

PM Hydrogeologi

Klinthagentäkten expansion III
Bergtäkt på Stora Vikers 1:94



BERGGEOLOGISKA UNDERSÖKNINGAR AB
org nr. 556173-2396

STOCKHOLM: Vretenvägen 12 • 171 54 Solna
www.bergab.se • 08-564 855 00

GÖTEBORG: Stampgatan 15 • 416 64 Göteborg
www.bergab.se • 08-564 855 00

KONTAKT

KUND

Företag: Nordkalk AB
Kontaktperson: Ola Thuresson

BERGAB

Uppdragsnr: UG21044D
Uppdragsledare: Johanna Lithén / Lina Grahm
Handläggare: Magnus Andersson, Albin Bostner, Jenny Palmenäs
Granskare: Thomas Wallroth / Ann ka Nilsson

INNEHÅLL

1 Inledning	5
2 Planerad verksamhet	5
3 Områdesbeskrivning	8
3.1 Topografi	8
3.2 Geologi och jordlager	9
3.3 Grundvattenmagasin och -nivåer	12
3.4 Grundvattenbildning	17
3.5 Saltvatteninträngning	19
4 Skyddsobjekt	22
4.1 Enskilda brunnar	22
4.2 Vattenförekomst	23
4.3 Skyddade områden	24
4.3.1 Natura 2000 Hoburgsmyr	26
4.4 Övrigt	28
5 Utförda undersökningar och resultat	29
5.1 Område Nordvästra Klinthagen	30
5.2 Område Nordkross	31
5.3 Område Norra Klinthagen	33
5.3.1 Övriga observationer	34
5.4 Område Centrala Klinthagen	37
5.4.1 Övriga observationer	38
5.5 Område Takstens	40
5.6 Område Södra Klinthagen	40
6 Beräkningar inläckage och påverkansområde	43
6.1 Analytiska beräkningar	43
6.1.1 Parameterval	46
6.1.2 Beräkningsresultat analytiska beräkningar	49
6.2 Numeriska beräkningar	54
6.2.1 Parameterval	55
6.2.2 Kalibrering	56
6.2.3 Beräkningsscenarier och noll-alternativ	59
6.2.4 Beräkningsresultat numerisk modellering	61
6.3 Jämförelse och analys av beräkningsresultat	62
7 Motiv till avgränsning av påverkansområde	64
8 Analys	66
8.1 Analys område Nordvästra Klinthagen	67

8.2 Analys område Nordkross	69
8.3 Analys område Norra Klinthagen	71
8.4 Analys område Centrala Klinthagen	72
8.5 Analys område Södra Klinthagen	74
9 Bedömning av hydraulisk påverkan och effekter	77
10 Referenser	81

BILAGOR

Bilaga 1 Grundvattennivåobservationer långtidsmätningar

Bilaga 2 PM Hydrauliska tester

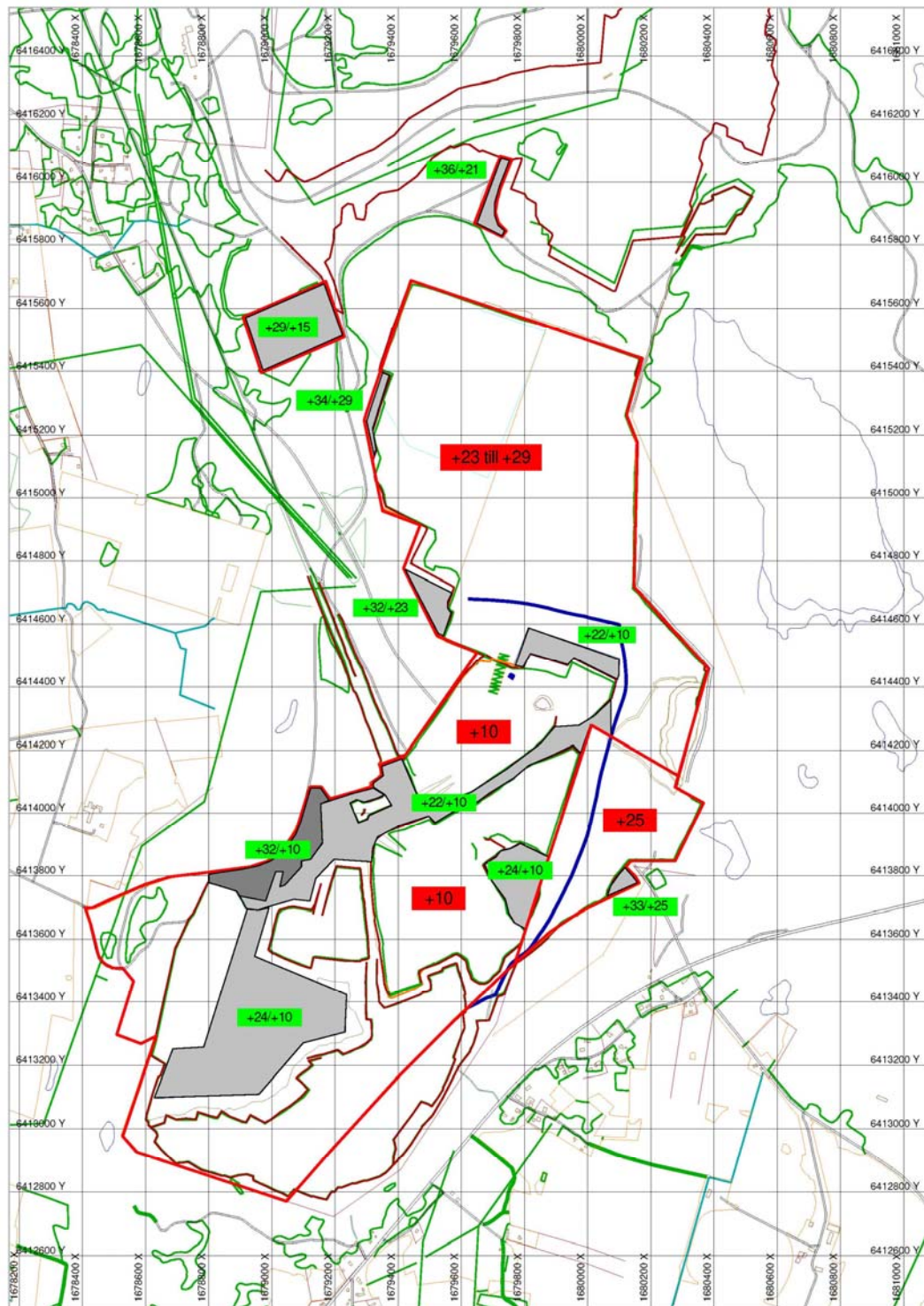
1 Inledning

Bergab har på uppdrag av Nordkalk AB utfört hydrogeologiska undersökningar inför tillståndsansökan för utvidgning av fem potentiella täktområden i Klinthagen. Föreliggande utredning syftar till att beskriva den omgivningspåverkan med avseende på den grundvattenbortledning som en utvidgning kan innebära.

Samtliga nivåangivelser i föreliggande rapport samt bilagor anges i höjdsystem RH2000. Ortofoto som används i kartor har flygdatum 2020-04-06 om inget annat anges.

2 Planerad verksamhet

Det nuvarande tillståndet medger brytning enligt Figur 1. I ett antal områden inom Klinthagens dagbrott har brytning skett ner till nivå +10 m och inom ett mycket begränsat område (krossgrop för primärkross) har brytning skett till nivå +4 m.



Figur 1. Nuvarande brytområden för Klinthagentäkten. Grå ytor visar områden som finns kvar att bryta inom nuvarande tillstånd. De grönmarkerade nivåintervallen (ex +24/+10) visar aktuell marknivå (nov 2022) respektive vilken nivå som områdena kommer att brytas till. De rödmarkerade nivåintervallen (ex +10) visar aktuell marknivå inom områden som är färdigbrutna inom ramen för nuvarande tillstånd.

Nordkalk önskar söka tillstånd för brytning i fem områden där föreliggande utredning utgår från följande brytdjup: Nordkross +10 m, Nordvästra Klinthagen +21 m, Norra Klinthagen +1 m, Centrala Klinthagen +1 m och Södra Klinthagen +1 m, se Figur 2. Ytterligare ett brytområde, Takstens, var aktuellt under perioden då undersökningarna genomfördes men har utgått under samrådsprocessen. Det senare området redovisas därför inte i Figur 2.

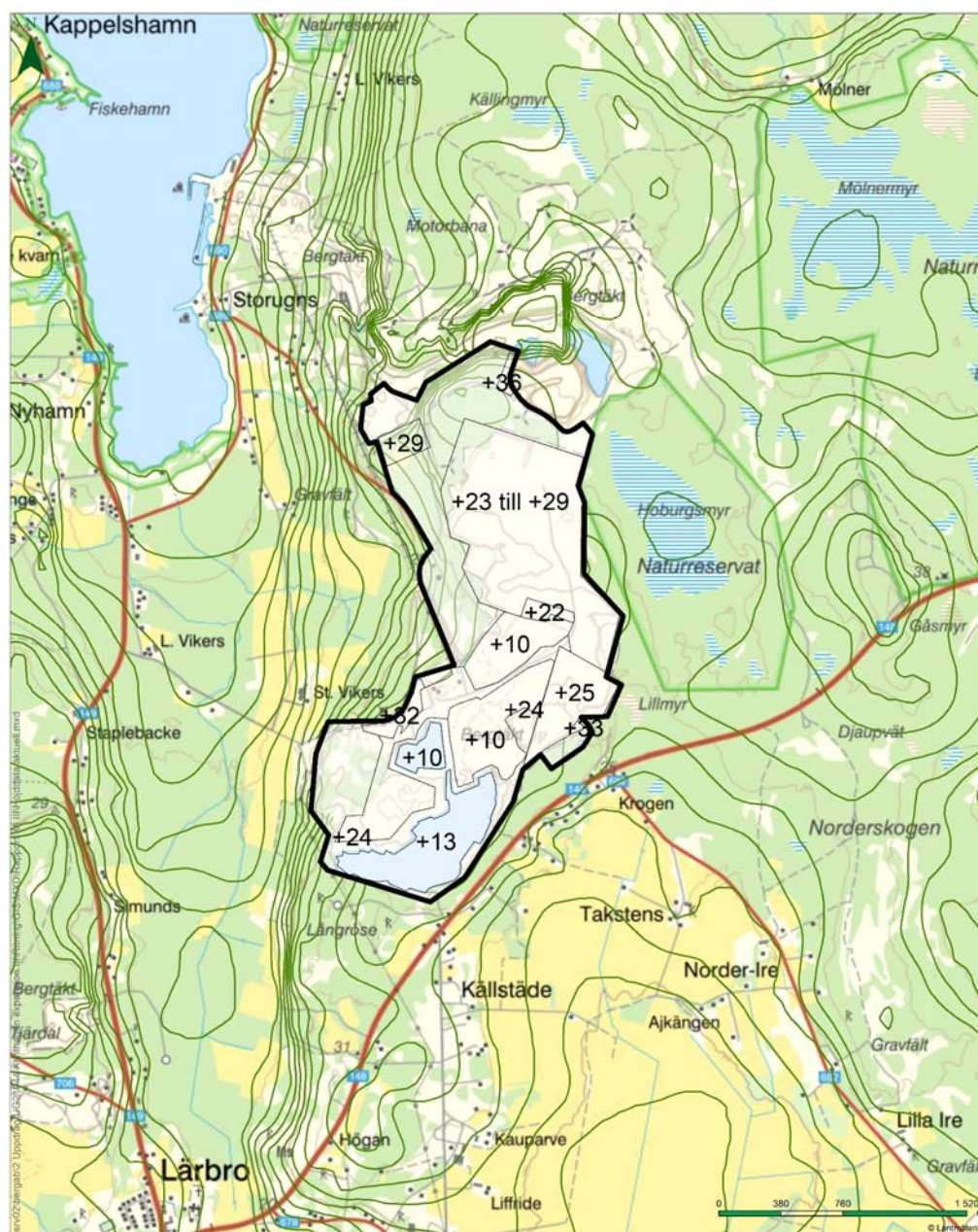


Figur 2. Sökta brytområden och brytnivåer.

3 Områdesbeskrivning

3.1 Topografi

Klinthagentäkten ligger högt i topografin omgiven av barrskog. Nivån på dagbrottets kanter är cirka +30 m i söder och cirka +35 m i norr men varierar något runt dagbrottet. I brytområdet ligger den utbrutna nivån till största del mellan +10 och +29 m, se Figur 3. Den lägsta utbrutna nivån är vid krossgropen för primärkrossen, vars bottennivå ligger på +1,5 m.



Figur 3. Översiktskarta där verksamhetsområde för Klinthagen markeras med en svart polygon. Figur visar även aktuella mark-/brytnivåer hösten 2022. Höjdkurvornas ekvidistans är 2 m.

Öster om Klinthagentäkten är terrängen flack. Det förekommer en höjd cirka 1 km öster om Klinthagentäkten (öster om Hoburgsmyr), dess högsta nivå är på cirka +44 m, se Figur 3. Direkt väster om Klinthagentäkten är marklutningen större med en högsta nivå på cirka +30 m närmast täkten, varifrån marken sluttar naturligt västerut till ca +17. Lutningen avtar något cirka 0,5 km väster om brytområdet och är därifrån flack till Kappelshamnsviken. Norr om Klinthagentäkten finns Storugnsdagbrottet som bryter av den annars flacka terrängen.

3.2 Geologi och jordlager

Huvuddelen av området utgörs av berg i dagen i form av kalksten men det finns även områden där berget till viss del överlagras av olika jordarter med varierande mäktighet.

I kalkstenen förekommer sprickor huvudsakligen utbildade längs horisontella bankningsplan, men även brantstående sprickor, se Figur 4. I vissa sprickor förekommer kemisk vittring, s.k. karstvittring. De sprickbildningar som finns i markytan i kalkstenen kring täktområdet är brantstående och har bildats genom naturliga geologiska processer. Inom den utbrutna täkten kan de översta kalkstenslagren uppvisa sprickor som uppstått till följd av utförd brytning, den s.k. "syltan".

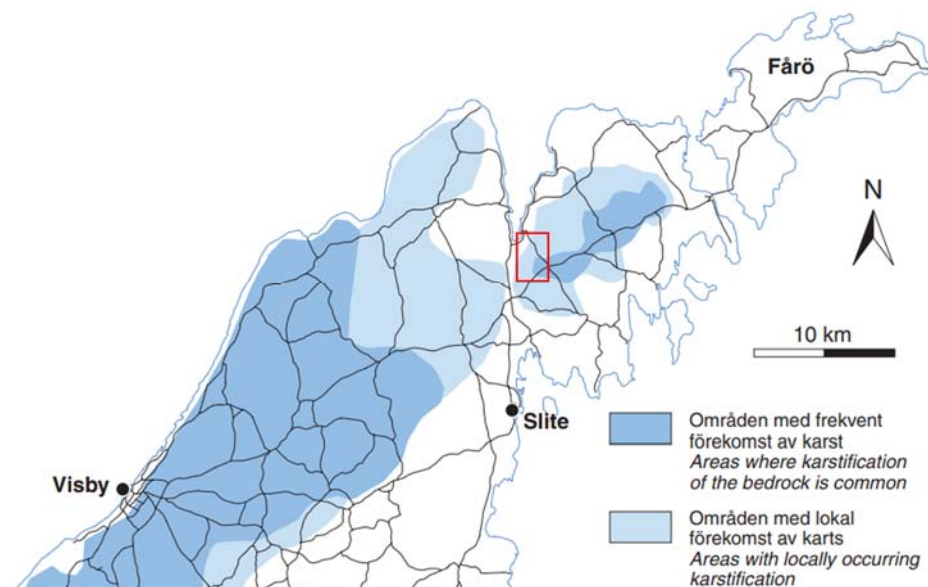


Figur 4. Karterad brantstående spricka med nordsydlig strykning i området intill Hoburgsmyr. (Bergab, 2012)

Den huvudsakliga brantstående sprickriktningen som kan observeras omkring täkten är nord-sydlig, vilket överensstämmer med de närmast liggande större deformationszonernas riktning som redovisas på SGUs berggrundskarta och som går i nord-sydlig och nordnordväst-sydsydostlig riktning, se Figur 5.



Figur 5. Storskaliga deformationszoner redovisade av SGU.



Figur 6. Utsnitt från översiktlig karta över områden med karst på Gotland. Klinthagentäkten återfinns inom röd rektangel. Modifierad från SGU (2009).

Klinthagen ligger i ett område med huvudsakligen lokal förekomst av karst, se Figur 6. Bland annat redogör SGU (SGU, 2002 och SGU, 2020) för att Hoburgsmyr avvattnas via en karststruktur som har koppling till det äldre Storugnsbrottet (se

vidare under avsnitt 4.1 *Enskilda brunnar*. Ett flertal geofysiska undersökningar har utförts med syfte att identifiera karstbildningar i och i området kring Klinthagen: SGU (2003), Bergab (2014b), ÅF (2017), AFRY (2022) och AFRY (2023). Samtliga undersökningslinjer redovisas i Figur 7.

SGU utförde under 2003 georadarundersökningar över den norra delen av den nu befintliga täkten samt mellan befintlig täkt och Storugnsdagbrottet. Undersökningen visade karstförekomster i områdets norra del, nära Storugnsdagbrottet, i kalkstenen i på ca 5-8 meters djup samt i den underlagrande mägerstenen, men inget i området mellan brytområde Norra Klinthagen (se Figur 2) och Hoburgsmyr (SGU, 2003).

