



VÄSTERVIKS
KOMMUN



Hydrogeologisk åtgärdsutredning för Gladhammars gruvfält



Projekt Gladhammars gruvor, delrapport 2004:06

Göteborg 2005-04-27

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

| | |
|---|-----------|
| SAMMANFATTNING | 1 |
| INLEDNING | 4 |
| 1 OMFATTNING | 4 |
| 2 OMRÅDESBESKRIVNING | 5 |
| 2.1 GLADHAMMARS GRUVOMRÅDE..... | 5 |
| 2.2 GEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN | 6 |
| 2.3 TOPOGRAFI OCH MARKFÖRHÅLLANDEN | 7 |
| 2.4 HYDROMETEOROLOGISKA UPPGIFTER | 7 |
| 2.5 AVRINNING OCH GRUNDVATTENBILDNING | 7 |
| 3 RESULTAT FRÅN UTFÖRDA HYDROGEOLOGISKA UNDERSÖKNINGAR | 9 |
| 3.1 HYDROGEOLOGISK KARTERING, INVENTERING | 9 |
| 3.1.1 <i>Inventering av befintliga brunnar, grundvattenrör och gruvschakt</i> | 9 |
| 3.1.2 <i>Hydrogeologisk kartering – Avrinningsmönster</i> | 10 |
| 3.2 GRUNDVATTENNIVÅMÄTNINGAR | 12 |
| 3.2.1 <i>Jord</i> | 12 |
| 3.2.2 <i>Berg</i> | 15 |
| 3.3 HYDRAULISKA TESTER I BERG | 17 |
| 3.4 HYDRAULISKA TESTER I GRUNDVATTENRÖR I JORD | 18 |
| 3.5 FLÖDESMÄTNING I STOLLGÅNG | 19 |
| 4 VATTENBALANSBERÄKNINGAR | 21 |
| 4.1 JORD..... | 21 |
| 4.2 BERG / GRUVA..... | 23 |
| 4.3 TIDVATTENEFFEKTER..... | 26 |
| 5 HYDROGEOLOGISK MATEMATISK MODELL/BEDÖMNING AV ÅTGÄRDSFÖRSLAG | 26 |
| 5.1 FÖRUTSÄTTNINGAR..... | 26 |
| 5.2 MODELLGEOMETRI OCH EGENSKAPER..... | 27 |
| 5.3 RANDVILLKOR | 28 |
| 5.4 KALIBRERING..... | 28 |
| 5.5 RESULTAT | 29 |
| 5.6 KÄNSLIGHETSANALYS..... | 30 |
| 5.7 RESULTATANALYS | 30 |
| 5.8 MODELLSCENARIER / BEDÖMNING AV ÅTGÄRDSFÖRSLAG | 31 |
| 6 LITTERATURLISTA | 33 |

BILAGOR

| | |
|----------|---|
| Bilaga 1 | Grundvattenmätningar |
| Bilaga 2 | Resultat från hydraultester i grundvattenrör |
| Bilaga 3 | Vattenföring i stollgången och vattennivå i Knutsschaktet |
| Bilaga 4 | Effekter av tidvatten i flödet från stollgången |

Sammanfattning

Målsättningen med föreliggande utredning är att redovisa grundvattenförhållandena i anslutning till Gladhammars gruvor (Holländarfältet). Utredningen baseras på en rad undersökningar som bl a omfattar kartering av yt- och grundvattenflöden, mätning av vattenflödet från gruvan och hydrauliska tester i jordlager och berggrund. Olika åtgärdsförslag har studerats hydrauliskt med numerisk modellering och översiktliga beräkningar.

Genom kartering av yt- och grundvattenflöden har kvalitativa och kvantitativa data insamlats. Syftet var att få en översiktlig förståelse för vad som styr grundvattennivåer och vattenavrinningen i området. Genomförd undersökning visar att området karakteriseras av brant topografi och relativt tunna jordlager. På höjderna dominerar kalt berg och i sänkorna förekommer metertjocka jordlager, i huvudsak morän. Närmare Tjursbosjön ökar jordlagrens mäktighet, där moränen överlagras av leriga och sandiga sediment.

Avrinningen sker mot Tjursbosjön i väster, dels som ytavrinning på berg, dels som grundvattenavrinning främst via två jordfyllda sänkor samt via berggrund. En betydande del av ytavrinningen på berg sker genom varphögar. Berggrunden dräneras i huvudsak av gruvan och dess stollgång. Två jordfyllda sänkor omsluter i princip hela det studerade gruvområdet och grundvattennivån styrs här av bergytans nivå.

Vid Tjursbosjön finns relativt mäktiga sedimentlager av varierande karaktär. Vattenförande sandiga och grusiga lager och morän förekommer, åtskilda av tätare lager med lera och silt. I området sker en betydande grundvattenbildning till i första hand de ytliga sedimenten. I samband med omfattande regn sker ytavrinning som skapat ett antal utpräglade erosionsfårar.

Mätningar av grundvattennivån har utförts i 25 grundvattenrör i jord, två bergborrade brunnar och ett äldre kärnborrhål. För att fastställa den vattenförande förmågan har hydrauliska tester utförts i rör och brunnar.

För bestämning av utflödet från gruvan har mätning utförts via måteröverfall vid stollgångens utlopp. Syftet med mätningen var att klarlägga basflödet samt dokumentera flödesökning i samband med nederbörd. Basflödet, som representerar utflödet av grundvatten, uppgår enligt mätningarna till drygt 20 l/min. I samband med nederbörd uppkommer en kraftig men kortvarig flödesökning som i huvudsak kan förklaras av nederbörd direkt över schaktöppningar samt ytavrinning på berget mot schaktöppningarna. I samband med ett större regn sommaren 2005 uppmättes kortvarigt flödet i stollgången till hela 600 l/min.

Genom modellberäkningar har gruvans vattenomsättning studerats och resultatet har använts för värdering av olika åtgärder med syfte att minska föroreningsspridningen till omgivningen. De åtgärder som studerats är 1) tätning av schaktöppningar, 2) sänkt vattennivå i gruvan genom pumpning samt 3) tätning av stollgången.

- 1) Tätning av schaktöppningar minskar enligt beräkningarna utflödet via stollgången med ca 30%, från ca 18 400 m³/år (35 l/min) till 12 300 m³/år (23 l/min). Minskningen av flödet avser ytavrinning på berg.
- 2) Sänkning av vattennivån i gruvan genom pumpning, gör det möjligt att kontrollera vattenkvaliteten innan utsläpp till recipient. Beräkningar visar att man vid en pumpning på i

medeltal 25 l/min erhåller en sänkning med ca 5 meter från nuvarande nivå. Kortare perioder i samband med regn och tö, krävs betydligt högre pumpflöden för att vidmakthålla avsänkt nivå.

- 3) Tätning av stollgången reducerar flödet och höjer vattennivån i gruvan. En höjning av nivån med 20 meter till nivån +70, beräknas minska utflödet via stollgången med ca 90% till drygt 2 l/min. En höjd vattennivå ökar sannolikt utflödet via berg (läckage). Vid en höjning av nivån över +70 riskeras ett okontrollerat utflöde via dalsänkorna i norr och söder.

Inledning

Västerviks kommun genomför med bidragsmedel från Naturvårdsverkets anslag till Länsstyrelsen i Kalmar län ”Projekt Gladhammars gruvor” en huvudstudie enligt Naturvårdsverkets kvalitetsmanual för efterbehandling av förorenade områden. Gladhammars gruvor har nyttjats för brytning av järn, koppar och kobolt i olika perioder från 1500-talet till 1800-talets slut. Gjorda undersökningar visar att det från upplagda varphögar och från gruvgångar sprids vatten med mycket höga halter av koppar och kobolt, vilket påverkar såväl Tjursbosjön och nedströms liggande vattendrag som grundvattnet i området.

I föreliggande utredning har områdets hydrogeologiska förutsättningar utretts, detta har legat till underlag för att prognostisera effekter av olika åtgärder syftande till att minska föroreningsspridning till recipienten.

Deluppdraget har utförts av Envipro Miljöteknik i samarbete med Aqualog. Virpi Nömtak, Envipro Miljöteknik, har varit uppdragsledare. Huvuddelen av arbetet har utförts av Ulf Sundqvist och Otto Graffner, Aqualog AB.

1 Omfattning

Föreliggande hydrogeologiska utredning har omfattat följande moment:

Kartering och tester

- Kartläggning av yt- och grundvattenflöden
- Hydrauliska tester och observationer i grundvattenrör i jord och i bergbrunnar
- Sammanställning av befintlig geologisk/hydrogeologisk/hydrologisk information
- Byggnation av mätöverfall vid stollgången samt installation av mätutrustning
- Sammanställning av grundvattennivåmätningar och flödesmätningar

Vattenbalans

- Nederbörd och avrinningsområde
- Grundvattnets strömning i jordlager och gruvavfall på berg (strömningsvägar, nivåer)
- Jordlagrens vattenbalans (flödesfördelning över tid)
- Gruvsystemets påverkan på grundvattennivån i berg (influensområde)
- Gruvsystemets vattenbalans (grundvattenflöde via berget, inflöde via schakt)

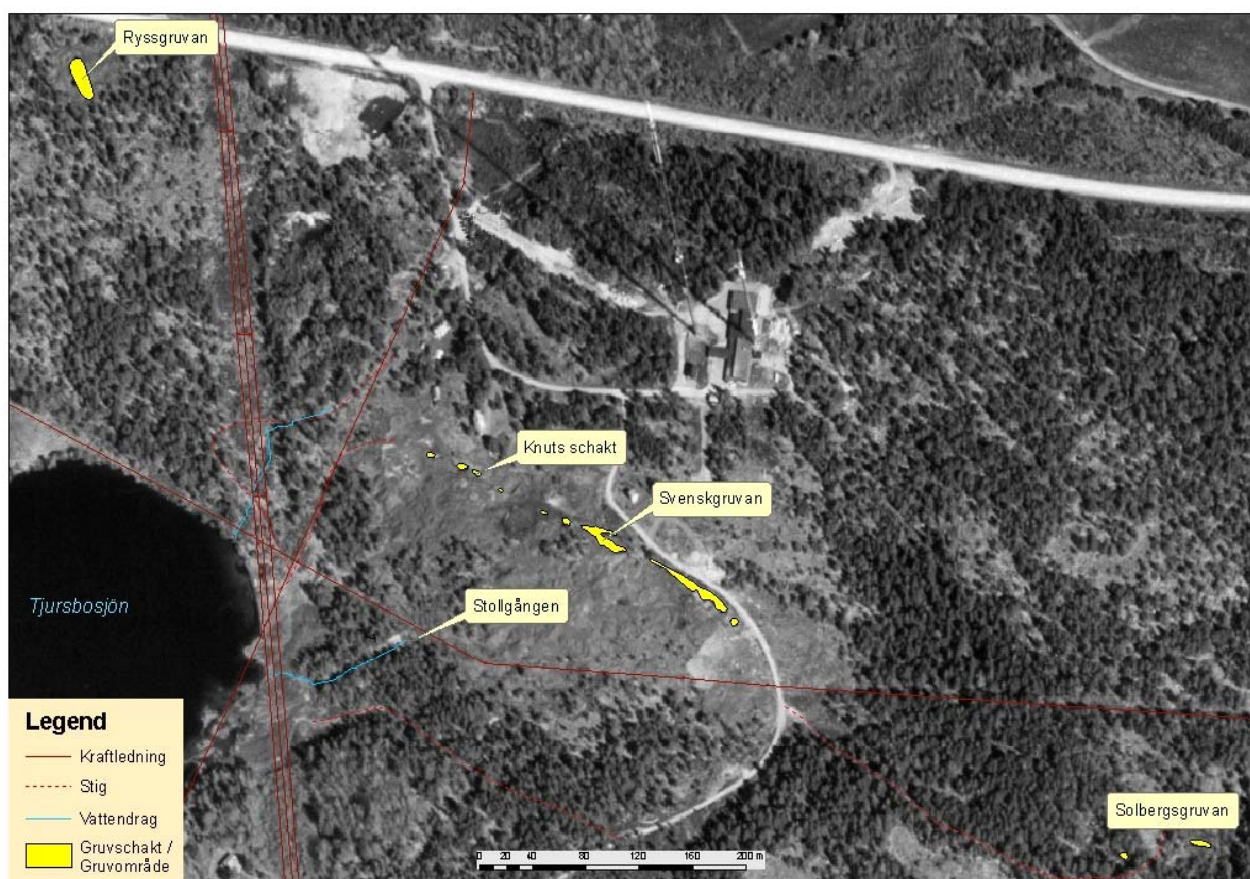
Upprättande av hydraulisk/hydrogeologisk modell/bedömning av åtgärdsförslag

- Upprättande av konceptuell modell
- Beskrivning av hydrauliska parametrar och randvillkor
- Upprättande av vertikal 2D-modell
- Modellering av olika scenarier, känslighetsanalys

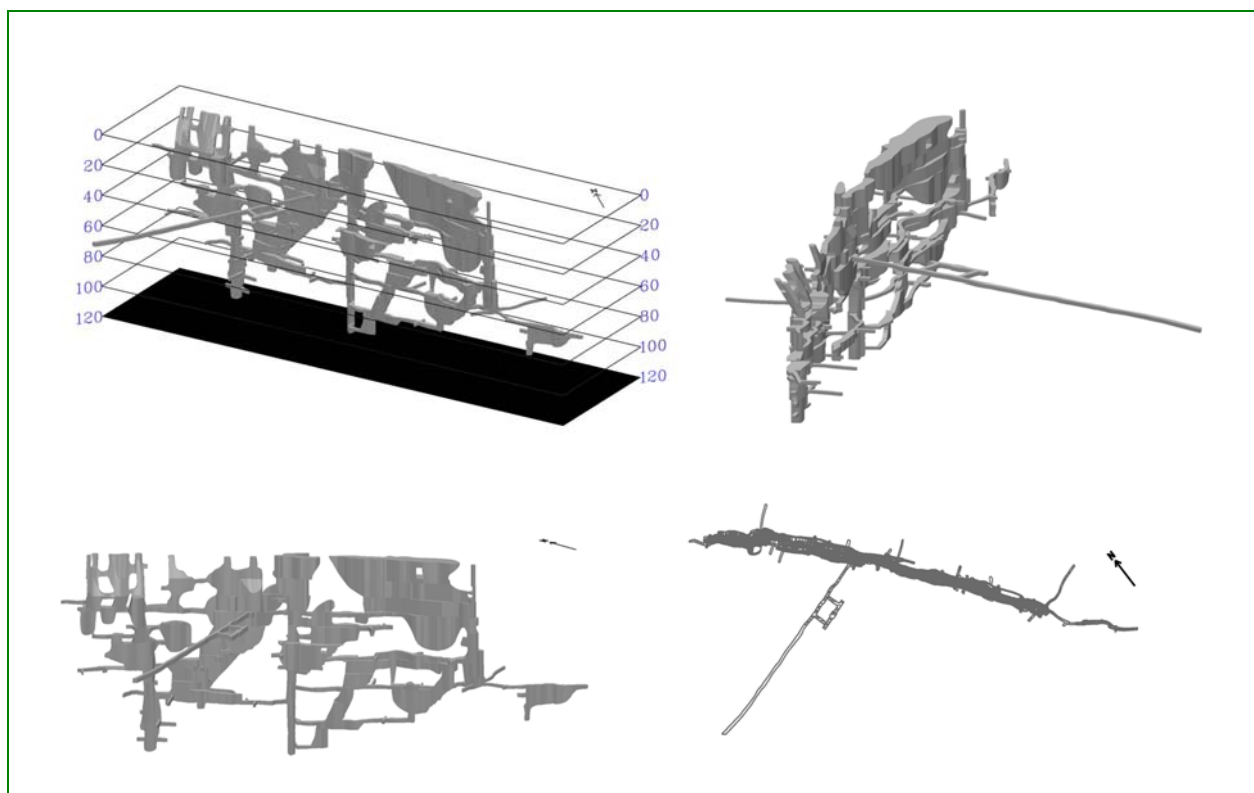
2 Områdesbeskrivning

2.1 Gladhammars gruvområde

Gladhammars gruvfält ligger cirka 12 km sydväst om Västervik, eller cirka 2 km väster om Gladhammar och Lunds by. Större delen av gruvorna ligger på en höjd, Käringryggen, cirka 100-200 m från Tjursbosjön. Större delen av gruvfältet (främst Holländarefältet), se **Figur 1**, sträcker sig längs en stor bergrygg som kallas Käringryggen. Gladhammars gruvfält är uppdelat på tre olika fält, i nordväst Ryssgruvefältet, 250 m längre sydost Holländarefältet med Svenskgruvan och längst i sydost Sohlbergfältet. Hela gruvfältet är ca 1,5 km långt och det största djupet man har brutit på är cirka 120 m. Den mest betydande brytningen har skett inom Holländarefältet. Därifrån har också sprängts ett ca 150 meter långt nära horisontellt schakt – den s. k stollgången, avsett att dränera gruvan. Stollgången kallas Sankte Pers nyckel och mynnar ca 100 m från Tjursbosjön där sedan en bäck leder vattnet till sjön.



Figur 1 Plankarta över Gladhammars gruvområde. Kartan visar de olika gruvorna längs Käringryggen; Holländarefältet med bl. a Knuts schakt och Svenskgruvan samt Ryssgruvorna och Solberggruvan. Copyright Lantmäteriet 2000-05-08. Ur SverigeBilden™.



Figur 2 Tvärsnitt av Holländarfältets gruvschakt från olika vinklar.

2.2 Geologiska förhållanden

Området vid Gladhammars gruvor ingår i Västerviksformationen som har sin utbredning från Västerviks skärgård till nordväst om Gamleby. Formationen består av främst kvartsit som är en omvandlad sandsten. Den är kraftigt veckad och olika former av ren kvartsit till fältspatsrika och leriga sandstenar förekommer. Kvartsiten i området har även inlagringar av amfiboliska bergarter, sannolikt äldre basiska lavar och gångar. Den malmförande zonen i byggs till största delen upp av grovkornig kvartsit som lokalt har sin utbredning från nordväst om Fårhult mot ostsydost förbi Gladhammar kyrka. Strykning och stupning på ortokvartsiten i det f d gruvområdet har uppmätts till VNV/vertikal. Mineraliseringen består av järn-, koppar- och koboltmalm.

Enligt den geologiska kartan, SGU Ser Ba, nr 32, löper en tektonisk zon längs Tjursbosjöns västra sida och söderut i nord-sydlig riktning. Öster om gruvområdet löper en nordvästlig-sydöstlig tektonisk zon genom Gladhammars samhälle och vidare mot Fårhult.

