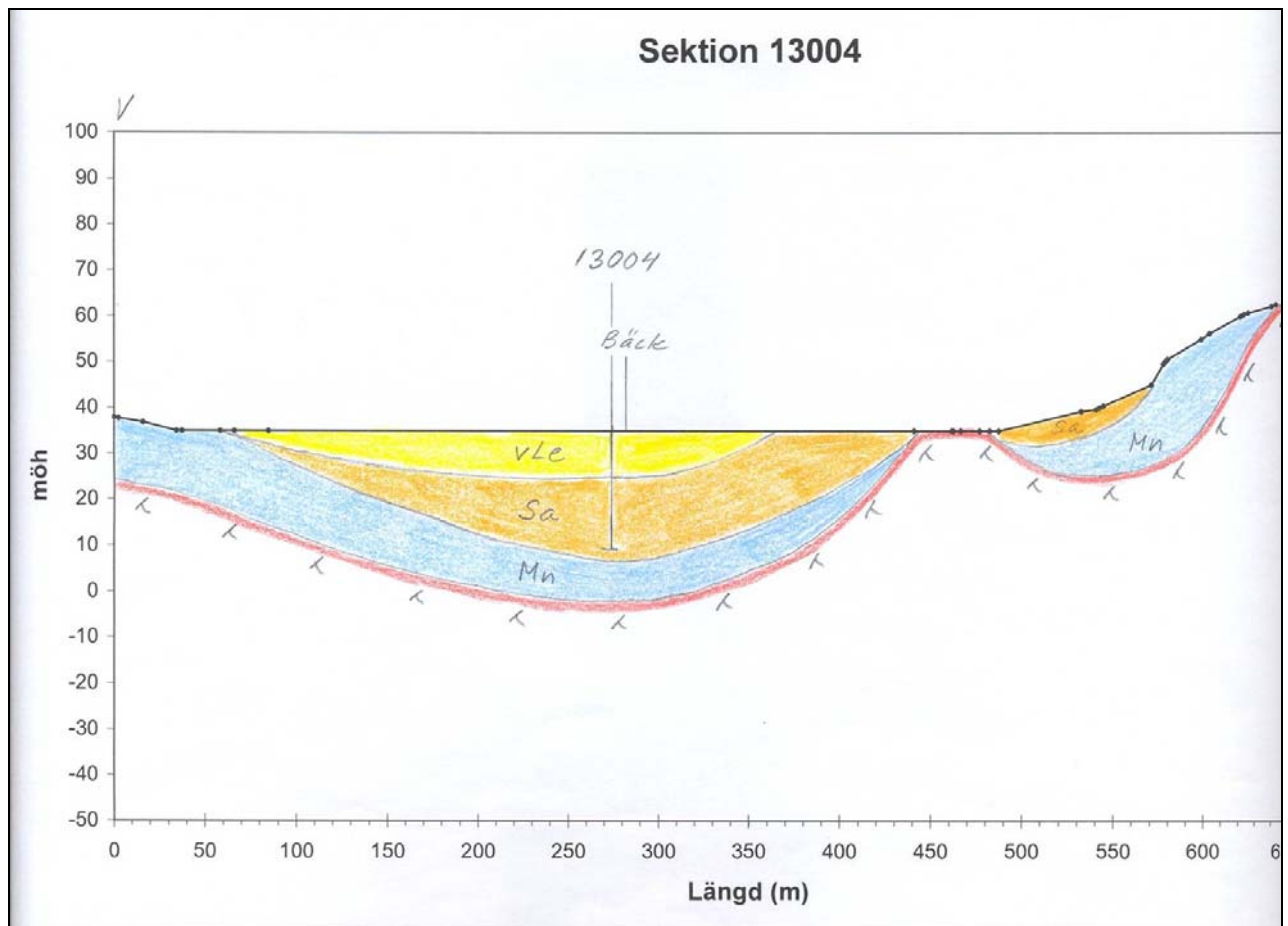


Figur B:1, 6. Principsektion för en lerdalgång. Område Äsperöd. Postglacial lera och varvig lera (gul) underlagrad av sand (orange) och morän (blå) på berg (röd).

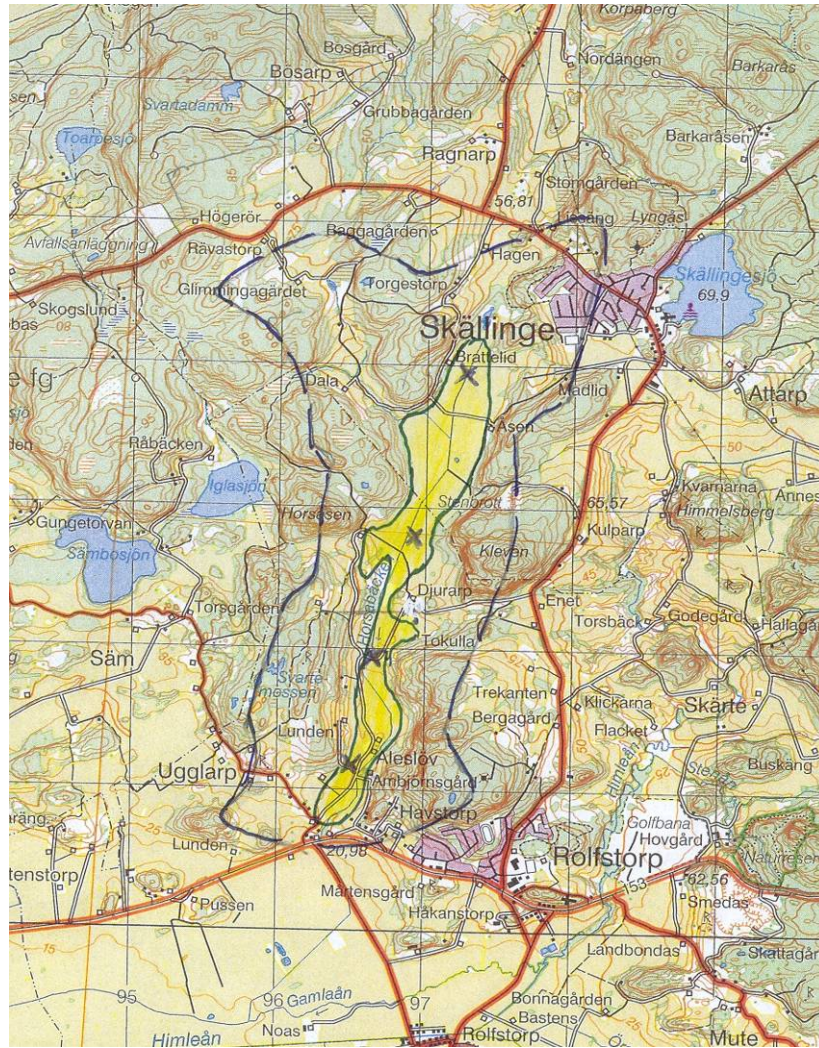
Typområde isolerat lerbäcken



Figur B:1, 7. Geologisk jordartskarta över område nr 13 Varberg. Planläget för sektion 13004 m fl. Källa: SGU Ser Ae nr 102.

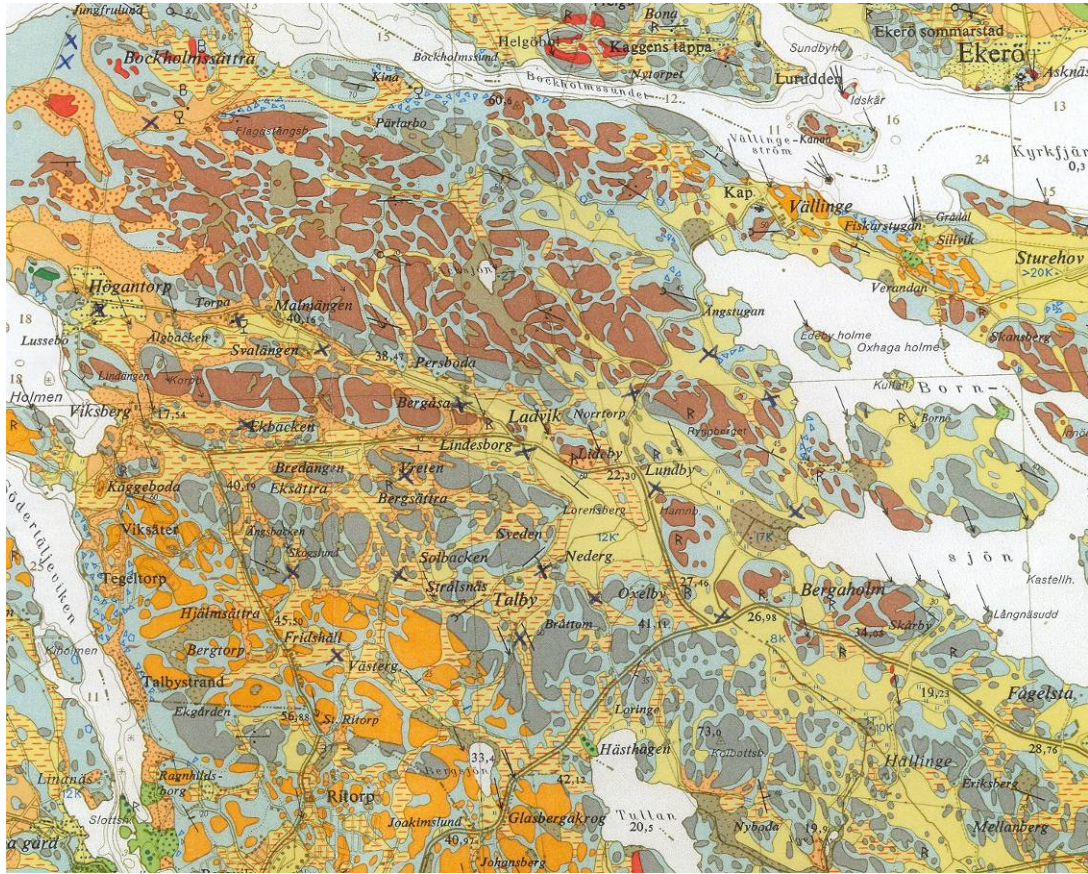


Figur B:1, 8. Principsektion för ett slutet lerbäcken. Område 13 Varberg, sektion 13004. Varvig lera (gul) underlagrad av sand (orange) och morän (blå) på berg (röd).

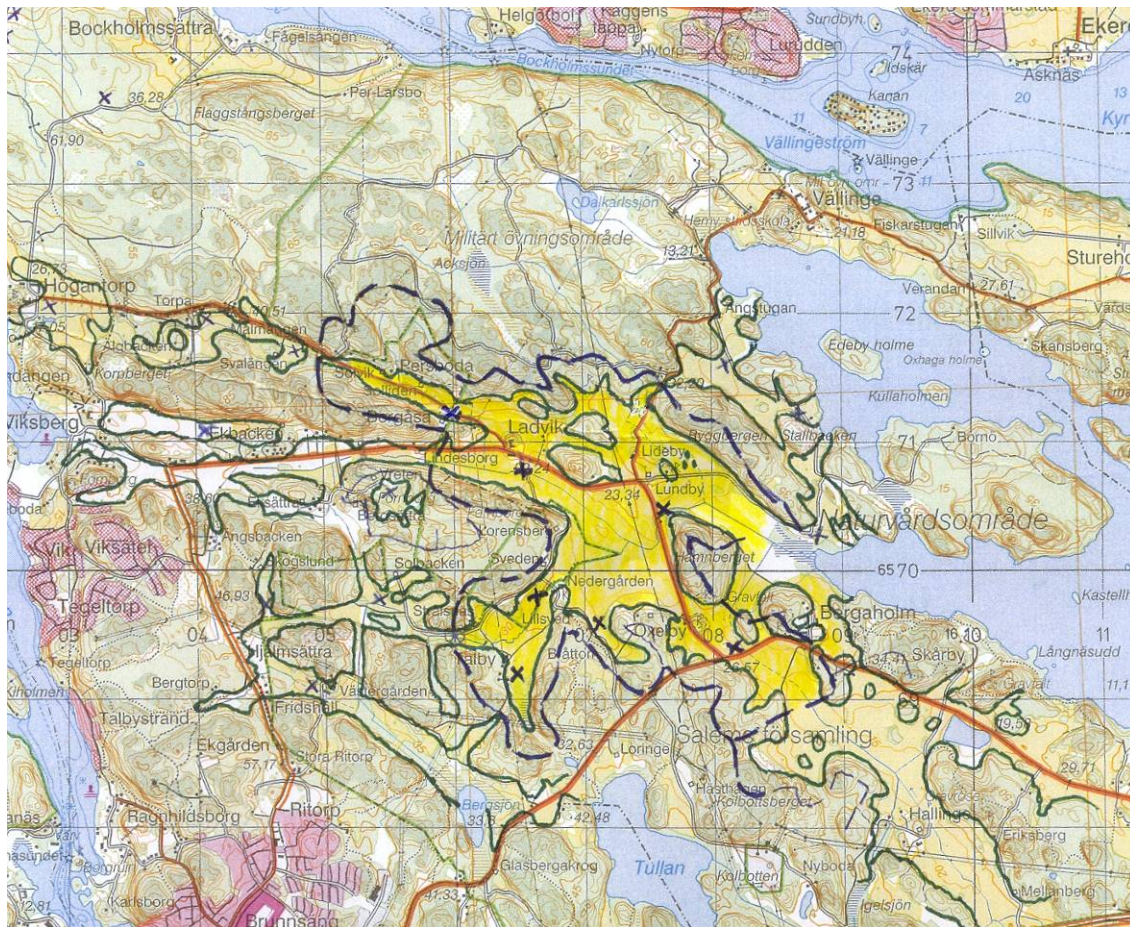


Figur B:1, 9. Utsnitt från Lantmäteriverkets topografiska karta 5B NO över område nr 13 Varberg. Ursprunglig skala 1:50 000. Lerområde (gult), gräns för infiltrationsområde (streckad blå linje) samt läge för SGU:s grundvattenrör inom området (x).