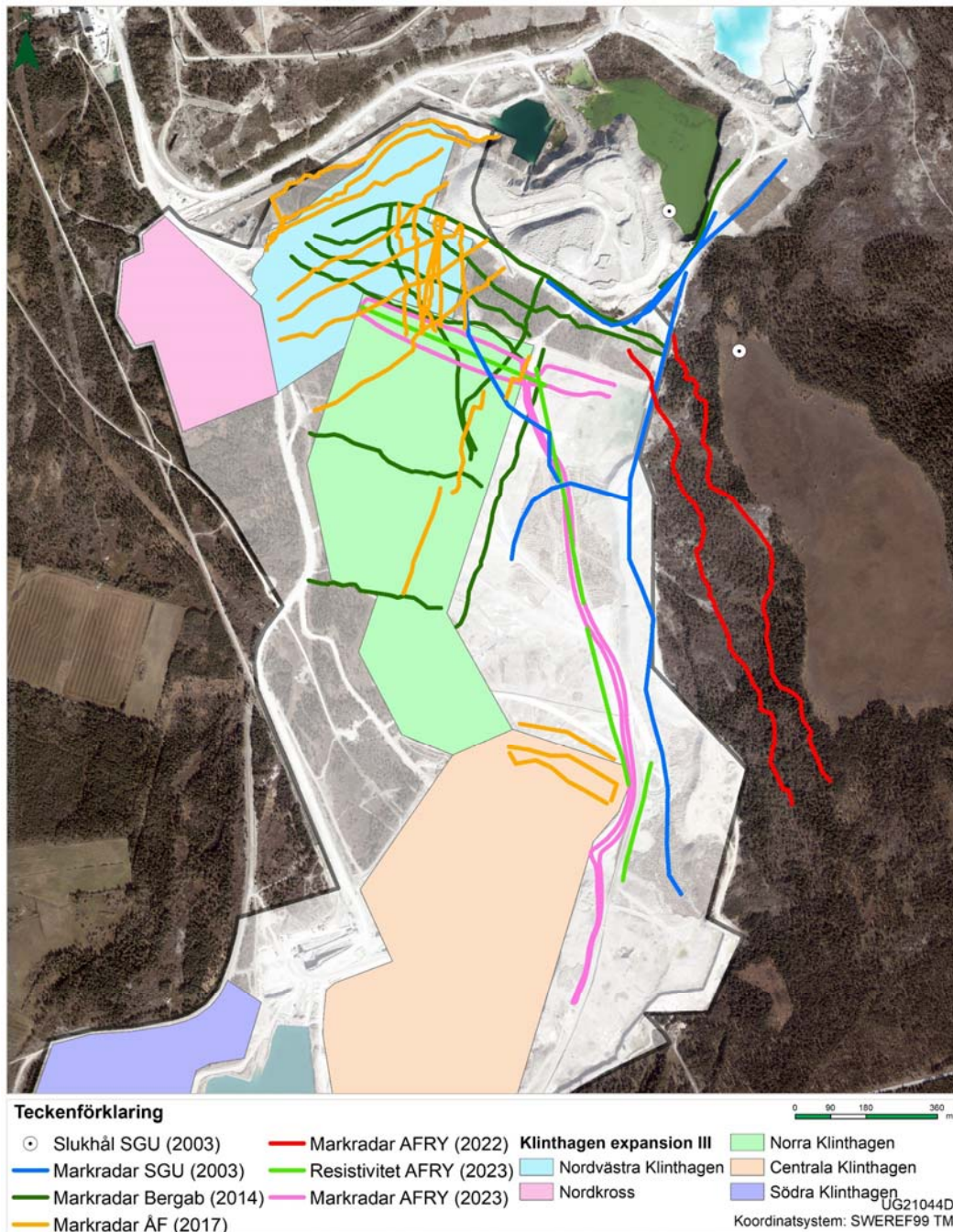
2014 utförde Bergab georadarundersökningar i och kring norra och nordöstra delen av Klinthagen. Resultaten visade att karst förekom på 4-6 meters djup, framförallt i den norra delen av det undersökta området. Karststrukturerna tolkades vara lokala utan koppling till den struktur som dränerar Hoburgsmyr (Bergab, 2014b).

Ytterligare georadarundersökningar genomfördes under 2017 i områden kring brytområde Nordvästra Klinthagen och Norra Klinthagen samt i norra delen av Centrala Klinthagen. I samband med undersökningen identifierades fyra områden där karst tolkas förekomma. I anslutning till brytområdet Nordvästra Klinthagen identifierades totalt tre områden där karst förekom på cirka 3-6 meters djup under marknivån (ÅF, 2017). Dessa stämde överens med tidigare observationer (Bergab, 2014b). I mitten av befintlig täkt (norra delen av brytområde Centrala Klinthagen) identifierades ett område med ytnära karst (ÅF, 2017).

Under 2022 genomförde AFRY två georadarundersökningar mellan Hoburgsmyr och de planerade brytområdena (AFRY, 2022 och AFRY, 2023). Två linjer utfördes mellan befintlig täkt (AFRY, 2022) och ytterligare linjer utfördes nere i befintlig täkt mellan planerade brytområden och Hoburgsmyr (AFRY, 2023). AFRY har identifierat ytliga sprickor i markytan mellan befintlig täkt och Hoburgsmyr, vilket kan vara möjliga karstområden. Från markradarprofilerna har strukturer med håligheter återfunnits i det ytliga berget ner till ett djup om ca 3 m. Från mätningarna som har gjorts nere i befintlig täkt tolkas strukturer med håligheter finnas i det ytliga berget. Det kan inte uteslutas att detta beror på tidigare utsprängning av täkten.

En resistivitetsmätning utfördes 2022 mellan Hoburgsmyr och de planerade brytområdena (AFRY, 2023). Resistivitetsmätningarna har påverkats av 3D-effekter vilket gör att delar av profilerna inte varit möjliga att tolka, de två sydligaste profilerna, dvs strax nordöst om brytområde Centrala Klinthagen har ett modellfel på 21% vilket gör att resultatet är osäkert. Resultatet från undersökningen visar att i södra delen av mätlinjen, dvs strax nordöst om brytområde Centrala Klinthagen, förekommer områden som tolkas innehålla mer vatten vilket kan indikera på ett område med mer sprickor.

Enligt SGU har de ytnära karstsprickorna på Gotland generellt en längd på mindre än 10 m, men kan även vara uthålliga, dvs flera 100 m (SGU, 2022b).



Figur 7. Översikt av de geofysiska mätningar som har utförts i Klinthagen. Profilernas lägen är ungefärliga. Kartan visar även läge för två slukhål som kan vara sammanlänkade via ett karstsystem.

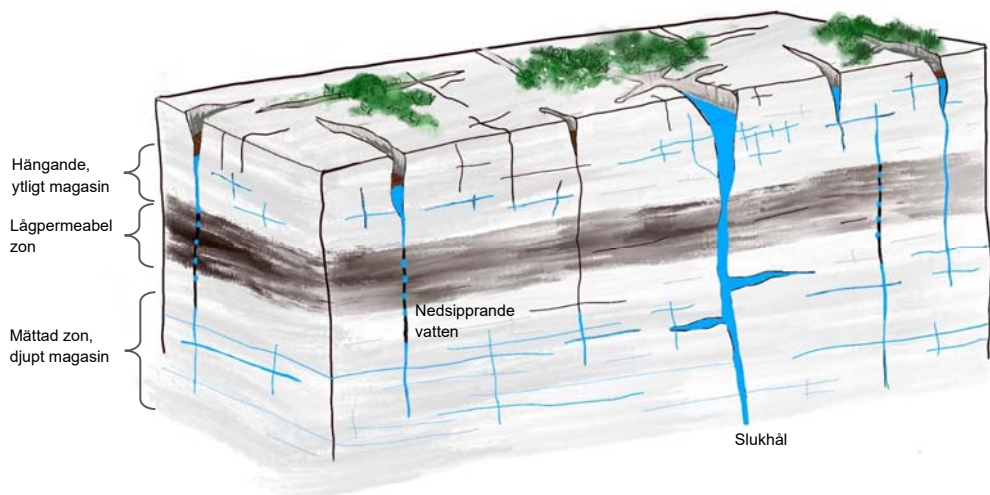
3.3 Grundvattenmagasin och -nivåer

Den konceptuella bilden som finns för området har erhållits genom mångåriga observationer i och omkring befintlig täkt i samband med långtidsobservationer samt med utförda tester, så som hydrauliska och geotekniska undersökningar. Den konceptuella modellen för området beskrivs nedan och förtydligas med Figur 8 som är inspirerad av en principfigur framtagen av Erlström m.fl. (SGU,2022b).

I kalkstenen kommunicerar grundvattnet i huvudsak i horisontella sprickplan och kontakt mellan olika sprickplan sker via öppna brantstående eller vertikala sprickor. De vertikala sprickorna har dålig hydraulisk kommunikation med varandra till följd av deras begränsade utbredning samt av den i övrigt mycket täta kalkstenen. Däremot har de horisontella sprickorna generellt sett större areell utbredning. De horisontella sprickorna har generellt låga magasininstal (innehåller en liten vattenvolym) och en lägre vattengenomsläpplighet än de brantstående sprickorna.

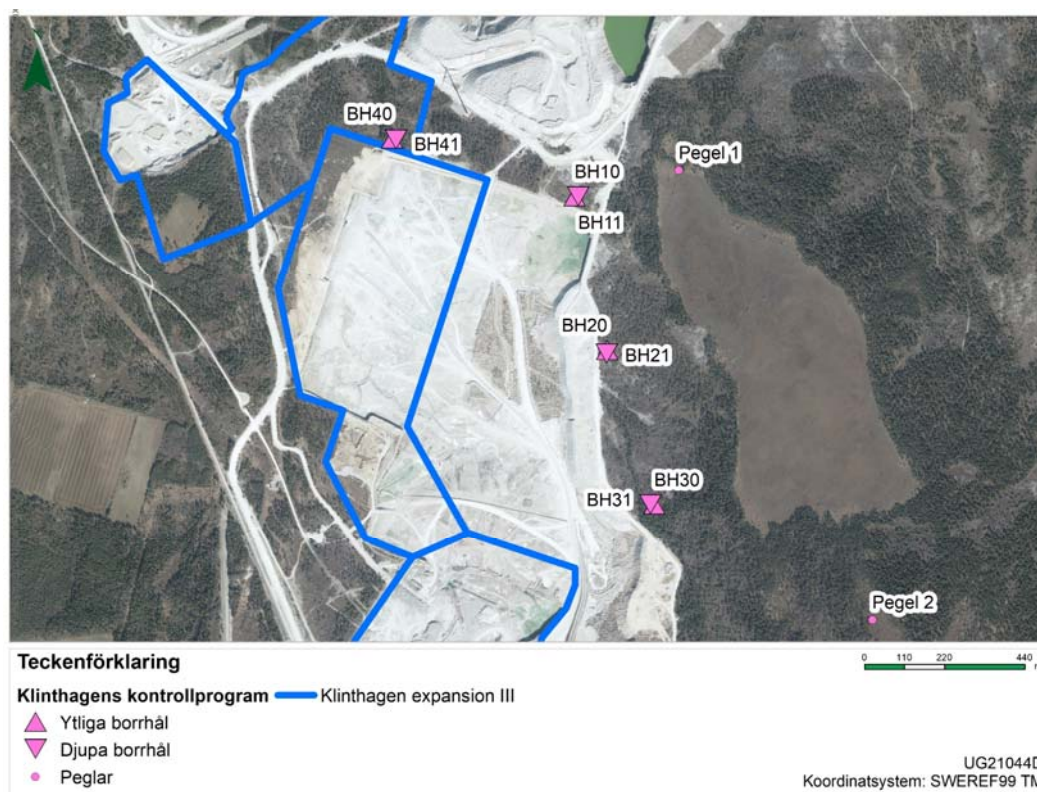
Vidare är ett generellt karaktärsdrag i området att vattentrycknivån i det djupare berget har en lägre trycknivå jämfört med det ytligare berget. Den stora trycknivåskillnaden visar på att den hydrauliska kontakten mellan det ytliga berget och det djupa berget är mycket dålig i vertikalled. Det innebär att det finns ytliga hängande lokala magasin, där grundvatten från de ytliga magasinerna långsamt läcker ner genom en lågpermeabel zon, dvs ett lager med tätare kalksten, till ett djupare grundvattenmagasin.

Det djupa berget uppvisar en bättre hydraulisk kontakt i horisontalled med större areell utbredning än det ytliga. Det ytliga kalkberget uppvisar flera olika magasin med sämre hydraulisk kontakt i horisontalled. Lokalt kan även god hydraulisk kontakt förekomma mellan det djupa och det ytliga kalkberget.



Figur 8. Schematisk bild över berggrunden, där tätare lager skapar olika grundvattenmagasin i en kalkstensstruktur.

Sedan 2004 har 6 borrhål utanför tätens nordöstra hörn mätts regelbundet manuellt samt med loggande tryckgivare. Under 2012 och 2013 byttes tryckgivartypen ut, till följd av driftstörningar på den äldre tryckgivartypen. 2016 utökades mätprogrammet med ytterligare fyra borrhål, varav två finns kvar idag. Totalt omfattar det nuvarande kontrollprogrammet alltså åtta bergborrhål, borrhål parvis ytligt och djupt, se Figur 9. De djupa borrhålen är inte tätade eller avskärmade i ytan. Mätningar utförs även i 15 enskilda brunnar.



Figur 9. Borrhålspar som ingår i Klinthagens kontrollprogram samt peglar vid slukhål i Hoburgsmyr (Pegel 1) samt referensmyr (Pegel 2).

Våren 2022 borrades 20 nya borrhålspar för långtidsmätning runt omkring täkten samt öster om Hoburgsmyr, se Figur 10. Syftet med de nya borrhålsparen var att undersöka skillnad i trycknivå och fluktuation mellan det djupare grundvattenmagasinet och de ytligare grundvattenmagasinen.

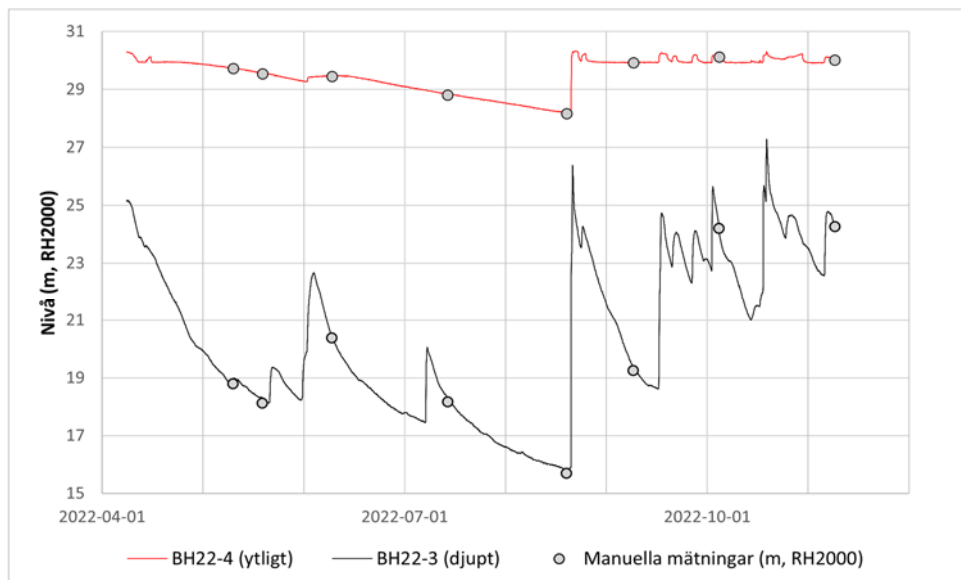
De djupa hålen borrades generellt till 30 - 40 m djup, där de översta 6 - 10 metrarna tätades/avskärmades antingen med gjutet foderrör eller med en genomborrade betongplugg. Sydöst om täkten, mot Takstens, användes tre befintliga borrade djupa borrhål (3530-9820, 3500-9870 och 3450-9870), inget av dessa borrhål är avskärmade mot ytan. BH22-11, som är ett djupt borrhål, visar sedan juli 2022 stopp på 4,6 m under markyta, vilket indikerar att foderröret kan vara knäckt och att avskärmningen för detta hål därmed sannolikt är bristfällig. De grunda hålen borrades till mellan 6 och 10 meters djup.



Figur 10. Läge och redovisning av skillnad i trycknivå för borrhålspar med grunda och djupa hål. Ett antal av de djupa borrhålen är inte avskärmade från det ytliga berget och kan då representera antingen ytligt eller djupt magasin eller en kombination av dessa beroende på vilka sprickor som ansluter till borrhålet.

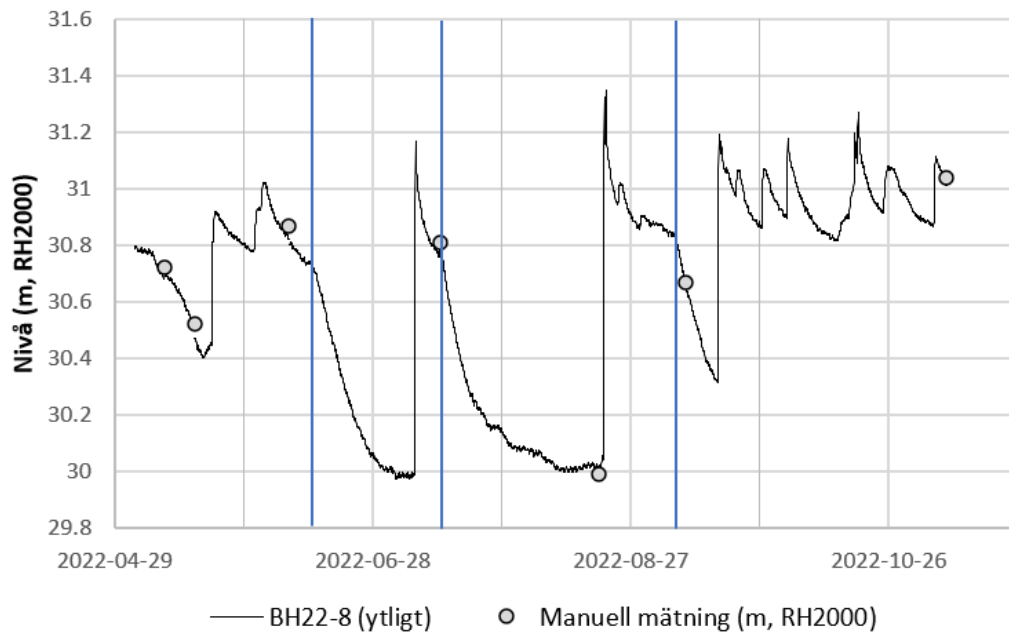
Grundvattennivåerna i och kring tåkten visar på stora variationsmönster både avseende fluktuationer och absolutnivå. Generellt så uppvisar de djupa borrhålen en bättre samvariation av fluktuationsmönster, jämfört med de ytliga. Detta tyder på att det djupa magasinet har en bättre hydraulisk kontakt i horisontalled och att de ytliga magasinen består av flera olika magasin med sämre hydraulisk kontakt i horisontalled.

Vidare är ett generellt karaktärsdrag i området att trycknivån i det djupare berget har en lägre trycknivå jämfört med det ytligare berget, vilket kan ses i de borrhålspar där de djupa hålen har en lyckad avskärmning. Generellt ligger tryckskillnaden på mellan 5 och 10 meter, se exempel i Figur 11. Samtliga mätningar redovisas i Bilaga 1 *Grundvattennivåobservationer långtidsmätningar*. Den stora trycknivåskillnaden visar på att den hydrauliska kontakten mellan det ytliga berget och det djupa berget är mycket dålig i vertikalled, något som även tidigare utredningar i området visat på (SGU 2002; Bergab 2012; Bergab 2014a; Bergab 2017). Det innebär att det finns ett ytligt hängande lokalt magasin och där grundvatten från det ytliga magasinet långsamt läcker ner till det undre, se konceptuell bild i Figur 8, avsnitt 3.3 *Grundvattenmagasin och -nivåer*.



Figur 11. Uppmätta nivåer i BH22-3 samt BH22-4 mellan april 2022 och november 2022. Borrhålen ligger 9 m från varandra, ca 1,5 km NÖ om aktivt täktområde och ca 300 m NÖ om Storugnsbrottet.

Utifrån nivådata omkring täkten, framför allt i de ytliga hålen, har det på olika platser observerats nivåfluktuationer som troligtvis kan förklaras av sifoneffekter (häverteffekter). Vid häverteffekter kan nivån i ett borrhål snabbt öka eller sjunka på grund av kontakt mellan olika strukturer. I nivådata kan en häverteffekt uttrycka sig som plötsliga nivåförändringar som liknar pumpkurvor, eller plötsliga nivåökningar utan nederbörd, se Figur 12.



Figur 12. Nivåobservationer i det ytliga borrhålet BH22-8. Blå streck visar de tidpunkter där avrinningen tros påverkas av en häverteffekt.

Liknande effekter i form av hävert/sifonpåverkad avrinning har tidigare bland annat diskuterats i *Gotlands grundvatten och dricksvatten* (Region Gotland, 2016), *Hydrogeologisk beskrivning av Bunge Ducker 1:64 med omgivningar* (SF GeoLogic, 2007), *Hoburgsmyr. Påverkan på grundvattenförhållandena av kalkstensbrytning* (SGU, 2002) samt *Hydrogeologiska förhållanden inom Slite köping på Gotland* (SGU, 1955). Effekterna observerades även vid pumptestet i Södra Klinthagen, se avsnitt 5.6 *Område Södra Klinthagen*.