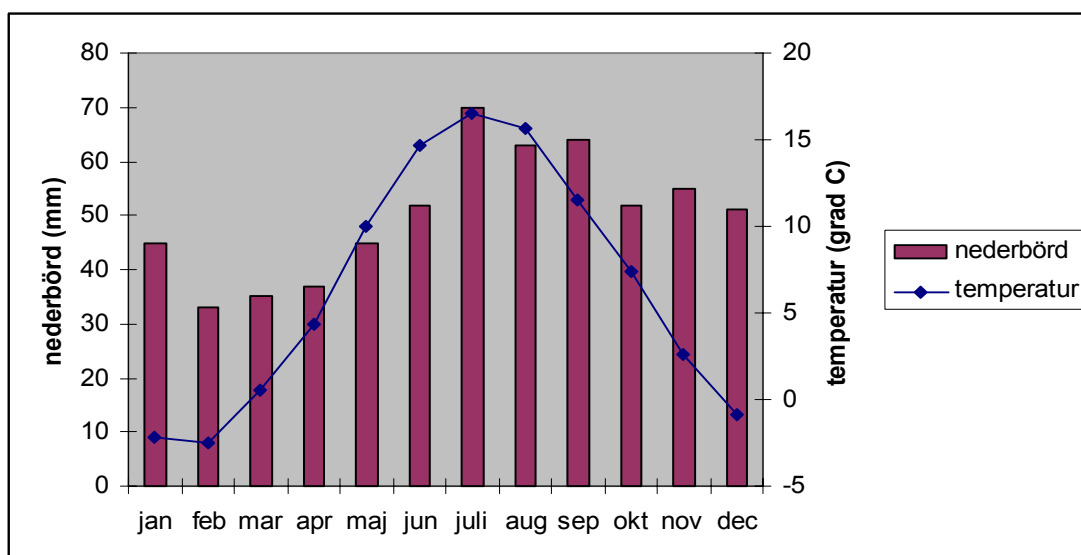
Jordarterna vid Gladhammars gruvor domineras av en isälvsavlagring bestående av främst sand, grus och sten. Isälvsavlagringen sträcker sig i nordväst-sydöstlig riktning, från Sundsholm i sydost till Fårhult i nordväst. Längs isälvsavlagringens östra sida påträffas svallad morän, svallgrus. I området runt Smedjemåla består jorden huvudsakligen av sandig morän. Norr om Tjursbosjön utgörs jorden av sand. Mellan Tjursbosjön och Ekenässjön dominerar ytligt berg (granit), lera och morän.

2.3 Topografi och markförhållanden

Området öster om Tjursbosjön och norr om Ekenässjön karaktäriseras av höjdområdet Käringryggen som medför en kuperad och sluttande terräng ned mot båda sjöarna. De högsta partierna på Käringryggen ligger cirka 94 m.ö.h. Mot Tjursbosjön stupar berget brant från Käringryggen, medan slutningen mot Ekenässjön är mer flack. Även norr om Tjursbosjön sluttar terrängen relativt brant ned mot Tjursbosjön, vars vattenyta ligger kring 51,4 m ö h. Omgivningarna runt Ekenässjön är flacka och hållar växlar med moränmark.

2.4 Hydrometeorologiska uppgifter

Årsnormalvärdet för nederbörden under perioden 1961-1990 uppgick till 601 mm vid SMHI:s station Gladhammar A (SMHI, 2001). Nederbördens fördelning över året visas i **Figur 3**. Den största nederbördsmängden faller normalt under sommar och höst. Mest nederbörd faller normalt under juli. Årsmedeltemperaturen för perioden 1961-1990 var +6,5°C och varmaste månaden är även den normalt juli. Under perioden december-februari ligger normalt temperaturen under 0°C och nederbörd faller således som snö.



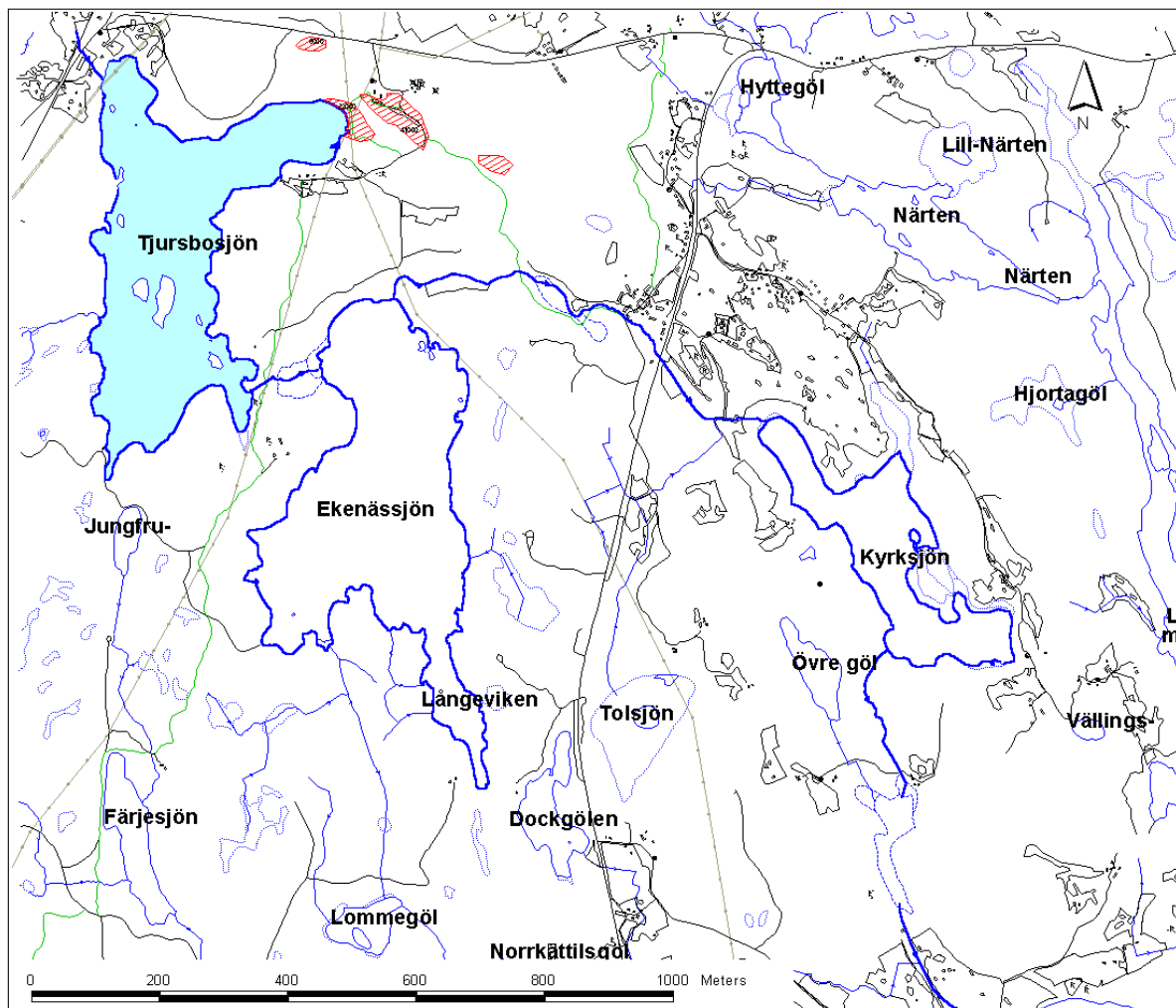
Figur 3 Nederbörd och temperatur enligt SMHI för perioden 1961-1990 (SMHI, 2001)

2.5 Avrinning och grundvattenbildning

Tjursbosjön ligger överst i det vattensystem som är recipient för utsläppen från gruvområdet. Sjön har en yta på cirka 120 ha och ett avrinningsområde på cirka 9,7 km² (Myrica AB, Värnamo, 2004). Medeldjupet är, enligt sjömätningar utförda av Myrica, ca 10 m och maxdjupet 26 m. Inom avrinningsområdet ligger större delen av alla gruvhål och avfall. Nedanförliggande sjöar i vattensystemet är Ekenässjön och Kyrksjön, se **Figur 4**.

Årsmedelavrinningen av yt- och grundvatten i området (kartblad 06GNO) uppgår enligt SMHI till 152 mm vilket motsvarar ett flöde på 4,8 l/s per km². Angivet flöde är ett beräknat medelvärde inom kartbladet och den faktiska avrinningen i ett speciellt område beror på lokala förutsättningar och varierar mellan olika år.

Avrinningen sker från yt- och grundvattendelare i högre liggande områden ner mot det aktuella sjösystemet. Gladhammars gruvfält påverkar avrinningen ner mot Tjursbosjön, vilket beskrivs i detalj i **Kapitel 4.1.2**.



Figur 4 Tjursbosjöns vattensystem. Röda markeringar utgör olika gruvområden i Gladhammarfältet. Copyright Lantmäteriet 2001-04-23. Ur Din Karta™.

Jordlagren är generellt permeabla och grundvattenbildningen till jord bedöms vara relativt stor, sannolikt i nivå med den totala avrinningen. Grundvattenbildning till berg sker främst i högre liggande relativt plana bergområden. Grundvattenbildningen diskuteras vidare i **Kapitel 5**.

3 Resultat från utförda hydrogeologiska undersökningar

För beskrivning av avrinningsförhållandena i området, såväl kvalitativt som kvantitativt, har hydrogeologiska undersökningar utförts. Dessa undersökningar har syftat till att öka förståelsen när det gäller yt- och grundvattenavrinning, gruvans betydelse för avrinningen samt områdets vattenbalans. I avsnitten nedan redovisas omfattning och resultat från genomförda undersökningar.

3.1 Hydrogeologisk kartering, inventering

Målsättningen med den hydrogeologiska karteringen var att insamla kvalitativa och kvantitativa data för att få en översiktlig förståelse av grundvattennivåer och avrinningsförhållanden.

3.1.1 Inventering av befintliga brunnar, grundvattenrör och gruvschakt

Genom inventering har två bergborrade brunnar, två grävda brunnar och ett kärnborrhål lokaliserats. De borrarade brunnarna används som vattentäkter och en av de grävda brunnarna används sommartid. Kärnborrhålet utfördes sannolikt i samband med prospektering i området. Brunnarnas och kärnborrhålets placering visas i **Figur 5**.

Tabell 1 Brunnsdata (från SGU:s brunnsarkiv)

| Brunnsid | Fastighet | Borrdatum | Ägare (2004) | Vattenmängd | Brunnsdjup |
|----------|--------------|-----------|--------------|-------------|------------|
| 66400024 | Torsfall 3:1 | 1977 | Teracom | 300 l/tim | 106 m |
| 66400072 | Torsfall 3:3 | 1976 | Ring | 300 l/tim | 108 m |

De två borrarade brunnarna har använts för hydrauliska tester, se **Kapitel 4.3**.

Inom området har två grävda brunnar lokaliserats. Brunnen söder om Teracom används f.n. inte, medan brunnen i sydvästra delen av undersökningsområdet används sommartid.

Ett kärnborrhål finns sydost om Holländarfältet. Trots eftersökningar i flera arkiv har inga uppgifter hittats om hålet. Hålet är mer än 80 m långt och lutar 50° åt sydväst (från horisontalplanet). Grundvattennivån påträffades 25,14 m ner i borrhålet (12/10-04), dvs på ett djup av ca 16,2 meter under marknivån.

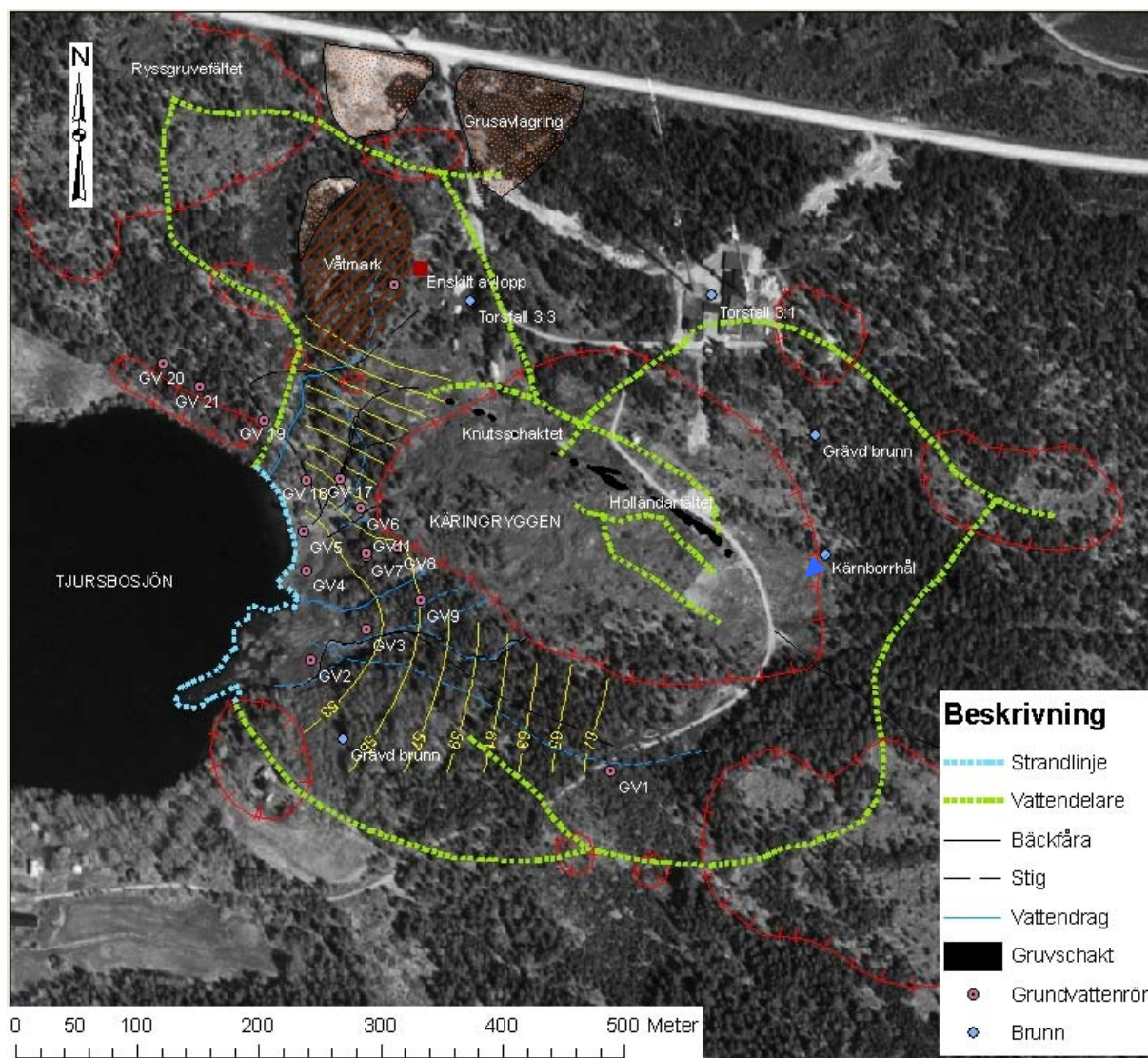
Inom ramen för Projekt Gladhammar har 25 grundvattenrör installerats i jord, varav 16 rör är placerade i jordlagren ner mot Tjursbosjön och i två sänkor söder och norr om Holländarefältet. Uppgifter om jordlagerförhållanden, djup till berg mm är redovisade i ett separat dokument. Uppmätta grundvattennivåer redovisas i **Kapitel 4.2**. Grundvattenrörens hydrauliska funktion redovisas i **Kapitel 4.4**.

Genom sammanställning av äldre dokumentation har gruvans utsträckning visualiserats i en 3-dimensionell **Figur 2**. Digitalisering och visualisering har utförts av GeoSigma. Vattennivån i Knutsschaktet har mätts med datalogger.

3.1.2 Hydrogeologisk kartering – Avrinningsmönster

För att klarlägga avrinningsbilden och förekomsten av mäktigare jordlager genomfördes en hydrogeologisk ytkartering. Vattendelare, både i översiktlig och detaljerad skala, identifierades på karta och verifierades i fält. Ytvattendrag karterades, samt bedömdes om det sker en grundvattendränning eller grundvatteninfiltration via vattendragen. Jordlagren karterades med hjälp av stickspjut.

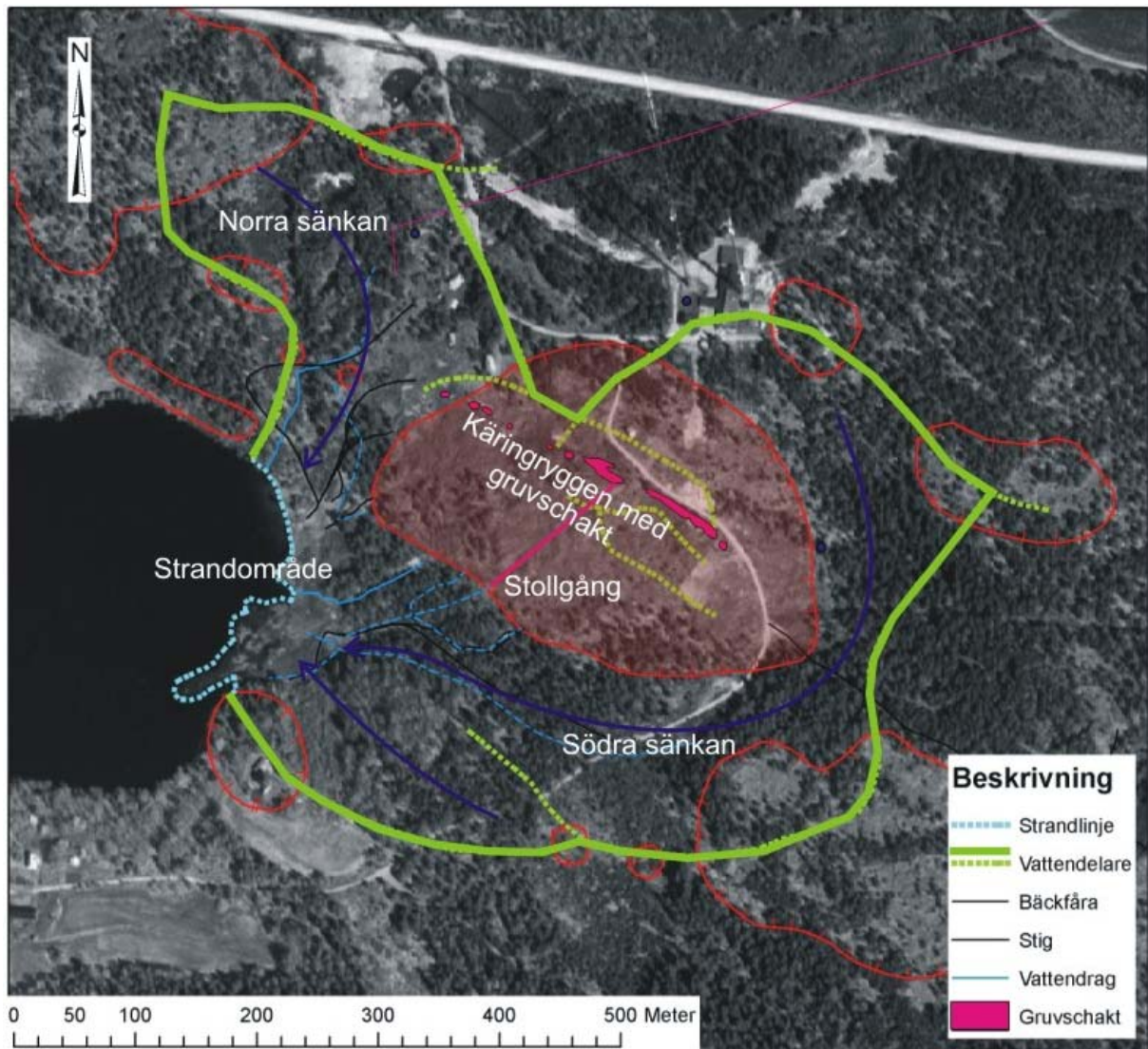
Resultatet från den hydrogeologiska karteringen har sammanställts i en hydrogeologisk karta, **Figur 5**. Kartan visar områden med berg i dagen, jordtäckta områden, grusavlagringar, våtmarker, tolkade vattendelare, brunnar och grundvattenrör samt tolkade grundvattennivåer.