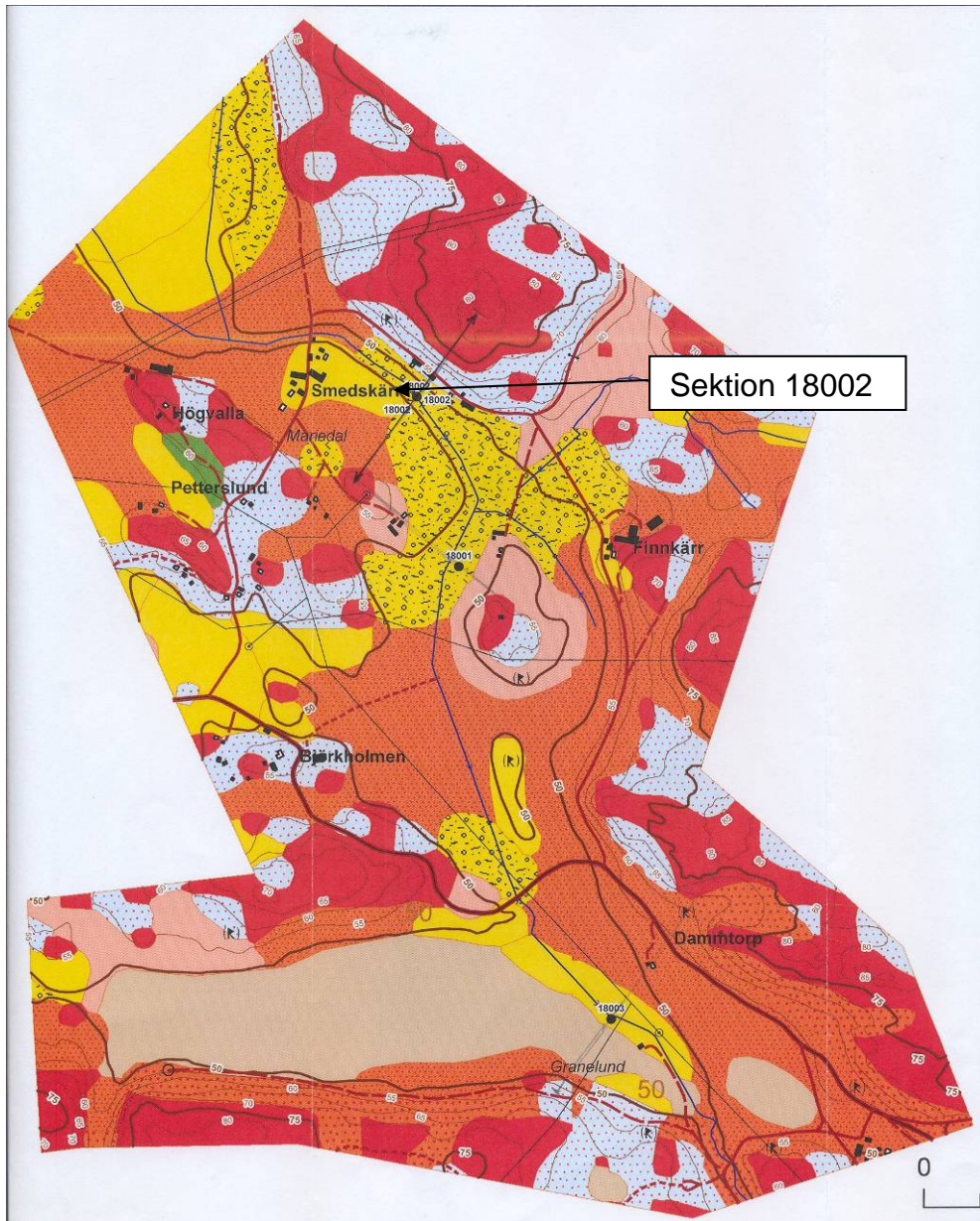
Typområde flikig lerterräng



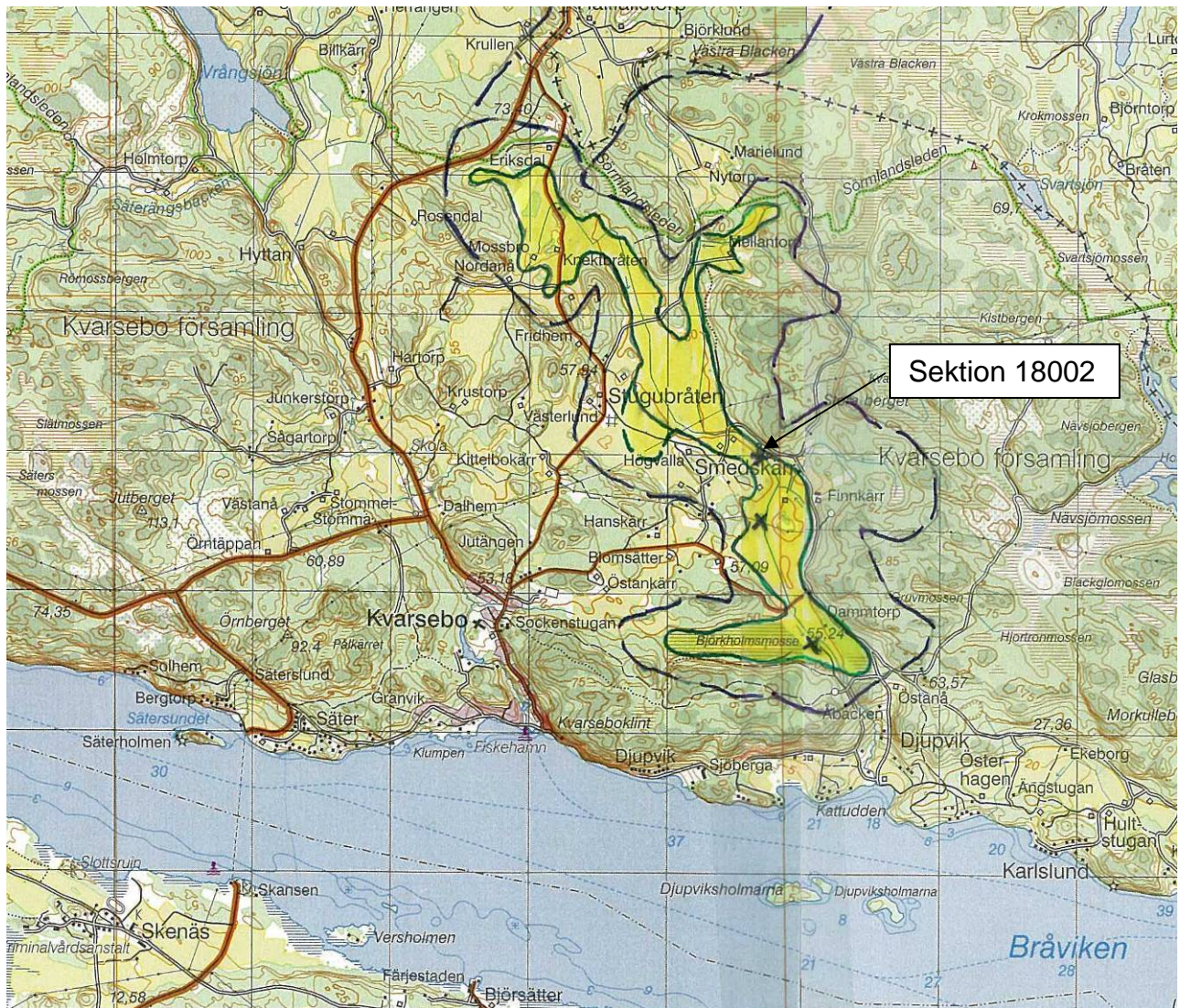
Figur B:1, 10. Geologisk jordartskarta över område nr 57 Södertälje. Källa: SGU Ser Ae nr 4.



Figur B:1, 11. Utsnitt från Lantmäteriverkets topografiska karta 10 I SV över område nr 57 Södertälje. Ursprunglig skala 1:50 000. Lerområde (gult), gräns för infiltrationsområde (streckad blå linje) och läge för SGU:s grundvattenrör inom området (x).

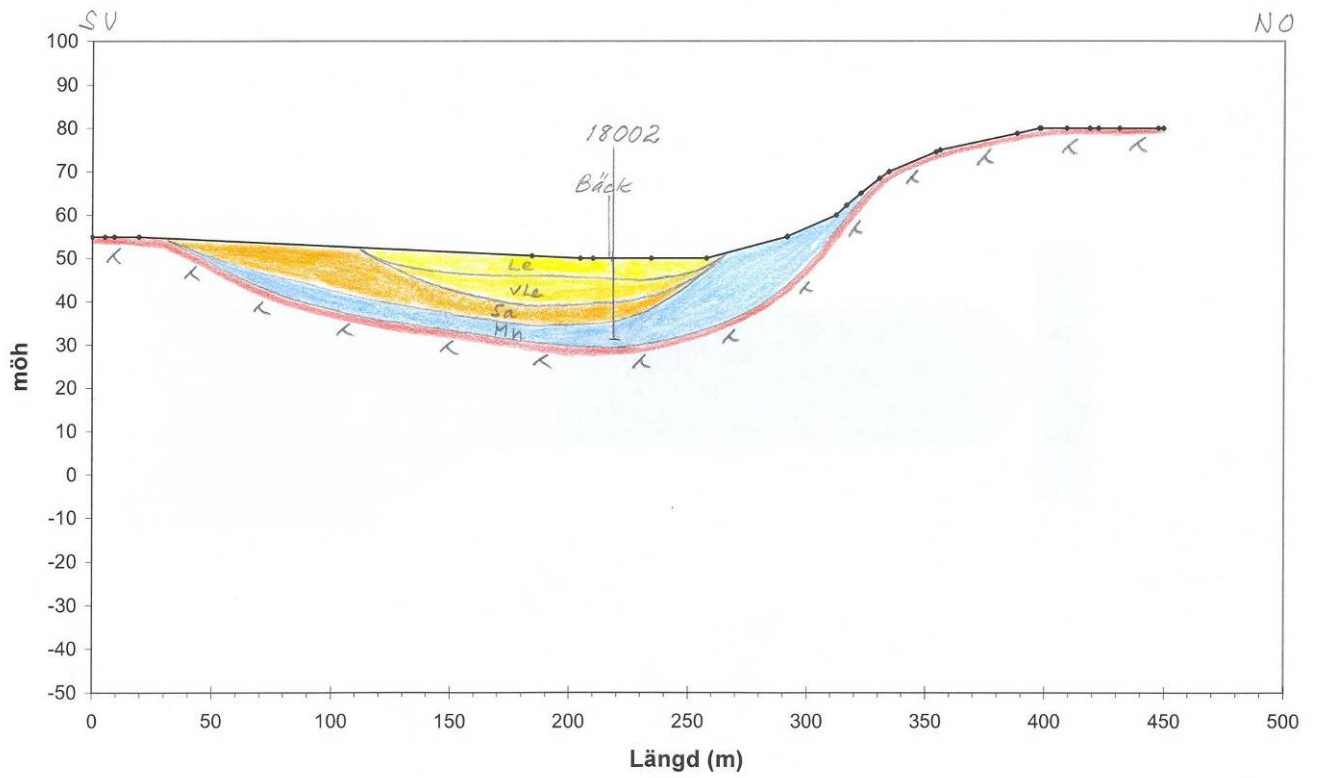


Figur B:1, 12. Geologisk jordartskarta över område nr 18 Kolmården (flikig lerterräng). Planläget för sektion 18002. Källa: SGU Ser Ae nr 46.



Figur B:1, 13. Utsnitt från Lantmäteriverkets topografiska karta 10 I SV över område nr 18 Kolmården (flikig lerterräng). Se läget för sektion 18002. Lerområde (gult), gräns för infiltrationsområde (streckad blå linje) och läge för SGU:s grundvattenrör inom området (x).

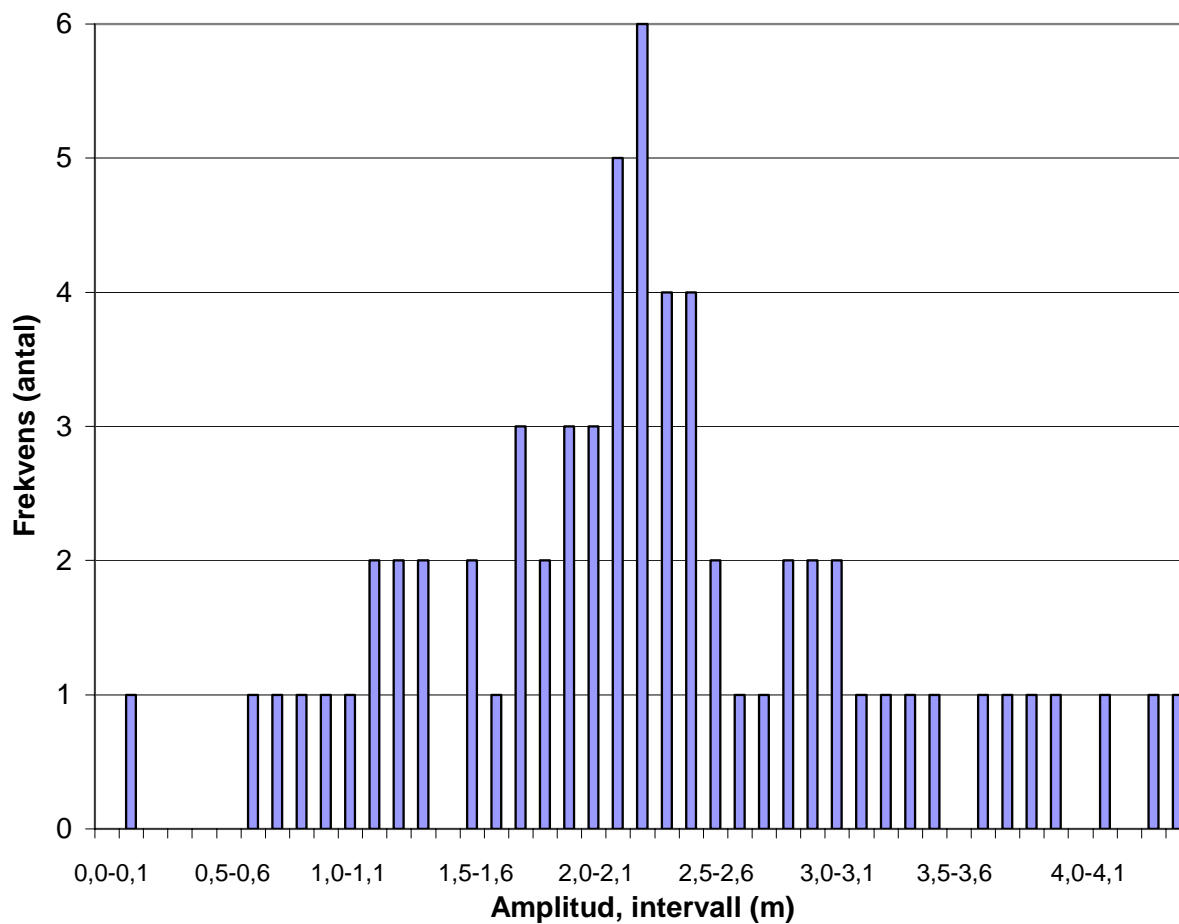
Sektion 18002



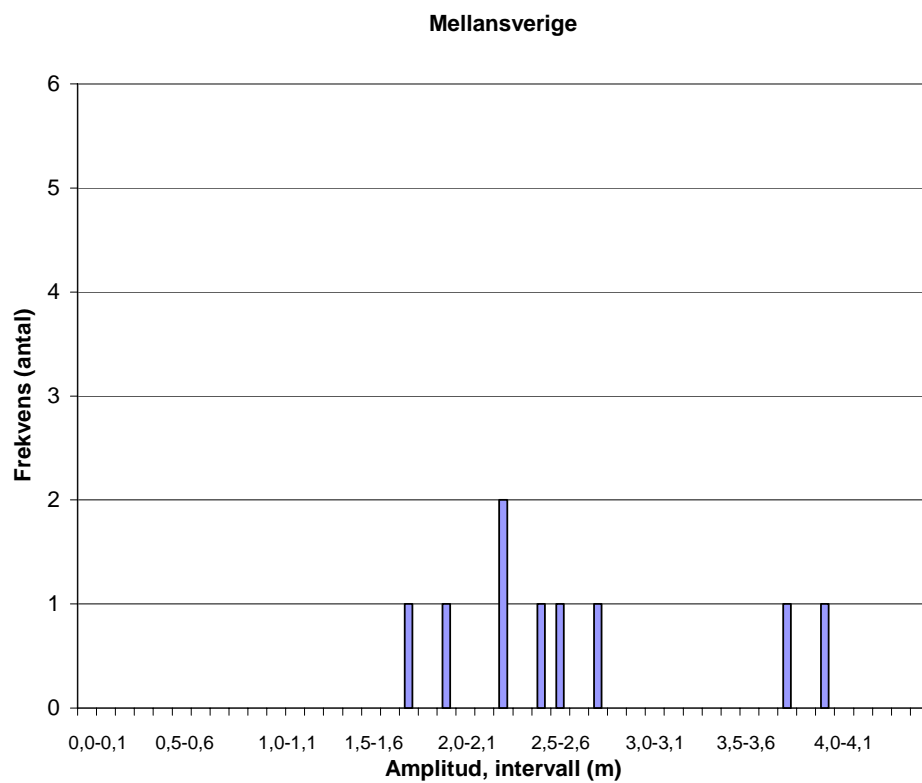
Figur B:1, 14. Principsektion för flikig lerterräng. Område 18 Kolmården, sektion 18002. Postglacial lera (ljusgul) underlagrad av varvig lera (gul) och sand (orange) på morän (blå) och berg (röd).