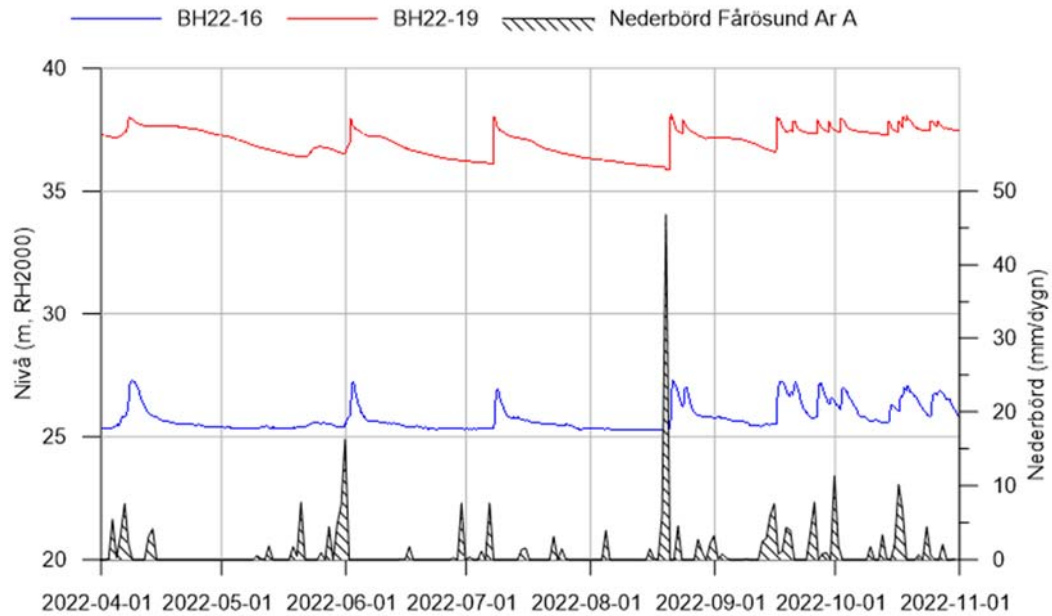
3.4 Grundvattenbildning

Mängden grundvatten som bildas i ett område beror av den årliga nederbörden, evapotranspiration samt jord- och bergarters förmåga att ta emot regn och ytvatten (infiltrationskapacitet). Grundvattenbildningen på Gotland varierar stort på olika platser och är även mycket svår att bestämma. Enligt Rohde et.al (2006) är den genomsnittliga grundvattenbildningen till jord på Gotland ca 200 mm/år. Grundvattenbildningen till berg är generellt mindre än detta. Huvuddelen av årsnederbörden blir ytavrinning eller flödar i ett ytligt grundvatten som sedan blir ytvatten under de tider som växtligheten inte tar upp vatten.

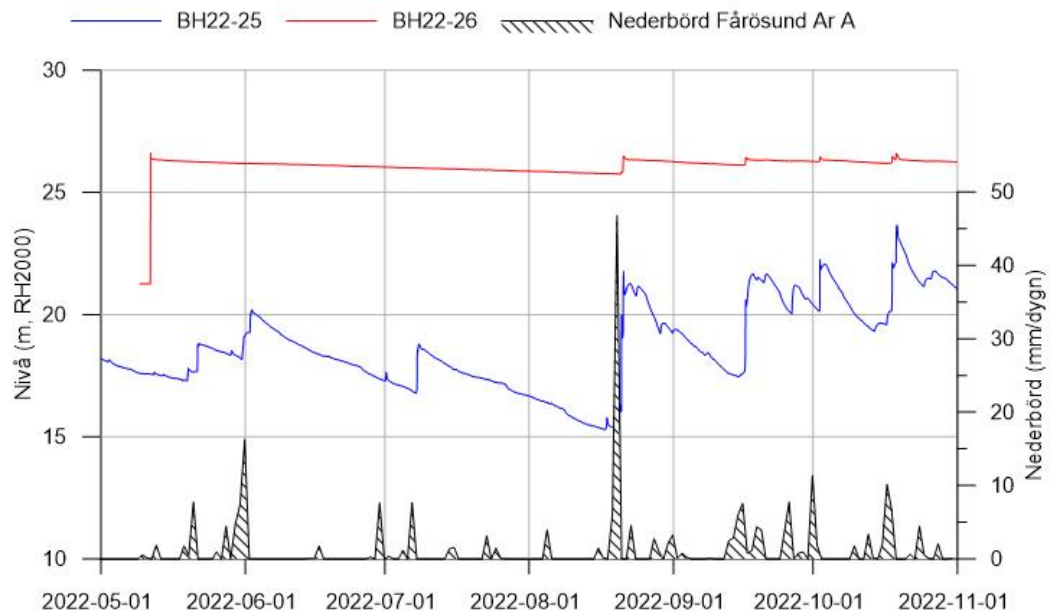
Ett uppsprucket ytberg samt karstformationer och täckande jordlager är några faktorer som ökar grundvattenbildningen till berg, speciellt en karstpåverkad berggrund har en stor påverkan på grundvattenbildningen i ett område (SGU, 2022b).

I vissa områden och tider på året ger nederbörd en direkt respons på nivåer i de ytliga grundvattenmagasinen, vilket illustreras av nivåer i det ytliga borrhålet i Figur

13. Grundvattennivåerna i det ytliga berget styrs av lokala förhållanden och magasinerna har begränsad utbredning (SGU, 2003), jämför respons på nederbörd i de ytliga borrhålen i Figur 13 och Figur 14.



Figur 13. Grundvattennivå i BH22-16 (djupt) och BH22-19 (ytligt) öster om Klinthagen samt nederbörd Fårösund Ar A.



Figur 14. Grundvattennivå i BH22-25 (djupt) och BH22-26 (ytligt) väster om Klinthagen samt nederbörd Fårösund Ar A.

Även om den hydrauliska kontakten mellan de ytliga och djupa grundvattenmagasinerna är begränsad, så visar även det djupa magasinet en god respons vid nederbörd. En ökad trycknivå i det ytliga magasinet i samband med

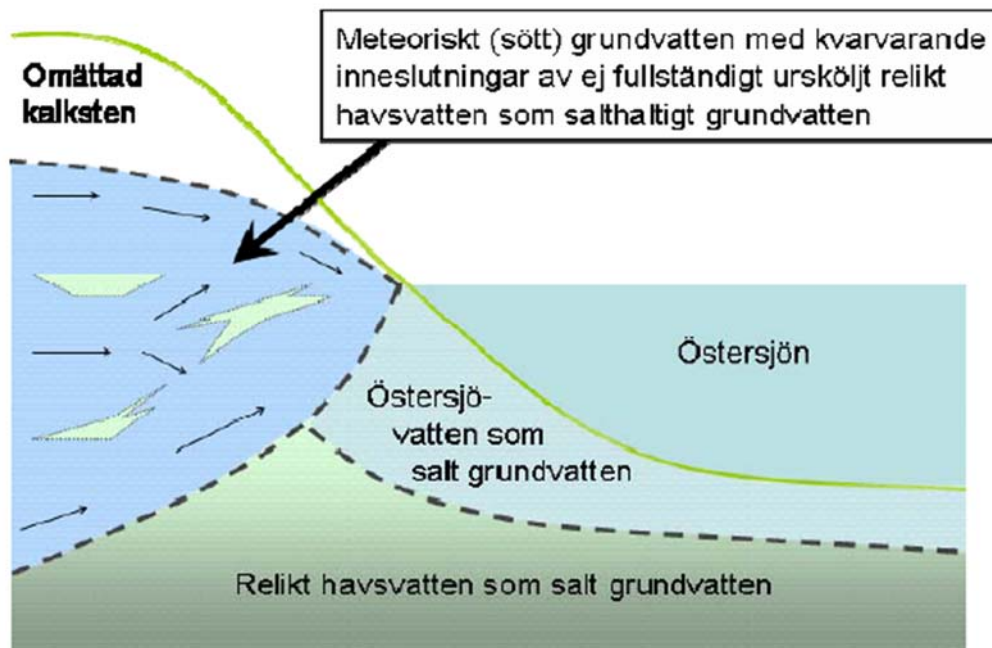
nederbörd innebär även att läckaget, dvs grundvattenbildningen, ner till det djupare magasinet ökar, se konceptuell bild i Figur 8, avsnitt 3.3 *Grundvattenmagasin och -nivåer*. En grundvattenbildning till det djupa berget kan även ske i de områden där det lokalt finns en bättre hydraulisk kontakt, och denna tryckökning sprider sig sedan i stora delar av det djupa magasinet till följd av den goda hydrauliska kontakten i plan, även i de områden där de ytliga och djupa magasinen har en begränsad kontakt, se Figur 13 och Figur 14.

En betydande grundvattenbildning uppkommer även vid större nederbördstillfällen under somrarna vilket kan ses i en stor del av borrhålen, både i de djupa och de grunda borrhålen, se Figur 13 och Figur 14 samt Bilaga 1 *Grundvattennivåobservationer långtidsmätningar*.

Med hänsyn till nivåobservationer i samband med nederbörd skulle ett rimligt medelvärde på grundvattenbildningen till det djupare berget kunna ligga omkring 35 mm/år utanför bruten mark, där merparten av grundvattenbildningen sker under vinterhalvåret (SGU, 2022a). Grundvattenbildningen till de ytliga magasinen är betydligt större än till det djupa berget. Ytliga karstsprickor medför att det i det ytliga berget finns stora magasineringsmöjligheter, och det är inte osannolikt att grundvattenbildning till ytligt berg uppgår till 150 mm/år eller mer i områden med hållmark och öppna ytliga sprickor.

3.5 Saltvatteninträngning

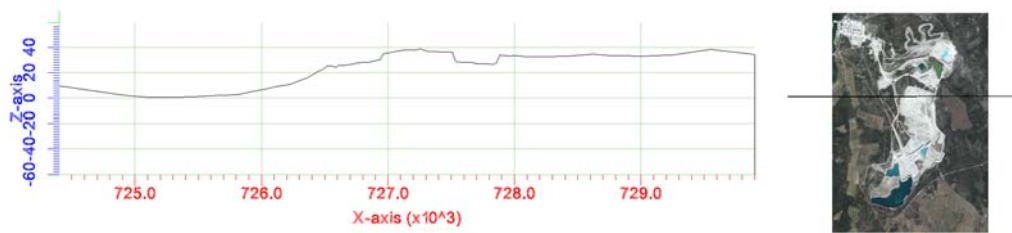
Då salt grundvatten har högre densitet än sött grundvatten, lägger sig enligt Arkimedes princip det salta grundvattnet under det söta grundvattnet. De senaste ca 5000 åren har gränsskiktet mellan salt och sött grundvatten till följd av landhöjning och urspolning från inträngande grundvatten från nederbörd, successivt förflyttat sig från markytan djupare ner i marken. På grund av kalkstenens karaktär i området med dåligt konnekterade spricksystem och täta partier, finns överallt där markytan nu ligger under nivå +25 m.ö.h, risk för så kallat inneslutet relikvatten, instängt salt grundvatten från Littorinahavets tid. Utöver det relikta grundvattnet, finns även i kustzonerna risk för uppträning av salt östersjövatten, vilken behandlas i aktuell rapport, se Figur 15.



Figur 15. Schematisk bild över förekomsten av salt grundvatten i Klinthagenområdet (IVL, 2022a).

Risken för höjda kloridhalter från relikthavsvatten har IVL (2022a) studerat och beskrivit i sin rapport. Samtliga uppmätta förhöjda kloridhalter bedöms av IVL härstamma från relikthavsvatten och det finns enligt IVLs undersökningar inget som tyder på att det i nuläget sker någon uppträngning av salt grundvatten från Östersjön i och kring täkten (IVL, 2022a).

Det exakta djupet till det salta grundvattnet är omöjligt att veta utan djupa borrhål. SGU har upprättat en 3D-modell över saltvattengränsen på Gotland utifrån bland annat resistivitetsmodeller från flygburna TEM-mätningar samt observationer från borrhål och jord- och berggrundskartor. I 3D-verktyget klassas allt vatten med en tolkad kloridhalt över 300 mg/L (smakgränsen) som salt grundvatten. SGU (2021). Inga halter över 300 mg/L har uppmätts i några borrhål inom Klinthagen. Enligt SGUs modell ligger gränsskiktet mellan det salta och det söta grundvattnet i den norra halvan av täktområdet mellan nivå -40 och -45 m.u.h. Vid Nordkalks hamn finns även information i SGUs brunnsarkiv om saltvatten i tre brunnar i anslutning till havet, vilket troligen skapat ett lager med saltvatten vid nivå -15 i modellen i närhet till nordvästra Klinthagen. I och kring den södra halvan av täktområdet ligger gränsen mellan -45 och -60 m.u.h. Detta är generellt ett större djup än brunnar är utförda till och brytning har endast utförts på avsevärt högre nivåer. I Figur 16 visas en höjdprofil över norra delen av Klinthagentäkten och omgivande topografi.



Figur 16. Höjdprofil vid Klinthagentäkten.

Ett sätt för att grovt approximera djupet till den underliggande saltvattenlinsen i en kustnära homogen akvifär, är Ghyben-Hertzbergs relation. Enligt denna metod bestäms djupet till saltvattengränsen från havsnivån (z) med hjälp av densiteten i det salta vattnet (ρ_s), densiteten i det söta grundvattnet (ρ_f) samt grundvattennivåns höjd över havsnivån (h_f) enligt

$$z = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f$$

Östersjöns salthalt ner till ca 50 m djup ligger kring 0,7 %, kloridhalt kring 4000 mg/l och har en densitet på ca 1,055 g/cm³ (Hagström, M et al. 2018). Med $\rho_s = 1,055$ g/cm³ och $\rho_f = 1,000$ g/cm³ kan förhållandet skrivas om till $z \approx 18h_f$. Med en grundvattennivå i nuvarande lägsta täktbotten, skulle gränsen mellan salt och sött grundvatten med denna uträkningsmetod ligga ca 180 m.u.h. Denna metod är med aktuella förutsättningar inte lämplig för att bestämma saltvattengränsens position, men kan ändå ge en indikation om hur gränsen förhåller sig till avståndet till kusten.

Sammantaget tyder generella metoder att uppskatta saltvatteninträngning från Östersjön på att det inte föreligger en risk för direkt saltvatteninträngning från Östersjön vid Klinthagen.

4 Skyddsobjekt

Med skyddsobjekt avses de områden, verksamheter eller objekt i täktens närhet som riskeras att påverkas ur ett grundvattenperspektiv från brytning i Klinthagentäkten. I inventeringen har både enskilda samt allmänna intressen ingått, bl.a. vattentäkter, grundvattenberoende naturvärden, enskilda energi- och dricksvattenbrunnar och sättningskänsliga områden. Inventering av grundvattenberoende naturvärden redovisas i separat PM samt i MKB.

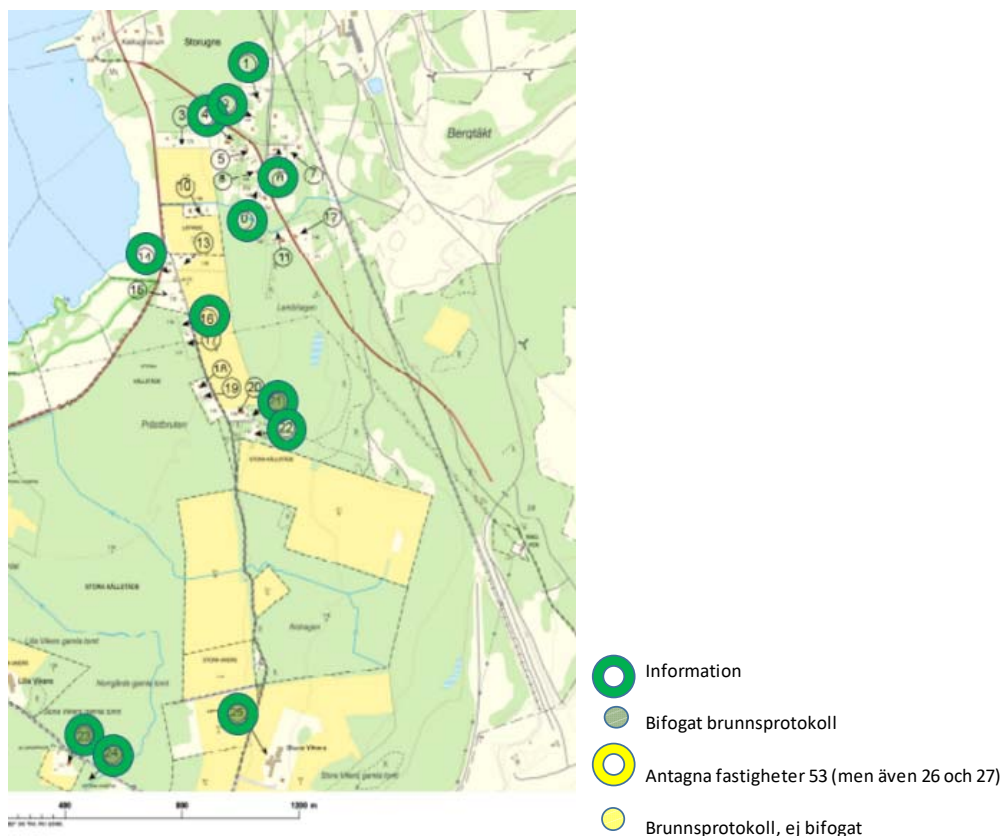
Sammanfattningsvis finns i området grundvattenförekomsten Norra Gotland – Kappelshamn och enskilda brunnar som kan påverkas av en trycksänkning i det djupa magasinet. I området finns även naturreservat och Natura 2000-områden, Klinthagenbäcken, Ekedalskällan och grundvattenberoende naturvärden norr om Södra Klinthagen.