Figur 5 Hydrogeologisk karta. Copyright Lantmäteriet 2000-05-08. Ur SverigeBilden™.

Området vid Gladhammars gruvor (Holländarfältet) karakteriseras av brant topografi och relativt tunna jordlager. En översiktlig bild av avrinningen visas i **Figur 6** med ytvattendelare markerade med grön linje. På höjderna med huvudsakligen kalt berg, är ytavrinningen omfattande. Avrinningen sker mot Tjursbosjön i väster som ytavrinning samt som grundvattenavrinning via två jordfyllda dalsänkor och via berggrunden. Berggrunden dräneras i huvudsak av gruvan och dess stollgång.

Två jordfyllda sänkor omsluter i princip hela Käringryggen; *Norra sänkan* samt den *Södra sänkan*, se **Figur 6**. Avrinningen från *Norra sänkan* går från ett bergområde i nordväst (Ryssgruvfältet), via ett låglänt område och ett brant avsnitt ner till Tjursbosjöns *Strandområde*. Avrinningen från den *Södra sänkan* går i en båge söder om Käringryggen ner till Tjursbosjöns *Strandområde*. Längst i söder finns en separat avrinningsgren från *Södra sänkan*. Avrinningen från Käringryggen sydväst om gruvschakten, sker till stor del genom varphögar. Materialet i dessa högar är grovt och avrinningen kan antas följa bergytan mot jordlagren vid bergets fot och därefter vidare ner mot *Strandområdet*.



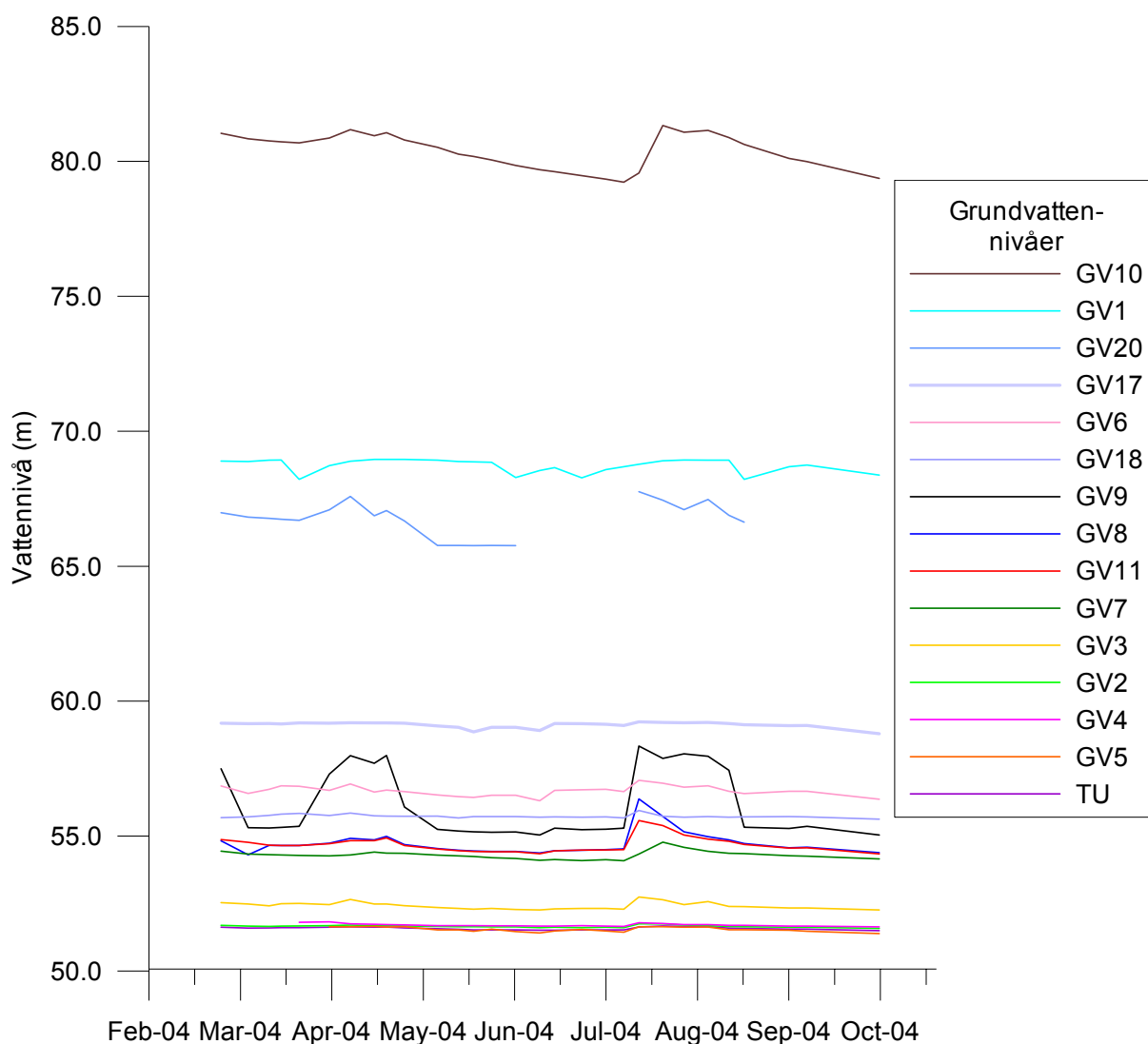
Figur 6 Avrinningsmönster. Copyright Lantmäteriet 2000-05-08. Ur SverigeBilden™.

I *Strandområdet* finns relativt mäktiga sedimentlager av varierande karaktär. Vattenförande sandiga-grusiga lager och morän förekommer, skilda åt av tätare lager med silt och lera. Här sker en betydande grundvattenbildning till i första hand de ytliga sedimenten. I samband med omfattande regn sker även ytavrinning som liksom för området i övrigt även skapat ett antal utpräglade erosionsfåror.

3.2 Grundvattennivåmätningar

3.2.1 Jord

Inom området finns totalt 25 grundvattenrör installerade. Västerviks kommun har, under perioden 2004-02 – 2004-10, utfört grundvattennivåmätningar en gång per vecka i samtliga grundvattenrör. I området mellan Tjursbosjön och Knutsschaktet har 16 grundvattenrör använts för registrering av grundvattennivån i jordlagren. Mätningarna redovisas i **Tabell 2** och **Bilaga 1**. Rörrens läge visas i **Figur 5** och uppmätta nivåer i **Figur 7**. Som förväntat återfinns de högsta grundvattennivåerna på större avstånd från Tjursbosjön medan nivåerna närmast sjön ligger nära sjöns vattenyta. Grundvattennivåer i högre liggande områden varierar beroende på årstid och nederbörd, medan nivåer närmast sjön ligger förhållandevis stabila. Variationerna i grundvattennivåerna i jord uppvisar allmänt god samstämmighet med nederbördstillfällena. Grundvattennivåerna i olika delområden kommenteras i följande text.



Figur 7 Uppmätta grundvattennivåer i GV1-11, GV17-18 och GV20 för perioden feb-okt 2004. Mät punkt TU representerar Tjursbosjöns vattenyta. Nivåerna i rör GV19 och GV20 redovisas inte.

Norra sänkan

I norra delen av undersökningsområdet finns en jordfylld sänka med en huvudsaklig sydvästlig flödesriktning ner mot Tjursbosjön. Avrinningsområdet avgränsas av bergområden och i dess övre del förekommer grusiga till sandiga avlagringar, som till stor del har brutits ut. I den centrala delen finns ett våtmarksområde som uppkommit genom dämning av hög bergnivå. Inom våtmarksområdet har det pågått uttag av sand och grus samt annan verksamhet vars syfte inte är känt. Väster om fastigheten Torsfall 3:3 finns undersökningspunkt GV10, samt något längre norrut fastighetens avloppsanläggning. Grundvattnets vilonivå i bergbrunnen på Torsfall 3:3 låg på ca +78 meter vid mätningen i februari 2004.

Grundvattennivån i GV10 har under perioden varierat mellan +79 och +81. I höjd med dämnet, vid våtmarkens södra ände, ligger grundvattennivån kring +70. Berget faller av brant mot sydväst ner mot Tjursbosjön. Jordlagren är tunna i den övre delen av sänkan och består till stor del av relativt grova sediment. Grundvattennivån i rören GV6, GV17-18 låg mellan +55,5 och +59 under perioden, jämfört med Tjursbosjöns nivå på ca +51,7, se **Figur 8**. I samband med regn steg nivåerna i grundvattenrören något. Grundvattennivåerna mellan våtmarken och området närmast Tjursbosjön styrs i huvudsak av bergytans nivå.

Södra sänkan

I södra delen av undersökningsområdet finns en sänka med relativt tunna jordlager. Sänkans avrinningsområde sträcker sig i en sydlig båge runt Käringryggen. Den branta topografin och de tunna jordlagren i övre delen av sänkan medför att grundvattennivån i jord styrs av bergytans nivå. Närmare Tjursbosjön ökar jorddjupet.

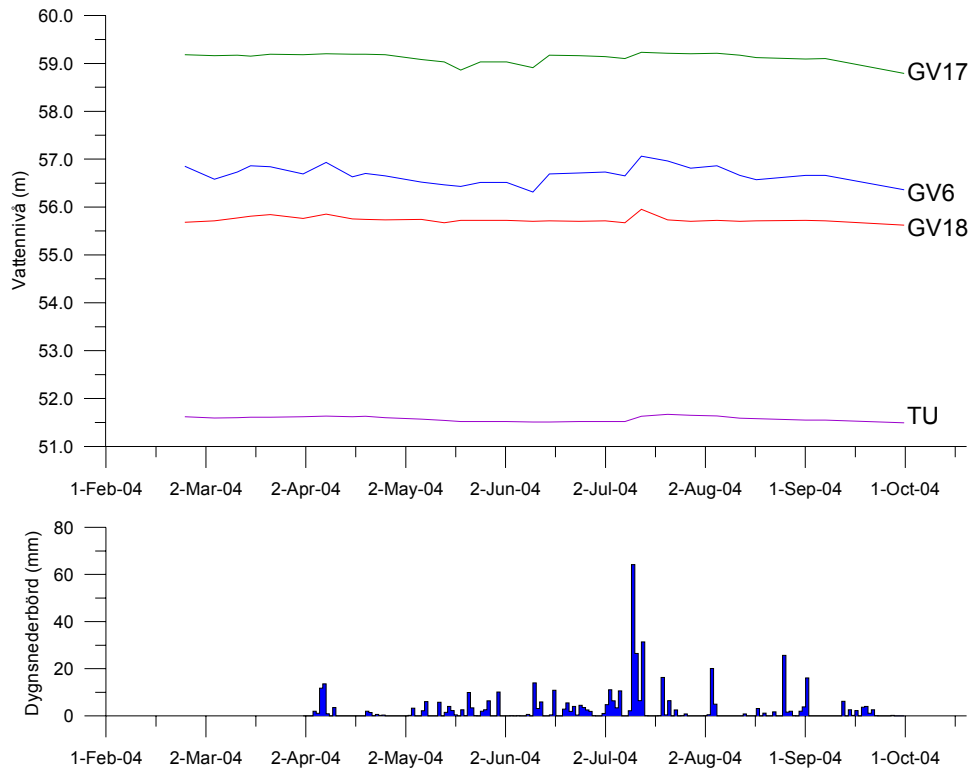
I sänkan finns tre grundvattenrör, GV1-3, där GV2-3 kan ur hydrauliskt perspektiv anses tillhöra *Strandområdet*. Nivån i GV1 styrs till stor del av bergytans nivå.

Käringryggens fot

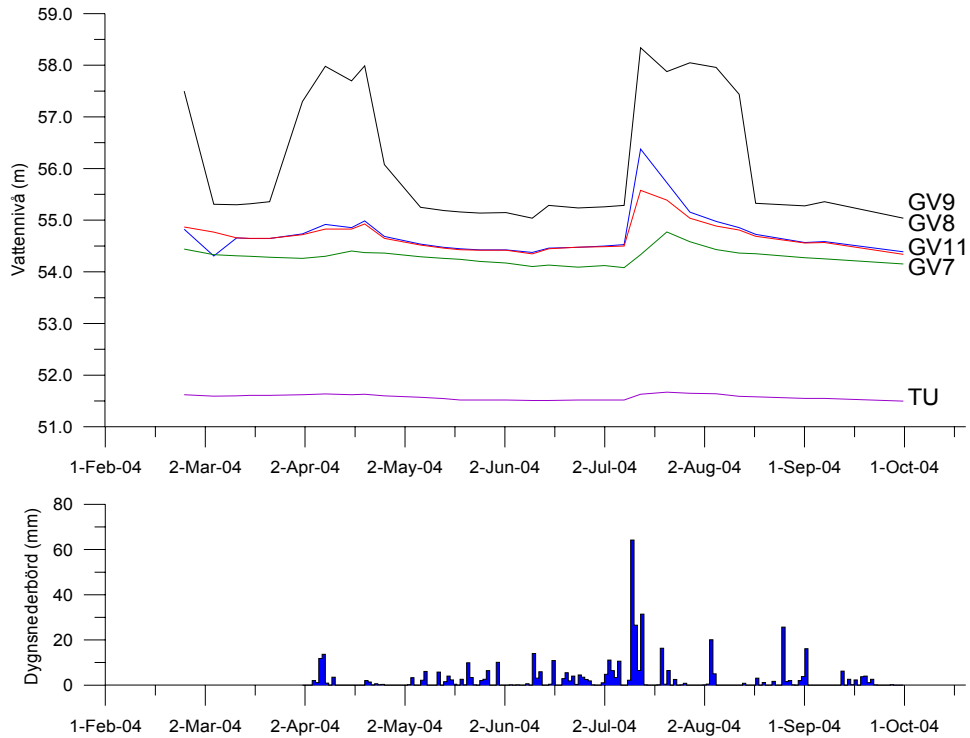
Nedanför Käringryggens fot finns relativt kraftiga sedimentavlagringar. Här sker en betydande grundvattenbildning till jord. I samband med höga flöden sker lokalt stor ytavrinning, vilken gett upphov till kraftiga erosionsfårar. Området representeras av fyra grundvattenrör; GV7-9 och GV11, **Figur 9**. Grundvattennivåerna i rören visar en tydlig påverkan av nederbörd, speciellt rör GV9.

Strandområde

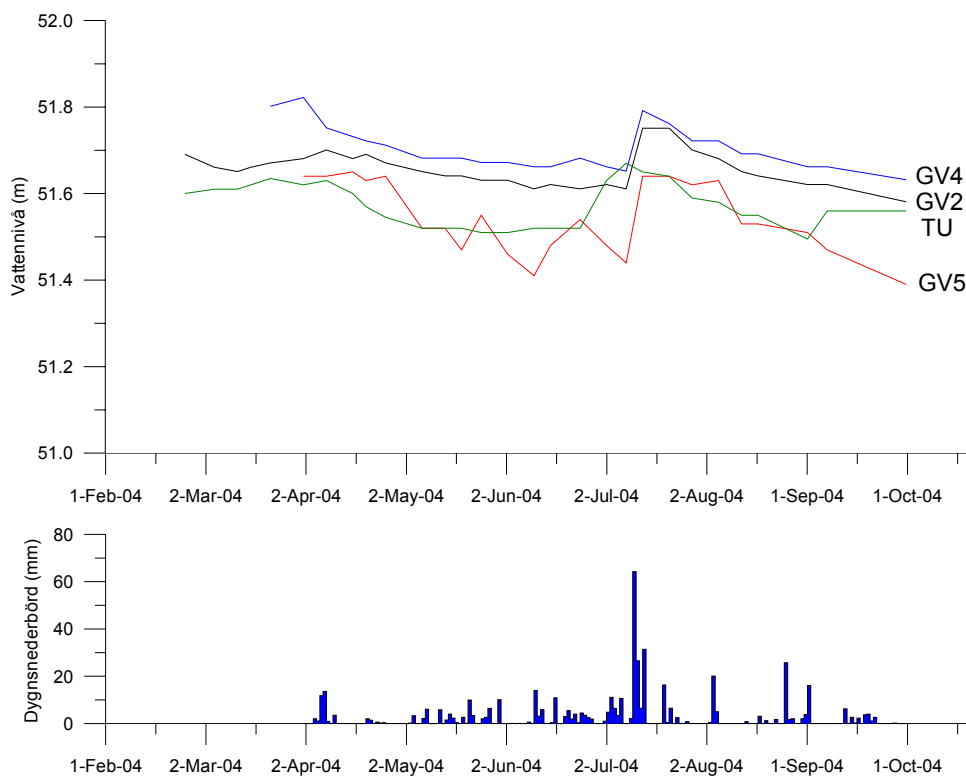
Längs Tjursbosjöns östra strandkant finns tre grundvattenrör; GV2, GV4-5, **Figur 10**. Under mätperioden har nivån i rören legat mellan +51,4 och +51,8. Anmärkningsvärt är att nivån i Tjursbosjön tidvis ligger betydligt högre än i GV5. I samband med stor nederbörd i mitten av juli låg nivån i Tjursbosjön över grundvattennivån i flera rör. Detta kan innebära ett omriktat flöde från sjön in mot strandområdet.