BILAGA 2. GRUNDVATTENFLUKTUATIONER I SLUTNA AKVIFÄRER

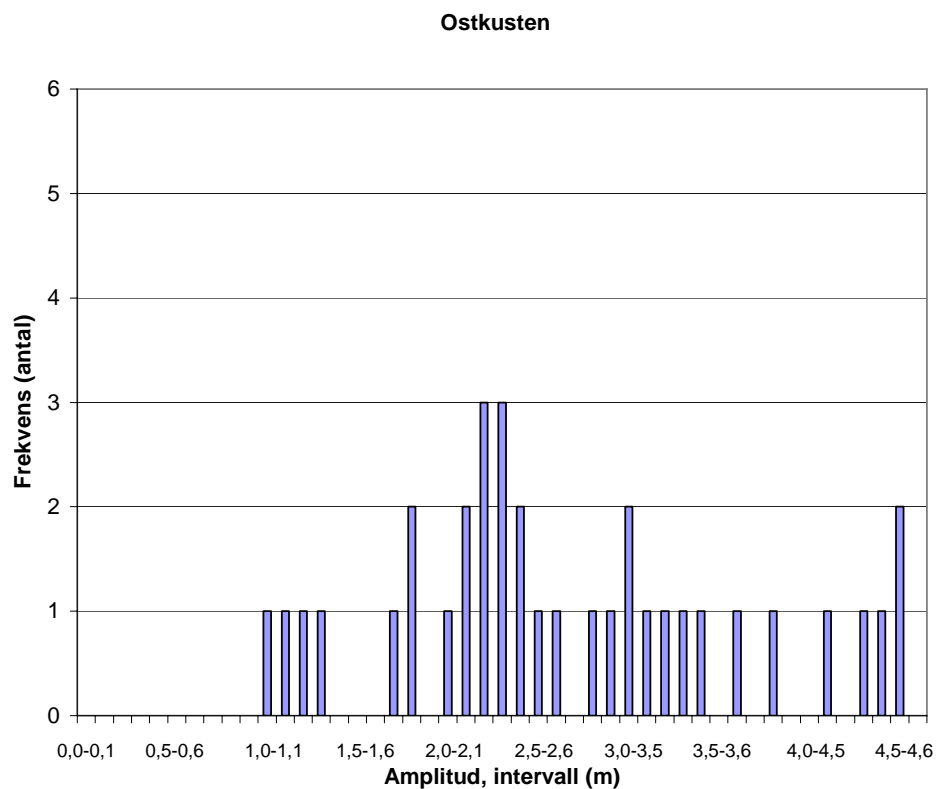
Grundvattenfluktuationer i slutna akvifärer inom SGU:s grundvattennät. Diagrammen redovisar fluktuationsvariationsbredder i relation till geografiska förhållanden som, lerdjup, avstånd från observationsrör till dalbotten, avstånd till infiltrationsområdet (eller lerområdets rand) samt kvoten mellan infiltrationsområdets storlek och lerområdets storlek. Redovisningen är också uppdelad i skilda geografiska typområden för slutna akvifeter.



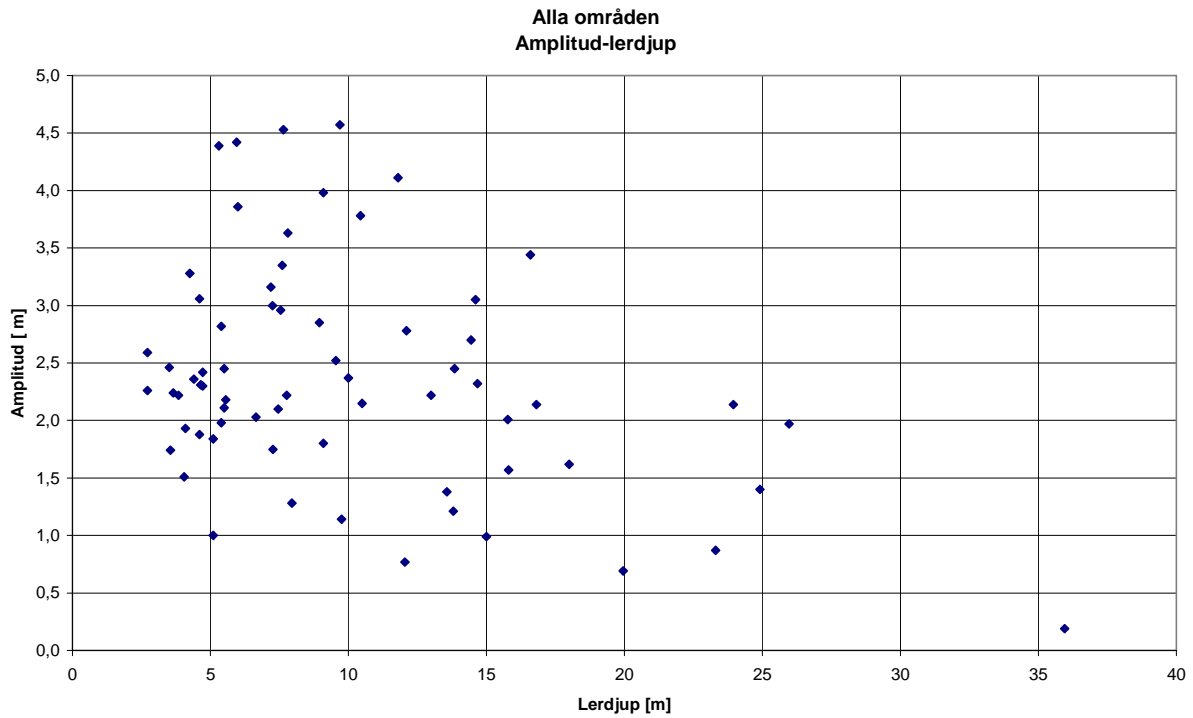
Figur B:2, 1. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akvifärer i Sverige.



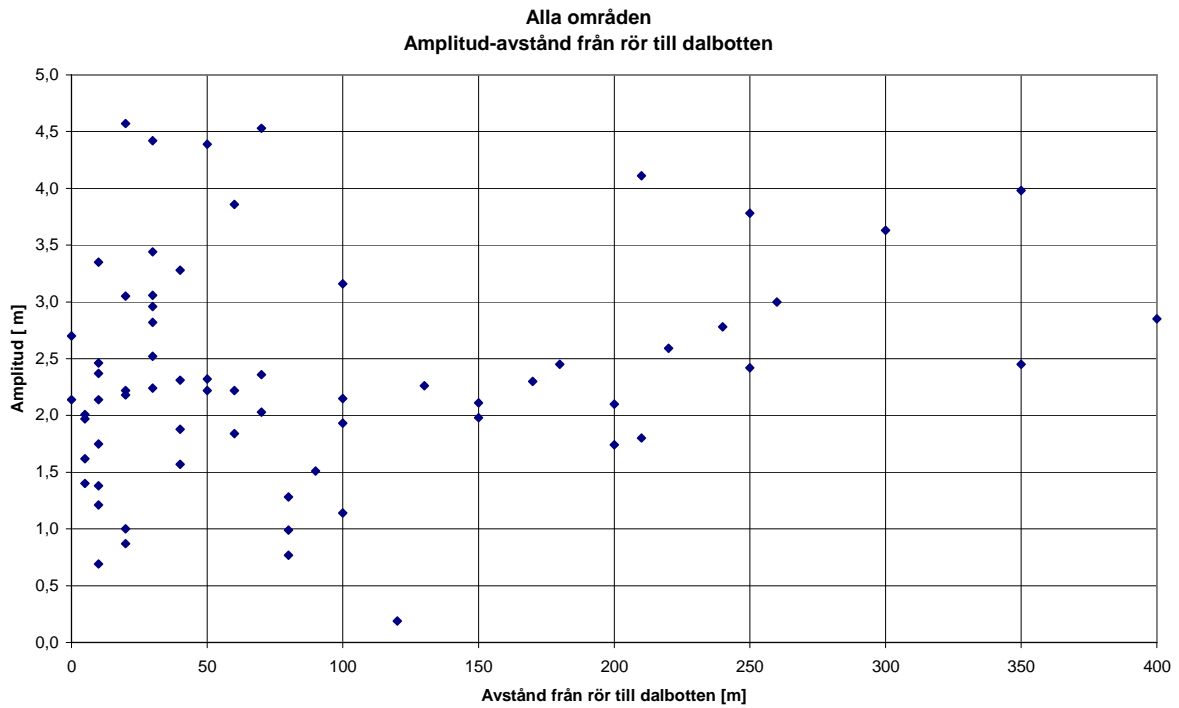
Figur B:2, 2. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i Mellansverige.



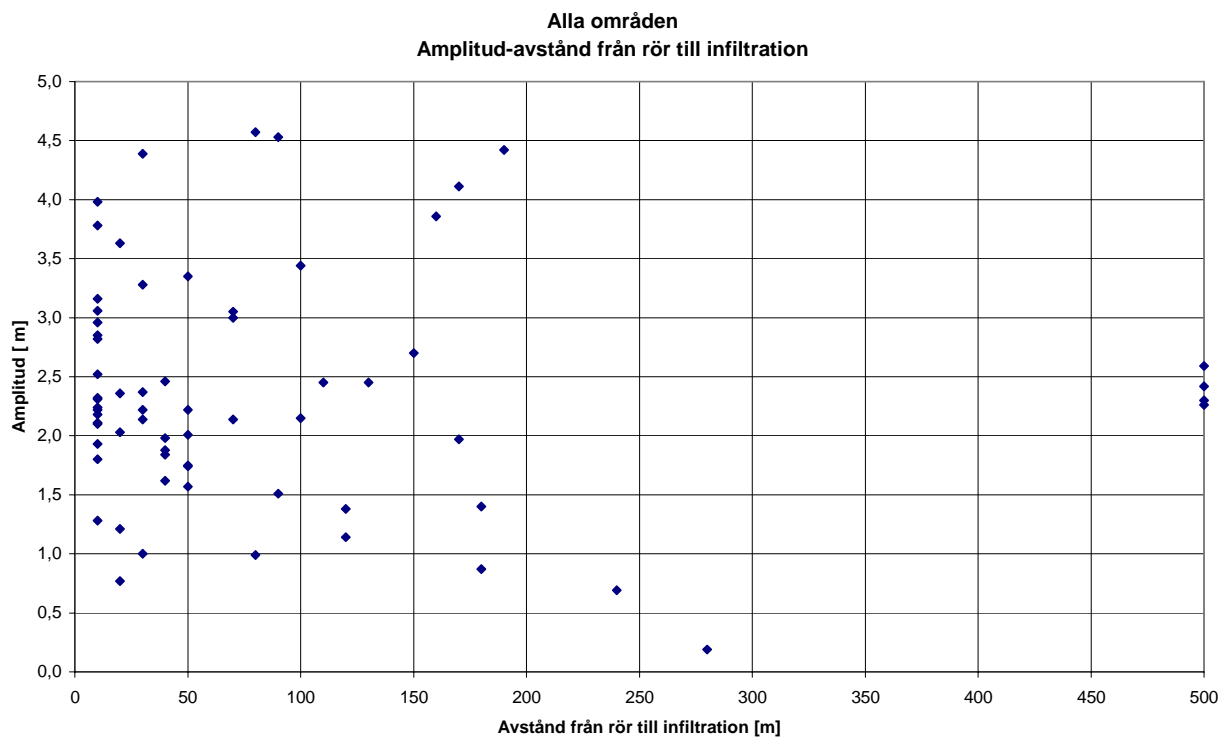
Figur B:2, 3. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i Östra Sverige.