4.1 Enskilda brunnar

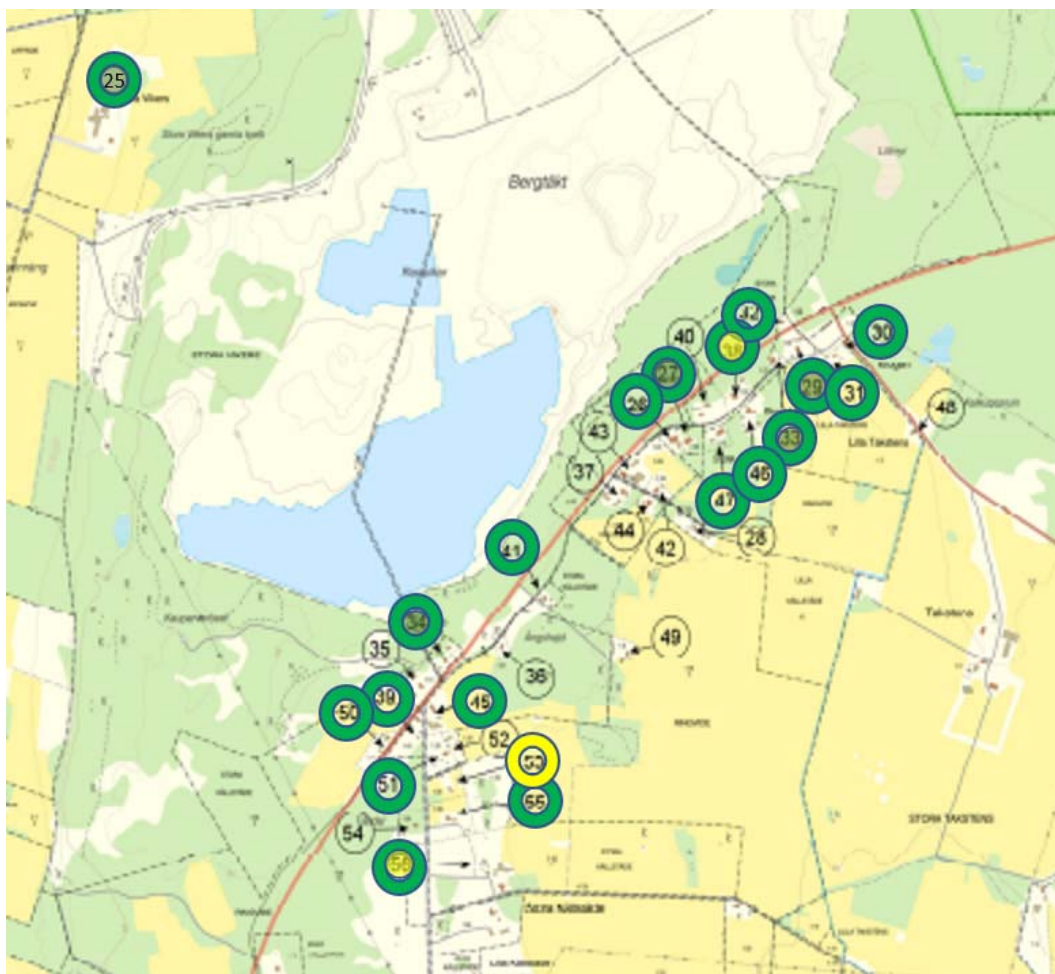
Nordkalk har under 2021 och 2022 utfört en inventering av enskilda energi- och dricksvattenbrunnar i närhet till Klinthagentäkten (Nordkalk, 2022).

Brunnsinventeringen redovisas på karta i Figur 17 och Figur 18.

Grundvattennivåmätningar och vattenkemisk provtagning i ett antal av dessa brunnar ingår i Klinthagentäktens befintliga kontrollprogram.



Figur 17. Karta över fastigheter med inventerade brunnar väster om Klinthagen (Nordkalk, 2022).



Figur 18. Karta över fastigheter med inventerade brunnar söder om Klinthagen (Nordka k, 2022).

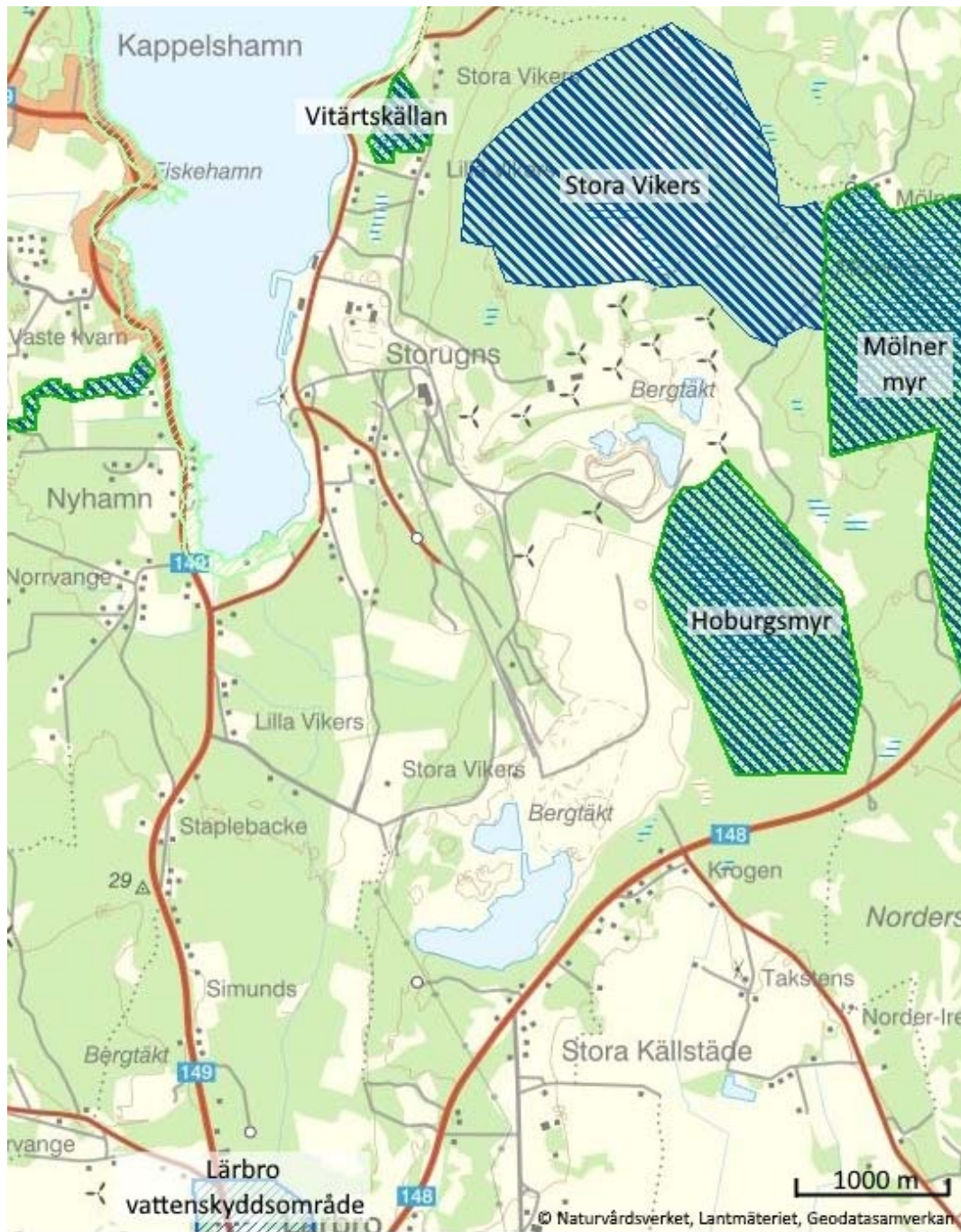
4.2 Vattenförekomst

Klinthagentäkten ligger inom det geografiska område som omfattas av grundvattenförekomsten Norra Gotland – Kappelshamn, ID: WA45016481 (VISS, 2022). Grundvattenförekomsten uppnår enligt VISS miljö kvalitetsnormerna för god kemisk grundvattenstatus samt god kvantitativ status men bedöms riskera en försämring av både den kvantitativa och kemiska grundvattenstatusen till år 2027. Riskerna är kopplade till saltvatteninträngning, dels kvantitativt med hänsyn till en förändrad vattenbalans i området, dels kemiskt med hänsyn till uppmätta kloridhalter (under riktvärdet 100 mg/l men över väntad trend 50 mg/l). Riskerna bedöms föreligga till följd av vattenuttag inom grundvattenförekomsten. (VISS, 2022).

Det finns flera grundvattenberoende ekosystem som är anslutna till denna grundvattenförekomst, inklusive ytvattenförekomster och terrestra ekosystem. De som ligger inom 2 km från täkten redovisas i avsnitt 4.3 *Skyddade områden*.

4.3 Skyddade områden

I Kappelshamnsviken är delar av kuststräckan skyddad i syfte att bevara och vårda geologi och substratmiljöer (sand, block m.m), bevara den biologiska mångfalden med avseende på fågelfauna och tillgodose behov av område för friluftslivet, se Figur 19. 2,5 km nordväst om Klinthagentäkten finns Vitärtskällan, som är ett naturreservat och Natura 2000-område som är skapat i syfte att bevara kärlväxtflora, tillgodose behov av område för friluftsliv och då särskilt med avseende på naturpedagogik samt vårda och bevara våtmarksmiljöer, kärr och bete som är värdefulla naturmiljöer. 1,5 km rakt norr om Klinthagentäkten återfinns Natura 2000-området Stora Vikers som har en varierad natur och höga naturvärden. I området finns en stor areal av karsthällmarker, med inslag av rikkärr i anslutning till hällmarkerna. En bevarandeplan finns ännu inte, men är under framtagande. 1-2 km nordost om Klinthagentäkten finns Mølner myr, som är ett naturreservat och Natura 2000-område. Naturreservatet Mølner myr är skapat i syfte att bland annat bevara en större agmyr och utveckla områdets olika naturtyper. Direkt öster om Klinthagentäkten återfinns Hoburgsmyr, som är ett naturreservat och Natura 2000-område. Hoburgsmyr redovisas utförligare under avsnitt nedan. 1,8 km sydväst om Klinthagen finns Lärbro vattenskyddsområde.



Naturvårdsregistret

- Naturreservat
- Vattenskyddsområde
- Naturvårdsområde
- Art- och habitatdirektivet (SCI)

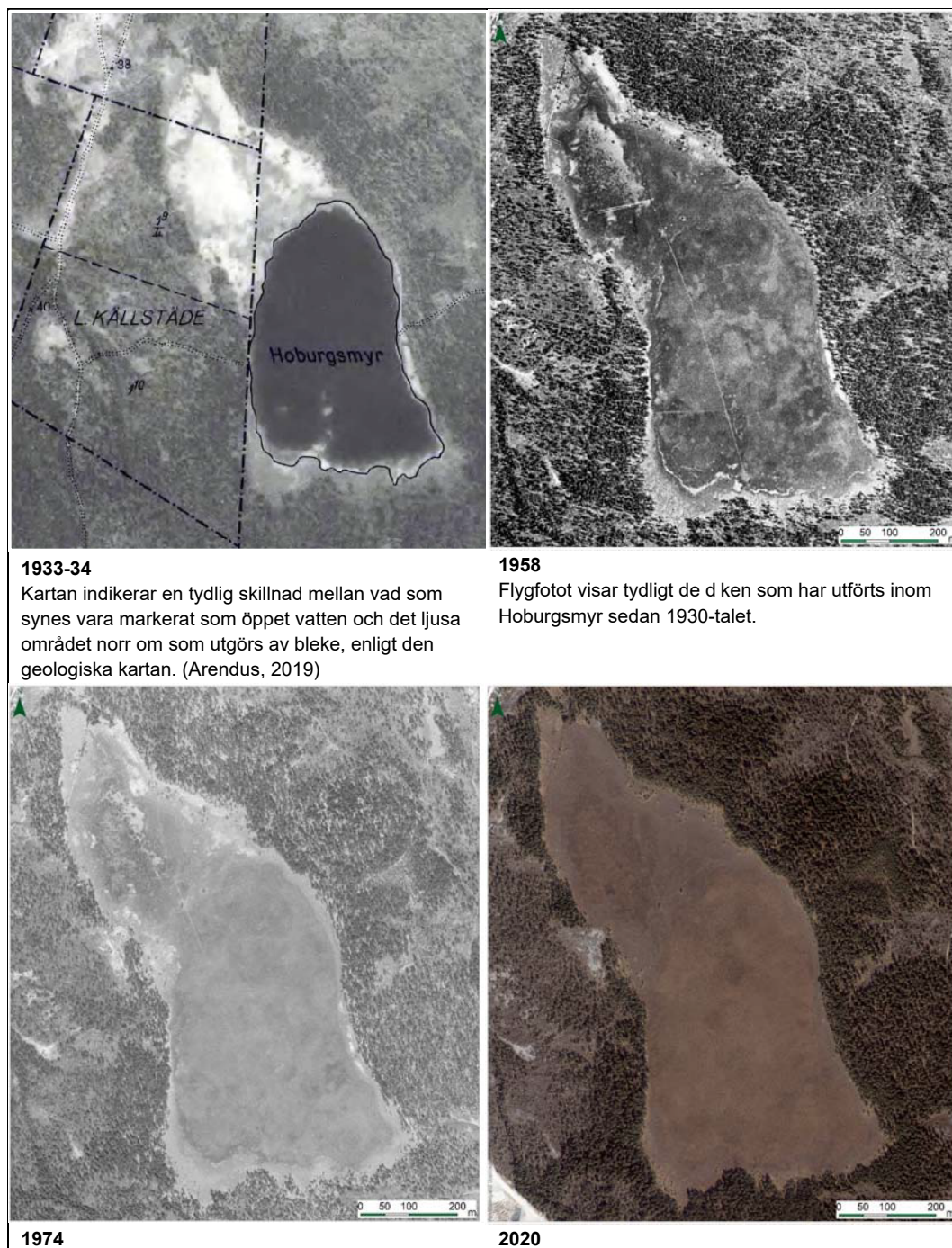
Figur 19. Skyddade områden kring Klinthagen, enligt Naturvårdsregistret. (Naturvårdsverket, 2023)

4.3.1 Natura 2000 Hoburgsmyr

Hoburgsmyr är ett naturreservat och Natura 2000-område direkt öster om Klinthagentäkten, som består av en agmyr med omgivande rikkärr.

I Hoburgsmyr utgörs de övre jordarterna av torv och kalkgyttja i ytan, som sannolikt underlagras av moränlera (SGU, 2002). Jordlagren bedöms som täta enligt SGU. Myrens existens bygger på förekomsten av tätande jordarter som underlag i ett bäcken till vilket det rinner vatten från ett tillrinningsområde. Jordlagren i myrens östra delar bedöms som tunna. På myrens västra sida finns ställvis berg i dagen (SGU, 2002). Myren saknar synliga tillflöden och är beroende av tillströmmande fastmarkvatten (ytligt grundvatten och ytvatten) (SGU, 2002 och IVL, 2003). Någon tillförsel av grundvatten från större djup bedöms inte ske (SGU, 2002).

Hoburgsmyrs tillrinningsområde har enligt SGU minskat med ca 25% sedan 1977 till följd av brytning av Storugnsdagbrottet och Klinthagentäkten (SGU, 2020). Denna minskning av tillrinningsområdet har skett utan synbar förändring av Hoburgsmyrs utbredning, se Figur 20, vilket visar att det alljämt finns ett överskott av vatten inom området. En mer omfattande historisk beskrivning av Hoburgsmyr och förändring av markförhållanden redovisas i *PM Historien om Hoburgsmyr Lärbro socken, Gotland* (Arendus, 2019) där det konstateras att myrens utbredning inte har förändrats väsentligt sedan 1960-tal.



1933-34

Kartan indikerar en tydlig skillnad mellan vad som synes vara markerat som öppet vatten och det ljusa området norr om som utgörs av bleke, enligt den geologiska kartan. (Arendus, 2019)

1958

Flygfotot visar tydligt de diken som har utförts inom Hoburgsmyr sedan 1930-talet.

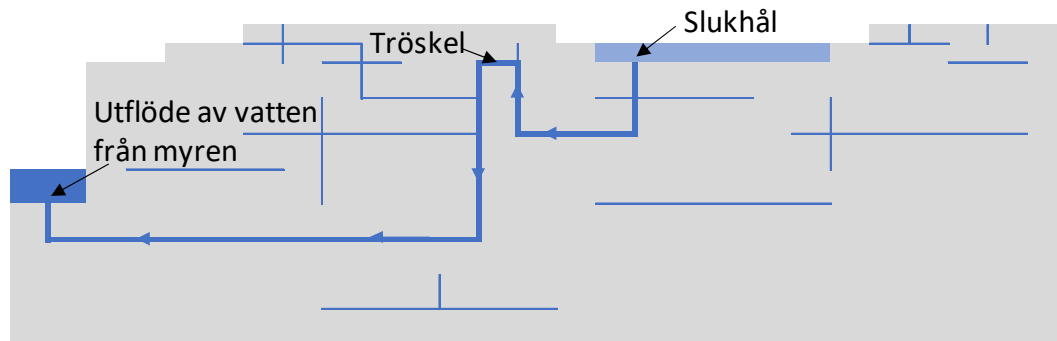
1974

2020

Figur 20. Flygfoton över Hoburgsmyr från 1930-tal till 2020-tal. ©Lantmäteriet.

Avvattning av myren sker via ett s.k. slukhål, dvs en karststruktur, i nordvästra hörnet. Vatten leds till slukhålet via dikning. Karststrukturen har en hydraulisk kontakt med det gamla stenbrottet Storugnsdagbrottet ca 200 m NNV om Hoburgsmyr (SGU, 2002). Avvattningen från Hoburgsmyr styrs av en tröskelnivå i det (karst)system som slukhålet ansluter till (SGU, 2020). Då avvattning sker till ett grundvattenmagasin med lägre nivåer än myrens markyta avgränsas avvattningen

dels genom tröskeln och dels genom mängden vatten som kan flöda genom systemet, se princip i Figur 21.



Figur 21. Princip över hur avvattning via slukhål med en tröskel kan se ut. Tröskeln tillsammans med hur mycket vatten som kan flöda i systemet styr avvattningen. Nivån på vilket utflödet sker saknar betydelse för avvattningen.

Ytvattennivåer vid slukhålet i Hoburgsmyr har mätts av Nordkalk sedan 2014 och de varierar mellan +31,5 m, då myren är torr, och omkring +31,8 till +32,2 m då myren har som mest vatten. En statistisk analys av nivåerna vid Pegel 1 i Hoburgsmyr, tillsammans med en jämförelse av nivåerna i en referensmyr söder om Hoburgsmyr samt nivåer i Rutemyr ca 5 km nordöst om Hoburgsmyr, redovisas i rapporten *Trendanalys Hoburgsmyr* (IVL, 2022b). Resultatet från analysen visar att ingen förändring av Hoburgsmyrs vattenstånd till följd av täktverksamheten har skett under tidsperioden som det finns mätdata (2013-07 till 2021-12).

4.4 Övrigt

I området förekommer inga sättningkänsliga jordar och därför finns inte heller några sättningkänsliga objekt vars grundläggning kan påverkas negativt på grund av grundvattenbortledning. Inga kända föroreningar eller fornlämningar riskerar heller att påverkas till följd av en grundvattenbortledning.

5 Utförda undersökningar och resultat

Undersökningarna har delats upp i undersökningsområden baserat på de planerade brytområdena som redovisas under avsnitt 2 *Planerad verksamhet* och Figur 2.

Flera olika typer av hydrauliska tester har utförts. Utförda undersökningar samt resultat redovisas i Bilaga 2 *PM Hydrauliska tester*.

I samtliga undersökningsområden har borrhål etablerats och hydrauliska korttidstest i form av pulstest genomförts. Pulstest ger en uppskattning av bergets genomsläpplighet i det testade borrhålets omedelbara närhet. I ett urval av borrhål genomfördes pulstest som sektionerade test för att bedöma kalkstenens egenskaper på olika nivåer. Sektioneringen genomfördes med hjälp av manschett. Manschetten tätar borrhålet på installerad nivå och pulstest kan genomföras både ovan och under manschetten. En manschett möjliggör tryckobservationer i olika delar av bergmassan genom att först sänkas ner i borrhålet till önskad nivå och sedan expanderas med gas för att avgränsa den hydrauliska kontakten mellan delarna av borrhålet som finns över och under manschetten. Vatten från den övre delen av borrhålet, kan således inte rinna ner under manschetten. Pulstesterna är utvärderade enligt Cooper, et. al (1967) samt enligt Hvorslev (1951).

I samtliga undersökningsområden har även provpumpningar utförts. Provpumpningarna har genomförts med varierande varaktighet, antal observationspunkter och utrustning. Två provpumpningar har utförts med manschetter i observationsborrhål. När observationsborrhål avgränsas med manschett är det möjligt att följa upp påverkan från provpumpningen på olika djup i bergmassan. Upplägget för provpumpningarna och placering av manschetterna har i första hand utgått från planerade brytdjup och bergmassans egenskaper. Beroende på erhållna resultat har provpumpningarna främst utvärderats efter Theis lösningsmetod för slutna akvifärer (1935) och Hantush och Jacobs lösningsmetod för läckande akvifärer (1955).