Figur 8 Grundvattennivåer i norra sänkan samt nederbörd



Figur 9 Grundvattennivåer vid Käringryggens fot samt nederbörd



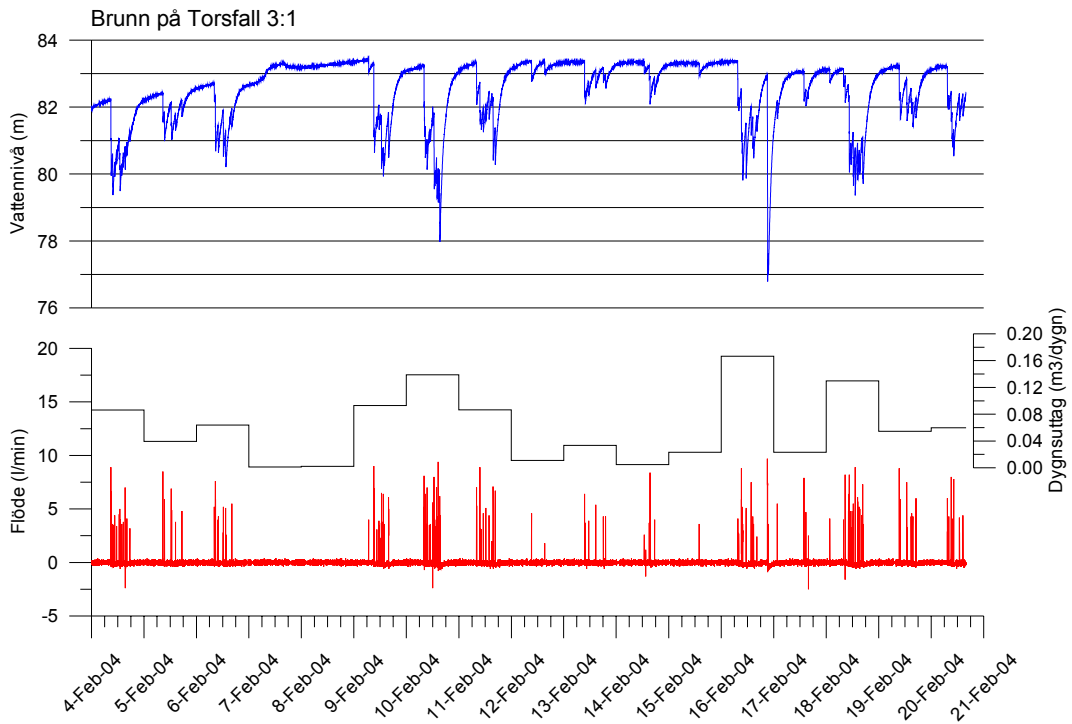
Figur 10 Grundvattennivåer vid Tjursbosjöns strandområde samt nederbörd

3.2.2 Berg

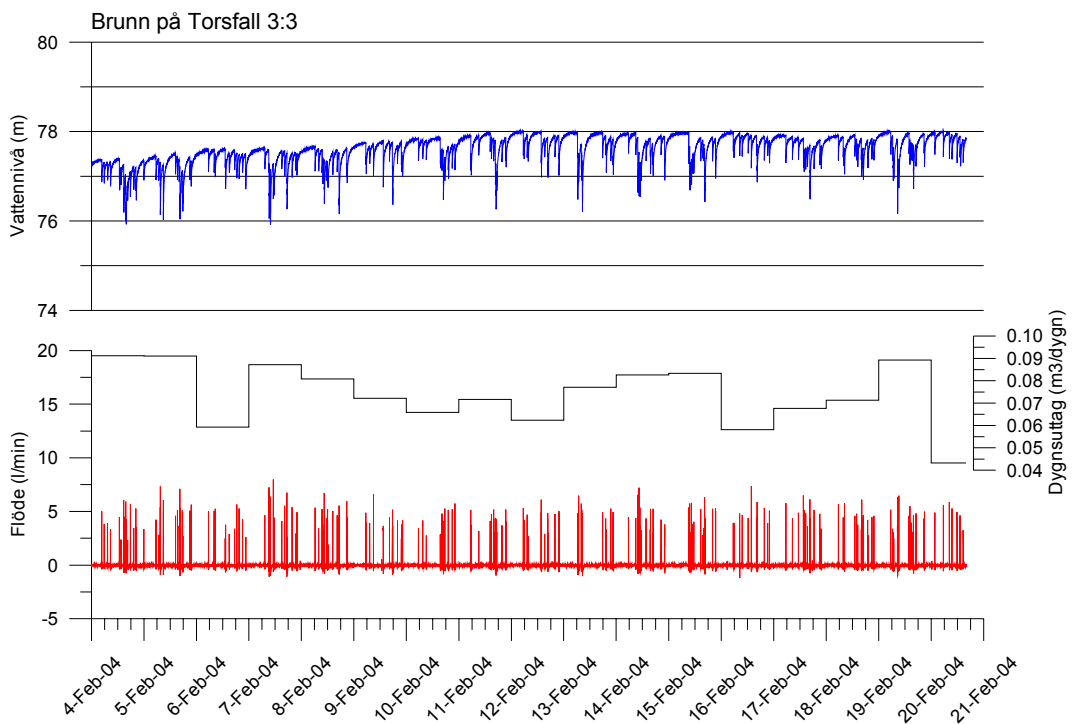
I två befintliga bergborrade brunnar har grundvattennivåer mätts med datalogger under en begränsad tid. Syftet med dessa mätningar var att studera nivåvariationer över tid beroende av vattenuttag för att därmed få en uppfattning om typiska nivåer samt underlag för att beräkna bergets vattenförande förmåga.

Registreringar i brunnen på Torsfall 3:1, **Figur 11**, visar en vilonivå på ca +83 som vid typiska uttagsmängder på 100-120 l/dygn sjunker till nivån +80. Vid större uttagsmängder sjunker nivån ytterligare.

Motsvarande registrering i brunn på Torsfall 3:3, **Figur 12**, visar en vilonivå på ca +78 som vid typiska uttagsmängder på 70-90 l/dygn sjunker 1-2 meter under vilonivån.

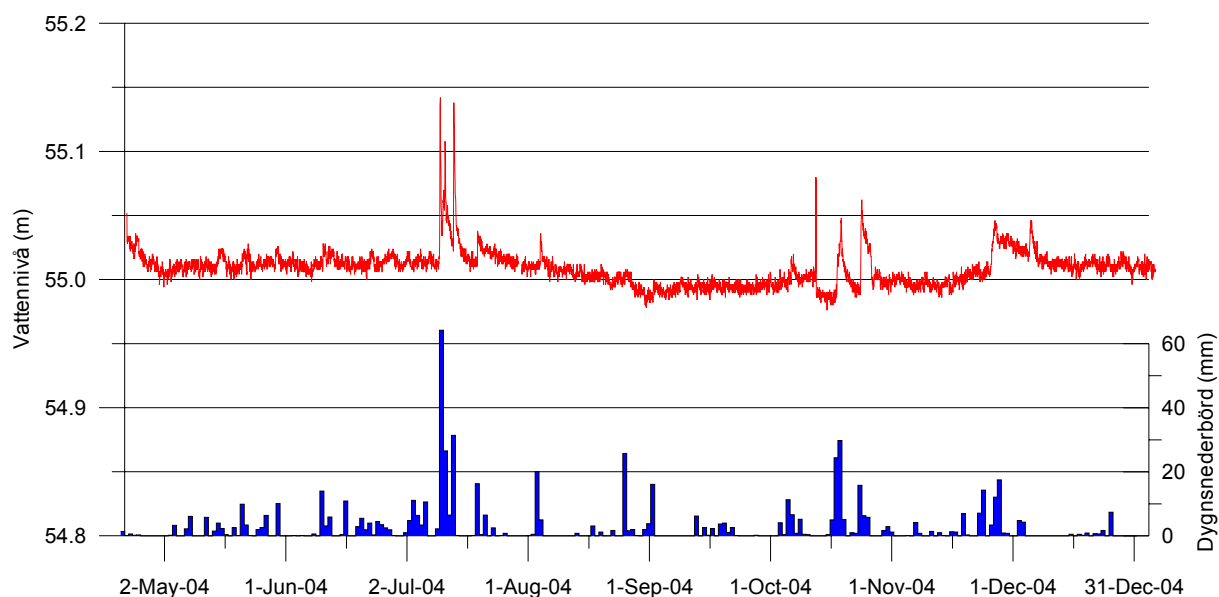


Figur 11 Borrard brunn, Torsfall 3:1. Uppmätt vattennivå och beräknat flöde och dygnsuttag.



Figur 12 Borrard brunn, Torsfall 3:3. Uppmätt vattennivå och beräknat flöde och dygnsuttag.

I Knutsschaktet har, med hjälp av logger, grundvattennivån mätts från april till december 2004. Nivån under perioden låg förhållandevis stabilt vid ca +55, med något lägre värden under de sena sommarmånaderna p.g.a. liten grundvattenbildning, **Figur 13**. I samband med nederbörd steg nivåerna, för att efter en tämligen kort tid åter sjunka undan.



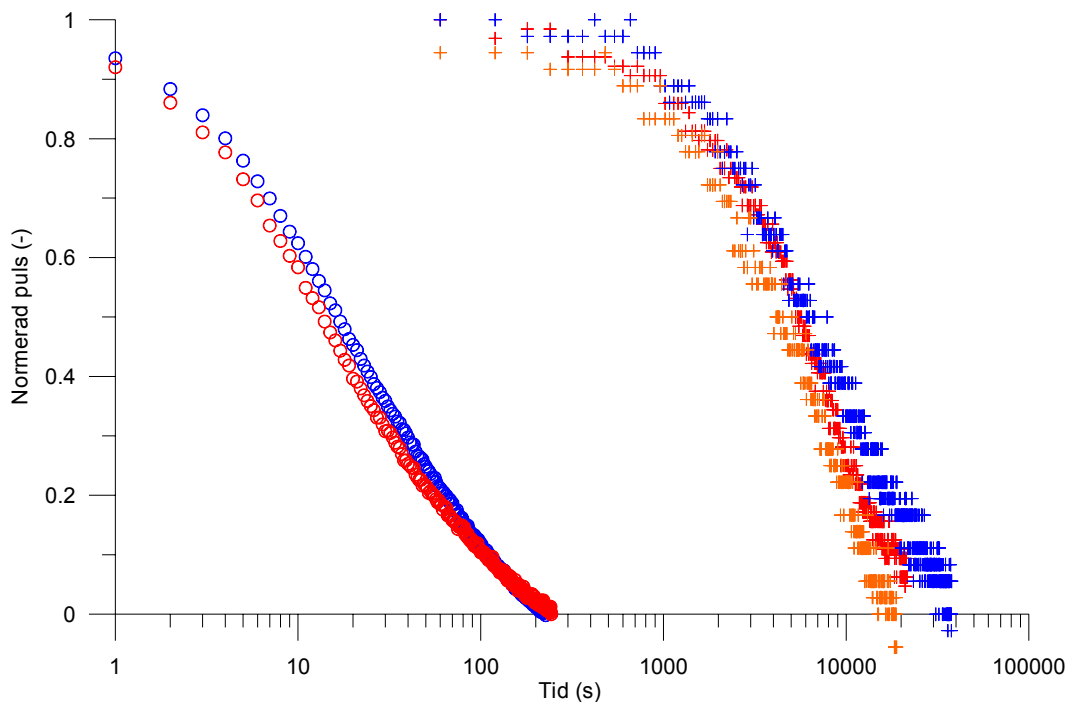
Figur 13 Vattennivåer i Knutsschaktet samt nederbördsdata.

Vattennivån i kärnbrorhålet har mätts vid ett tillfälle, den 12 oktober 2004. Vattenytan låg då ca 16,2 meter under markytan. Detta motsvarar en nivå på ca +67, vilket kan jämföras med nivån i Knutsschaktet på +55 meter.

3.3 Hydrauliska tester i berg

I de två befintliga bergborrade brunnarna på Torsfall 3:1 och Torsfall 3:3 har hydrauliska tester genomförts i syfte att klarlägga den vattenförande förmågan i det närmast omgivande berget. Beräkningar har utförts som analys av pulstest. Resultat från utvärderingen visas i **Figur 14**.

För brunnen på Torsfall 3:1 har transmissiviteten beräknats till $2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ och för brunnen på Torsfall 3:3 en transmissivitet på $2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Det är inte känt vilken eller vilka nivåer i respektive brunn som utgör dominerande vattenförande avsnitt. De båda brunnarna är borrhade till drygt 100 meter med förhållandevis låg bedömd uttagskapacitet på 300 l/h. Normalt borras inte brunnar för dricksvattenutvinning djupare än att tillräcklig kapacitet uppnås. Under förutsättning att brunnarna är borrhade för vattenutvinning är det därför troligt att de mest vattenförande partierna ligger på ett djup av ca 100 meter. Det bedöms även troligt att det rör sig om ett enskilt avsnitt i varje brunn och att beräknade transmissivitetsvärden gäller för dessa avsnitt.



Figur 14 Tre pulstester genomförda i borrarad brunn på Torsfall 3:1 (till höger), och två i borrarad brunn på Torsfall 3:3 (till vänster)

3.4 Hydrauliska tester i grundvattenrör i jord

Hydraulisk testning har utförts genom pulstester i tio grundvattenrör, installerade i olika jordlager, i syfte att bedöma och kvantifiera de hydrauliska egenskaperna i jord. Framtagna värden har använts vid beräkning av vattenomsättningen i jordlagren.

Pulstester i grundvattenrören (filterbrunnarna) är genomförda som bailtester. Detta innebär att ett momentanuttag av vatten gjorts vilket resulterar i avsänkt nivå. Efterföljande återhämtning av vattennivå har registrerats och förloppet analyserats. Avgörande för återhämtningsförloppets karaktär och längd är den flödesregim som brunnens filter är installerad i, samt permeabiliteten för omgivande jordlager.

Filterbrunnar som är testade och analyserade är redovisade i **Tabell 2**.

Tabell 2 Filterbrunnar i vilka bailtester är genomförda och grundvattennivåer mätta.

| Filterbrunn | Bailtest | | Jordart | Grundvattennivåer, feb-okt 2004 | | |
|-------------|--------------------|----------------|---------------------|---------------------------------|-------------|-------------|
| | T | Anmärkning | | Amplitud (m) | Max (m.ö.h) | Min (m.ö.h) |
| GV1 | | Ej utförd | Sandig morän | 0,74 | +68,96 | +68,22 |
| GV2 | - | Ej analyserbar | Torv | 0,17 | +51,75 | +51,58 |
| GV3 | 9×10^{-5} | | Finsand | 0,48 | +52,74 | +52,26 |
| GV4 | 2×10^{-4} | | Sand | 0,19 | +51,82 | +51,63 |
| GV5 | 2×10^{-4} | | Sand/lera | 0,26 | +51,65 | +51,39 |
| GV6 | 4×10^{-6} | | Sandig morän | 0,75 | +57,06 | +56,31 |
| GV7 | | Ej utförd | Sand/lera | 0,69 | +54,77 | +54,08 |
| GV8 | - | Ej analyserbar | Grovt material | 2,07 | +56,38 | +54,31 |
| GV9 | | Ej utförd | Grov morän | 3,30 | +58,34 | +55,04 |
| GV10 | | Ej utförd | Sandig morän | 2,10 | +81,33 | +79,23 |
| GV11 | 1×10^{-4} | | Grovt material | 1,24 | +55,58 | +54,34 |
| GV14 | 3×10^{-4} | | Sandig/grusig morän | 0,46 | +61,64 | +61,18 |
| GV17 | 2×10^{-5} | | Sandig/grusig morän | 0,44 | +58,17 | +57,73 |
| GV18 | - | Ej analyserbar | Sand | 0,33 | +55,37 | +55,04 |
| GV20 | | Ej utförd | Sand | 2,00 | +66,99 | +64,99 |

Från resultat av sonderingar och hydraultester kan lager av olika materialsammansättning identifieras. Jordprofilen bedöms generellt vara uppbyggd av sand, lera och morän, ovanpå berget. Måktigheten för de olika lagren varierar. Det är troligt att stor del av grundvattenflödet i jordlagren sker ganska ytligt i sand, ovanpå leran. Transmissivitet för sandlagret är från **Tabell 2** beräknad till $2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ och för moränen till $4 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

3.5 Flödesmätning i stollgång

Manuella flödesmätningar har utförts en gång i månaden av Västerviks kommun under perioden februari till oktober 2004. Under perioden 21 april 2004 – 7 januari 2005 har mätning utförts via mätöverfall och datoriserad utrustning med registrering var 10:e minut. Syftet med de tätare mätningarna var främst att insamla data som återspeglar ökad avrinning i samband med regn.

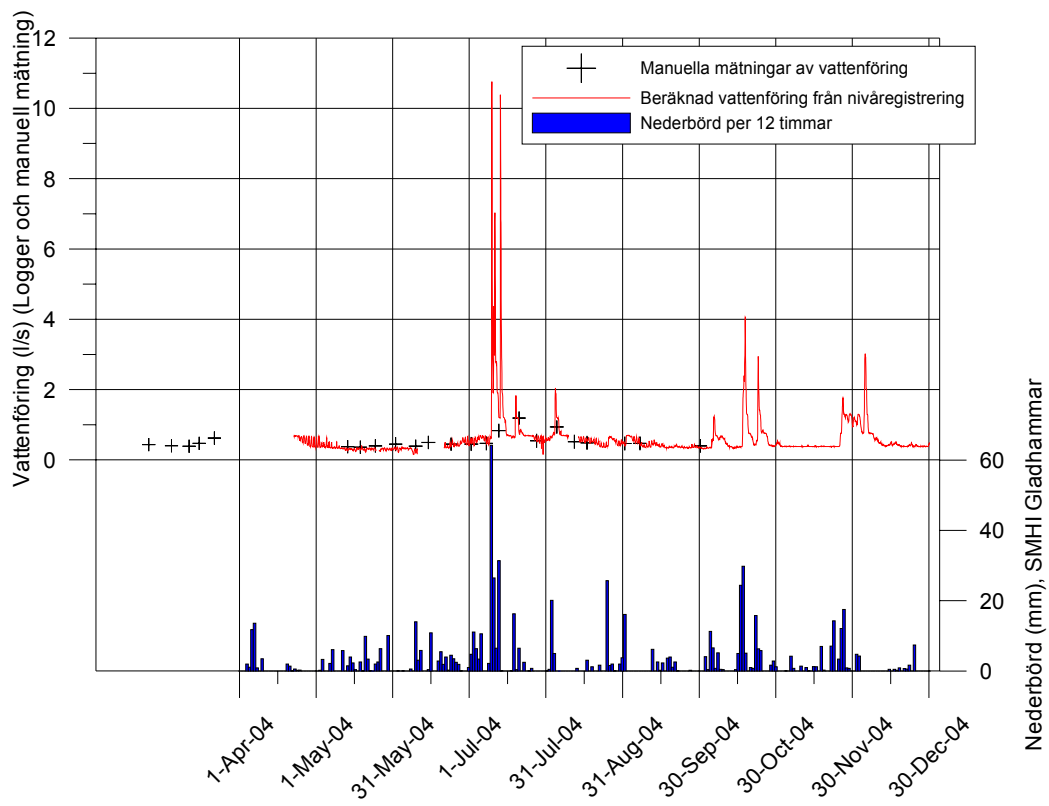
Mätutrustningen består av ett V-format mätöverfall av rostfri plåt som fästs i en gjuten konstruktion. Botten har tätats för att förhindra läckage under konstruktionen, se **Figur 15** nedan. Flödet har beräknats från vattennivån i mätöverfallet. Nivån har mätts med tryckgivare ansluten till mätlogger med GSM-överföring av mätdata. För kontroll har manuell mätning för huvuddelen av tiden utförts ca fyra gånger per månad (**Figur 16**).