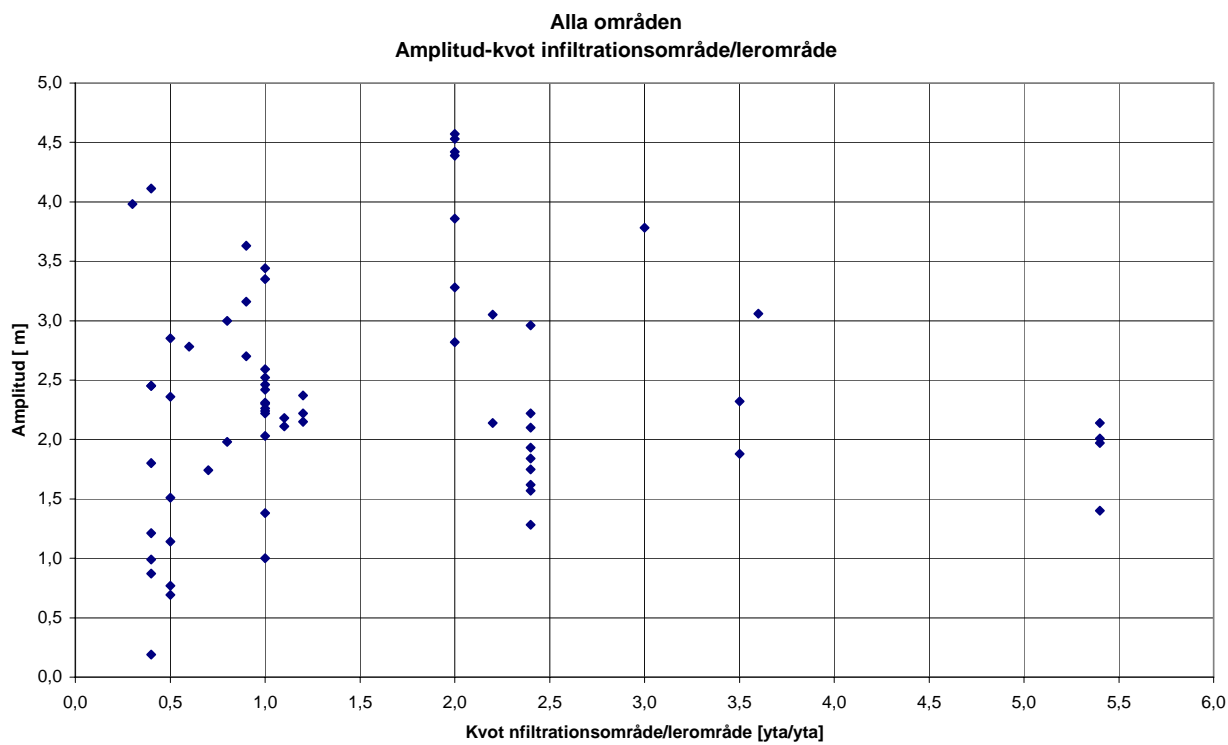
Figur B:2, 4. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till lerdjupet.



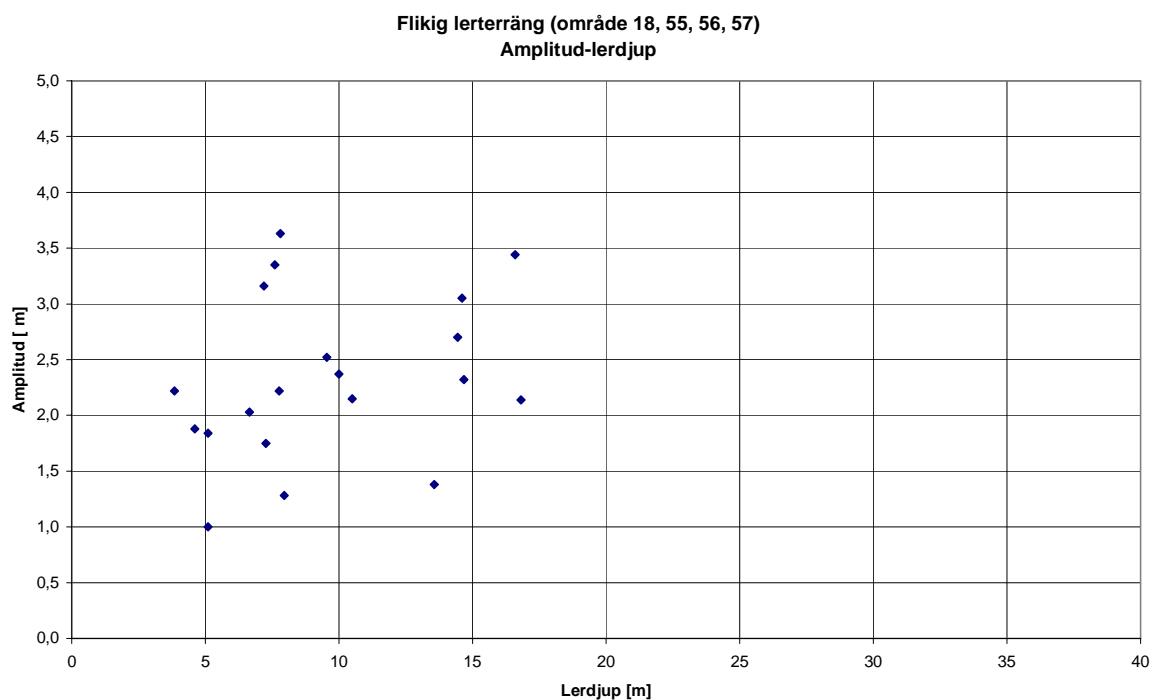
Figur B:2, 5. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till observationsrörens avstånd till lerområdets lägsta punkt (dalbotten).



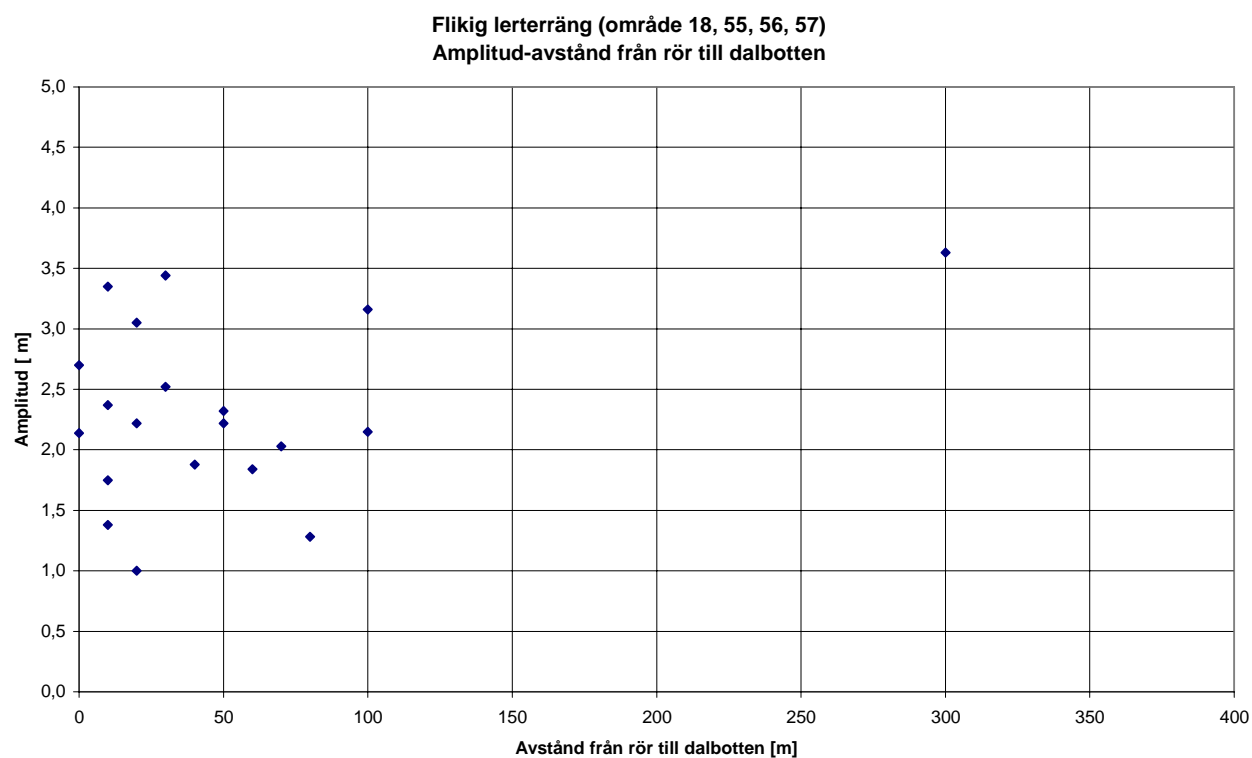
Figur B:2, 6. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till observationsrörens avstånd till infiltrationsområdet (lerområdets närmaste gräns).



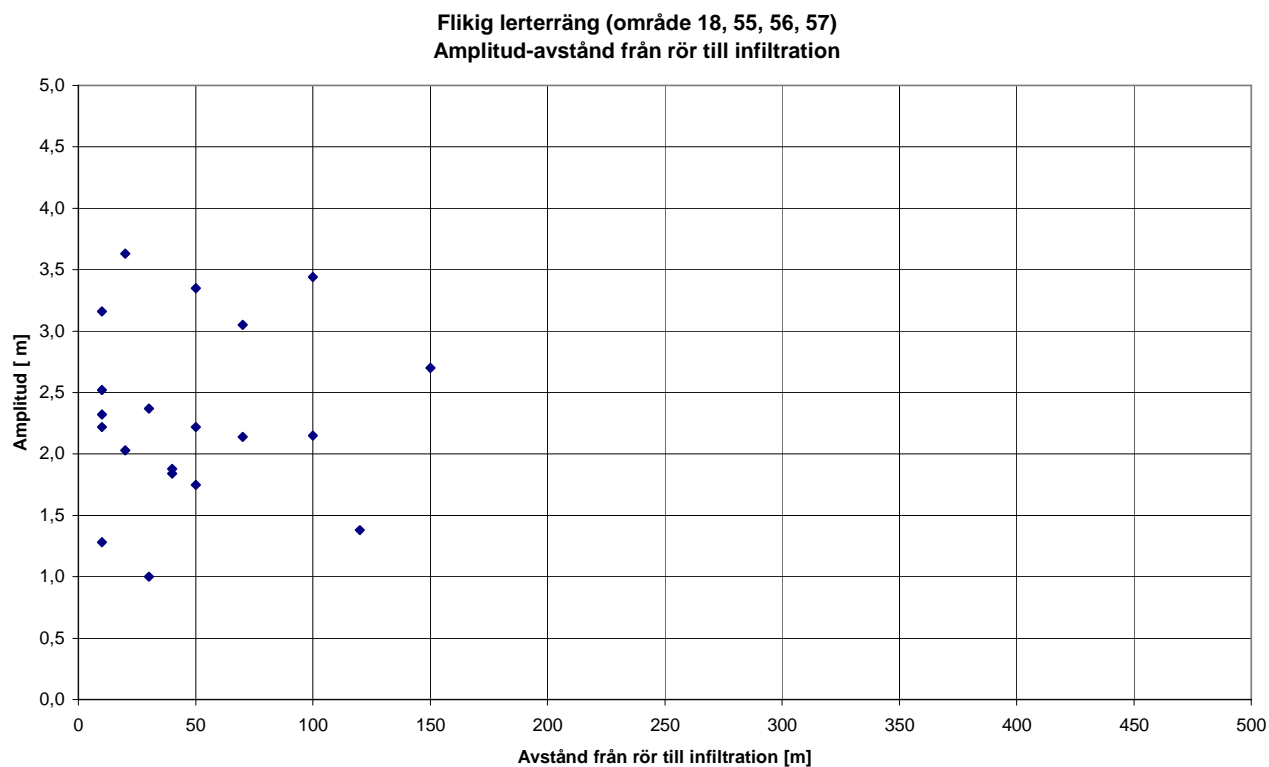
Figur B:2, 7. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till infiltrationsområdets area relativt lerområdets area.



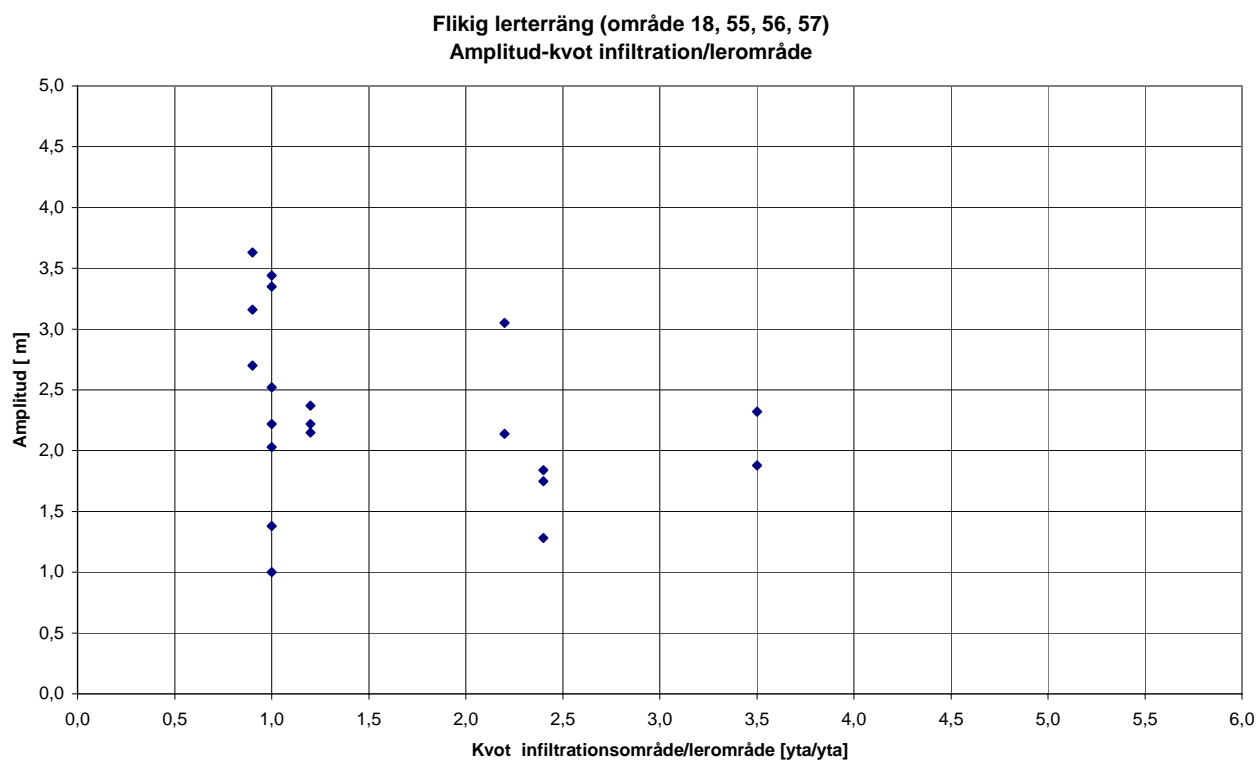
Figur B:2, 8. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till lerdjup vid observationsplatsen – i flikig lerterräng.