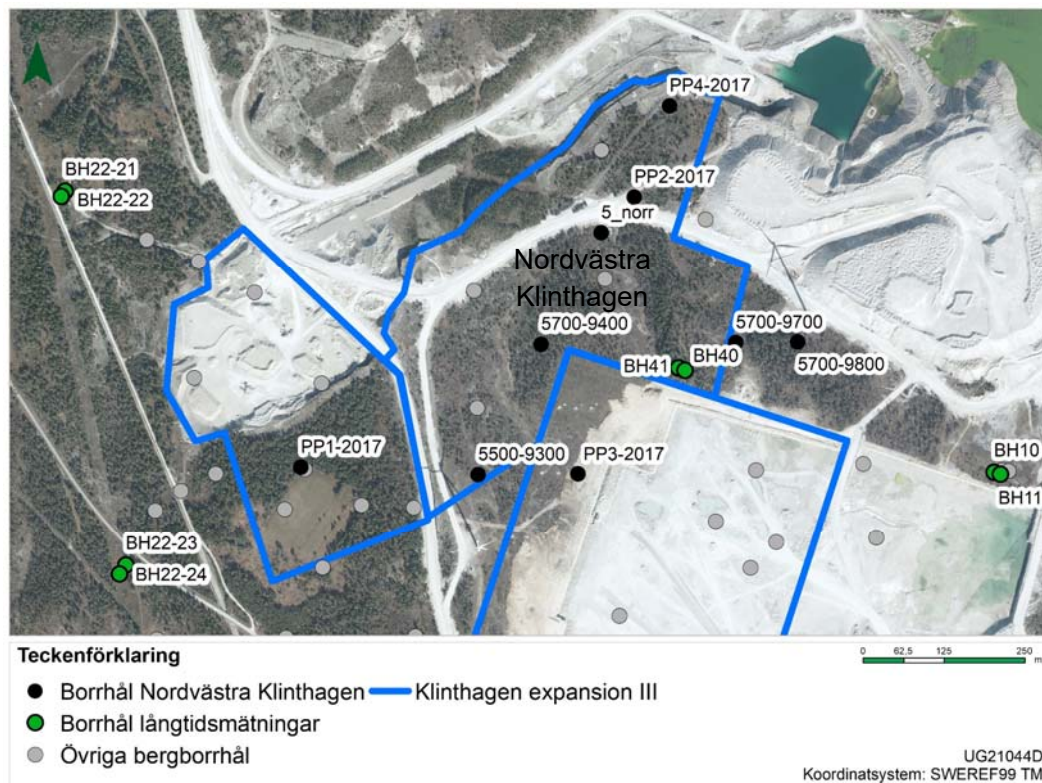
Grundvattennivåmätningar har utförts inom samtliga undersökningsområden i samband med genomförda hydrauliska tester. Mer storskaligt har grundvattennivåmätningar utförts kontinuerligt under flera år inom ramen för Klinthagens kontrollprogram. I nuvarande kontrollprogrammet ingår nivåmätningar i åtta bergborrhål, 15 enskilda brunnar och tre ytvattenpeglar. Under 2022 har ytterligare 38 borrhål etablerats utanför befintligt verksamhetsområde för att få en bättre helhetsbild över tätens närområde. Borrhålen har borrats parvis, dels på djup mellan ca 6-10 m och dels på djup mellan ca 30-40 m. Ett antal borrhål är även etablerade på ett stort avstånd från tåkten (1-1,7 km) för att kunna fungera som referensobservationer av grundvattenfluktuationer i berg. Borrhålen är instrumenterade med tryckgivare som kontinuerligt loggar grundvattennivå sedan våren 2022. Grundvattennivåernas fluktuationer i ytliga och djupa borrhål beskrivs i avsnitt 3.3 *Grundvattenmagasin och -nivåer*.

5.1 Område Nordvästra Klinthagen

Följande undersökningar har utförts inom område Nordvästra Klinthagen och redovisas utförligt i Bilaga 2 *PM Hydrauliska tester*:

- Provpumpning 2017
- Hydrauliska korttidstest med och utan manschett 2017
- Grundvattennivåobservationer

Bergborrhål som använts för undersökningarna redovisas i Figur 22.



Figur 22. Borrhål som har använts för undersökningarna för Nordvästra Klinthagen.

De hydrauliska testerna samt grundvattennivåobservationerna visar tydligt på avgränsade grundvattenmagasin i de ytligare och i de djupare delarna av bergmassan. Grundvattentrycket är generellt högre i den ytliga bergmassan jämfört med den djupare. Båda magasinen reagerar tydligt på nederbörd.

Grundvattennivåerna fluktuerar naturligt upp till 18 m och varierar därmed mellan nivåer ovan och under närliggande täktbotten.

De utförda testerna visar att det djupare berget, på nivåer mellan +6 m och +17 m, har en högre genomsläpplighet och hydraulisk kontakt över ett större område än det ytliga. Utförda korttidstest i det djupare berget visar på en hydraulisk konduktivitet kring $3E-7$ m/s, med enstaka värden på uppmätt konduktivitet högre än $1E-5$ m/s. Utförd provpumpning i ett djupt bergborrhål (PP2-2017) som pågick under 10 dygn ledde till en påverkan som sträckte sig 340 m inom det djupa magasinet, med

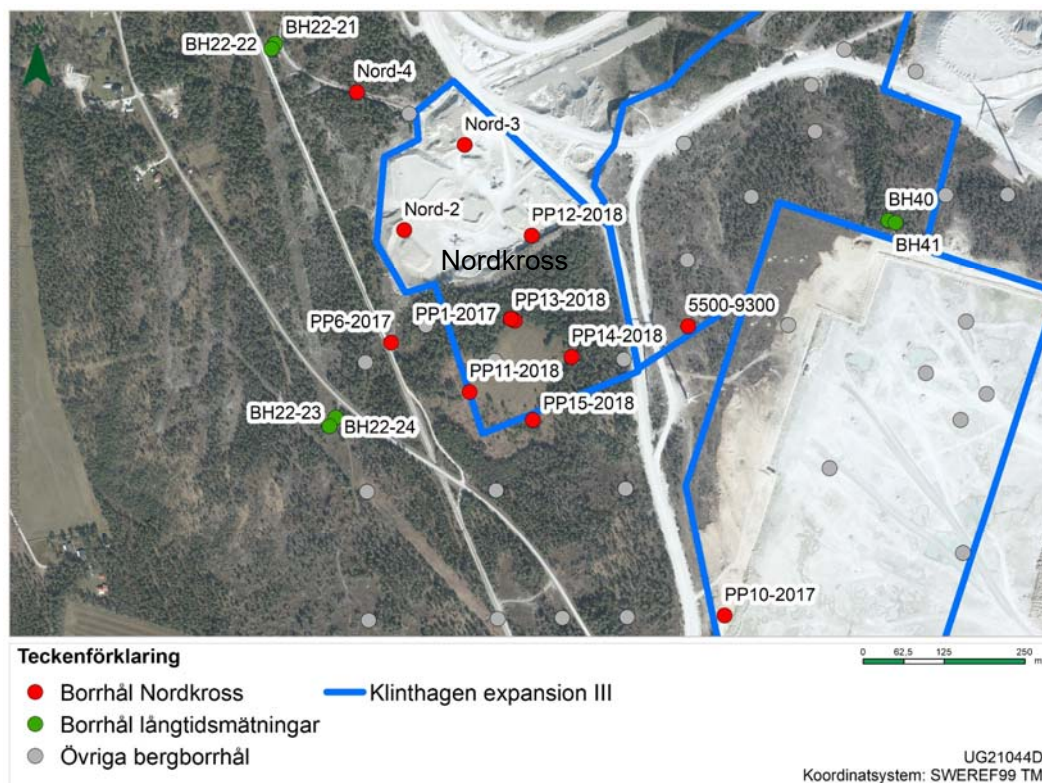
påverkan främst mot syd och sydost. Påverkan som spred sig inom det relativt stora området samt erhållen magasin-koefficient från provpumpningen på $6E-6$, baserad på integrerad analys av provpumpningen enligt Theis (1935), visar på ett slutet och begränsat magasin på djupet. Det ytliga magasinet påverkades ej vid provpumpningen. Korttidstest visade på ett mycket tätt ytberg, där den hydrauliska konduktiviteten generellt uppgår till omkring $4E-9$ m/s eller lägre.

5.2 Område Nordkross

Följande undersökningar har utförts inom område Nordkross och redovisas utförligt i Bilaga 2 *PM Hydrauliska tester*:

- Provpumpning 2017
- Provpumpning 2018 med manschetterade observationspunkter
- Hydrauliska korttidstest med och utan manschett 2017 och 2021
- Grundvattennivåobservationer

Bergborrhål som använts för undersökningarna redovisas i Figur 23.



Figur 23. Borrhål som har använts för undersökningarna för Nordkross.

Långtidsobservationer i omkringliggande observationsborrhål visar tydligt på avgränsade grundvattenmagasin i de ytligare och i de djupare delarna av bergmassan norr och öster om Nordkross-området. Väster om Nordkross-området skiljer sig trycknivåerna mindre i de två avgränsade magasinen och kan tyda på en

bättre vertikal hydraulisk kontakt i bergmassan. Grundvattennivåerna i både de ytliga och de djupa delarna av berget följer topografin i området mot nordväst. I den norra delen av Nordkross-området har nivåer i samband med hydrauliska tester observerats ligga omkring +15 m och i den topografiskt högre liggande delen i söder har nivåer observerats omkring +19 m. Inom den norra delen av Nordkross-området, där tidigare kalkbrytning redan skett, ligger markytan ca 10 m lägre än i den södra delen. Marknivån ligger på ca +20 m i den norra delen och omkring +30 m i den södra. Samtliga uppmätta grundvattennivåer i samband med hydrauliska tester inom Nordkross-området låg lägre än täktbotten inom närliggande brutna täkt i området Norra Klinthagen.

De hydrauliska korttidstesterna visade att de borrhål med lägst konduktivitet återfinns i den södra delen av Nordkross. Den hydrauliska konduktiviteten låg i norr mellan $1E-7$ m/s och större än $1E-5$ m/s och i syd mellan mindre än $1E-9$ m/s och $1E-5$ m/s. De testade borrhålen i den norra delen är belägna i ett redan utbrutet område och det kan inte uteslutas att berget är mer uppsprucket där på grund av tidigare sprängning.

Provpumpningen som utfördes i borrhål PP1-2017 under 2 dygn 2017, med ett flöde omkring 10-11 l/min, ledde endast till avsänkning i pumpbrunnen men ingen avsänkning kunde observeras i observationsborrhålen. Utvärderingen av provpumpningen visade på att Hantusch-Jacob's lösning för läckande akvifer var den lösning som passade bäst. Detta kan indikera att det finns vertikala sprickor i området, vilka konnekterar det ytliga med det djupare magasinet i området, och att det djupare magasinet fylls på främst av de vertikala sprickorna som har kontakt med både det ytligare och det djupare horisontella grundvattenmagasinet.

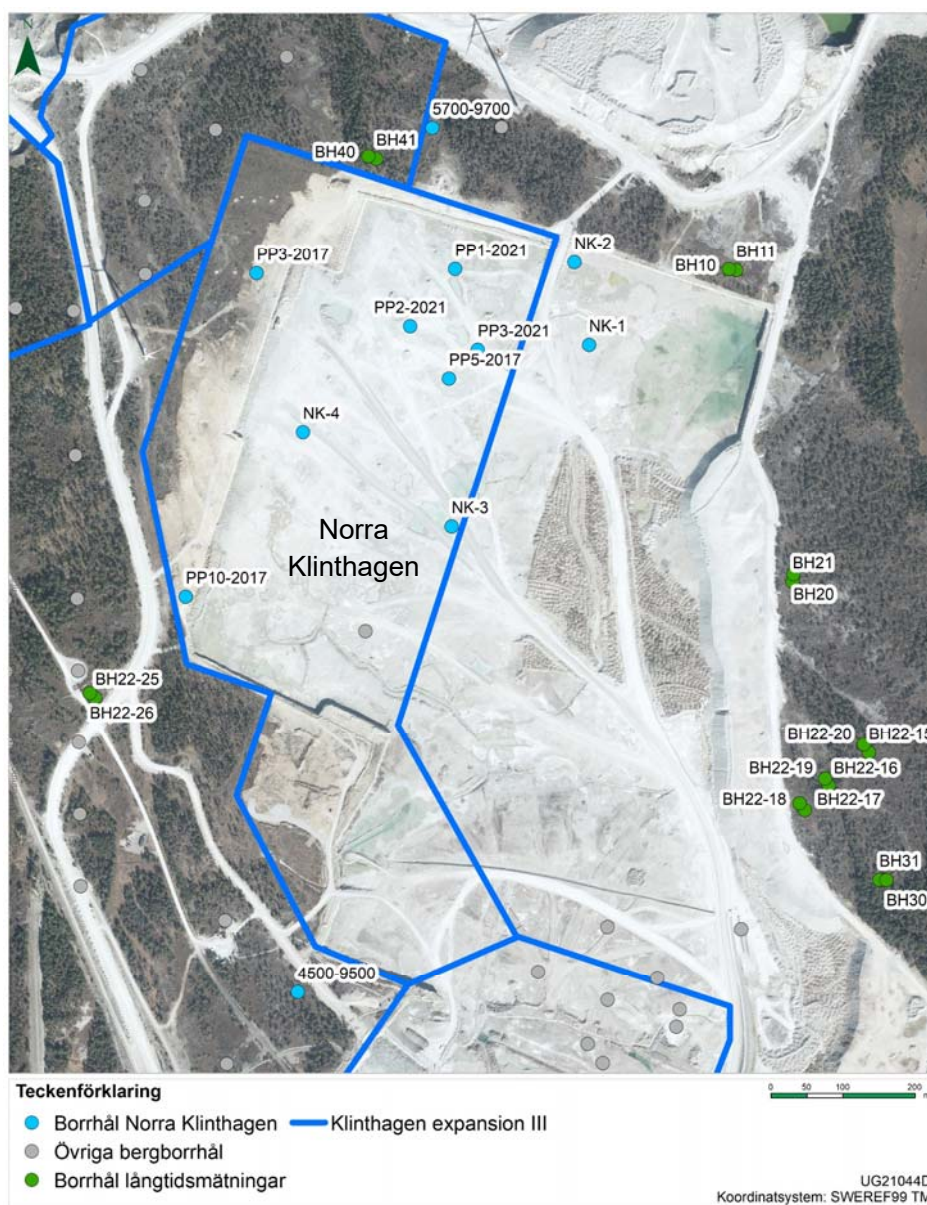
Vid provpumpningen som utfördes 2018 användes samma pumpbrunn som 2017, den utfördes dock med sektionerade observationsborrhål och observationspunkter på ett närmre avstånd till pumpbrunnen. Pumpningen pågick under ca 3 dygn med ett flöde på inledningsvis ca 15 l/min för att efter ca 15 timmar justeras ner till ca 12 l/min. Observationer från provpumpningen tillsammans med manschetterna pulstester och noteringar från borrhålen visade på ett horisontellt förekommande vattenförande sprickplan med en flack lutning från nordost mot sydväst på en nivå mellan cirka +6 m och +8 m. Tryckskillnaderna som observerades ovan och under manschett utesluter dock inte vertikala vattenförande sprickor som konnekterar det ytliga med det djupare magasinet lokalt i området. Den snabba och tydliga responsen som erhöles under provpumpningens gång visar att sprickplanet inte står i kontakt med något karstsystem utan består av ett litet, men väl sammanhängande grundvattenmagasin i det djupare berget. Nivåerna ovan manschetterna, där dessa var belägna ovan det beskrivna sprickplanet, visar på en sjunkande trend vid expansion av manschetterna. Detta indikerar att sprickorna ovan manschett inte matas av ett större sammanhängande ytligt grundvattenmagasin.

5.3 Område Norra Klinthagen

Följande undersökningar har utförts inom område Norra Klinthagen och redovisas utförligt i Bilaga 2 *PM Hydrauliska tester*:

- Provpumpning 2021
- Hydrauliska korttidstest med och utan manschett 2017 och 2021
- Grundvattennivåobservationer

Dessutom har ytterligare två propumpningar i angränsande områden utförts 2017 respektive 2022. Dessa redovisas under avsnitt 5.1 *Område Nordvästra Klinthagen* och avsnitt 5.4 *Område Centrala Klinthagen*. Bergborrhål som använts för undersökningarna redovisas i Figur 24.

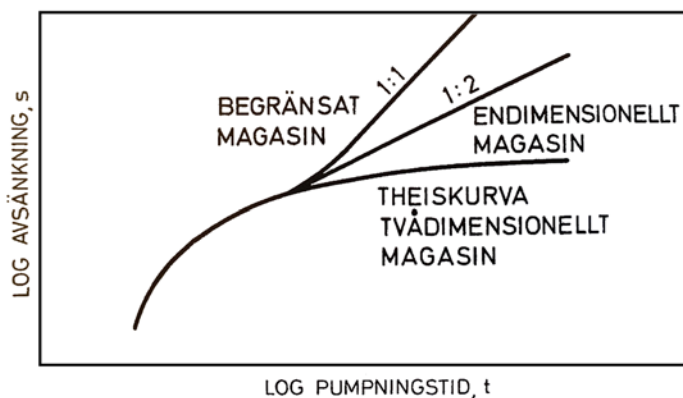


Figur 24. Borrhål som har använts för undersökningarna för Norra Klinthagen.

Grundvattennivåer närmast täktkant, både norr och väster om det redan brutna området inom Norra Klinthagen, visar på högre trycknivåer i den ytliga bergmassan än i den djupare. Grundvattennivåerna i det djupare berget fluktuerar beroende på årstid ovan och under befintlig brytnivå, nivåerna i det ytligare berget ligger ovan brytnivå. Tryckskillnaderna visar att de ytliga och djupa magasinerna i kalkstenen är avgränsade från varandra. Detta styrks även av provpumpningen som visade på en påverkan i det djupt liggande magasinet, dock ej i det ytliga.

Utförda hydrauliska test inom området Norra Klinthagen utfördes i bergborrhål etablerade inom brutna täkt. Provpumpningen som utfördes under 6 dagar i ett bergborrhål med bottenivå +1 ledde till en påverkan som observerades i det djupt liggande grundvattenmagasinet inom en radie på 375 m från pumpbrunnen. Ingen påverkan kunde observeras i det ytliga magasinet. Utvärdering av provpumpningen gav en transmissivitet på ca $3E-5 \text{ m}^2/\text{s}$ och ett magasinstal på $7E-6$ (-). Formen på pumpbrunnens avsänkningskurva visar att pumpbrunnen sitter i ett begränsat magasin, se Figur 25.