Mätningarna påvisar att flödet i stollgången ökar kraftigt i samband med nederbörd. Tiden mellan nederbördsmaxima och flödesmaxima är kortare än sex timmar och innebär ett nära förhållande mellan regn och flöde utan fördröjande magasin. Under en period av sex dygn i början av juli 2004, föll 140 mm nederbörd vilket resulterade i ett kraftigt ökat flöde under period samt i ytterligare fem dygn.

Resultatet från flödesmätningarna har använts vid beräkning av vattenbalansen för gruvan och omgivande berg, se vidare **kapitel 5**.



Figur 15 V-format mätöverfall för flöde, installerat i stollgångens utlopp.



Figur 16 Vattenföringsmätningar i stollgången, tillsammans med dygnsnederbörd.

4 Vattenbalansberäkningar

För att klarlägga hur vattenomsättning i gruvområdet sker, har mätningar och beräkningar av olika vattenflöden gjorts. Vattenbalansberäkningarna avsåg primärt att kvantifiera ytvattenavrinningen i området, grundvattenflödet i jord, inflödet av berggrundvatten i gruvan samt inflödet av ytvatten i gruvan. Med utgångspunkt från dessa mätningar har en kemisk massbalans upprättats, vilken redovisas i huvuddokumentet (Projekt Gladhammars gruvor, delrapport 2004:01 – Sammanfattande huvudstudie).

4.1 Jord

Avrinningsområdet för jordlagren från gruvschakten längs bergslutningen ned mot Tjursbosjön är i **Figur 17** avgränsat med grön streckad linje, och utgör ett område av 250 000 m². Nederbörden över detta område fördelar sig mellan vatten som avdunstar och vatten som bildar yt- eller grundvatten. Yt- och grundvattenavrinningen från en kvadratmeter brukar benämnas 'specifik avrinning', och för området, som omfattas av kartblad 6G NO, har SMHI beräknat en specifik avrinning av 152 mm/år.

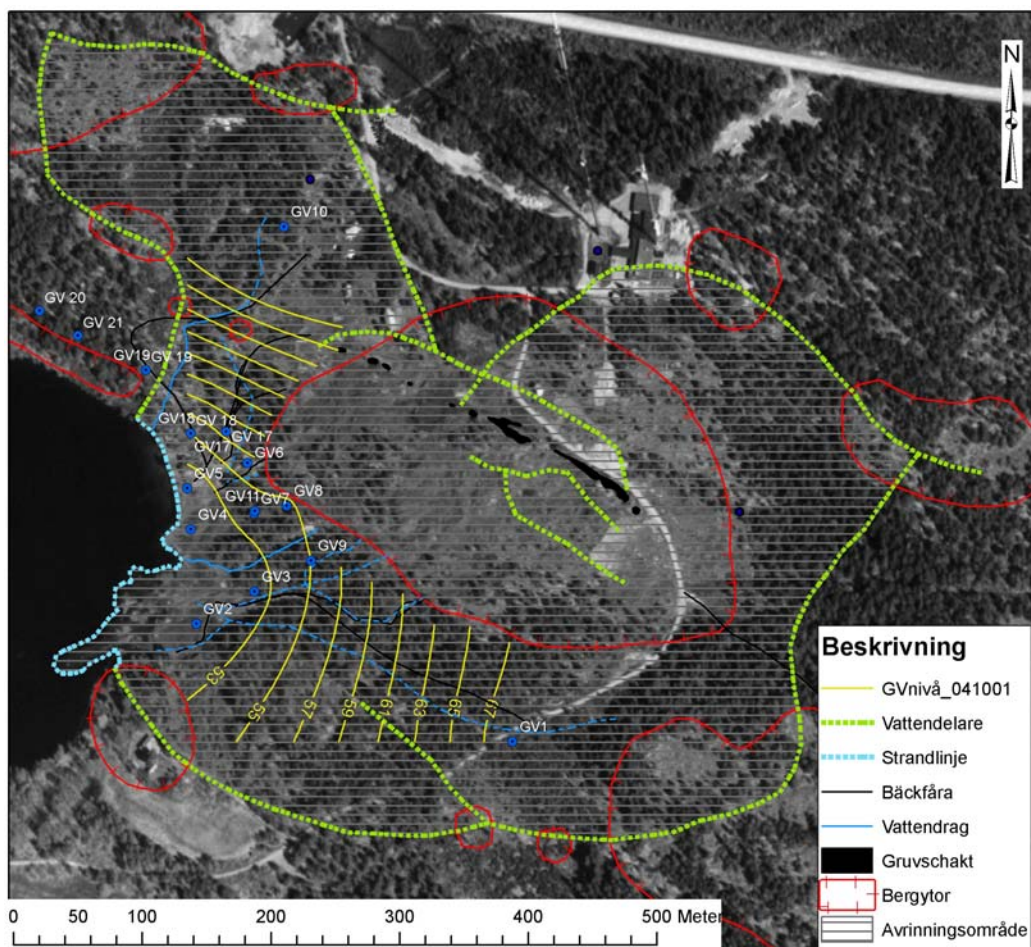
På höjderna sker avrinningen i huvudsak som ytavrinning (inom ca 53 000 m²). Här är avdunstningen mindre på grund av kortare uppehållstid för vattnet och avsaknad av växtlighet. En bedömning är att denna ytavrinning motsvarar ca 400 mm/år. Resulterande avrinning från höjdområdet uppgår därmed till ca 21 000 m³/år.

Strandområdet utgör en yta om ca 13 000 m² med en bedömd specifik avrinning av 152 mm/år. Detta motsvarar ett sammanlagt tillskott på ca 2 000 m³/år.

Vid sidan av höjd- och strandområdet omfattar avrinningsområdet ca 186 000 m². Från området, som är täckt av jord och delvis av växtlighet, bedöms en avrinning av 152 mm/år ske, vilket motsvarar 28 000 m³/år.

De mer höglänta delarna av avrinningsområdet utgör även inströmningsområde för grundvatten till berget, vilket inom hela avrinningsområdet omfattar ca 3 000 m³/år (se vidare avsnitt 5.2).

Sammanlagd avrinning till strandområdet, via jordlagren eller som ytavrinning, uppgår till ca 46 000 m³/år. Detta, tillsammans med grundvattenbildning inom strandområdet (2 000 m³/år), innebär att ca 48 000 m³/år avrinner till Tjursbosjön vid sidan av flödet från stollgången.



Figur 17 Avrinningsområde, vattendelare och bedömda grundvattennivåer vid gruvområdet.
Copyright Lantmäteriet 2000-05-08. Ur SverigeBilden™.

Från strandområdet nedanför Holländarefältet når avrinnande vatten Tjursbosjön över en strandlinje av ca 300 meter. Detta flöde fördelar sig mellan den underliggande moränen, ytligare sandigare lager och ytavrinning.

Ett bedömt medeljorddjup för moränen vid strandlinjen är 3-4 meter med en hydraulisk gradient för morängrundvattnet på ca 6 procent (från GV11 till Tjursbosjön). Moränens vattengenomsläpplighet vid hydrauliska tester är bestämd till $4 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, vilket sammanlagt motsvarar en beräknad flödeskapacitet på ca $2\,300 \text{ m}^3/\text{år}$.

Transmissivitetsbestämningar från det sandigare jordlagret har gett femtio gånger högre värden ($2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$) än de från moränen. Det är samtidigt troligt att dessa värden motsvarar de djupare delarna av lagret och högre värden kan förväntas nära markytan. Kapacitetsberäkningar för sanden med en hydraulisk gradient på ca 4,5 procent (från GV3 till Tjursbosjön) ger vid hand att denna betydligt överstiger beräknad avrinning.

Även om den beräknade flödeskapaciteten i jordlagren är större än avrinningen på årsbasis, visar erfarenheter från fältobservationer att ytavrinning förekommer. Detta sker främst i samband med större nederbördstillfällen vilka omfattar förhållandevis stor andel av årsnederbörden. Ytavrinningen inom strandområdet bedöms vara ca 15 procent av avrinningen, eller $7\,000 \text{ m}^3/\text{år}$.

Flödet i moränen bedöms vara förhållandevis stabilt under året och uppskattas till ca $2\,000 \text{ m}^3/\text{år}$. Till detta flöde kan ytterligare vatten tillföras från utströmmande berggrundvatten, men för strandområdet uppskattas detta till mindre än $300 \text{ m}^3/\text{år}$. Detta innebär att huvuddelen av avrinningen sker genom

ovanliggande jordlager och då främst i de ytligare delarna. En rimlig bedömning är att 80 procent av flödet sker i den övre hälften (31 000 m³/år) och 20 procent i den nedre hälften (7 700 m³/år). Ovanstående resultat är sammanfattade i **Tabell 3** nedan.

Tabell 3 Bedömd avrinningsfördelning inom strandområde, årsmedelvärden.

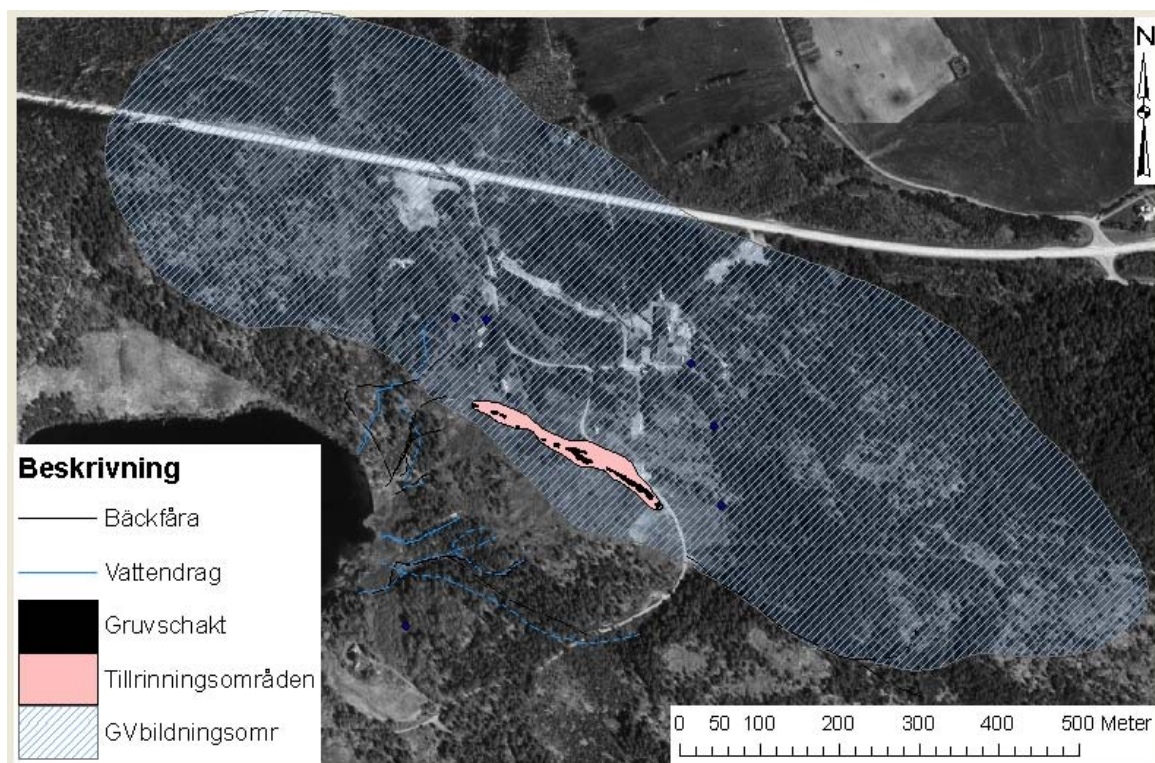
| Flödesavsnitt | Andel av avrinningen | Avrinningsmängd |
|-------------------------------------|----------------------|--|
| Ytavrinning | 15 % | 7 000 m ³ /år |
| Ytlig grundvattenavrinning i sand | 65 % | 31 000 m ³ /år |
| Djupare grundvattenavrinning i sand | 16 % | 2 300 m ³ /år |
| Grundvattenavrinning i morän | 4 % | 2 000 m ³ /år (+ ev. utströmning från berg) |
| Sammanlagd avrinning | 100 % | 48 000 m³/år |

4.2 Berg / gruva

Regionalt i området gäller att huvuddelen av sprickorna i berget är vertikala eller subvertikala i nordväst-sydostlig riktning. Denna riktning är parallell med den övergripande bergspänningsriktningen (Ask *et al.*, 2001), vilket kan innebära att sprickorna är öppna och därmed vattenförande. Resonemanget bekräftas av Rhén *et al.* (1997) som undersökt vattengenomsläppligheten i Smålandsgranit norr om Oskarshamn, med resultatet att genomsläppligheten är upp emot hundra gånger större i nordväst-sydostlig riktning jämfört med vinkelrätt denna.

Stollgångens dränering av gruvan innebär att gruvans vattennivå är avsänkt jämfört med omgivningen. Denna avsänkning minskar med avståndet från gruvan och störst gradient bedöms ligga i nordost-sydvästlig riktning. Resultatet blir en ellipsformad avsänkningstratt med utsträckning i nordväst-sydostlig riktning.

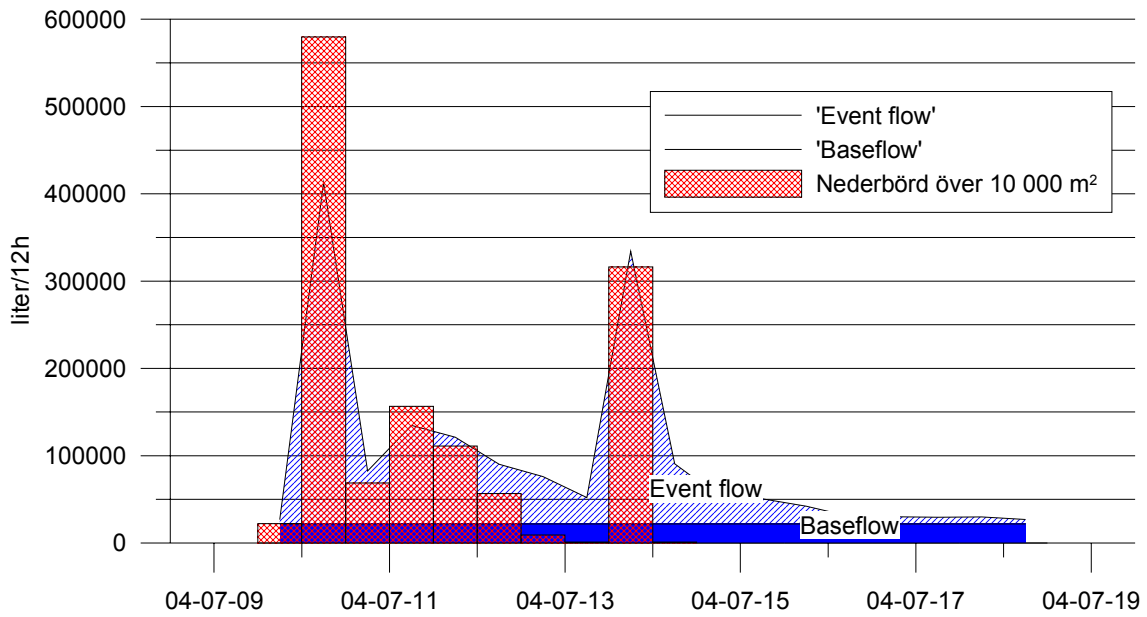
Från flödesmätningar i stollgången har ett basflöde (*baseflow*) identifierats och kvantifierats. Detta flöde uppgår till ca 1 400 l/h. Under avsänkta förhållanden bedöms grundvattenbildningen i berg inom det avsänkta området uppgå till ca 25 mm/år, vilket innebär ett grundvattenbildningsområde för berg på ca 490 000 m², avgränsat i **Figur 18** nedan.



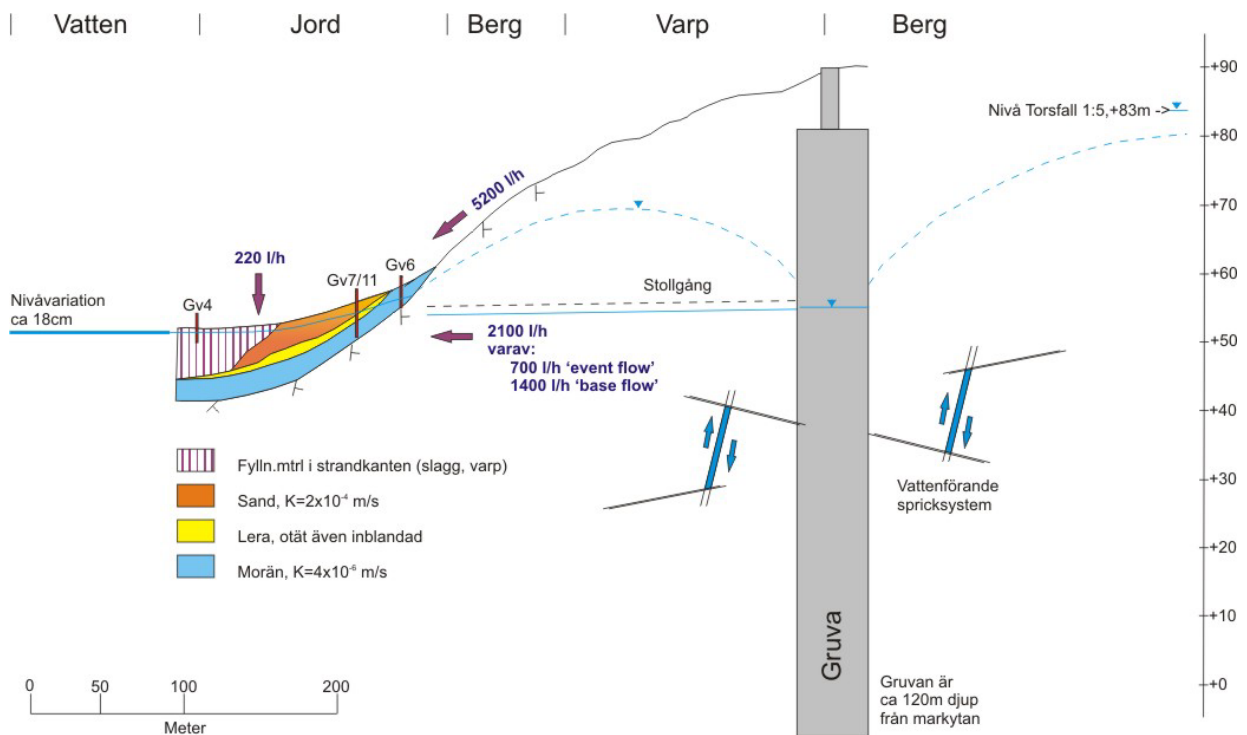
Figur 18 Område för grundvattenbildning i berg och tillrinningsområde för ytavrinning till schakten. Copyright Lantmäteriet 2000-05-08. Ur SverigeBilden™.