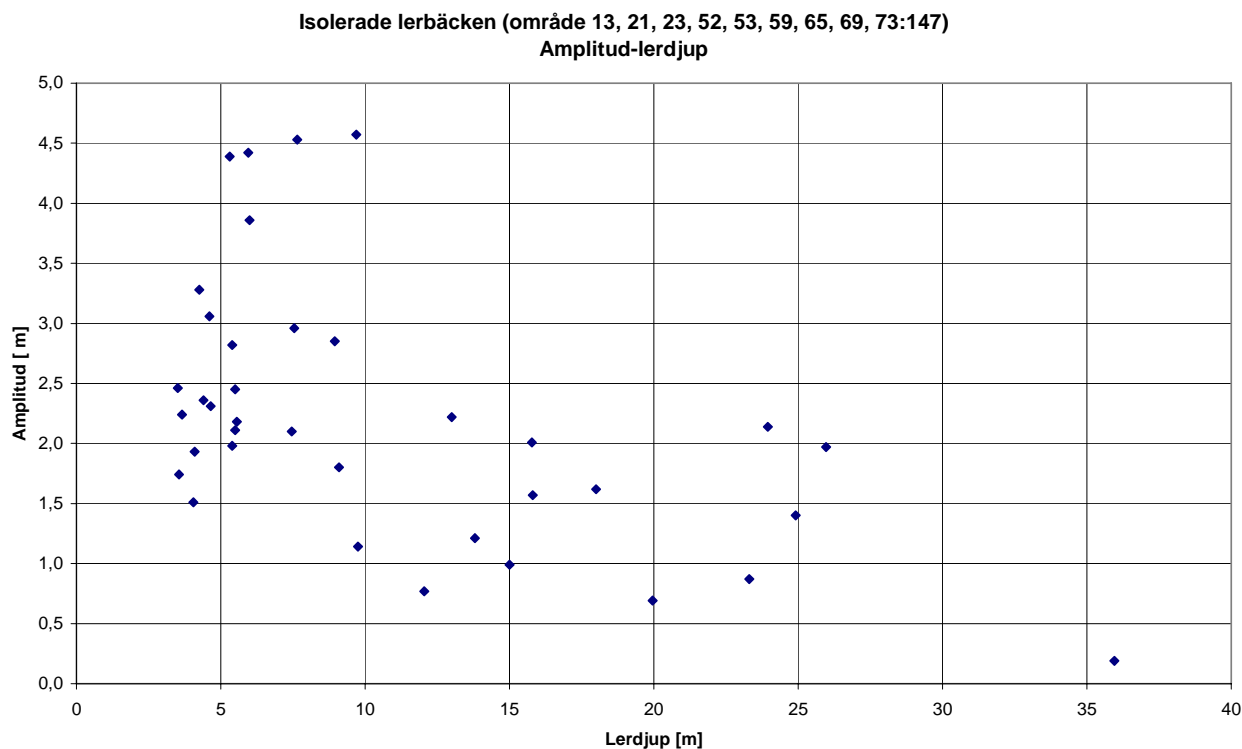
Figur B:2, 9. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till observationsrörens avstånd till lerområdets lägsta punkt (dalbotten) – i flikig lerterräng.



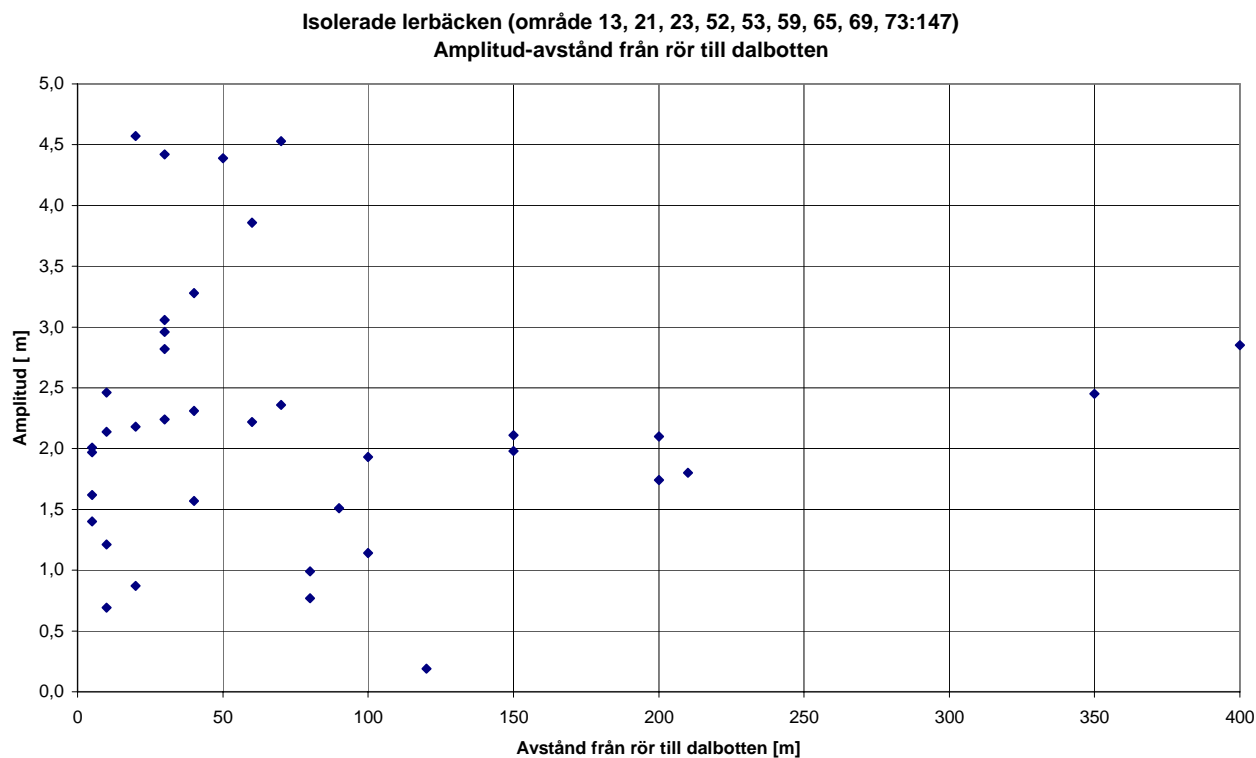
Figur B:2, 10. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till observationsrörens avstånd till infiltrationsområdet (lerområdets närmaste gräns) – i flikig lerterräng.



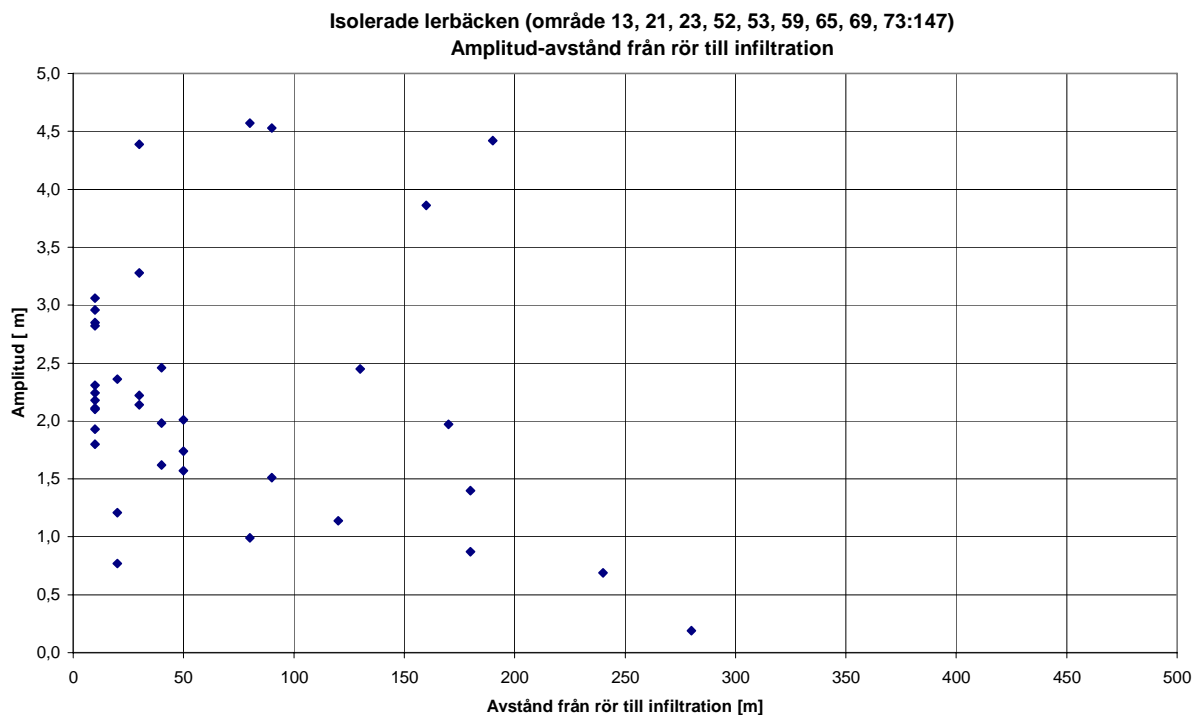
Figur B:2, 11. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till infiltrationsområdets area relativt lerområdets area – i flikig lerterräng.



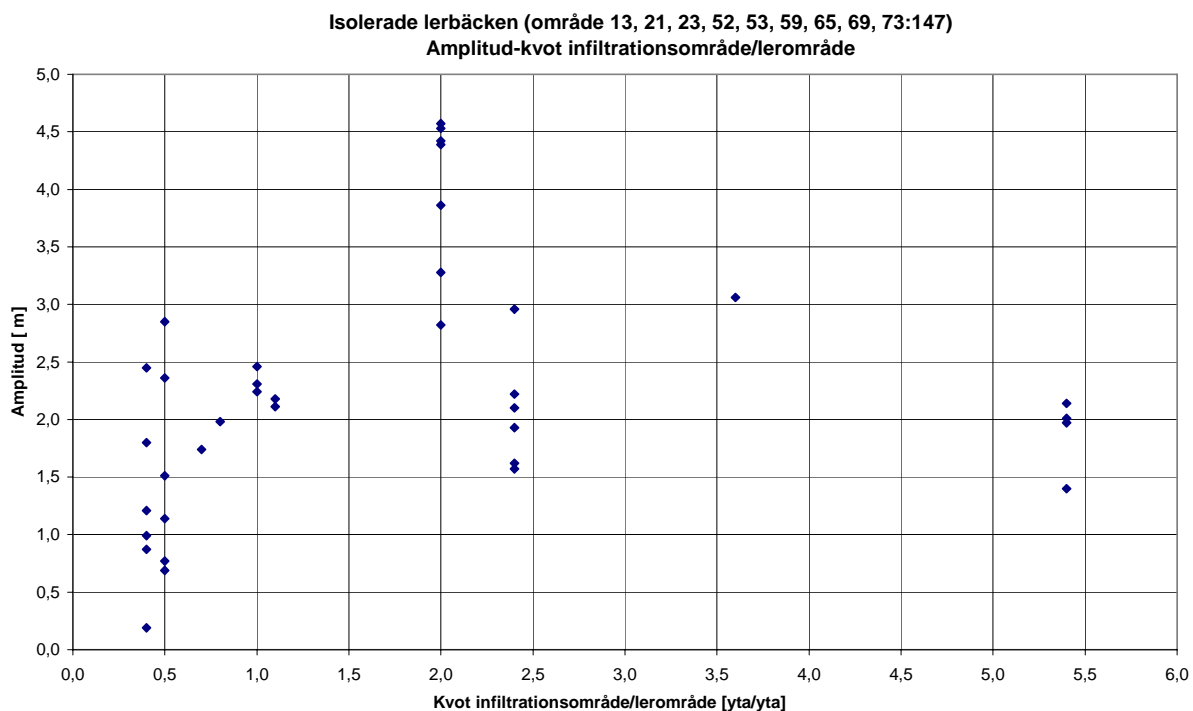
Figur B:2, 12. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till lerdjup vid observationsplatsen – i isolerade lerbäcken.



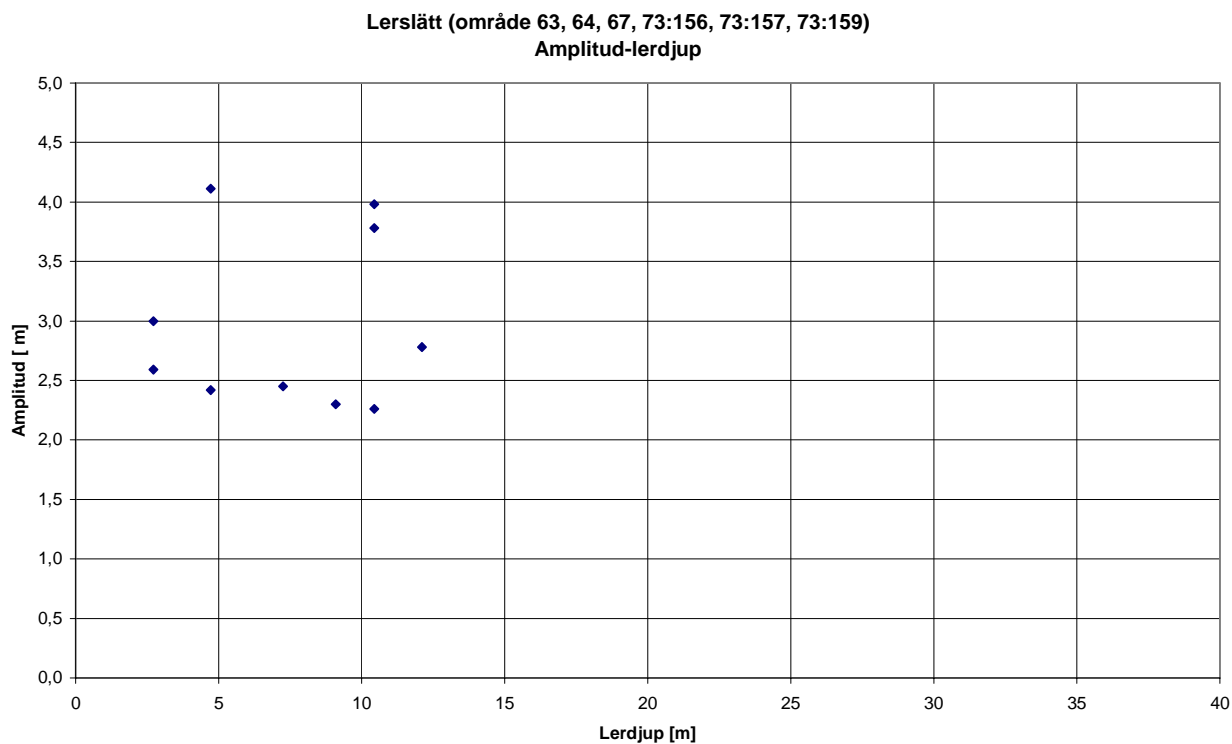
Figur B:2, 13. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till observationsrörens avstånd till lerområdets lägsta punkt (dalbotten) – i isolerade lerbäcken.