Den snabba och tydliga responsen som erhöles under provpumpningen visar att magasinet inte står i direkt kontakt med stora uthålliga vattenvolymer utan består av ett begränsat grundvattenmagasin i det djupare berget



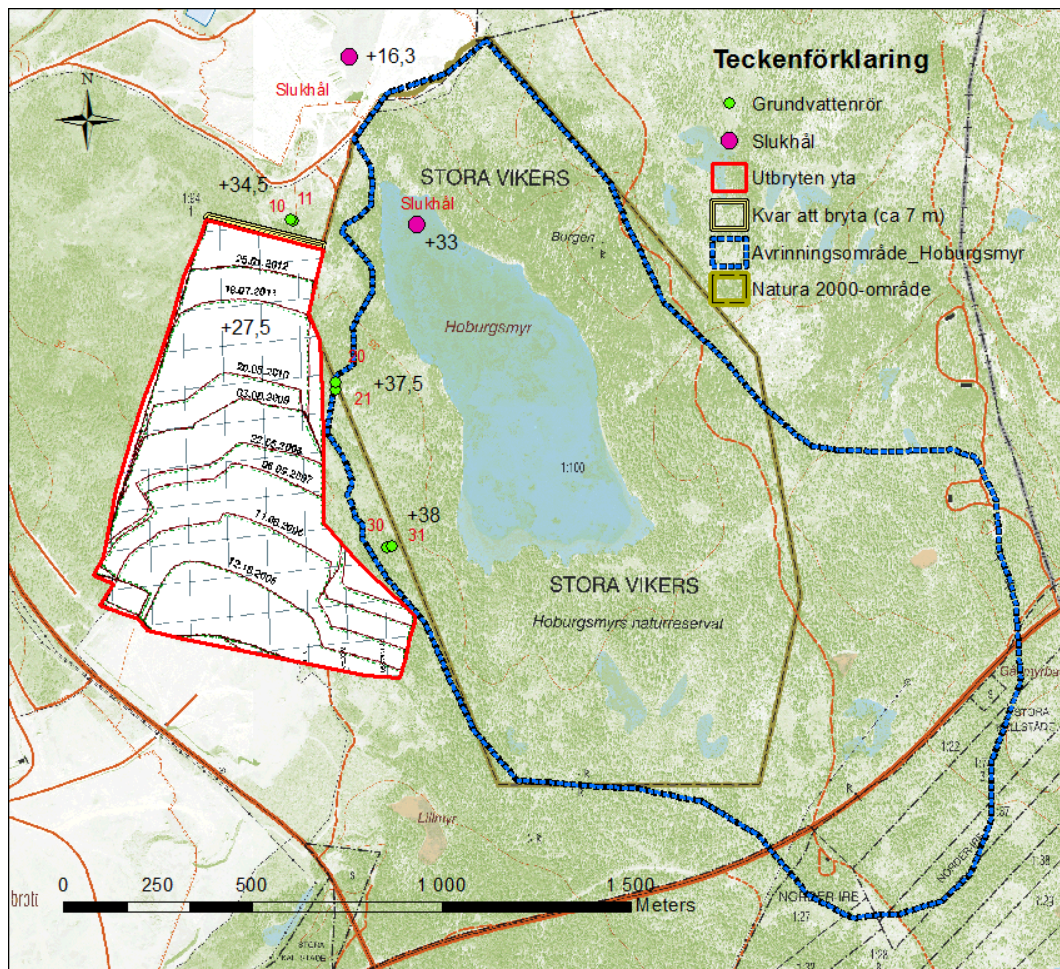
Figur 25. Avsänkningskurvas form vid olika magasinstyper (Carlsson & Gustafson, 1997).

De hydrauliska korttidstesterna utförda inom denna djupa bergmassa visar på mycket heterogena hydrauliska förhållanden. Tio borrhål har testats, varav fyra med manschett och den hydrauliska konduktiviteten av berget i borrhålets direkta närhet varierar mellan mindre än $1E-9 \text{ m/s}$ och $1E-6 \text{ m/s}$.

5.3.1 Övriga observationer

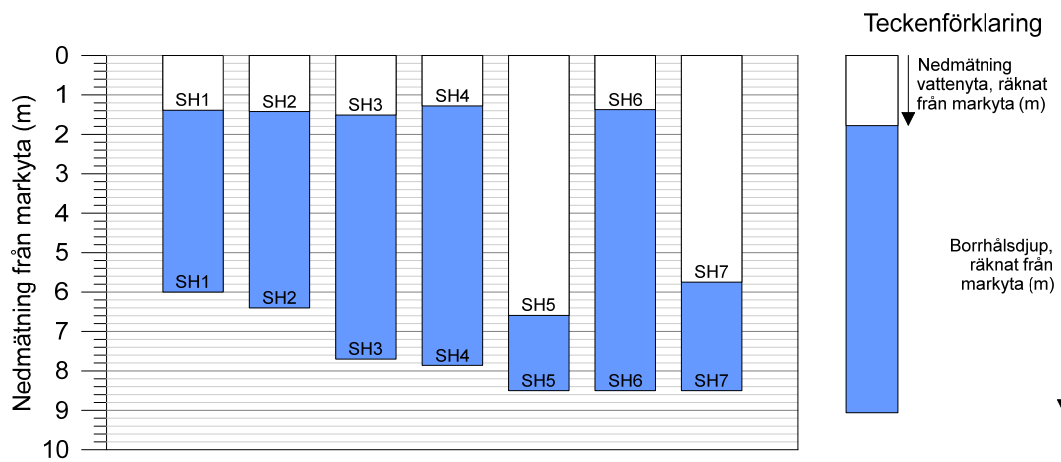
I takt med att området öster om Norra Klinthagen bröts ut från söder till norr loggades nivåer i de parvis borrhålen BH10 och BH11, BH20 och BH21 samt BH30 och BH31, se Figur 26. Det kunde då observeras att trycknivån i BH11, som är ett djupt borrhål, började påverkas när brytfronten befann sig på ett avstånd om 500 - 1 000 m söder om denna punkt. Det har konstaterats att borrhålet BH11 har en lägre högsta trycknivå efter 2007 och att denna förändring beror på dränering av sub-

horisontella vattenförande strukturer som konnektar mot tåkten (Bergab, 2012). Avsänkningen av högsta-nivåerna uppgår till omkring 5-6 m, de låga nivåerna är oförändrade. Ingen förändring kan ses i BH10, som är det ytliga borrhålet på samma plats. En temporär avsänkning på omkring 1,5 m och 8 m observerades i borrhålen BH20 respektive BH21. Nivåerna återhämtade sig och BH21 uppvisar från år 2012 ett mönster som motsvarar nivåfluktuationerna i det ytliga grundvattenmagasinet. Orsaken till att nivåerna har återgått till ej avsänkta nivåer kan vara flera, t.ex. igensättning av sprickor, ökad grundvattenbildning m.m. (Bergab, 2012).

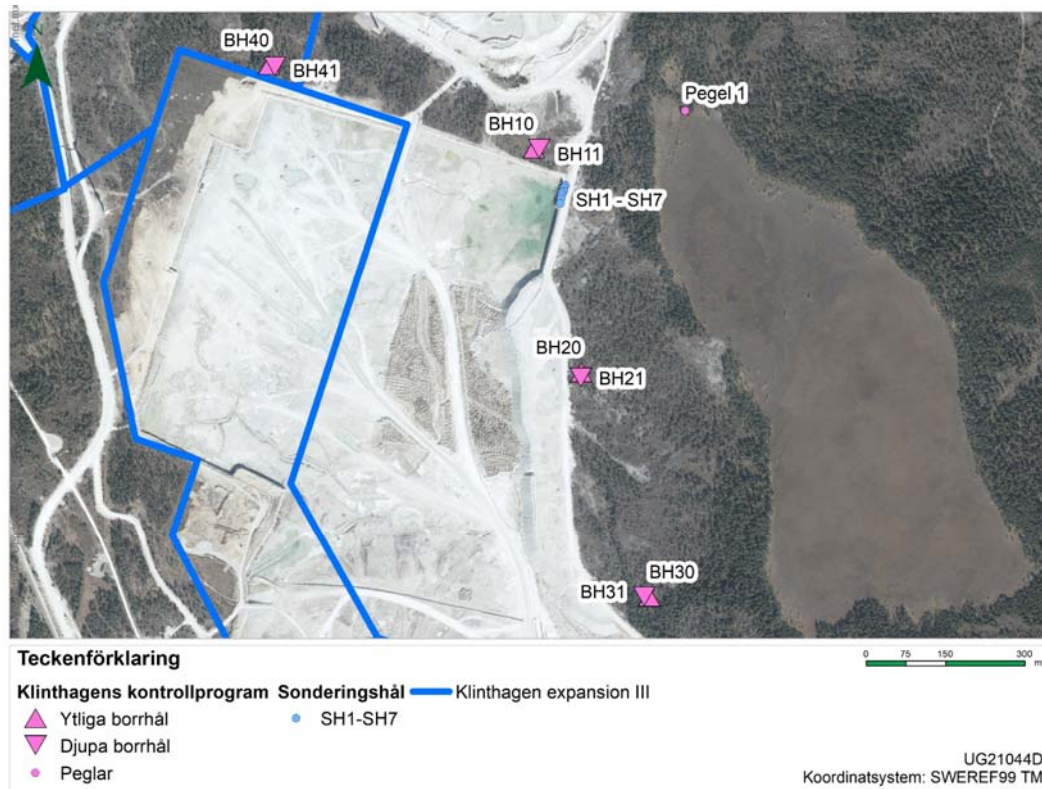


Figur 26. Brytfronter med datum från Bergab (2012).

I Figur 27 redovisas nivåer observerade i oktober 2017 i borrhål som är belägna ca 2-5 m från den nordöstra tätkanten av Klinthagens dagbrott, se Figur 28. Trots det korta avståndet till tätkanten har huvuddelen av borrhålen mycket höga grundvattennivåer. Att nivåerna skiljer sig mycket från ett hål till ett annat tyder dessutom på att borrhålen har mycket dålig hydraulisk kontakt sinsemellan.



Figur 27. Grundvattennivå samt lodat borrhålsdjup i sonderingsborrhål, 3 m från nordöstra tätkanten. Täktbotten ligger ca 10 m ner.



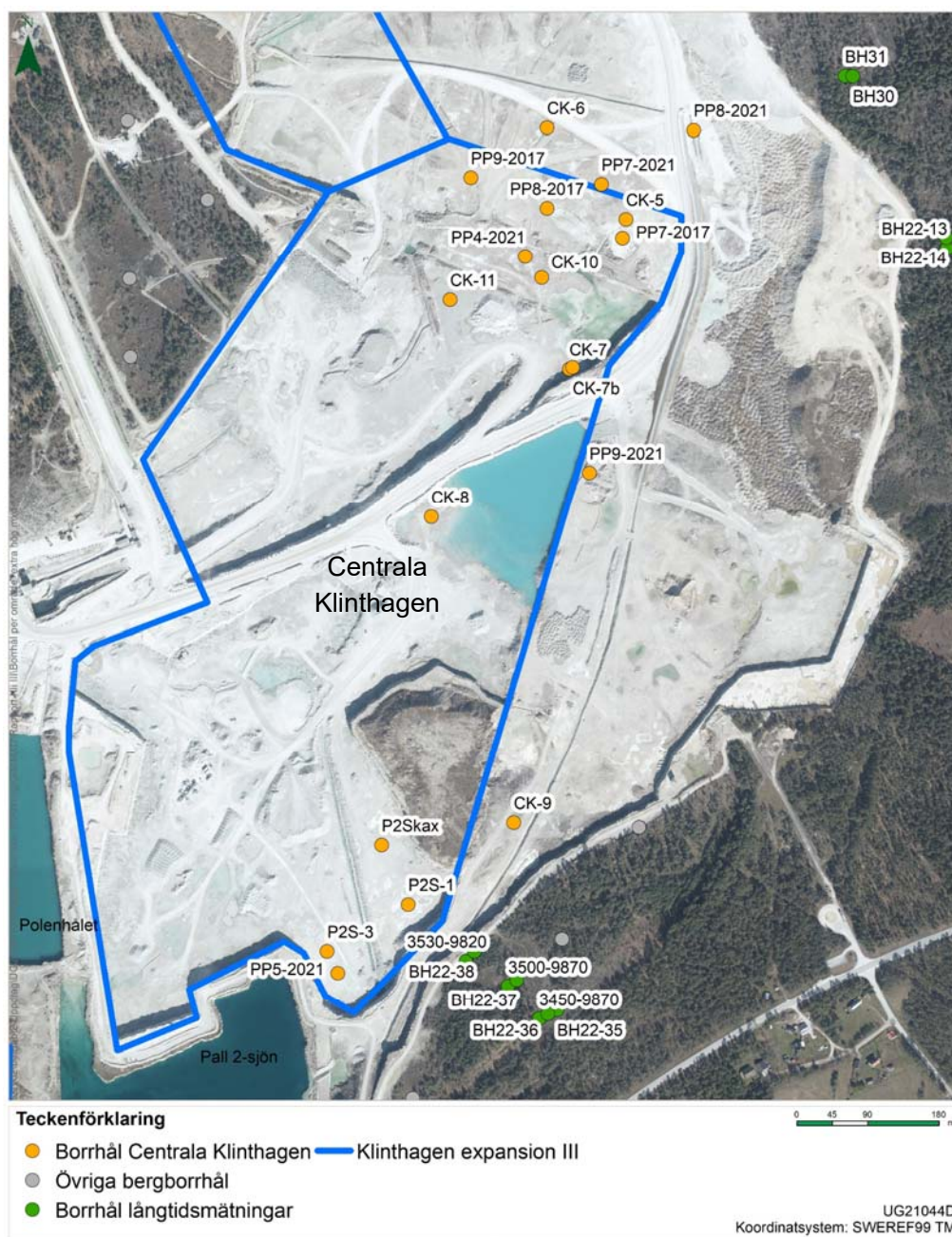
Figur 28. Läge över borrhålspar som ingår i Klinthagens kontrollprogram och pegel vid slukhål i Hoburgsmyr, samt läge för sonderingshål utanför tätkant i nordost.

5.4 Område Centrala Klinthagen

Följande undersökningar har utförts inom område Centrala Klinthagen och redovisas utförligt i Bilaga 2 *PM Hydrauliska tester*:

- Provpumpning 2021
- Hydrauliska korttidstest med och utan manschett 2017 och 2021
- Grundvattennivåobservationer

Bergborrhål som använts för undersökningarna redovisas i Figur 29.



Figur 29. Borrhål som har använts för undersökningarna för Centrala Klinthagen.

Område Centrala Klinthagen är ett sedan tidigare brutet täktområde med brytnivåer mellan +10 m och +24 m. I bergborrhål som är etablerade på obruten mark, nordost, öster och söder om Centrala Klinthagen ligger grundvattennivåerna ovan brytnivåerna inom Centrala Klinthagen, både i observerade ytliga samt djupa grundvattenmagasin. De omkringliggande parvisa bergborrhålen där det djupa borrhålet är tätat i den ytliga delen visar på tydliga tryckskillnader mellan de ytliga och djupa magasinerna, varav grundvattennivån i det ytliga berget ligger högre. Denna tryckskillnad kan även ses i bergborrhålen väster om Centrala Klinthagen, dock ligger grundvattennivåerna lägre där än öster om tåkten, vilket motsvarar den sluttande topografin västerut. Lägst uppmätta grundvattennivå i obruten mark väster om Centrala Klinthagen sedan mätstart våren 2022 uppgår till ca +13,5 m i det djupa berget. I de borrhålspar där de djupa hålen inte är tätade i den ytliga delen är trycknivåerna och fluktuationerna likartade, men det föreligger ändå en trycknivåskillnad mellan de olika magasinerna, se Figur 10 under avsnitt 3.3 *Grundvattenmagasin och -nivåer* samt Bilaga 1 *Grundvattennivåobservationer långtidsmätningar*. Denna skillnad är dock inte lika tydlig som för borrhålspar där det djupa borrhålet är avskärmat från ytligt berg.

I flertalet bergborrhål som ligger inom täktdelarna med brytnivå omkring +10 m ligger grundvattenytan mellan 0,5 m till 1,5 m under täktbotten, dvs. på nivåer mellan +9 m och +10 m. Flertalet bergborrhål som pulstestats under 2017 och 2022 visar på mycket konduktiva sprickor strax under befintlig brytnivå (0-3 m under täktbotten). Detta styrks även av de observationer som kan göras i bergväggen inom norra delen av Centrala Klinthagen, se vidare avsnitt 5.4.1 *Övriga observationer*, där dropp och utflöde har kunnat observeras ca 1 m under pallvägg. Sprickorna kan ha uppstått till följd av tidigare brytning, då tidigare brytmetod ledde till uppsprucket kvarlämnat ytberg. Samtidigt visar även utförda pulstest samt utförd propvpumpning på ett mycket tätt berg. Den hydrauliska konduktiviteten som mäts utöver de mycket genomsläppliga sprickorna uppgår till mellan $<1E-9$ och $1E-6$ m/s.

Propvpumpningen som utfördes i norra delen av Centrala Klinthagen under ca sex timmar i maj 2021 visar på mycket låg vattengenomsläpplighet. Flödena justerades ned ett flertal gånger, men även ett pumpflöde på 0,8 l/min tömde pumpbrunnen på vatten och pumpen gick torr. Ingen nivåpåverkan kunde ses i omkringliggande observationsborrhål. I södra delen av Centrala Klinthagen var ytterligare en propvpumpning planerad, dock utfördes den aldrig eftersom etablerad pumpbrunn i samband med enhålstest visade sig vara omgiven av mycket tätt berg.

5.4.1 Övriga observationer

I den norra delen av Centrala Klinthagen kan dropp och utflöde konstateras ca 1 m under pallvägg från ovanliggande brytområde, se Figur 30 och Figur 31.

I den södra delen av Centrala Klinthagen kan ett synligt inläckage 2-3 m under pallkant, ca 4-5 m brett, observeras på ett ställe i den befintliga tätkanten, se Figur 30 och Figur 32. Sprickan genom vilken utflöde av vatten sker är troligtvis i kontakt

med dike och mindre vattenansamling som leder vatten till Pall 2-sjön. Sprickan ligger ungefär på samma nivå som vattennivån i Pall 2-sjön.



Figur 30. Läge för synligt inläckage i anslutning till Centrala Klinthagen.



Figur 31. Läckage av vatten från pallvägg i norra delen av Centrala Klinthagen, som angränsar till högre beläget brytområde. Läge för utflöde och dropp är markerat med röd linje.



Figur 32. Synligt inläckage i södra delen av Centrala Klinthagen.

5.5 Område Takstens

Under perioden som undersökningarna utfördes var Takstens aktuellt som ett brytområde. Detta område har under samrådsprocessen utgått.

Följande undersökningar har utförts inom område Takstens och redovisas utförligt i Bilaga 2 *PM Hydrauliska tester*.

- Provpumpning 2022
- Hydrauliska korttidstest 2021 och 2022
- Grundvattennivåobservationer

5.6 Område Södra Klinthagen

Följande undersökningar har utförts inom område Södra Klinthagen och redovisas utförligt i Bilaga 2 *PM Hydrauliska tester*:

- Provpumpning 2021 och 2022
- Hydrauliska korttidstest 2021 och 2022
- Grundvattennivåobservationer

Bergborrhål som använts för undersökningarna redovisas i Figur 33.



Figur 33. Borrhål som har använts för undersökningarna vid Södra Klinthagen.

De hydrauliska testerna samt nivåobservationerna i och kring området Södra Klinthagen visar på olika trycknivåer mellan den djupare bergmassan och den ytliga bergmassan. Väster om området uppvisar det djupare borrhålet på högre trycknivåer än det ytliga och är periodvis artesiskt, vilket skiljer sig från övriga observationer kring Klinthagen. Borrhålen väster om täkten ligger i ett område som är lägre beläget jämfört med verksamhetsområdet, se avsnitt 3 *Områdesbeskrivning*.