I samband med nederbördstillfällena sker en kraftig men kortvarig ökning av vattenföringen i stollgången (**Figur 16**). Förloppet kan förklaras av nederbörd direkt över schaktöppningar samt ytavrinning på berget mot schaktöppningarna. Avsaknad av egentliga jordlager omkring schakten innebär att uppehållstiden för tillrinnande vatten är mycket kort. Vid ett tillfälle den 9 juli 2004 med 57 mm regn under 12 timmar, steg vattennivån i gruvan med 112 mm och vattenföringen i stollgången från 2 200 l/h till 34 400 l/h (**Figur 19**). Detta volymtillskott till gruvan motsvarar nederbörden över 560 m² vilket kan motsvara ytan på de öppna schakten. Från massbalansberäkningar över följande niodagarsperiod med nederbörd och avbördning via stollgången har beräknats en sammanlagd tillrinningsyta, inklusive schakten, på ca 10 000 m².

Över en längre period (april-december 2004) är proportionerna i stollgången mellan *baseflow* (från grundvattenbildning via bergets spricksystem) och *event flow* (från nederbördstillfällena via schakten) ca 2:1 (**Figur 20**).



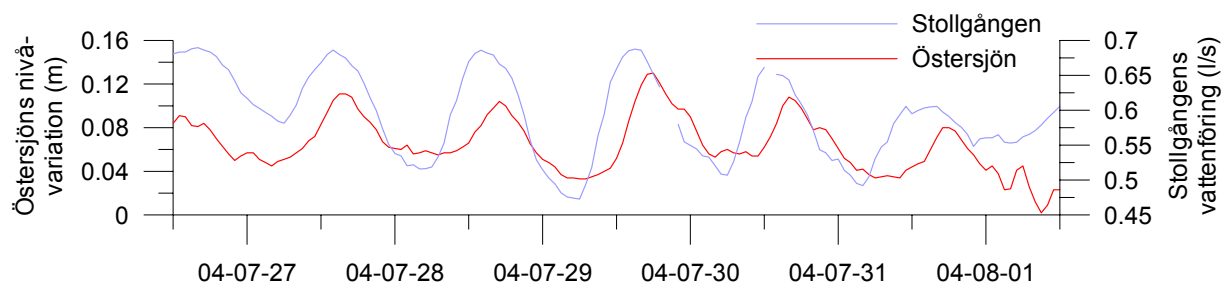
Figur 19 Beräkning av flödesproportioner i stollgången vid ett nederbördstillfälle i juli 2004



Figur 20 Konceptuell beskrivning av flödesvägarna och flödesmängder som når Tjursbosjöns vattensystem från Holländarfältet. 220 l/h motsvarar grundvattenbildning över strandområdet och 5200 l/h motsvarar ytavrinning och avrinning i jord från uppströms strandområdet. Den geologiska redovisningen är schematisk.

4.3 Tidvatteneffekter

Från registrering av flöde i stollgången från Gladhammars gruvor identifierades en dygnsvariation. Variationen gick inte att härleda till variation i luft-/vattentemperatur eller lufttryck, vilket kunde indikerat felmätning. Effekten kunde däremot härledas till tidvatten, den variation som t.ex. månens dragningskraft utövar på jorden.



Figur 21 Samvariation mellan stollgångens flöde och Östersjöns vattennivå.

Orsaken till tidvatteneffektens genomslag i stollgångens vattenföring är redogjort för i **Bilaga 4**.

5 Hydrogeologisk matematisk modell/bedömning av åtgärdsförslag

I avseende att beräkna vattenomsättningen i berget och gruvan, samt för att utgöra underlag för bedömning av åtgärder, är bergets och gruvans hydrogeologi matematiskt modellerad. Modellen är uppbyggd som en sektion vinkelrät gruvans utbredning i nordväst-sydost. Sektionens geometri och egenskaper är valda så att god representation fås för hela grundvattenbildningsområdet för berg. Därmed anses beräkningar genomförda för sektionen kunna överföras till hela området.

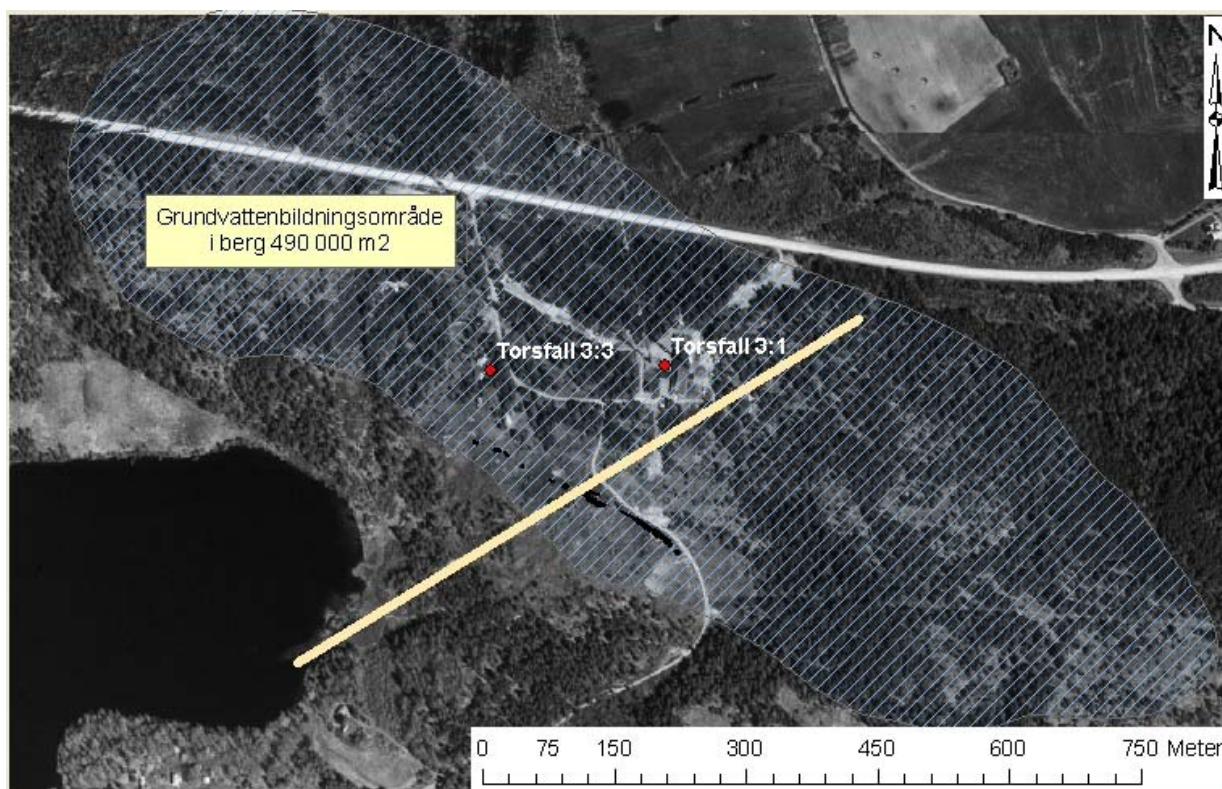
5.1 Förutsättningar

Modelleringsunderlaget utgörs av resultat från genomförda mätningar och utredningar redovisade i tidigare kapitel. Detta underlag är begränsat varför det har varit tvunget att göra generaliseringar och i några fall bedömningar avseende t.ex. bergets egenskaper.

I **kapitel 5** är beräknat och sammanställt fördelningen av vattenflöden till och från Holländarfältet. Huvuddelen av flödet till gruvan sker enligt denna sammanställning från omgivande berg, och det enda kända frånflödet sker via den s.k. stollgången, vars dräneringsnivå också anses vara bestämmande för vattennivån i gruvan.

Ovanstående beräkningar och flödesmätningar i stollgången har redovisat ett basflöde från gruvan på 1 400 l/h. Detta flöde är tämligen stabilt och bedöms motsvara tillflödet till gruvan under stationära förhållanden. Ökat flöde inträffar i samband med nederbördstillfällena, men är då orsakat av i första hand direkt tillrinning av ytvatten till gruvan via schakten.

Med en bedömd grundvattenbildning av 25 mm/år till berget (under avsänkta förhållanden) motsvarar 1 400 l/h ett grundvattenbildningsområde på 490 000 m². Detta område är avgränsat i **Figur 22** och består i sin centrala del av den s.k. Karingryggen och utgörs av kala berghällar, delvis med högar av varp och slagg. Ryggen omges i ytterkanterna av områden med tunna jordtäcken på berg. I strandnära områden har jordlagren större mäktighet.



Figur 22 Översiktbild över gruvområdet med linjedragning för läget för modellsektionen. Streckat område utgör bedömt grundvattenbildningsområde för berget/gruvan. Copyright Lantmäteriet 2000-05-08. Ur SverigeBilden™.






Ungefär 170 meter från schakten ligger en bergbrunn på fastigheten Torsfall 3:1, associerad till Teracom's master (**Figur 11**). Denna brunn är 106 meter djup med en grundvattennivå i vila på nivån ca +83. På fastigheten Torsfall 3:3 finns en 108 meter djup bergbrunn, ca 110 meter nordost om schakten, med en grundvattennivå i vila på nivån ca +78 (**Figur 12**).

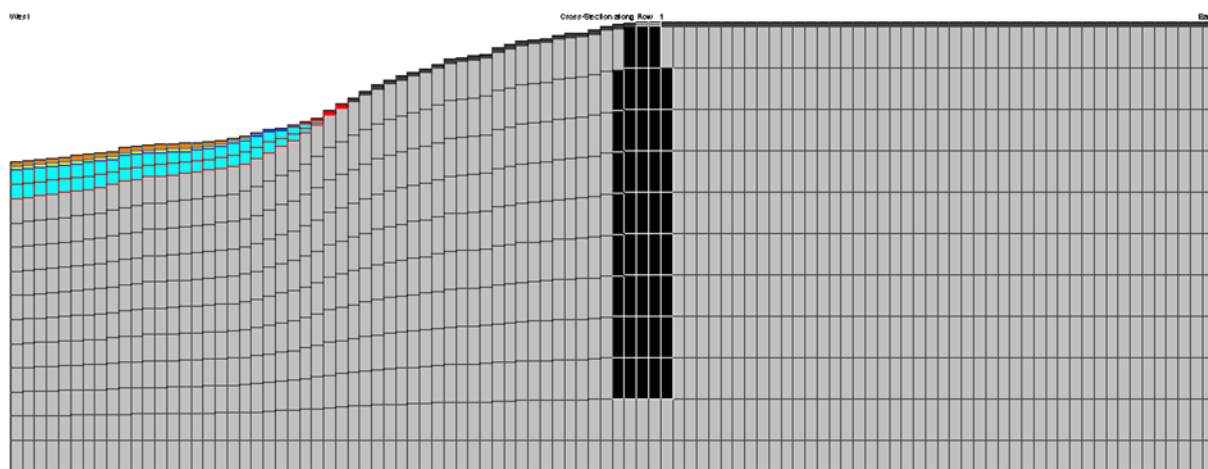
5.2 Modellgeometri och egenskaper

Modelleringen är genomförd som en 750 meter lång och en meter bred sektion, parallell med stollgången. Sektionens högsta marknivå är +90, och en nedre avgränsning är satt vid nivå -40. Gruvans djup är uppskattad till 120 meter räknat från schaktens marknivå (+90). Modellen består av 100 lika breda kolumner i femton lager av varierande mäktighet. Modellvolymen utgörs i huvudsak av berg. Jordlagren inom strandområdet i sydväst är representerade i de översta fyra lagren. Längre i nordost representeras även de övre lagren av berg.

Egenskaper i sektionen bedöms representera de typiska för omgivande tillrinningsområde. Det naturliga berget är sprickigt med flöde enbart i vattenförande strukturer (sprickor och zoner). Utan kunskap om lägen för dessa strukturer är berget modellerat som ett homogent kontinuum. Gruvans volym är ansatt med en hög konduktivitet för att skilja den från berget i övrigt.

Tabell 4 Hydraulisk konduktivitet fördelat på jordarter och berg. Fäلتfärgerna hänvisar till **Figur 23**.

| Material | Hydr. kond. (m/s) | Materialfärg |
|----------|-------------------|---|
| Sand | 10^{-5} |  |
| Lera | 10^{-9} |  |
| Morän | 10^{-6} |  |
| Berg | 10^{-8} |  |
| Gruva | 0,1 |  |



Figur 23 Modellgeometri med fördelning av hydraulisk konduktivitet enligt **Tabell 4**. Observera att höjdskalet är överdriven två gånger jämfört med längdskalet.

5.3 Randvillkor

Den numeriska lösningen av differentialekvationerna kräver randvillkor som styr beräkningarna till en lösning. Dessa randvillkor är valda med resultat från utförda undersökningar som underlag.

- Ansatt grundvattenbildning till jordlagren är 152 mm/år ($4,8 \times 10^{-9}$ m/s).
- Ansatt grundvattenbildning till berg är 25 mm/år ($7,92 \times 10^{-10}$ m/s).
- Stollgångens dräneringsnivå (i modellen ansatt till +55) är i modellen satt som ett randvillkor med dränerande nivå med/utan inströmningsmotstånd.
- Tjursbosjöns vattennivå är satt till +51,4 som en bestämmande trycknivå.
- I nordväst (höger) sluttar topografin och i modellens avgränsning är ansatt en bestämmande trycknivå under markyta på +80.

5.4 Kalibrering

Kalibrering av modellen gjordes genom ändring av hydraulisk konduktivitet för berget och grundvattenbildning till berget. I första hand kalibrerades modellen mot registrerade grundvattennivåer i närbelägna brunnar. Överensstämmelse åstadkoms mellan beräknade grundvattennivåer och registrerade nivåer, och grundvattendelare erhöles som avgränsar tillrinningsområdet till gruvan. Tillrinningsområdet beräknades för modellsektionen vara 422 m². I överföringen av modellresultatet från sektionen till hela

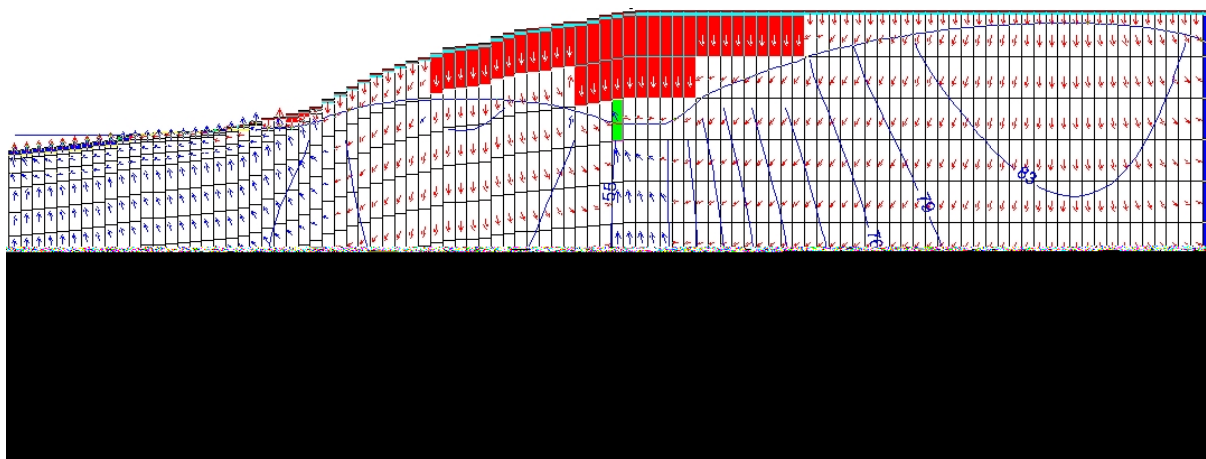
grundvattenbildningsområdet, motsvarar denna tillrinningsyta knappt 1 promille av det totala grundvattenbildningsområdet för berg (490 000 m²). Denna proportionalitet skall gälla även för beräknad flödesmängd i stollgången. Kalibreringsmålet för flödet i sektionen var därför 1,2 l/h. Grundvattenbildningen till berg kalibrerades för detta flöde i syfte att uppnå överensstämmelse mellan beräknat flöde och registrerat flödet i stollgången.

Kalibreringsobjekt i modellen: Grundvattennivå i brunn på Torsfall 3:1
Grundvattennivå i brunn på Torsfall 3:3
Stollgångens flöde

Grundvattenbildning och hydraulisk konduktivitet för jordlagren är inte ändrade från antagna värden.

5.5 Resultat

Vattenomsättningen i modellsektionen är beräknad till 27 m³/år, och innefattar förutom omsättningen i gruvan även vattenomsättningen i jordlagren i sydväst. Massbalans mellan tillfört och avlett vatten och erhöles med mindre än 0,2 procent fel, eller 42 l/år. Resulterande tryckbild med strömningsriktningar är presenterad i **Figur 24**.



Figur 24 Modelleringsresultat av aktuell situation med dräneringsnivå för stollgången på +55. Röda flödespilar anger nedåtriktat flöde och blå uppåtriktat. Isolinjer är presenterade för resulterande trycknivåer och grundvattennivån är representerad av en blå linje. Röda fält innebär resulterande torra celler, blå fält motsvarar randvillkor med bestämd trycknivå och grönt fält randvillkor för dränerande nivå utan inströmningsmotstånd. Observera att höjdskalen är överdriven två gånger jämfört med längdskalan.

Tryckförhållanden i lägena för brunnarna på Torsfall 3:1 och Torsfall 3:3 är inte hydrostatiska. Detta skulle i teorin innebära ett vertikalt flöde från högre tryck i borrhålets övre del, ned till lägre tryck i borrhålets nedre del. Det är osäkert vilket avsnitt i brunnarna som är avgörande för grundvattenytans läge i borrhålen. Framkalibrerad trycknivå av +83,1 för Torsfall 3:1 och +77,0 för Torsfall 3:3, är i modellen framtagen från en höjdnivå av +80.

Resulterande flöde i stollgången, beräknat för hela tillrinningsområdet på 490 000 m², blev 0,388 l/s, eller 1396 l/h.