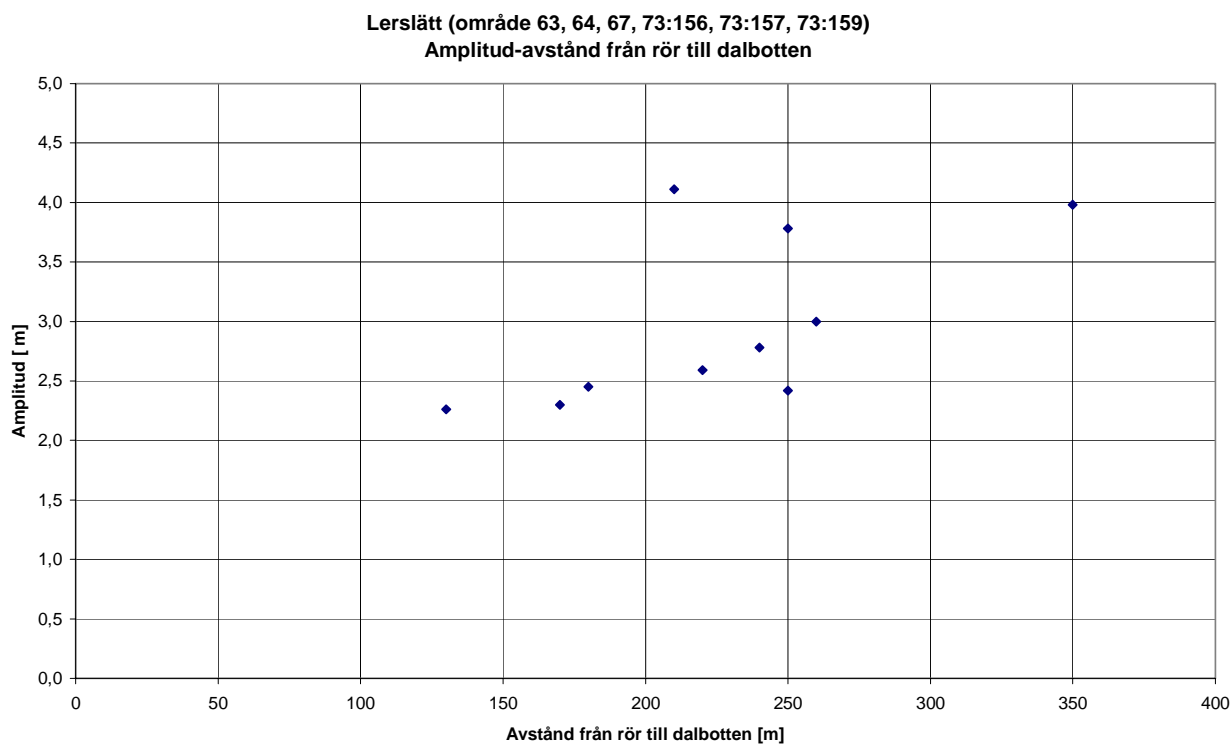
Figur B:2, 14. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till observationsrörens avstånd till infiltrationsområdet (lerområdets närmaste gräns) – i isolerade lerbäcken.



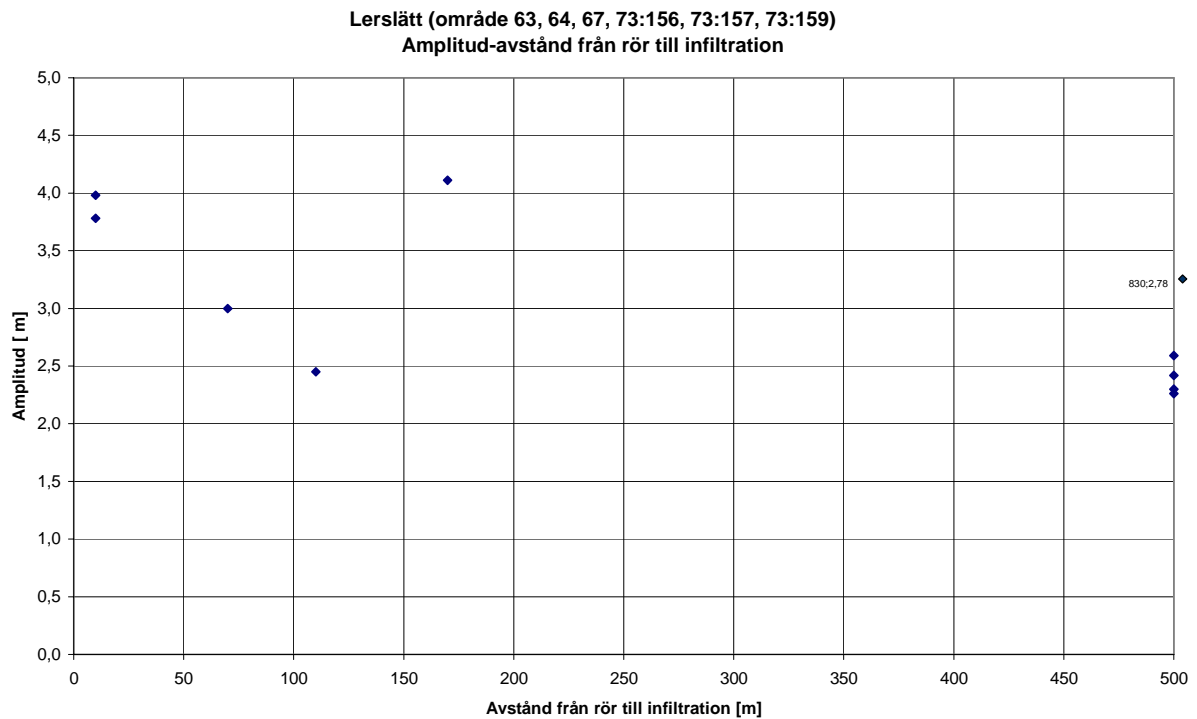
Figur B:2, 15. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till infiltrationsområdets area relativt lerområdets area – i isolerade lerbäcken.



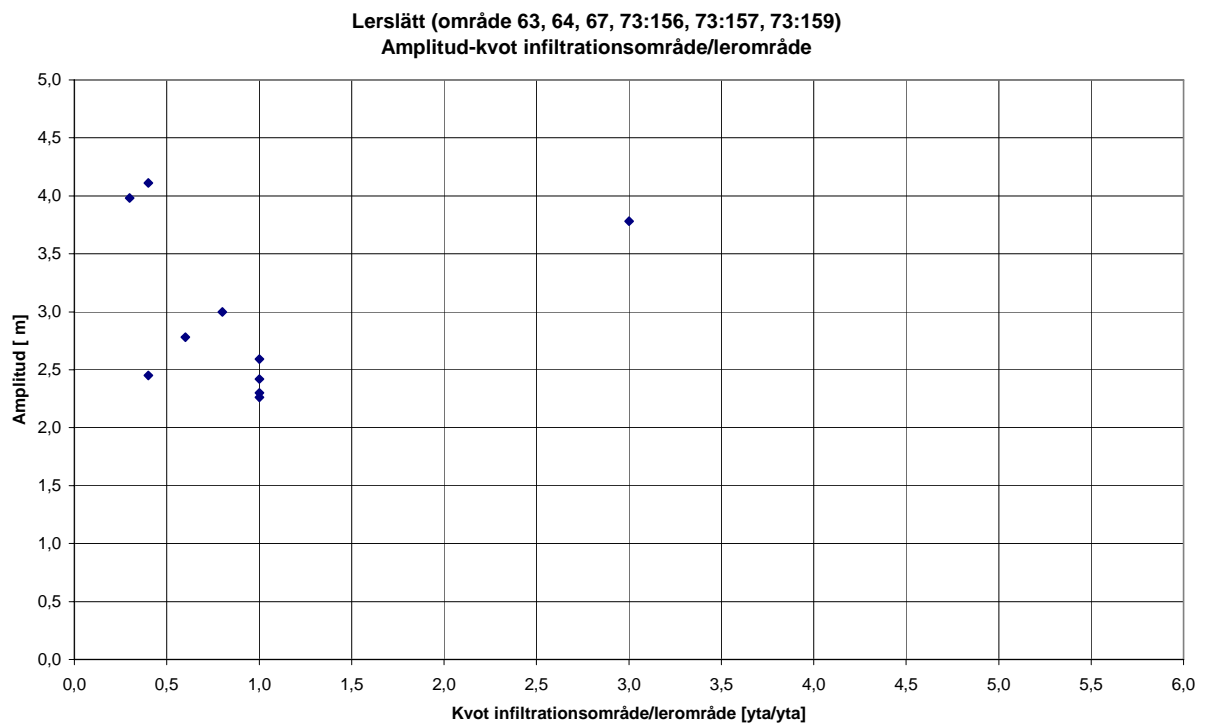
Figur B:2, 16. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till lerdjup vid observationsplatsen – på lerslätter.



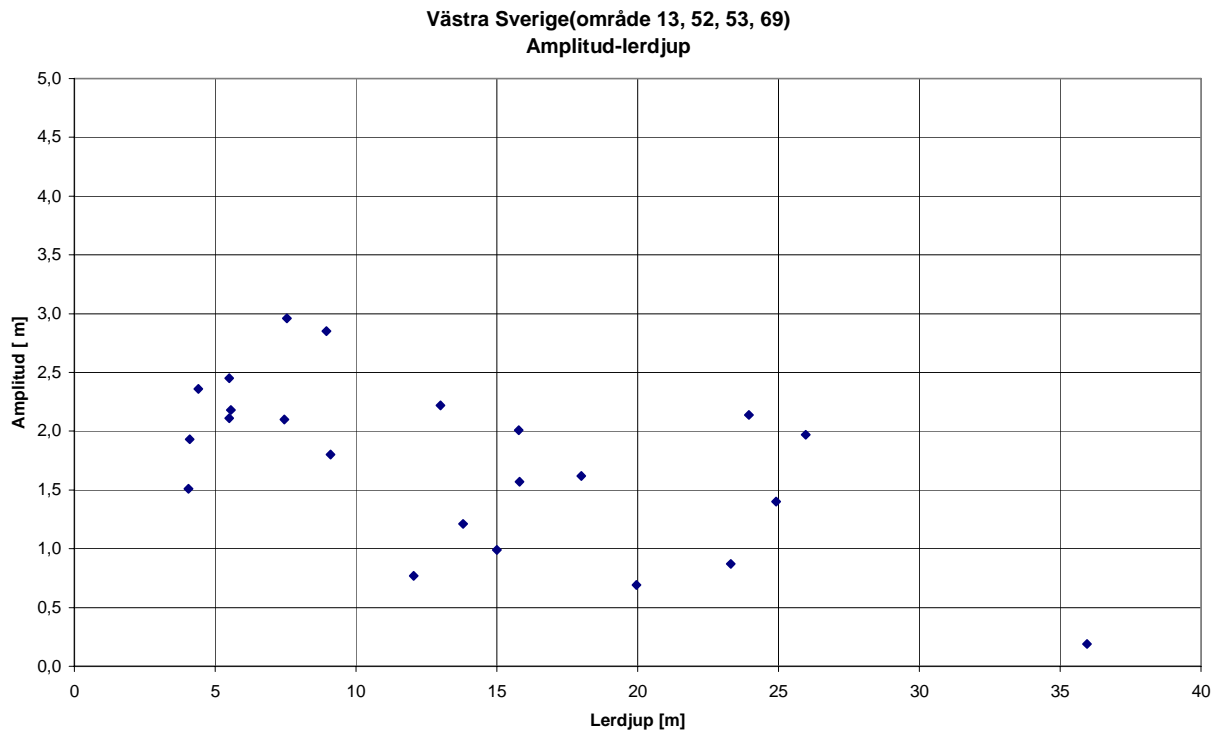
Figur B:2, 17. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till observationsrörens avstånd till lerområdets lägsta punkt (dalbotten) – på lerslätter.



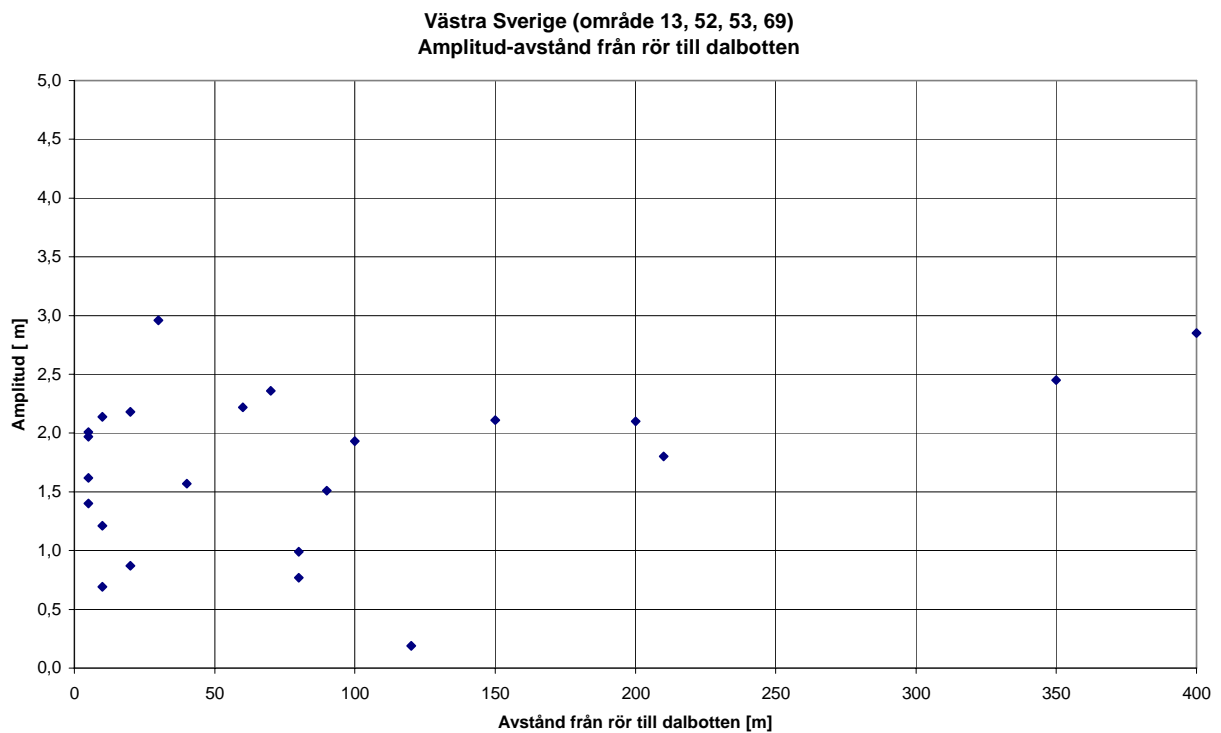
Figur B:2, 18. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till observationsrörens avstånd till infiltrationsområdet (lerområdets närmaste gräns) – på lerslätt.