Att trycknivåerna mellan det ytliga och djupa berget är olika visar att den hydrauliska kontakten mellan de djupare och ytligare magasinerna är begränsad.

I borrhålsparet söder om tåkten håller det djupa borrhålet ungefär samma nivå som det grunda borrhålet under sommarhalvåret, för att under höst och vinter stiga ca 0,5 - 1 m ovan nivån i det grunda borrhålet.

Tre provpumpningar har gjorts inom området, både i bruten och obruten tåkt. Två av provpumpningarna visade på mycket täta borrhål där pumpning endast ledde till borrhålstömning och gav inga responser i omgivande observationspunkter. Utvärdering av de båda provpumpningarna gav en transmissivitet på ca $8E-8$ m²/s respektive $1E-6$ m²/s. Återhämtningen i en av pumpbrunnarna visade på en linjär återhämtning från pumpstopp fram till att det var ca en meter kvar av återhämtningen. Kurvans avvikelse från lineariteten först i slutet av återhämtningen tolkas som att vatten endast tillförs borrhålet i dess översta del, ca 2 m under markytan. Den djupare delen av pumpbrunnen bedöms vara tät.

Den tredje provpumpningen i området utfördes med flöden på omkring 7,5-10 L/min visade på kraftigt varierande avsänkning trots relativt små flödesförändringar, som mest sänktes brunnen av ca 23 m ner till nivå +0 m. Brunnen tillfördes ett relativt konstant flöde oberoende av avsänkning, vilket tolkas som att borrhålet troligen tillförs vatten från den ytligare delen av borrhålet. Pumpningen gav inga responser i omgivande observationspunkter. Transmissiviteten i borrhålet utvärderades till $7E-7$ m²/s.

De hydrauliska korttidstest samt observation av återhämtning av nivå efter borring som gjorts inom området visar på en stor variation i hydrogeologiska egenskaper. Flera av pulstesterna som utförts inom brutet tåktområde har visat på något högre konduktiviteter på mellan $1E-7$ m/s till $5E-6$ m/s och enstaka pulstest har visat på så tätt berg att testet inte har varit möjligt att utvärdera. I samband med borring så blåses borrhålen rena från vatten och observationer av nivååterhämtning kan användas för att bedöma borrhålens vattenförande förmåga. Flera av borrhålen visade på en mycket långsam återhämtning, vilket innebär att tillflödet till borrhålen är väldigt lågt och omgivande berg bedöms därför ha en låg hydraulisk konduktivitet.

Sammantaget visar de tester och observationer som gjorts inom och utanför Södra Klinthagen på en heterogen bergmassa.

6 Beräkningar inläckage och påverkansområde

Syftet med beräkningarna är att resultaten ska utgöra ett komplement till de observationer som har gjorts i form av hydrauliska tester, grundvattennivåer och faktisk påverkan från befintlig täkt.

Beräkning av teoretiskt influensområde har gjorts analytiskt med metod enligt Marinelli och Niccoli (2000) samt numeriskt med MODFLOW och programvaran GMS.

Båda metoderna utgör en förenkling av verkligheten och representerar påverkan i det djupare kalkberget där tester och observationer visar att det finns en horisontell hydraulisk kontakt. Beräkningsmetoderna hanterar kalkstenen som en homogen sammanhängande bergmassa med en enhetlig hydraulisk konduktivitet inom större områden och tar därmed inte hänsyn till de heterogeniteter som de facto föreligger avseende bland annat hydraulisk konduktivitet och förutsättningar för grundvattenbildning. De analytiska beräkningarna förutsätter dessutom att täkten har en radiell geometri och den omkringliggande grundvattenytan är horisontell samt på samma nivå i plan kring hela täkten. På grund av metodernas inbyggda begränsningar och gjorda antaganden ger inte beräkningarna en entydig bild av influensområdets utbredning, utan resultaten behöver tolkas tillsammans med övriga observationer från de hydrogeologiska utredningarna.

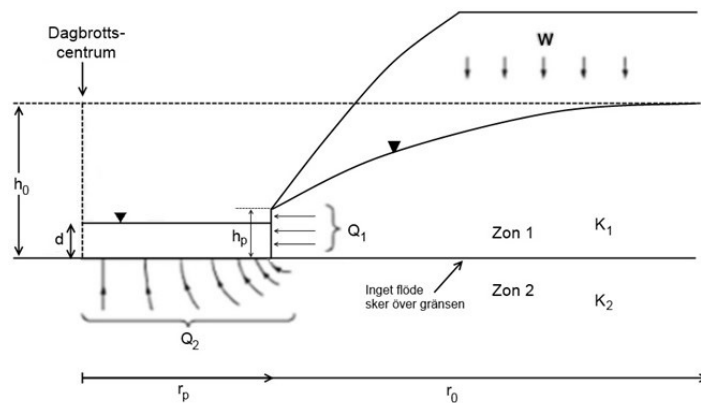
Den samlade bedömningen av den framtida täktens omgivningspåverkan bygger därmed på en integrerad tolkning av observationer och beräkningsresultat.

6.1 Analytiska beräkningar

Beräkning av teoretiskt influensområde har gjorts med metod enligt Marinelli och Niccoli (2000). Syftet med de analytiska beräkningarna är att på ett enkelt sätt redovisa indata och presentera ett transparent beräkningsresultat som kan användas som jämförelse för de numeriska beräkningarna. För de analytiska beräkningarna är det även enkelt att redovisa en känslighetsanalys där det tydligt framgår vilka parametrar som ger störst inverkan på resultatet.

Marinelli och Niccoli (2000) definierar influensområdet som det radiella avståndet från mitten av täkten där avsänkningen är försumbar eller där den minskar tillräckligt snabbt asymptotiskt mot noll. Ett influensområde skiljer sig därför mot ett påverkansområde som definieras utifrån en specificerad avsänkning som är större än noll.

Till skillnad från modeller som approximerar täkten som en stor brunn där allt inläckage sker från sidorna (exv Kresic, 2007), tar Marinelli och Niccolis metod hänsyn till både inläckage från sidorna och ett flöde genom botten på täkten, se Figur 34. Detta är särskilt viktigt att ta hänsyn till vid en stor bottenarea.



Figur 34. Analytisk modell över inflöde till tåkt efter Marinelli och Niccoli (2000).

För beräkningarna har tåkten delats in i fem delområden utifrån geografisk placering och planerat brytdjup. Delområdena benämns Nordkross, Nordvästra Klinthagen, Norra Klinthagen, Centrala Klinthagen och Södra Klinthagen, enligt Figur 35.

Beräkningarna i de olika områdena har utförts som separata beräkningar och ingen hänsyn har tagits till att de potentiella påverkansområdena från delområdena inom tåkten överlappar varandra, vilket innebär en underskattning av det totala resultatet.



Figur 35. Översikt över planerade brytområden samt brytdjup Klinthagen expansion III.

Beräkningarna utgår från Marinelli och Niccolis ekvationer:

$$h_0 = \sqrt{h_p^2 + \frac{W}{K_h} \left(r_0^2 \ln \left(\frac{r_0}{r_p} \right) - \left(\frac{r_0^2 - r_p^2}{2} \right) \right)} \quad (1)$$

Där

W = Grundvattenbildning (m³/s)

K_h = Hydraulisk konduktivitet i horisontalled (m/s)

r_p = Täckradie (m)

r_0 = Radie på cirkulärt influensområde (m)

h_0 = Vertikalt avstånd till ostörd grundvattenyta ovan bottennivå (m)

h_p = Vertikalt avstånd från botten till tryckyta i dagbrottskant (m)

Det inläckande grundvattenflödet har beräknats med (Marinelli och Niccoli, 2000):

$$Q_1 = W\pi(r_0^2 - r_p^2) \quad (2)$$

$$Q_2 = 4r_p \frac{K_{h2}}{m_2} (h_0 - d) \quad (3)$$

Där

d = Vattendjup i dagbrottet (m)

$$m_2 = \sqrt{\frac{K_{h2}}{K_{v2}}} \quad (4)$$

Där

K_h = Hydraulisk konduktivitet i horisontalled (m/s)

K_v = Hydraulisk konduktivitet i vertikalalled (m/s)

$$Q_{totalt} = Q_1 + Q_2 \quad (5)$$

6.1.1 Parameterval

6.1.1.1 Grundvattenbildning

Grundvattenbildning redogörs för under avsnitt 3.4 *Grundvattenbildning* och bedöms konservativt med hänsyn till påverkansområdets storlek vara 25 mm/år.

6.1.1.2 Hydraulisk konduktivitet

Den hydrauliska konduktiviteten som används i beräkningar utgår ifrån de hydrauliska testerna som har utförts och sammanfattas i Tabell 31 i *Bilaga 2 Hydrauliska tester*. I de fall där en provpumpning som har gett respons i omgivande observationspunkter har utförts har detta värde använts. I övriga områden har information från de många enhålstesterna använts.

Den analytiska lösningen, till skillnad från verkliga förhållanden, förutsätter ett homogent, isotropt och poröst medium. Modellen kan dock ta hänsyn till anisotopi i vertikalalled. Ett rimligt antagande är att den hydrauliska konduktiviteten i vertikalalled är mindre än 1E-8 m/s. De ansatta värdena på den hydrauliska konduktiviteten redovisas i Tabell 1.

Tabell 1. Ansatta värden på hydraulisk konduktivitet i de analytiska beräkningarna.

Brytområde	Hydraulisk konduktivitet (m/s)
Nordvästra Klinthagen	5E-9
Nordkross	3E-6
Norra Klinthagen	8E-7
Centrala Klinthagen	2E-7
Södra Klinthagen	5E-7

6.1.1.3 Opåverkad grundvattenyta

Grundvattennivåer inom och kring Klinthagentäkten varierar kraftigt över tid, särskilt i det djupare magasinet, och redovisas under avsnitt 3.3 *Grundvattenmagasin och -nivåer* samt i Bilaga 1 *Grundvattennivåobservationer långtidsmätningar*.

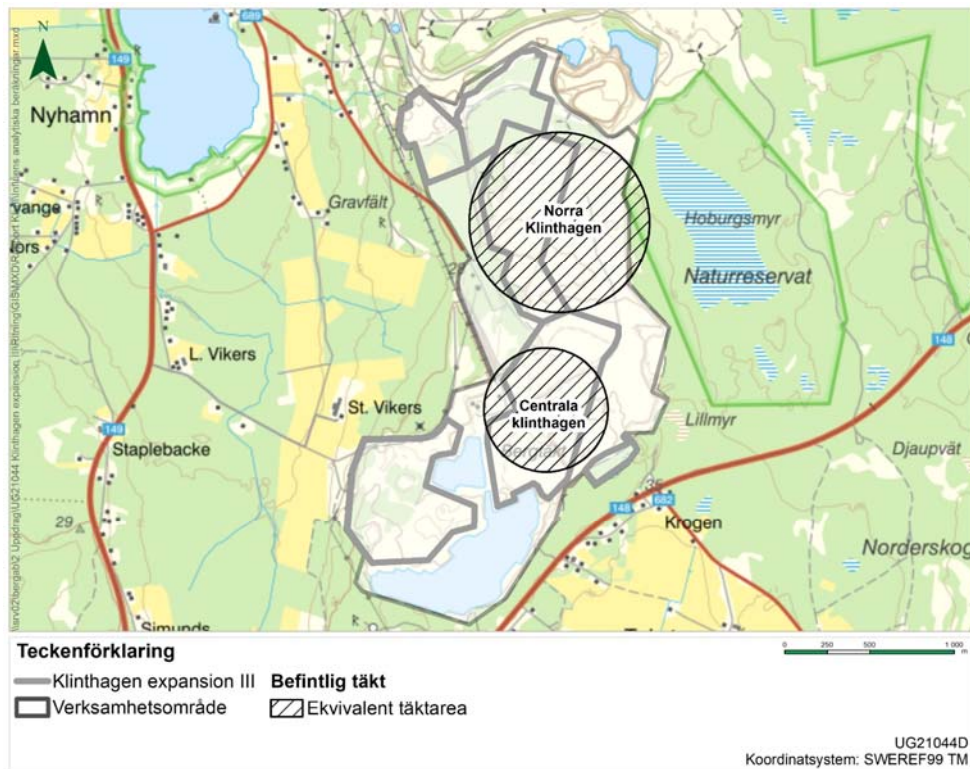
Grundvattennivåerna i beräkningsscenarierna har konservativt ansatts till normala högnivåer, och redovisas i Tabell 2. Grundvattennivåerna utgår ifrån faktiska mätningar i observationspunkter kring täkten.

Tabell 2. Ansatta grundvattennivåer i de analytiska beräkningarna.

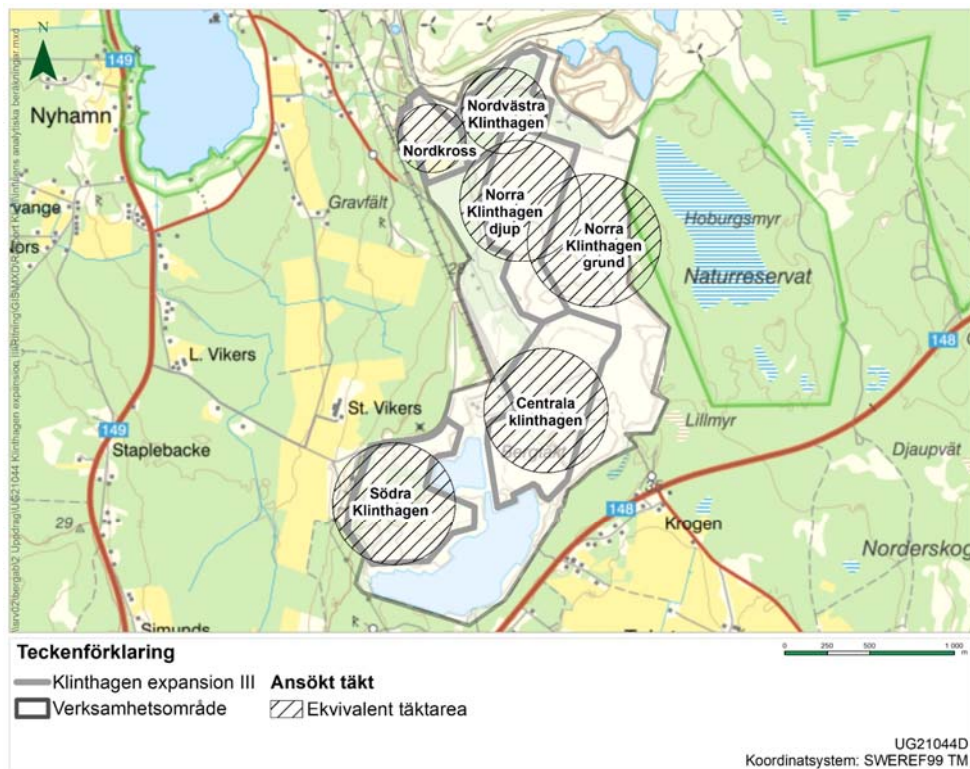
Brytområde	Grundvattennivå (m)	Vertikalt avstånd till ostörd grundvattenyta ovan bottennivå (m)
Nordkross	+18	8
Nordvästra Klinthagen	+35	14
Norra Klinthagen	+36	10 (oförändrad del)
		35 (fördjupad del)
Centrala Klinthagen	+32	31
Södra Klinthagen	+20	19

6.1.1.4 Ekvivalent radie

Varken den nuvarande och framtida täktens geometrier är cirkulära, vilket den analytiska beräkningsmodellen förutsätter. Det innebär att brytområdenas areor behöver approximeras till cirklar som motsvarar deras utbredning. I beräkningsfallen görs detta genom att beräkna vilken ekvivalent radie respektive brytområdesarea motsvarar, se Figur 36 och Figur 37. För den framtida brytgeometrin har "Norra Klinthagen" delats in i en grund respektive djup del med olika brytdjup.



Figur 36 Ekvivalent radie till befintlig brytgeometri.



Figur 37. Ekvivalent radie till ansökt brytgeometri.

6.1.2 Beräkningsresultat analytiska beräkningar

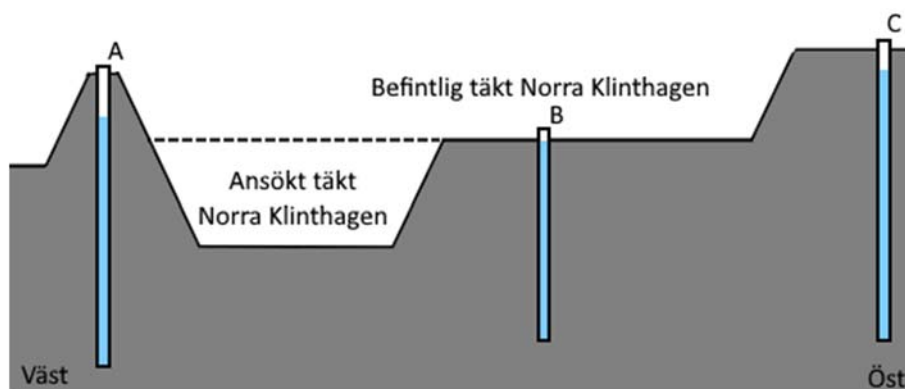
Beräkningarna för befintlig och ansökt expansion av täkt visar utfallet av teoretiskt influensområde och inläckage och ger inte ett entydigt svar på det faktiska påverkansområdets utbredning eller inläckagets storlek. Redovisningen utgör endast en del av underlaget för den sammanfattande bedömningen av täktens framtida omgivningspåverkan som görs under avsnitt 6.3 *Jämförelse och analys av beräkningsresultat*, avsnitt 8 *Analys* och avsnitt 9 *Bedömning av hydraulisk påverkan och effekter*.

De beräknade inläckagen för befintlig respektive utökad täkt redovisas i Tabell 3. Om hänsyn skulle tas till den vertikala konduktiviteten sannolikt är tätare än $1E-8$ m/s, så skulle inläckaget minska till totalt 8,7 l/s för den befintliga täkten och till totalt 30,1 l/s för den utökade täkten.

Tabell 3. Beräknat grundvatteninläckage (l/s) enligt analytisk metod. Ingen differentiering av den vertikala hydrauliska konduktiviteten (K_v) jämfört med den horisontella (K_h) har gjorts för beräkningar i tabell.

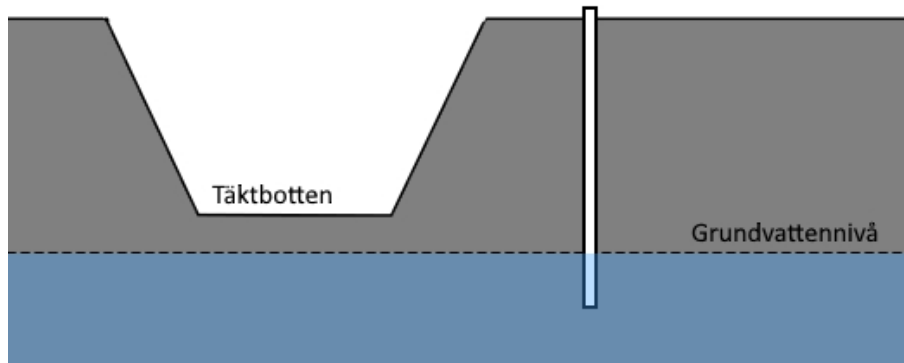
Brytområde	Befintlig täkt	Ansökt täkt
Nordkross	0	21,3
Nordvästra Klinthagen	0	0,2
Norra Klinthagen	19,9	14,8 (oförändrad del)
		48,1 (fördjupad del)
Centrala Klinthagen	9,4	13,4
Södra Klinthagen	0	16,8
Totalt	29	115

Det bör även beaktas att för område Norra Klinthagen har grundvattennivån mycket konservativt ansatts till nivåer öster om befintlig täkt, men observerade grundvattennivåer kring Norra Klinthagen ligger i dagsläget betydligt lägre och i perioder även under befintlig täktbotten. Detta illustreras av Figur 38 och där de ansatta grundvattennivåerna representeras av nivåer i punkt C. Om grundvattentrycket för Norra Klinthagen istället skulle ansättas till nivåer som representeras i punkt A eller B, skulle beräkningen ge ca 50% mindre inläckage och influensradie, se vidare avsnitt 6.1.2.1 *Känslighetsanalys*.