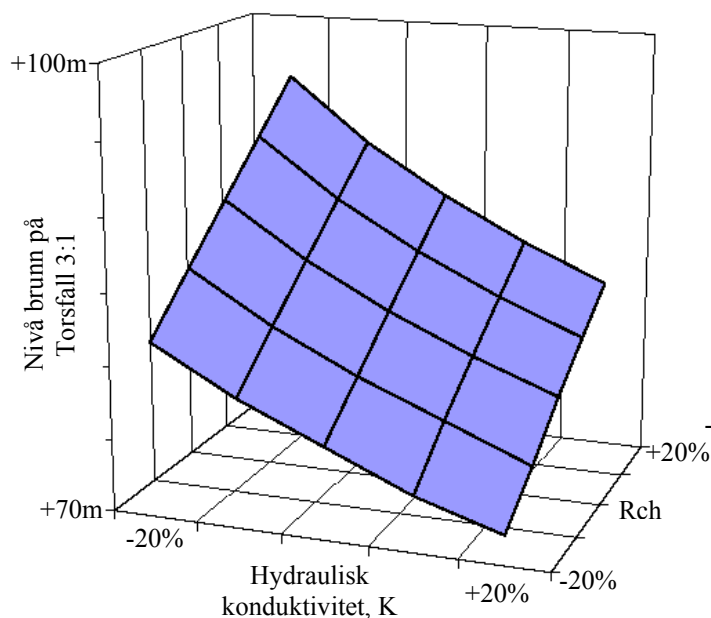
Framkalibrerad konduktivitet för berget blev $8,87 \times 10^{-9}$ m/s, och grundvattenbildningen till berget blev 28 mm/år ($8,89 \times 10^{-10}$ m/s).

5.6 Känslighetsanalys

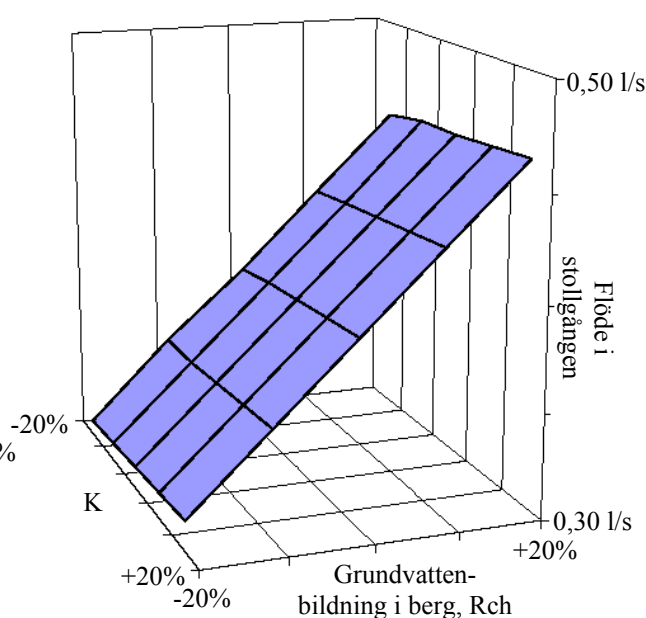
Känslighetsanalys har genomförts för att utreda stabilitet och rimlighet i modellresultatet. Analysen består av att variera indatavärden inom ett begränsat intervall, vilket alltså skall ge numeriska lösningar som är rimliga med hänsyn till ändringen.

Grundvattenbildningen och den hydrauliska konduktiviteten för berg har varierats inom ett intervall motsvarande -20 till +20 procent av värdena. Detta har inneburit 24 nya lösningar vilka, avseende grundvattennivå och flöde, anses rimliga med hänsyn till förändrade värden och ligga i nära nivå med erhållet modellresultat.

I **Figur 25** visas resulterande trycknivåer i läge motsvarande brunnen på Torsfall 3:1 och i **Figur 26** visas resulterande flöden i stollgången. Respektive cellhorn motsvarar resultatet från en lösning. Variationerna i trycknivå och flöde anses rimliga med hänsyn till förändringarna. Därtill bedöms modellen vara numeriskt stabil.



Figur 25 Resultande trycknivå i läge motsvarande brunn på Torsfall 3:1, vid variation av grundvattenbildning till berget (20-30 mm/år) och hydraulisk konduktivitet i berget ($0,71 \times 10^{-8} - 1,06 \times 10^{-8}$ m/s)



Figur 26 Resultande flöde i stollgången, vid variation av grundvattenbildning till berget (20-30 mm/år) och hydraulisk konduktivitet i berget ($0,71 \times 10^{-8} - 1,06 \times 10^{-8}$ m/s)

5.7 Resultatanalys

God överensstämmelse erhöles mellan in- och utströmmande vatten i modellen. Omsättning uppgår till 3,1 l/h, varav 39 procent omsattes genom gruvan. Kalibreringsresultatet för stollgångens flöde får anses godtagbart och resulterande hydrauliska konduktivitet för berget ligger nära det som erhållits från hydrauliska tester i brunnen på Torsfall 3:1 ($T=1,5 \times 10^{-6}$ m²/s). Brunnen på Torsfall 3:3 ($T=1,5 \times 10^{-4}$ m²/s) har en betydligt högre transmissivitet.

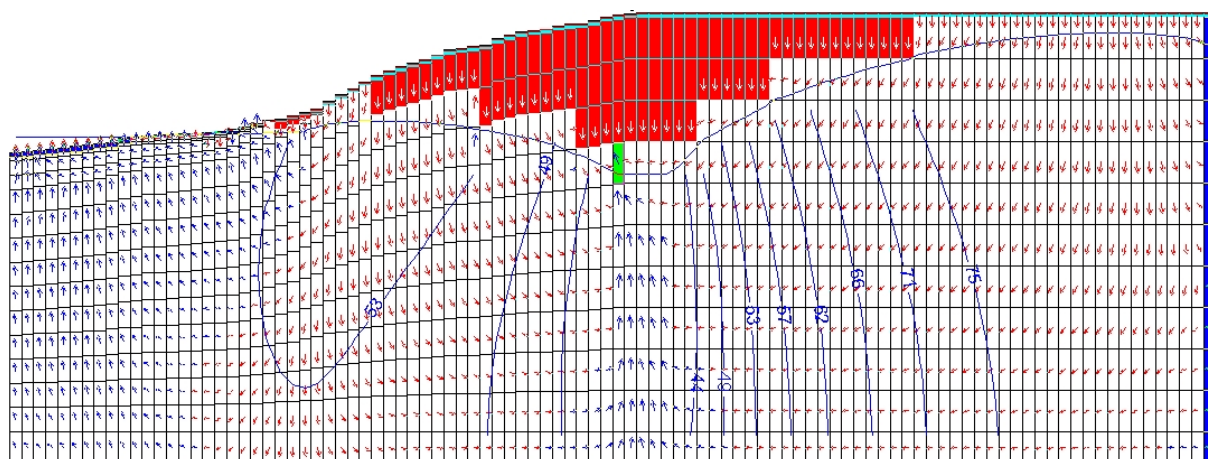
5.8 Modellsценarier / bedömning av åtgärdsförslag

Flera åtgärder är föreslagna för att minska vattenomsättningen i gruvan för att därmed reducera bl.a. uttransporten av förorening via stollgången. Av dessa kan nämnas att:

- täta schaktöppningarna,
- sänka vattennivån i gruvan genom pumpning och leda in ytavrinningen från bergssidorna, och
- täta stollgången.

Att täta schaktöppningarna för att hindra direkt nederbörd och ytavrinnande vatten att nå ned i gruvan, bedöms ge en positiv effekt. Mot bakgrund av vattenbalansberäkningarna i **kapitel 5** skulle resulterande flöde i stollgången minska med ca 30 procent, från 18 400 m³/år till 12 300 m³/år.

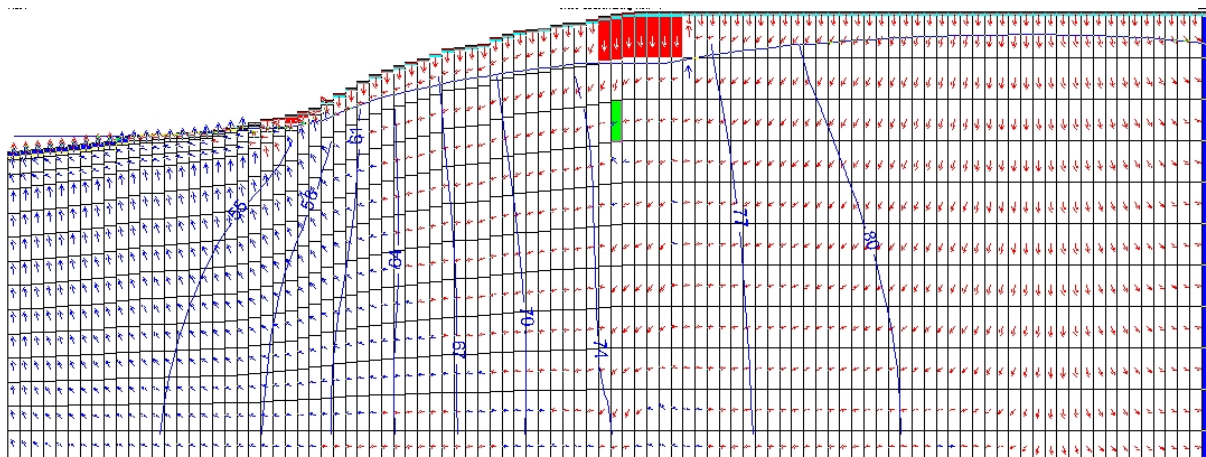
En sänkning av vattennivån i gruvan under dräneringsnivån för stollgången, skulle hindra ett läckage av förorenat vatten till Tjursbosjöns vattensystem via stollgången. Beräkningar visar att en sänkning av vattenytan med fem meter, kräver ett bortledande av 1 500 l/h, och ytterligare tio meter med 1 700 l/h. Resultaten indikerar att ca 20-25 l/h krävs ytterligare för varje meter avsänkning (**Figur 27**). Resultatet anses rimligt inom ett begränsat avsänkingsintervall. Till detta kommer ett tillfälligt ökat kapacitetsbehov i samband med att vattennivån initialt skall förändras och i samband med nederbörd.



Figur 27 Modelleringsresultat vid ytterligare avsänkning i gruvan genom pumpning till en vattennivå på +40 (15 meters avsänkning jämfört med dagens läge). Röda flödespilar visar nedåtriktat flöde och blå uppåtriktat flöde. Isolinjer är presenterade för resulterande trycknivåer och grundvattennivån är representerad av en blå linje. Röda fält innebär resulterande torra celler, blå fält motsvarar randvillkor med bestämd trycknivå och gröna fält randvillkor för dränerande nivå utan inströmningsmotstånd. Observera att höjdskalan är överdriven två gånger jämfört med längdskalan.

I samband med att pumpning av gruvan sker, finns ett förslag på att leda in ytavrinnande vatten från bergssidorna till gruvan. I första hand omfattar detta avrinning från varphögarna vilket utgör ett område på ca 53 000 m². För området är tidigare angivet en specifik avrinning på 400 mm/år, och mängden som skulle tillföras gruvan uppskattas därför till ca 21 200 m³/år.

Genom en tätning av stollgången kan flöde via denna begränsas. I modellen är flödet i stollgången minskat med 90 procent. Resultatet blir att nivån i gruvan stiger ca 20 meter till ca +70 (**Figur 28**). Som en effekt av att avsänkningen runt gruvan minskar, minskar även grundvattenbildningen till berget/gruvan. Detta sker genom en kombination av minskat tillrinningsområde och minskad infiltration. För erhållet beräkningsresultat (**Figur 28**) är en rimlig grundvattenbildning ansatt till 10 mm/år vilket medför ett grundvattenbildningsområde på ca 130 000 m².



Figur 28 Modelleringsresultat vid borttätning av 90 procent av flödet genom stollgången. Röda flödespilar visar nedåtriktat flöde och blå för uppåtriktat flöde. Isolinjer är presenterade för resulterande trycknivåer och grundvattennivån är representerad av en blå linje. Röda fält innebär resulterande torra celler, blå fält motsvarar randvillkor med bestämd trycknivå och gröna fält randvillkor för dränerande nivå med inströmningsmotstånd. Observera att höjdskalet är överdriven två gånger jämfört med längdskalet.

Vattenomsättningen i gruvan skulle i detta scenario vara mindre än i dagsläget. Gruvan skulle alltså huvudsakligen dräneras via stollgången med ett flöde av ca 1 200 m³/år, men det är under dessa nya förutsättningar möjligt att andra flödesvägar från gruvan får ökad betydelse. Detta kan innefatta t.ex. vattenförande sprickor från gruvans djupare delar, som står i hydraulisk kontakt med moränen i strandområdet eller i Tjursbosjön. Därtill finns det en möjlighet att öppna sprickor mellan gruva och branten mot strandområdet i väster och sydväst, kan avleda vatten från gruvan. Det är osäkert om dessa vattenvägar överhuvudtaget finns. Om tätning sker vid stollgångens mynning i väster, bedöms det sannolikt att nya dräneringsvägar uppkommer via ytära sprickor i berget. En tillfredsställande tätning kräver därför sannolikt omfattande ridåinjektering i anslutning till en tät plugg i stollgången.

Genom att gruvan hydrauliskt kortsluter ett större område, medför en höjd vattennivå att nya utflödesvägar kan skapas via dalsänkorna norr och söder om Käringryggen. En höjning av vattennivån i gruvan till ca +70 medför dock sannolikt inget större utläckage till sänkorna. Ytterligare höjning bör dock undvikas.

En höjning av vattennivån till +70 påverkar sannolikt inte vattenkvaliteten i de borrade brunnarna på Torsfall 3:3 och 1:5.

Sydost om Holländarefältet återfinns Sohlbergsfältet vars schakt redan i dagsläget är vattenfyllda och breddar till omgivande jordlager och ytvattendrag. Uppskattad vattennivå i dessa schakt är ca +78, vilket är ca 23 meter över befintlig vattennivå i t.ex. Knutsschaktet. Det är därför inte troligt att dessa gruvor har någon hydraulisk kontakt av betydelse. Sohlbergsgruvans schakt fungerar kortslutande mellan vattensystemen i jord och berg.

6 Litteraturlista

Alexandersson och Karlström, 2001. Temperaturen och nederbörden i Sverige 1969 – 1990. Referensnormaler – utgåva 2. SMHI

Ask D., Stephansson O. & Cornet F.H. (2001). Integrated stress analysis of hydraulic stress data in the Äspö Island region, Sweden. International Progress Report 01-26. Swedish Fuel and Waste Management Company. Stockholm.

Gladhammars gruvfält, Förstudie – effekter av äldre koppar- och koboltbrytning i Västerviks kommun

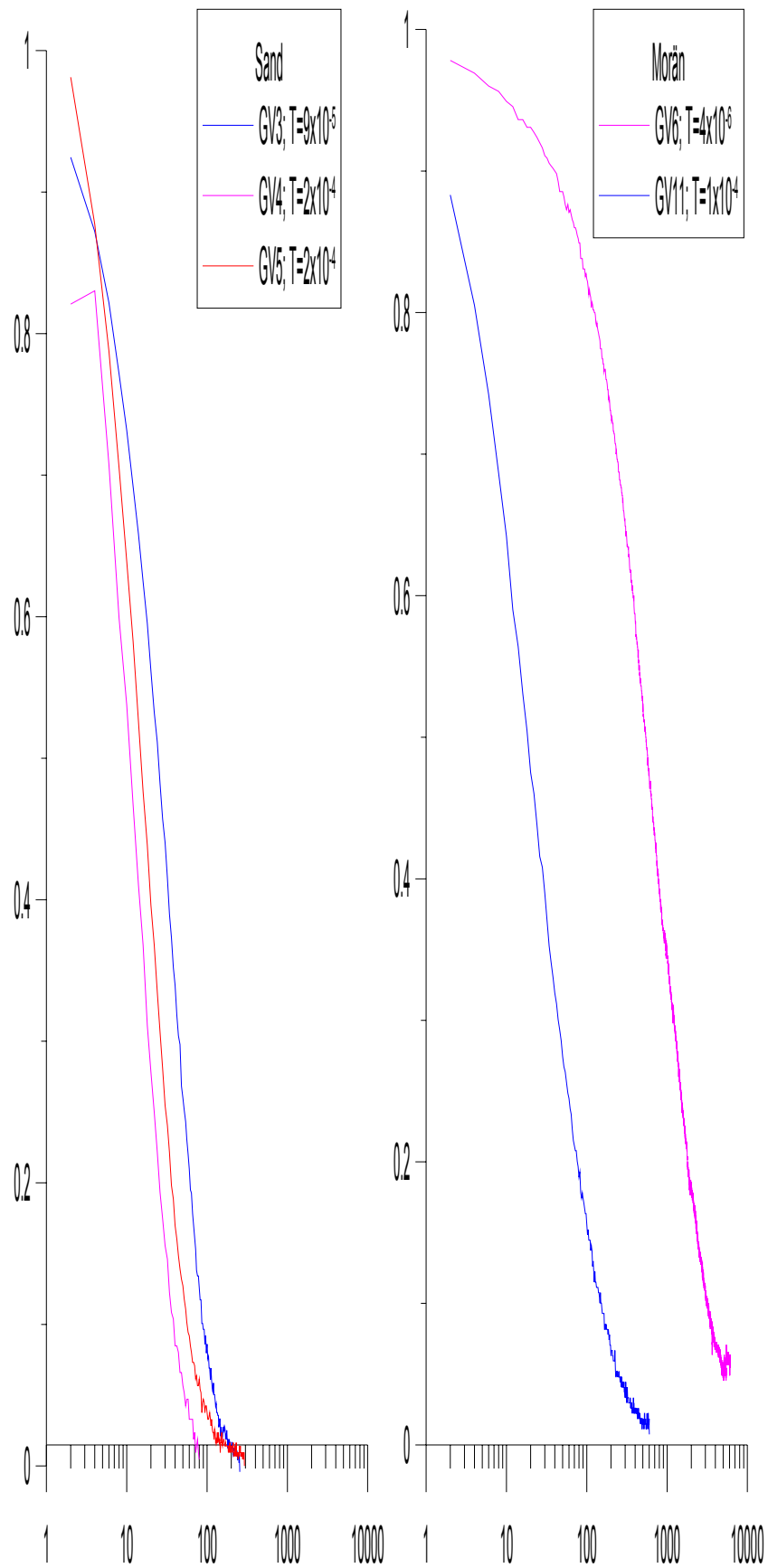
Gladhammars gruvfält, Utökad Förstudie – effekter av äldre koppar- och koboltbrytning i Västerviks kommun.