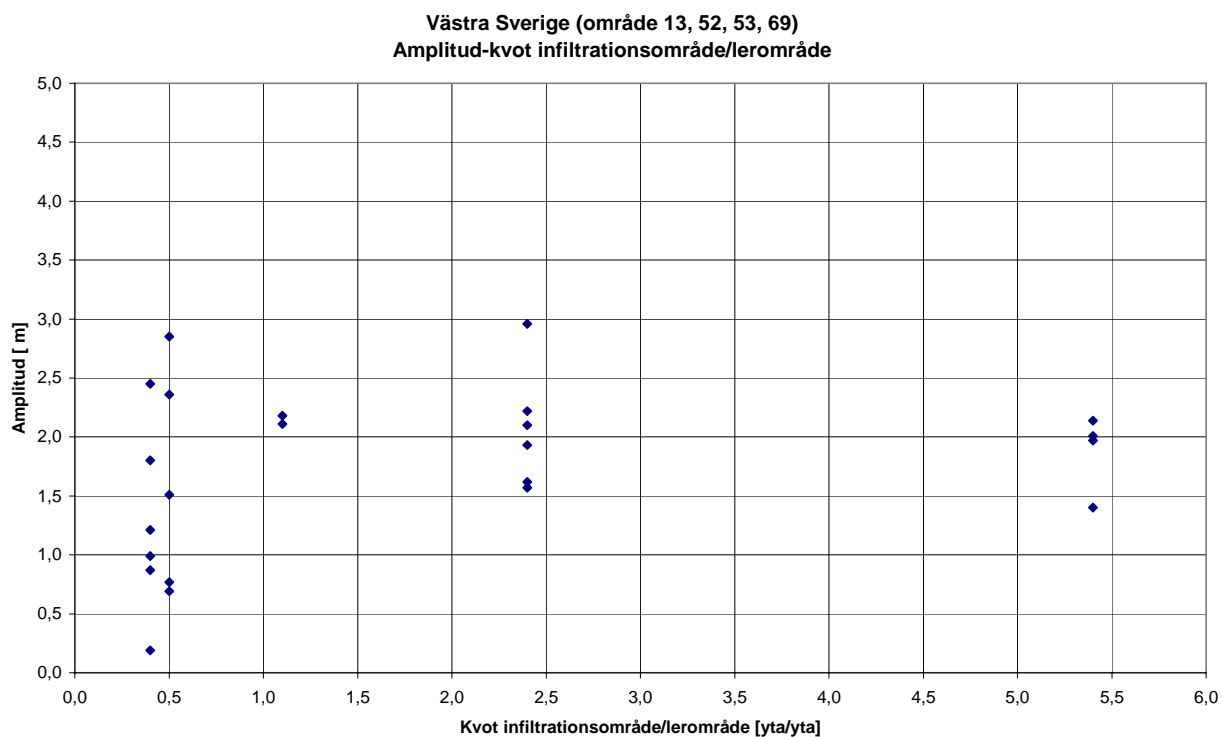
Figur B:2, 19. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till infiltrationsområdets area relativt lerområdets area – på lerslätt.



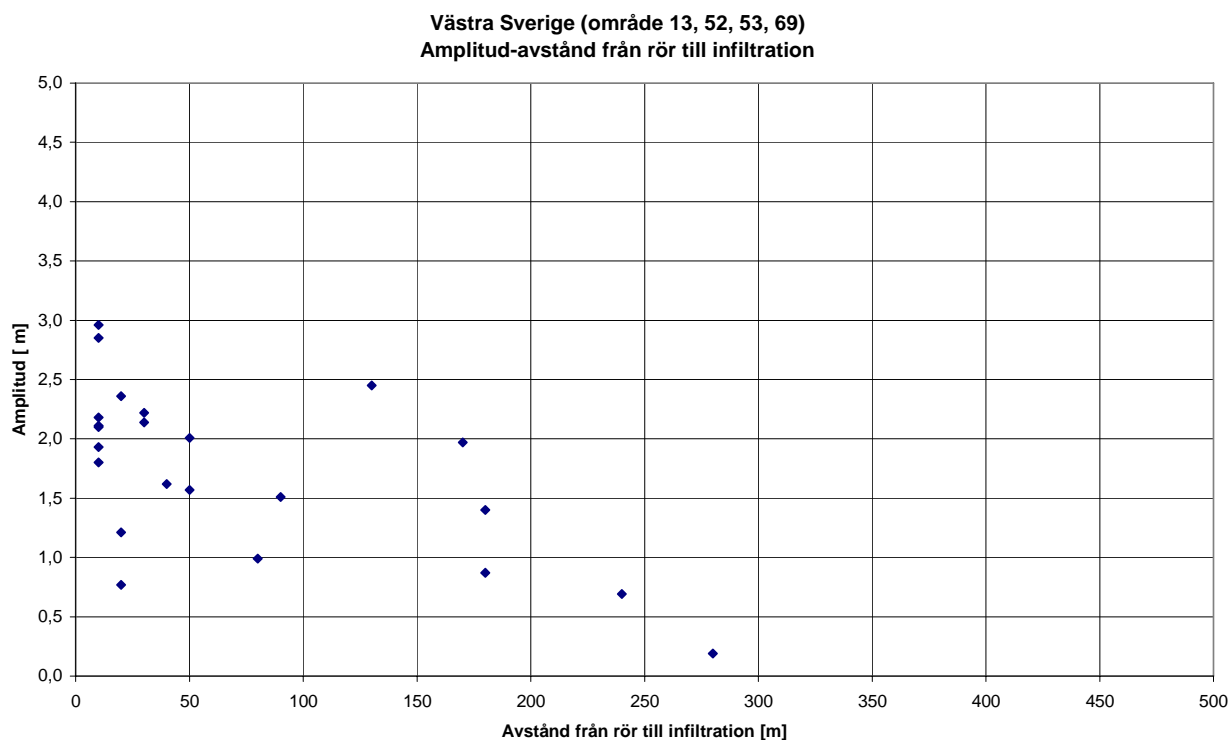
Figur B:2, 20. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till lerdjup vid observationsplatsen – i lerområden i Västsverige.



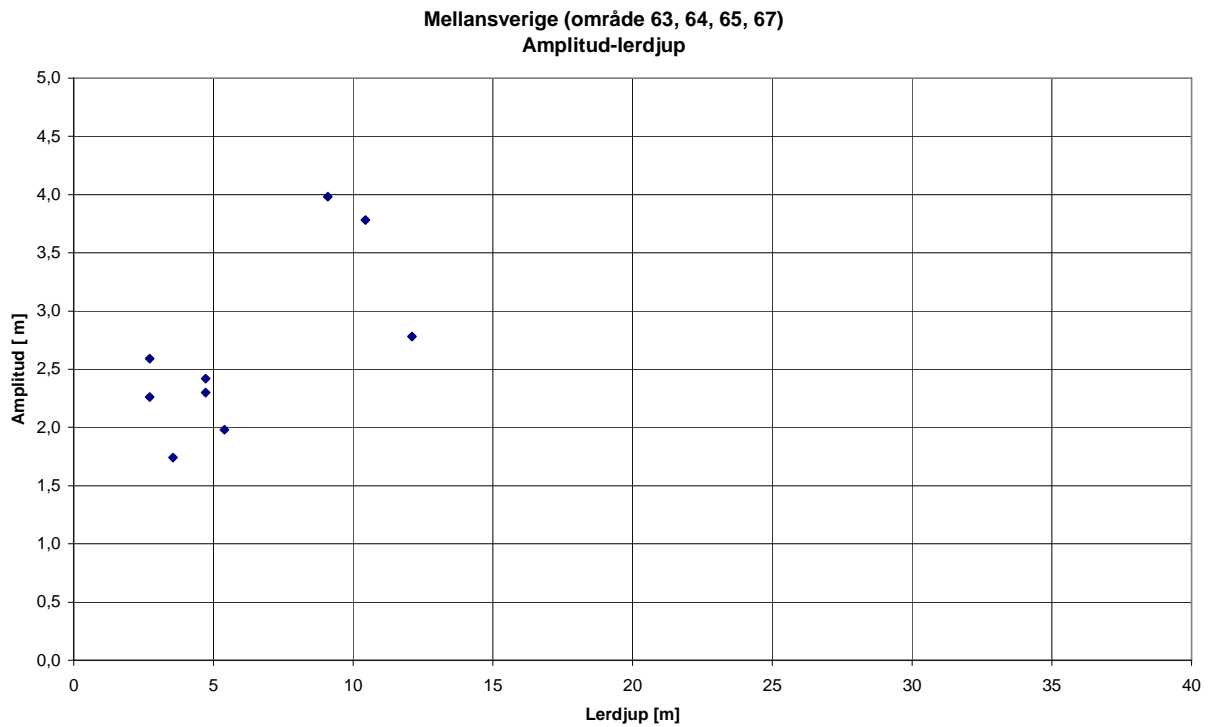
Figur B:2, 21. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till observationsrörens avstånd till lerområdets lägsta punkt (dalbotten) – i lerområden i Västsverige.



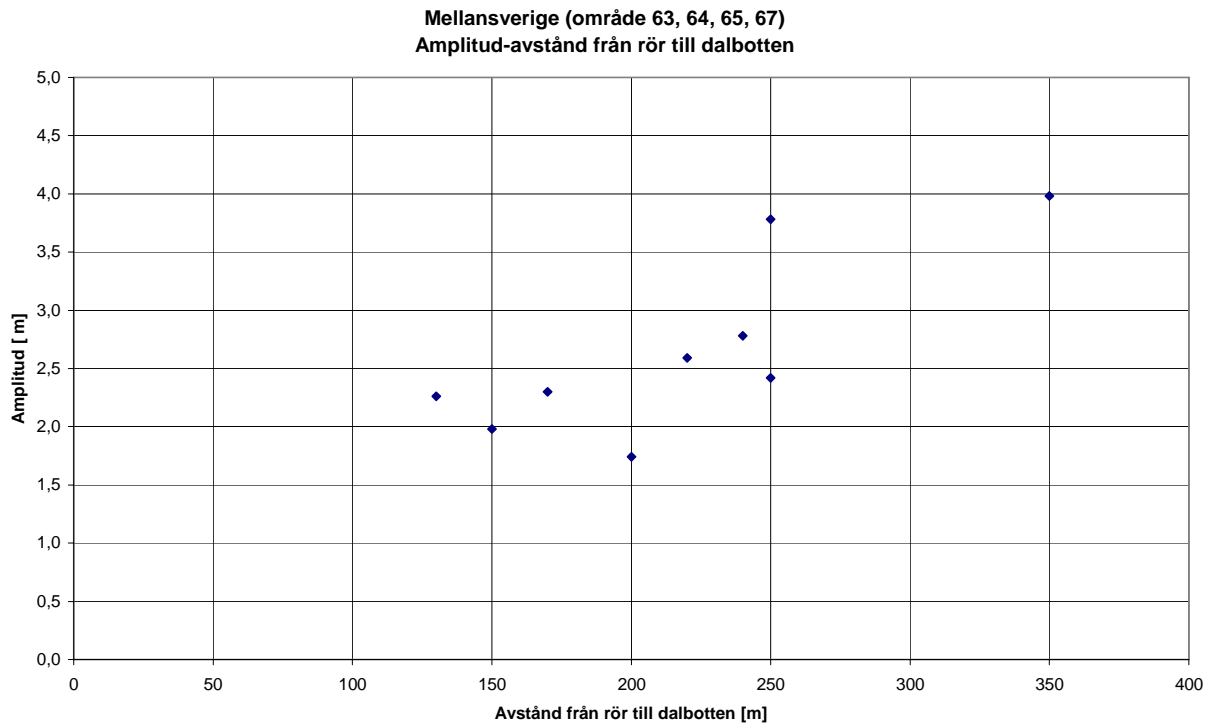
Figur B:2, 22. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till infiltrationsområdets area relativt lerområdets area – i lerområden i Västsverige.



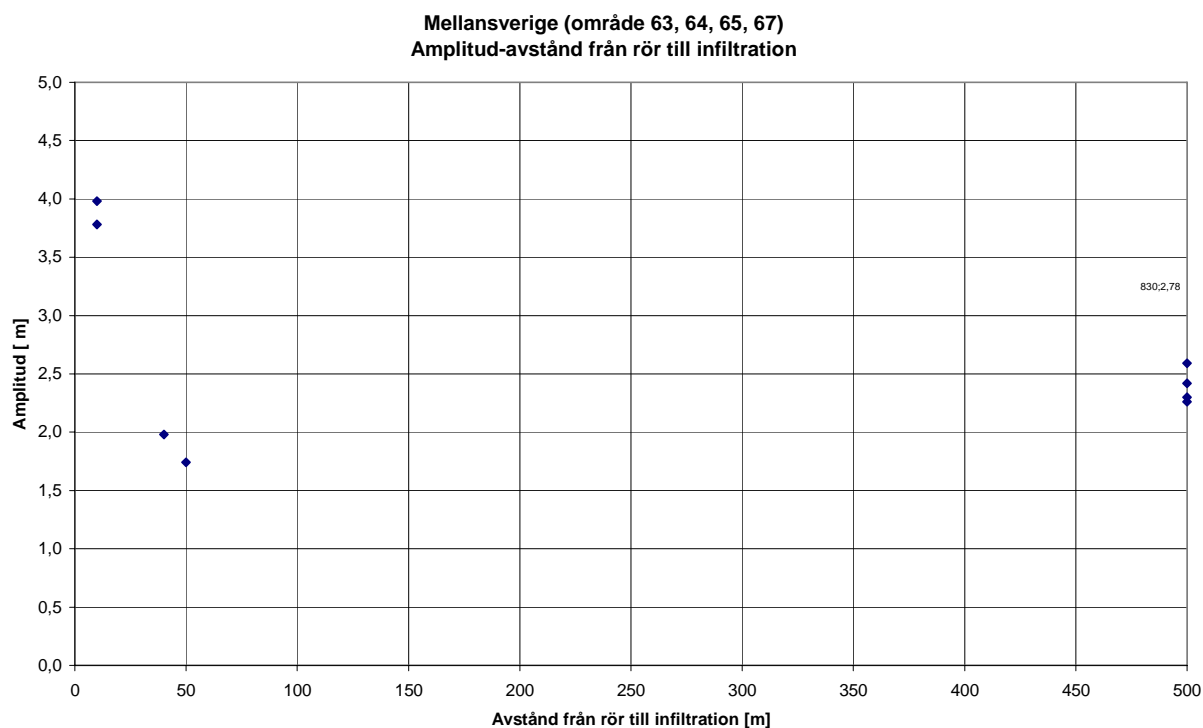
Figur B:2, 23. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till observationsrörens avstånd till infiltrationsområdet (lerområdets närmaste gräns) – i lerområden i Västsverige.