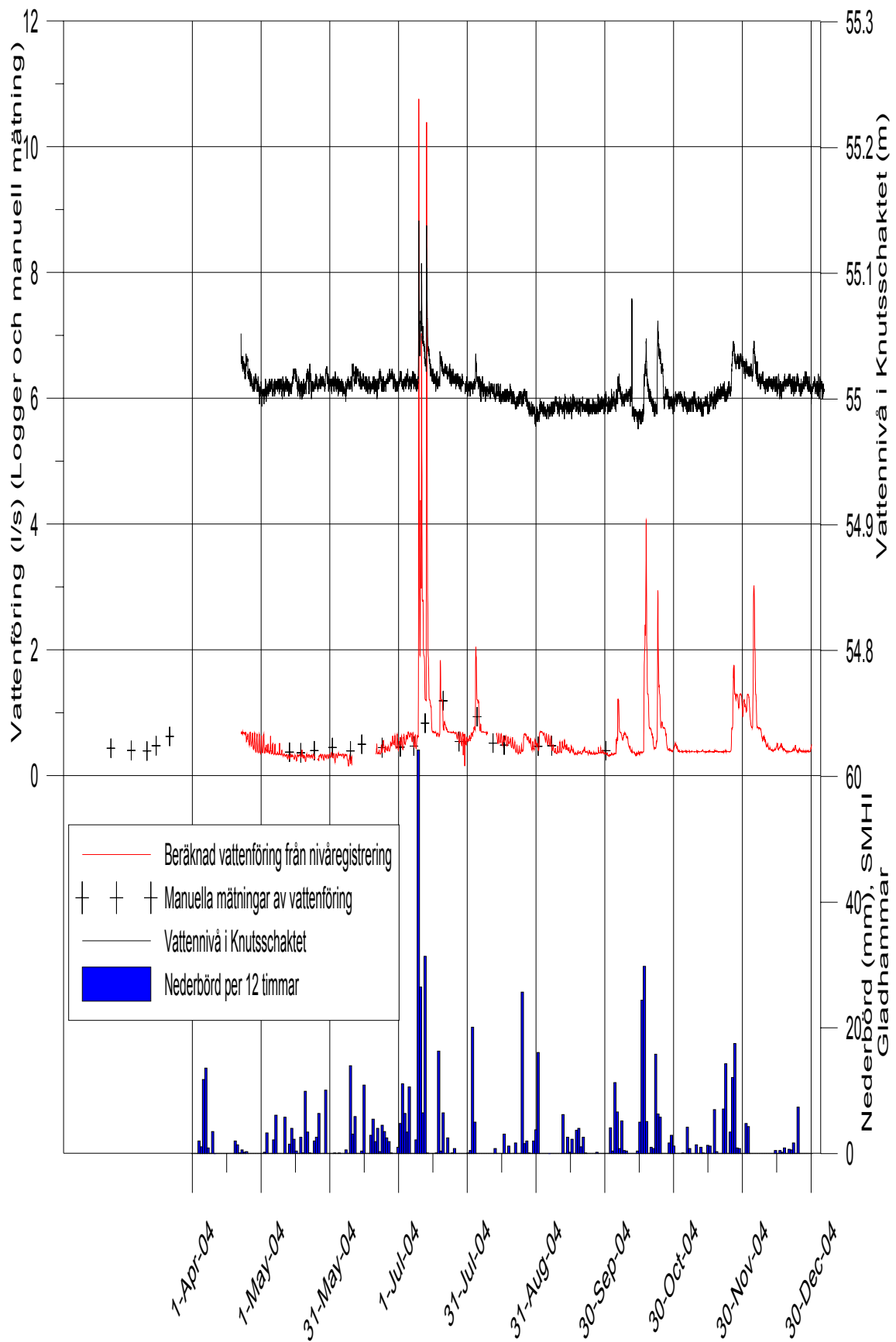
Rhén I, Gustafson G, Stanfors R, Wikberg P (1997). Technical Report 97-06. ÄSPÖ HRL – Geoscientific evaluation 1997/5. Models based on site characterization 1986–1995. Swedish Fuel and Waste Management Company. Stockholm.

Bilaga 1 Grundvattennivåmätningar

| Datum | GV1 | GV2 | GV3 | GV4 | GV5 | GV6 | GV7 | GV8 | GV9 | GV10 | GV11 | GV12 | GV13 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2004-02-25 | 68,90 | 51,69 | 52,53 | frost | frost | 56,85 | 54,44 | 54,83 | 57,50 | 81,04 | 54,87 | 54,46 | 53,33 |
| 2004-03-05 | 68,88 | 51,66 | 52,48 | frost | rost | 56,58 | 54,33 | 54,31 | 55,31 | 80,84 | 54,77 | 54,31 | 53,32 |
| 2004-03-12 | 68,93 | 51,65 | 52,41 | frost | frost | 56,73 | 54,31 | 54,66 | 55,30 | 80,76 | 54,66 | 54,26 | 53,45 |
| 2004-03-16 | 68,94 | 51,66 | 52,49 | frost | frost | 56,86 | 54,30 | 54,65 | 55,32 | 80,72 | 54,65 | 54,30 | 53,48 |
| 2004-03-22 | 68,22 | 51,67 | 52,50 | 51,80 | frost | 56,84 | 54,28 | 54,65 | 55,36 | 80,68 | 54,65 | 54,40 | 53,49 |
| 2004-04-01 | 68,73 | 51,68 | 52,46 | 51,82 | 51,64 | 56,69 | 54,26 | 54,74 | 57,30 | 80,86 | 54,72 | 54,43 | 53,47 |
| 2004-04-08 | 68,89 | 51,70 | 52,65 | 51,75 | 51,64 | 56,93 | 54,30 | 54,92 | 57,98 | 81,18 | 54,83 | 54,64 | 53,82 |
| 2004-04-16 | 68,96 | 51,68 | 52,48 | 51,73 | 51,65 | 56,63 | 54,40 | 54,86 | 57,70 | 80,95 | 54,83 | 54,47 | 54,47 |
| 2004-04-20 | 68,96 | 51,69 | 52,48 | 51,72 | 51,63 | 56,70 | 54,37 | 54,99 | 57,99 | 81,06 | 54,93 | 54,61 | 53,37 |
| 2004-04-26 | 68,96 | 51,67 | 52,42 | 51,71 | 51,64 | 56,65 | 54,36 | 54,69 | 56,08 | 80,79 | 54,65 | 54,35 | 53,47 |
| 2004-05-07 | 68,93 | 51,65 | 52,35 | 51,68 | 51,52 | 56,52 | 54,29 | 54,54 | 55,25 | 80,52 | 54,52 | 54,16 | 53,46 |
| 2004-05-14 | 68,88 | 51,64 | 52,31 | 51,68 | 51,52 | 56,46 | 54,26 | 54,48 | 55,19 | 80,27 | 54,46 | 54,04 | 53,46 |
| 2004-05-19 | 68,87 | 51,64 | 52,29 | 51,68 | 51,47 | 56,43 | 54,24 | 54,45 | 55,16 | 80,18 | 54,43 | 53,97 | 53,45 |
| 2004-05-25 | 68,85 | 51,63 | 52,31 | 51,67 | 51,55 | 56,51 | 54,20 | 54,43 | 55,14 | 80,05 | 54,42 | 53,88 | 53,46 |
| 2004-06-02 | 68,29 | 51,63 | 52,28 | 51,67 | 51,46 | 56,51 | 54,17 | 54,43 | 55,15 | 79,85 | 54,42 | 53,74 | 53,46 |
| 2004-06-10 | 68,55 | 51,61 | 52,26 | 51,66 | 51,41 | 56,31 | 54,10 | 54,38 | 55,04 | 79,69 | 54,35 | 53,62 | 53,45 |
| 2004-06-15 | 68,66 | 51,62 | 52,30 | 51,66 | 51,48 | 56,69 | 54,13 | 54,46 | 55,29 | 79,62 | 54,45 | 53,54 | 53,45 |
| 2004-06-24 | 68,28 | 51,61 | 52,31 | 51,68 | 51,54 | 56,71 | 54,09 | 54,48 | 55,24 | 79,47 | 54,48 | 53,41 | 53,44 |
| 2004-07-02 | 68,58 | 51,62 | 52,31 | 51,66 | 51,48 | 56,73 | 54,12 | 54,50 | 55,26 | 79,34 | 54,49 | 53,33 | 53,45 |
| 2004-07-08 | 68,69 | 51,61 | 52,29 | 51,65 | 51,44 | 56,65 | 54,08 | 54,53 | 55,29 | 79,23 | 54,50 | 53,26 | 53,44 |
| 2004-07-13 | 68,78 | 51,75 | 52,74 | 51,79 | 51,64 | 57,06 | 54,33 | 56,38 | 58,34 | 79,57 | 55,58 | 53,44 | 53,63 |
| 2004-07-21 | 68,91 | 51,75 | 52,64 | 51,76 | 51,64 | 56,96 | 54,77 | 55,73 | 57,88 | 81,33 | 55,39 | 54,47 | 53,48 |
| 2004-07-28 | 68,94 | 51,70 | 52,46 | 51,72 | 51,62 | 56,81 | 54,58 | 55,16 | 58,05 | 81,08 | 55,04 | 54,37 | 53,38 |
| 2004-08-05 | 68,93 | 51,68 | 52,57 | 51,72 | 51,63 | 56,86 | 54,43 | 54,98 | 57,96 | 81,15 | 54,89 | 54,40 | 53,45 |
| 2004-08-12 | 68,93 | 51,65 | 52,39 | 51,69 | 51,53 | 56,66 | 54,36 | 54,86 | 57,44 | 80,88 | 54,81 | 54,24 | 53,45 |
| 2004-08-17 | 68,22 | 51,64 | 52,38 | 51,69 | 51,53 | 56,57 | 54,35 | 54,73 | 55,33 | 80,63 | 54,69 | 54,07 | 54,45 |
| 2004-09-01 | 68,69 | 51,62 | 52,33 | 51,66 | 51,51 | 56,66 | 54,27 | 54,57 | 55,28 | 80,11 | 54,56 | 53,74 | 53,46 |
| 2004-09-07 | 68,75 | 51,62 | 52,33 | 51,66 | 51,47 | 56,66 | 54,25 | 54,59 | 55,36 | 79,99 | 54,57 | 53,66 | 53,45 |
| 2004-10-01 | 68,38 | 51,58 | 52,26 | 51,63 | 51,39 | 56,36 | 54,15 | 54,39 | 55,04 | 79,37 | 54,34 | 53,28 | 53,46 |

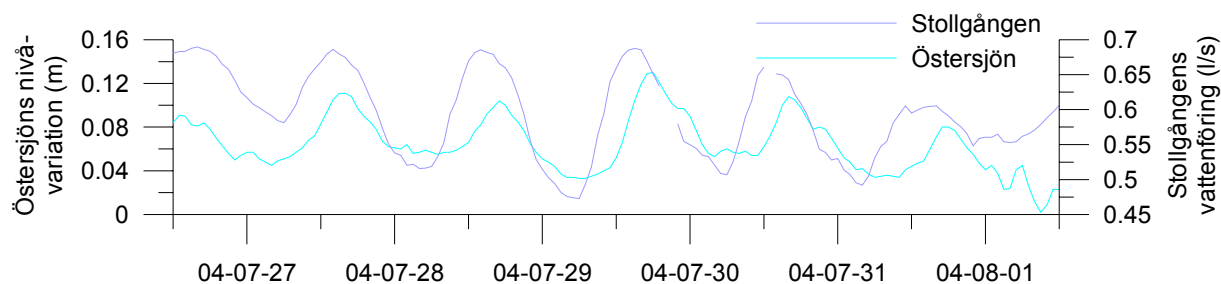
| Datum | GV14 | GV15 | GV16 | GV17 | GV18 | GV19 | GV20 | GV21 | GV22 | GV23 | GV24 | GV25 | TU |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2004-02-25 | 61,41 | 66,15 | 71,21 | 59,18 | 55,68 | torr | 66,98 | 63,81 | 67,91 | 27,50 | 27,34 | 30,47 | 51,62 |
| 2004-03-05 | 61,40 | 66,11 | 71,12 | 59,16 | 55,71 | torr | 66,82 | 63,63 | 67,74 | 27,53 | 27,33 | 30,41 | 51,60 |
| 2004-03-12 | 61,38 | 66,04 | 71,12 | 59,17 | 55,77 | torr | 66,77 | 63,62 | 67,67 | 27,48 | 27,32 | 30,55 | 51,60 |
| 2004-03-16 | 61,39 | 66,09 | 71,11 | 59,15 | 55,81 | torr | 66,74 | 63,58 | 67,69 | 27,50 | 27,34 | 30,72 | 51,61 |
| 2004-03-22 | 61,40 | 66,15 | 71,17 | 59,19 | 55,84 | torr | 66,70 | 63,51 | 67,61 | 27,53 | 27,36 | 30,68 | 51,61 |
| 2004-04-01 | 61,40 | 66,11 | 71,19 | 59,18 | 55,76 | torr | 67,09 | 63,61 | 67,61 | 27,50 | 27,34 | 30,63 | 51,62 |
| 2004-04-08 | 61,49 | 66,24 | 71,36 | 59,20 | 55,85 | 62,78 | 67,59 | 63,81 | 67,89 | 27,58 | 27,32 | 30,70 | 51,64 |
| 2004-04-16 | 61,39 | 66,08 | 71,18 | 59,19 | 55,75 | torr | 66,87 | 63,82 | 67,79 | 27,50 | 27,34 | 30,60 | 51,62 |
| 2004-04-20 | 61,39 | 66,13 | 71,22 | 59,19 | 55,74 | torr | 67,06 | 63,89 | 67,91 | 27,51 | 27,34 | 30,61 | 51,63 |
| 2004-04-26 | 61,38 | 66,04 | 71,11 | 59,18 | 55,73 | torr | 66,68 | 63,70 | 67,70 | 27,49 | 27,34 | 30,59 | 51,60 |
| 2004-05-07 | 61,34 | 65,94 | 70,86 | 59,08 | 55,74 | torr | 65,77 | 63,44 | 67,42 | 27,48 | 27,32 | 30,55 | 51,57 |
| 2004-05-14 | 61,33 | 65,89 | 70,74 | 59,03 | 55,67 | torr | 65,77 | 63,30 | 67,31 | 27,48 | 27,32 | 30,54 | 51,55 |
| 2004-05-19 | 61,32 | 65,85 | 70,69 | 58,86 | 55,72 | torr | 65,76 | 64,22 | 67,25 | 27,49 | 27,33 | 30,54 | 51,52 |
| 2004-05-25 | 61,42 | 65,84 | 70,68 | 59,03 | 55,72 | torr | 65,77 | 63,10 | 67,12 | 27,47 | 27,33 | 30,56 | 51,52 |
| 2004-06-02 | 61,30 | 65,81 | 70,61 | 59,03 | 55,72 | torr | 65,76 | 62,97 | 66,97 | 27,48 | 27,32 | 30,57 | 51,52 |
| 2004-06-10 | 61,27 | 65,72 | 70,55 | 58,91 | 55,70 | torr | torr | 62,88 | 66,85 | 27,47 | 27,29 | 30,52 | 51,51 |
| 2004-06-15 | 61,18 | 65,76 | 70,75 | 59,17 | 55,71 | torr | torr | 62,88 | 66,82 | 27,46 | 27,28 | 30,54 | 51,51 |
| 2004-06-24 | 61,25 | 65,70 | 70,42 | 59,16 | 55,70 | torr | torr | 62,80 | 66,67 | 27,47 | 27,29 | 30,57 | 51,52 |
| 2004-07-02 | 61,22 | 65,69 | 70,55 | 59,14 | 55,71 | torr | torr | 62,72 | 66,51 | 27,47 | 27,30 | 30,58 | 51,52 |
| 2004-07-08 | 61,19 | 65,71 | 70,81 | 59,10 | 55,67 | torr | torr | 62,65 | 66,38 | 27,47 | 27,32 | 30,59 | 51,52 |
| 2004-07-13 | 61,64 | 66,35 | 71,45 | 59,23 | 55,95 | 63,20 | 67,76 | 63,59 | 66,84 | 27,56 | 27,42 | 30,69 | 51,63 |
| 2004-07-21 | 61,50 | 66,24 | 71,40 | 59,21 | 55,73 | 61,93 | 67,45 | 63,97 | 68,14 | 27,55 | 27,39 | 30,68 | 51,67 |
| 2004-07-28 | 61,40 | 66,13 | 71,26 | 59,20 | 55,70 | torr | 67,10 | 63,88 | 67,95 | 27,50 | 27,34 | 30,63 | 51,65 |
| 2004-08-05 | 61,38 | 66,16 | 71,28 | 59,21 | 55,72 | torr | 67,47 | 63,87 | 68,00 | 27,50 | 27,34 | 30,63 | 51,64 |
| 2004-08-12 | 61,36 | 65,99 | 71,00 | 59,17 | 55,70 | torr | 66,89 | 63,76 | 67,72 | 27,48 | 27,32 | 30,59 | 51,59 |
| 2004-08-17 | 61,36 | 65,94 | 70,59 | 59,12 | 55,71 | torr | 66,63 | 63,63 | 67,50 | 27,48 | 27,32 | 30,57 | 51,58 |
| 2004-09-01 | 61,34 | 65,87 | 70,72 | 59,09 | 55,72 | torr | torr | 63,25 | 67,08 | 27,48 | 27,32 | 30,61 | 51,55 |
| 2004-09-07 | 61,34 | 65,92 | 70,75 | 59,10 | 55,71 | torr | torr | 63,17 | 67,00 | 27,48 | 27,33 | 30,63 | 51,55 |
| 2004-10-01 | 61,29 | 65,68 | 70,44 | 58,79 | 55,62 | torr | torr | 62,74 | 66,24 | 27,48 | 27,30 | 30,60 | 51,50 |





Hydrodynamik

Vattenföringen i stollgången samvarierar med Östersjöns dygnsnivå, med högre flöden vid flod och lägre flöden vid ebb. Därmed flödar mer vatten från gruvan när månens dragningskraft är stor och bergets totalvolym därmed är stor. Detta kan kännas motsägelsefullt men kan förklaras dels av stupningen på bergets vattenförande sprickor, dels av transmissivitetsvariationer under dygnet.



Pumpning av vatten

I samband med ebb sjunker berget ihop och horisontella sprickor sluter sig. Bergets elasticitet medför då att bergets vertikala och brantstående sprickor öppnar sig och vattenfylls och magasineras vatten. Vid flod sker det omvända och horisontella eller flacka sprickor vattenfylls. Resultatet blir att vatten 'pumpas' mellan sprickorna mot gruvan. Sprickornas orientering och dess kontakt med gruvan styr flödesförloppet.

Transmissivitetsförändring

Det är också möjligt att förklara effekten med en transmissivitetsvariation för de horisontella och flacka sprickor som leder vatten till gruvan. Vid flod 'reser sig' berget och sprickvidden hos öppna sprickor ökar. Relationen mellan flöde och sprickvidd beskrivs av "den kubiska lagen", vilken uttrycks:

$$Q = \frac{\rho_w g b^2}{12\mu} (bw) \frac{\partial h}{\partial L},$$

där Q är flöde, ρ_w är vattnets densitet, g är gravitationen, μ är vattnets viskositet, b är sprickvidd, w är sprickans bredd vinkelrätt mot flödet och $\partial h/\partial L$ är gradienten i flödesriktningen.

Flödet och transmissiviteten är med andra ord mycket känslig för variationer i sprickvidd, eftersom $Q \propto T \propto b^3$.