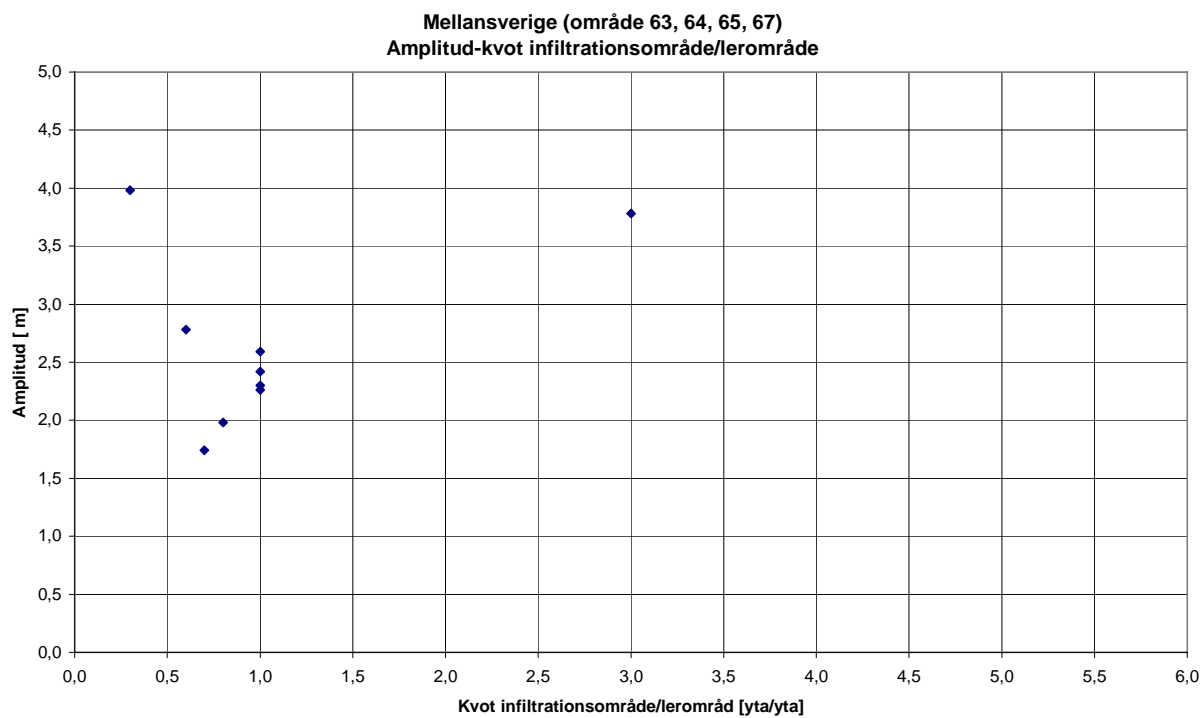
Figur B:2, 24. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till lerdjup vid observationsplatsen – i lerområden i Mellansverige.



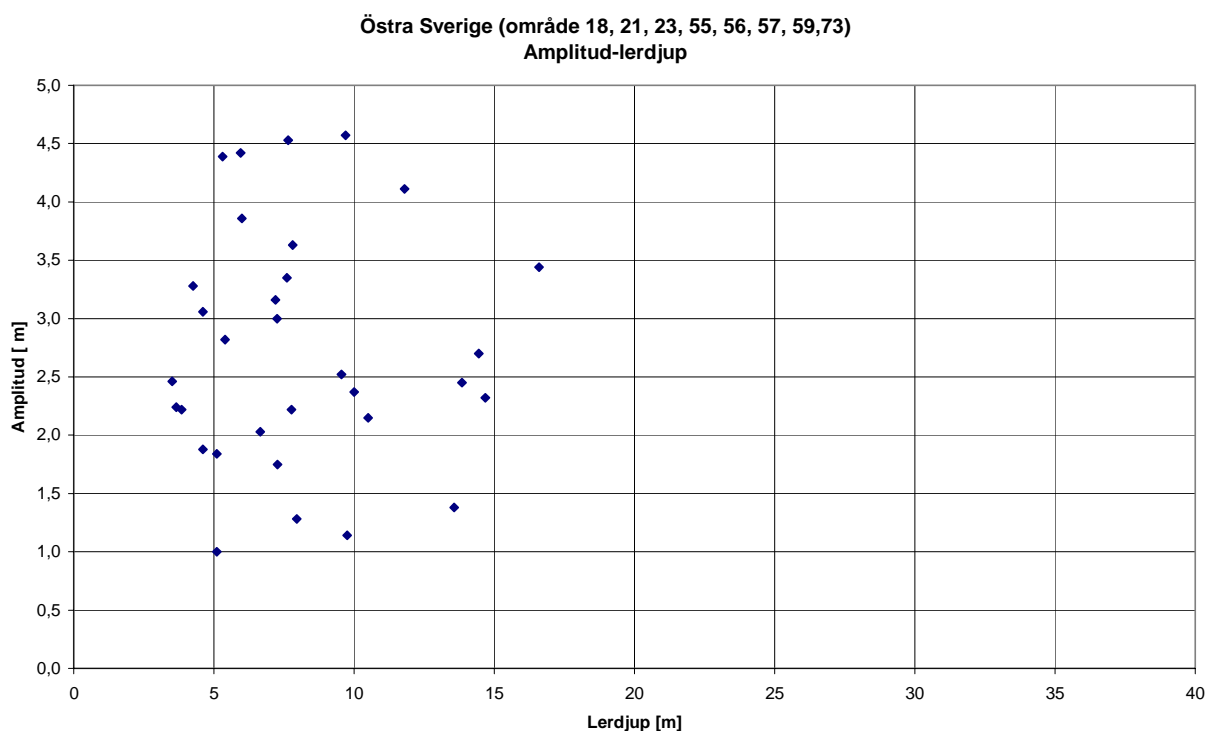
Figur B:2, 25. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till observationsrörens avstånd till lerområdets lägsta punkt (dalbotten) – i lerområden i Mellansverige



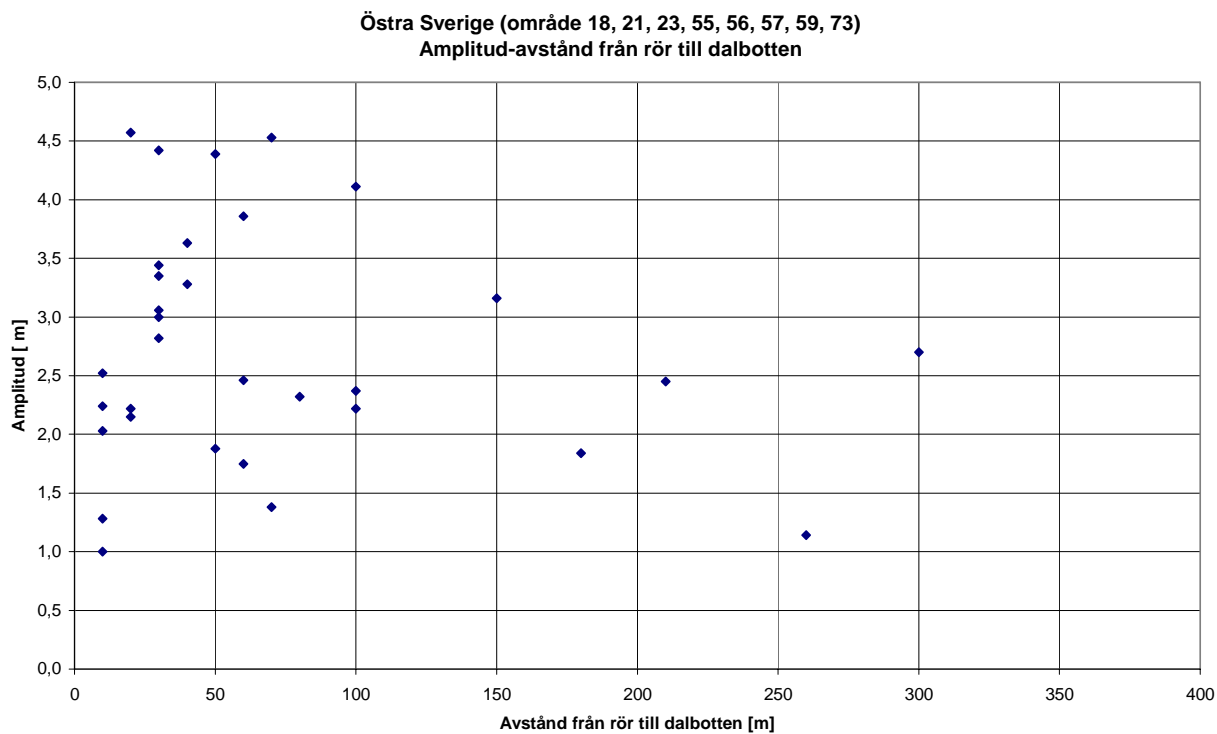
Figur B:2, 26. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till observationsrörens avstånd till infiltrationsområdet (lerområdets närmaste gräns) – i lerområden i Mellansverige.



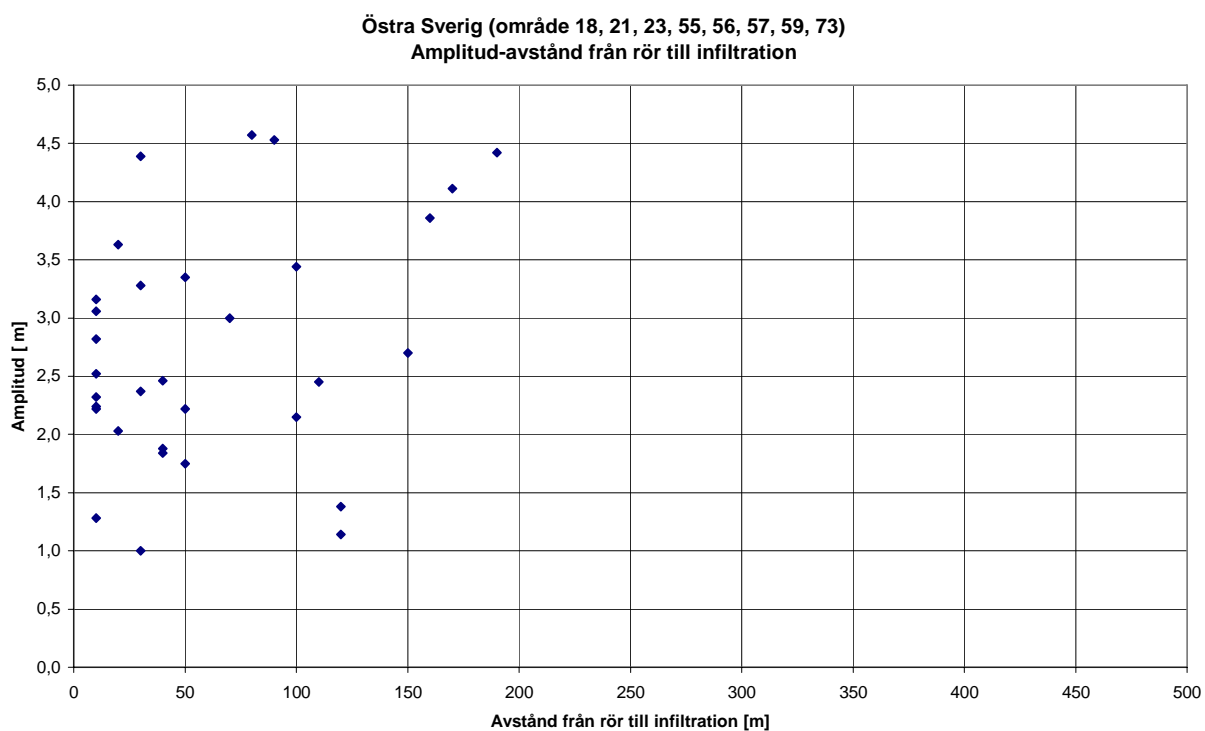
Figur B:2, 27. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till infiltrationsområdets area relativt lerområdets area – i lerområden i Mellansverige.



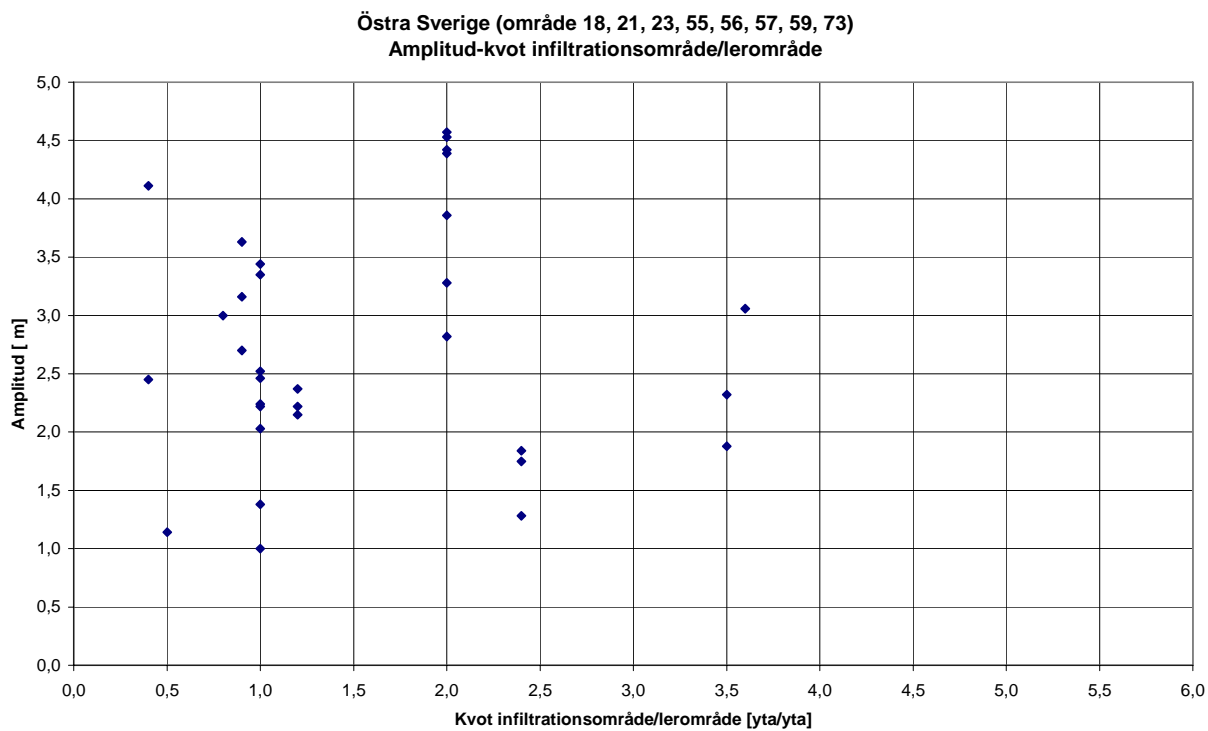
Figur B:2, 28. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till lerdjup vid observationsplatsen – i lerområden i Östra Sverige.



Figur B:2, 29. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till observationsrörens avstånd till lerområdets lägsta punkt (dalbotten) – i lerområden i Östra Sverige.



Figur B:2, 30. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till observationsrörens avstånd till infiltrationsområdet (lerområdets närmaste gräns) – i lerområden i Östra Sverige.



Figur B:2, 31. Grundvattennivåns variationsbredd i grundvattenrör i slutna akviferer i relation till infiltrationsområdets area relativt lerområdets area – i lerområden i Östra Sverige.



Statens geotekniska institut
Swedish Geotechnical Institute

SE-581 93 Linköping, Sweden

Tel: 013-20 18 00, Int + 46 13 201800

Fax: 013-20 19 14, Int + 46 13 201914

E-mail: sgi@swedgeo.se Internet: www.swedgeo.se