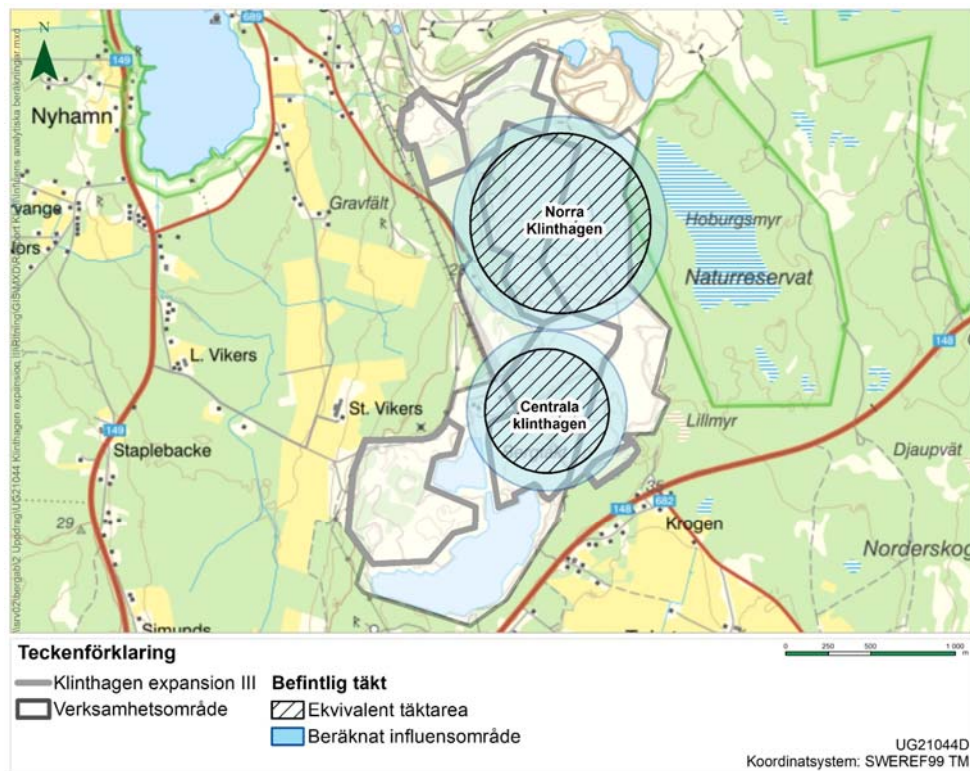
Figur 38. Princip över grundvattennivåer i anslutning till Norra Klinthagen. Figur är ej skalenlig.

För befintlig täkt är grundvattennivåerna under årets torra månader periodvis under täktbotten i vissa områden. I de fall där den nuvarande eller framtida täktbotten ligger ovanför grundvattenytan blir inläckaget och influensområdet under dessa perioder 0, se princip i Figur 39.

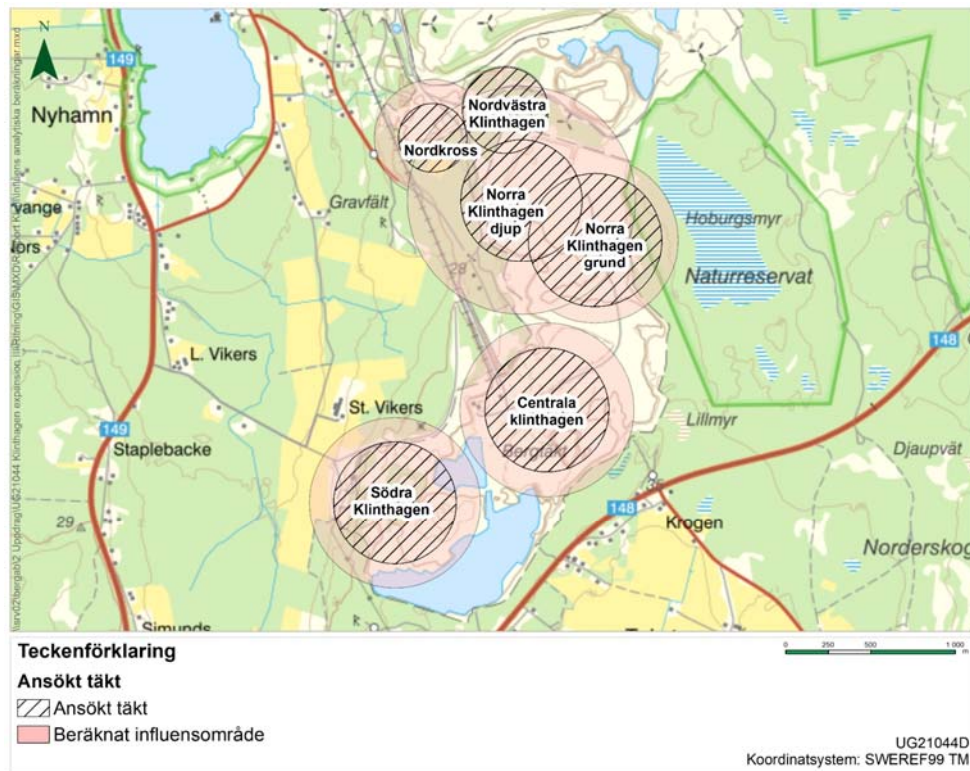


Figur 39. I perioder ligger omgivande grundvattennivå under bottenivå för befintlig täkt. Grundvatteninläckaget vid dessa förutsättningar blir därmed försumbart, vilket även innebär att influensområdet blir 0.

Det beräknade cirkulära influensområdet för den befintliga täkten redovisas i Figur 40 och det beräknade influensområdet för de ansökta brytområdena redovisas i Figur 41.



Figur 40. Beräknat influensområde för befintlig täkt enligt analytisk metod.



Figur 41. Influensområde från ansökt täkt enligt analytisk metod.

6.1.2.1 Känslighetsanalys

Resultaten för alla beräkningar styrs av dess ingångsdata och konceptualisering /beräkningsmodell. För att illustrera hur ansatta parametervärden påverkar slutresultatet har en känslighetsanalys för en del av täkten utförts.

I beräkningsexemplen utgår beräkningarna ifrån brytområde Centrala Klinthagen efter fördjupning. En parameter per beräkningsexempel varierar.

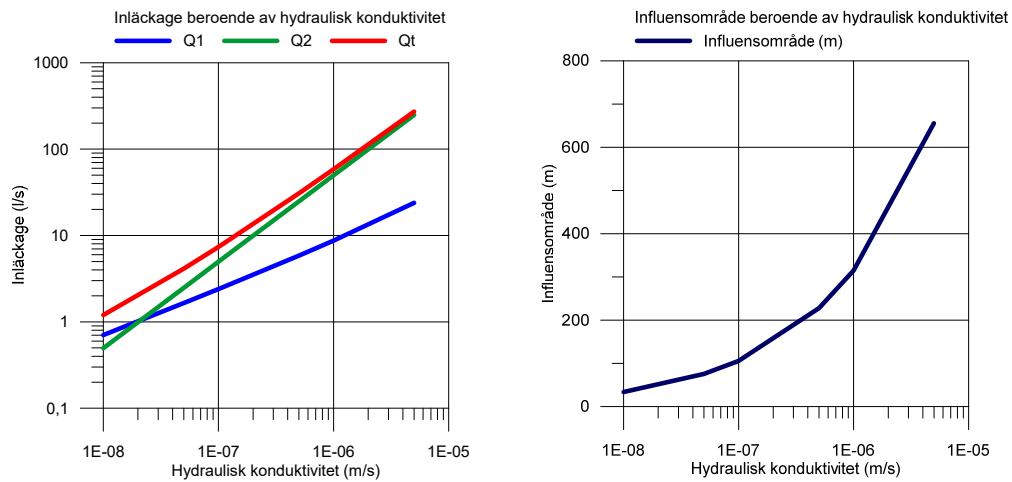
I Figur 42 redovisas hur inläckage och influensområde påverkas när värdet på den hydrauliska konduktiviteten varierar. I Figur 43 redovisas hur inläckage och influensområde påverkas när värdet på grundvattenbildningen varierar. I Figur 44 redovisas hur inläckage och influensområde påverkas när värdet på tryckhöjden, dvs ostörd grundvattennivå i omgivningen, varierar.

Den hydrauliska konduktiviteten är den parameter som har allra störst påverkan på inläckagets storlek. Parametern har även en stor påverkan på influensområde.

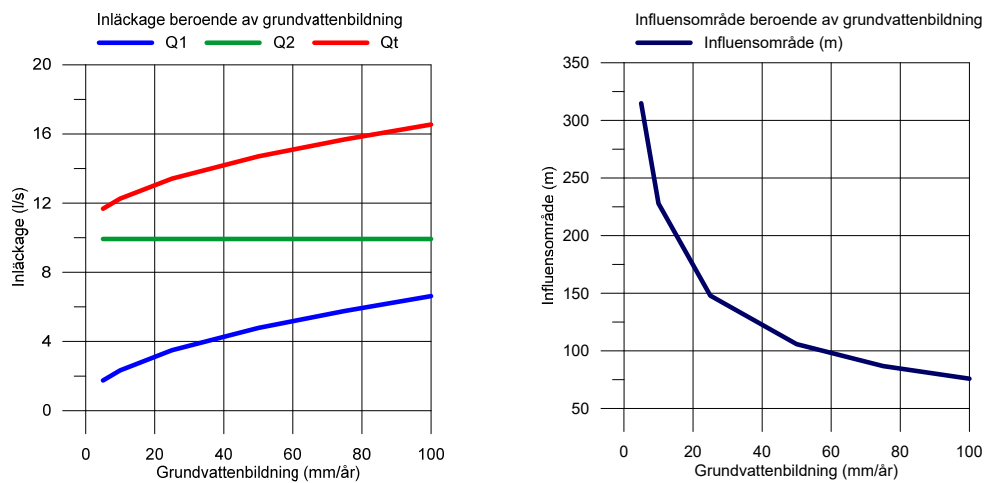
Grundvattenbildning har en stor påverkan på influensområdet storlek, dock något mindre än den hydrauliska konduktiviteten. Vid ökat värde på grundvattenbildningen erhålls ett ökat inläckage, men samtidigt även ett minskat influensområde. Det innebär att en grundvattenbildning som väljs konservativt för beräkning av inläckage är icke-konservativt för beräkning av influensområde.

Tryckhöjden från täktbotten till omgivande ostörd grundvattennivå påverkar inläckage och influensområde linjärt.

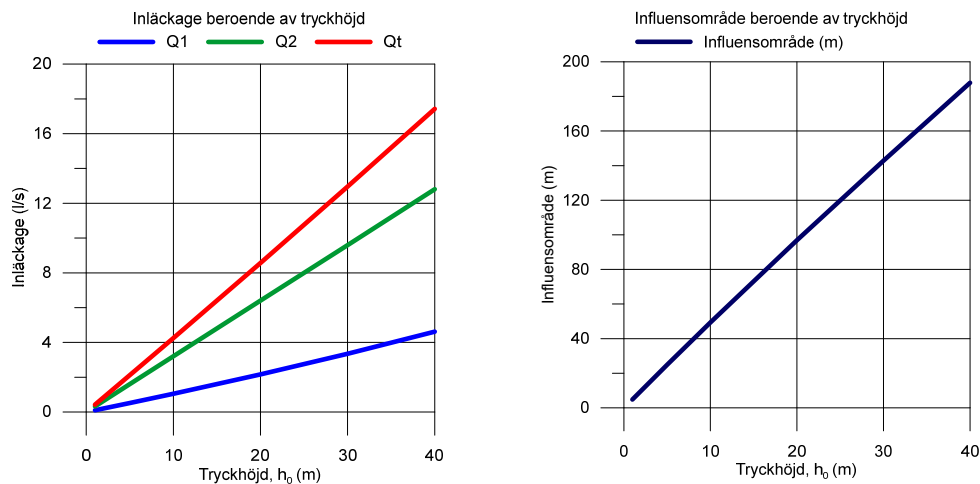
Resultaten från de analytiska beräkningarna kan användas som ett verktyg för att bättre förstå hur täktens area och brytdjup påverkar influensområdet och inläckaget, men flöden och influensområdets storlek ska inte betraktas som beskrivningar av verkligheten i absoluta belopp.



Figur 42. Känslighetsanalys vid variabelt värde på hydraulisk konduktivitet. Q1 är det horisontella flödet in i tåkten och Q2 är det vertikala flödet genom botten av tåkten, enligt beräkningsmodell som redovisas i Figur 34.



Figur 43. Känslighetsanalys vid variabelt värde på grundvattenbildning. Q1 är det horisontella flödet in i tåkten och Q2 är det vertikala flödet genom botten av tåkten, enligt beräkningsmodell som redovisas i Figur 34.



Figur 44. Känslighetsanalys vid variabelt värde på omgivande grundvattennivå. Q1 är det horisontella flödet in i tåkten och Q2 är det vertikala flödet genom botten av tåkten, enligt beräkningsmodell som redovisas i Figur 34.

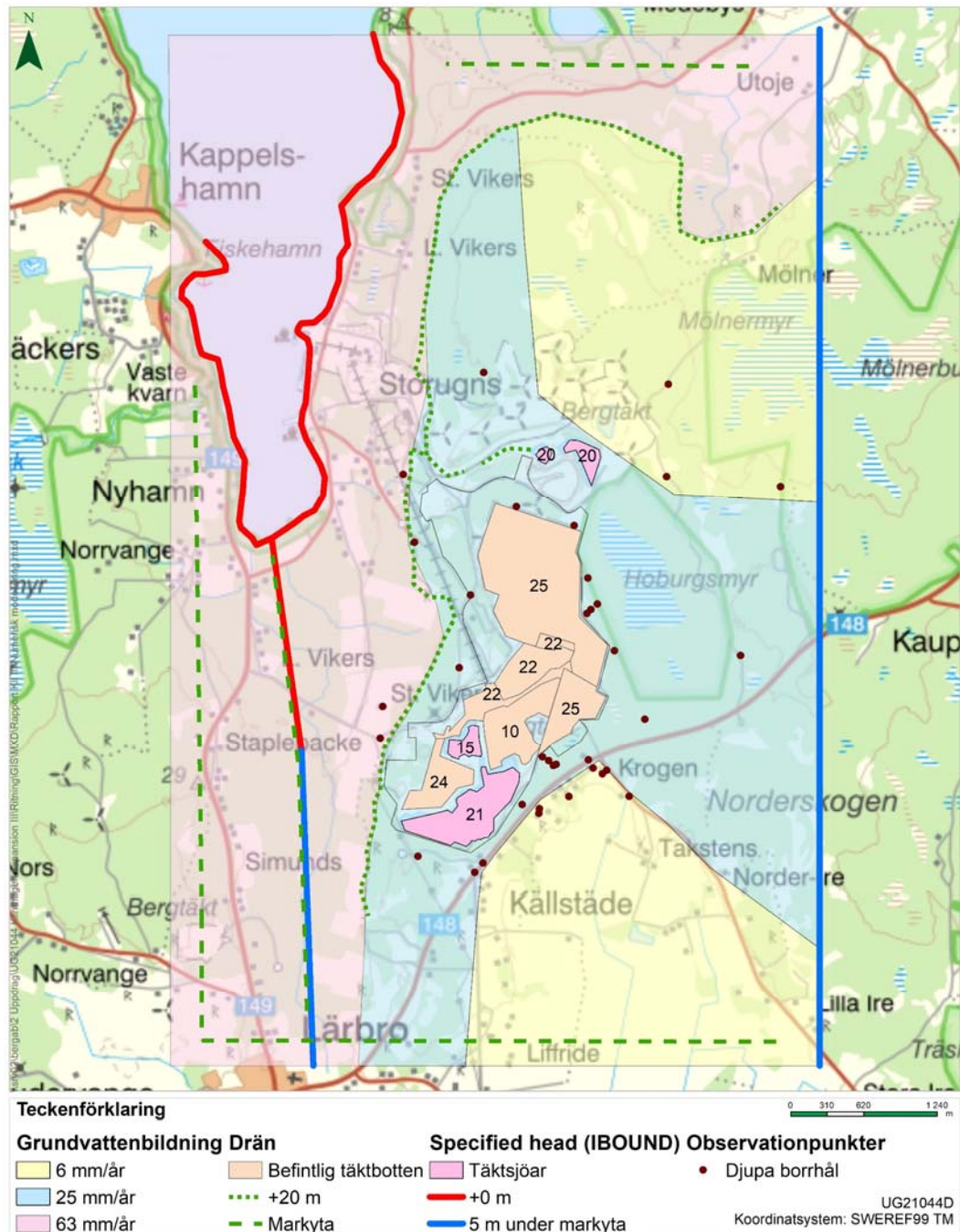
6.2 Numeriska beräkningar

Numerisk modellering är en metod som att förstå och förutsäga grundvattenflöden i olika geologiska miljöer. Den numeriska modellen är utförd med MODFLOW version NWT i GMS. Modellen är uppbyggd med fem lager och har ett rutnät på 100x100 m med utbredning enligt Figur 45.

Modellen representerar det djupa kalkstensberget, där testerna visar att det finns en tydlig hydraulisk kontakt i plan. Det huvudsakliga syftet med modelleringen är att studera den maximala utbredningen av ett influensområde kring dagbrottet. Observationer från den befintliga brytningen av Klinthagen och resultat från de hydrauliska testerna visar att det är i denna del av berget som en påverkan kan sprida sig över stora områden. Modellen inkluderar därmed inte det dåligt konnekterande ytliga spricksystemet eftersom merparten av tester och grundvattenobservationer visar på en mycket begränsad hydraulisk koppling mellan det djupa och det ytliga grundvattenmagasinet. Det finns sannolikt lokala platser kring dagbrottet där det finns en bättre hydraulisk kontakt med ytliga magasin med högre grundvattenbildning och större volymer tillgängligt vatten. En numerisk modell som inkluderat ett övre magasin och som tagit hänsyn till dessa bättre konnekterade områden hade resulterat i att det modellerade influensområdets storlek skulle ha reducerats kraftigt till följd av att grundvattenbildningen i det ytliga magasinet är betydligt större. Det influensområde som redovisas baserat på den använda modellansatsen innebär därmed en största påverkan med kända förutsättningar.

Modellen simulerar förhållanden som råder under en period med lägre grundvattenbildning än årsmedel, vilket innebär att den stationära modelleringen av influensområdet motsvarar dess maximala utbredning över året.

Modellen tar hänsyn till täktens geometrier, höjddata, och hydraulisk konduktivitet för ett poröst medium.



Figur 45. Modellgränser samt parametrering av den numeriska modellen.

6.2.1 Parameterval

6.2.1.1 Grundvattenbildning

Grundvattenbildning ansätts till 25 mm/år för området kring Klinthagentäkten för att representera en period med längre grundvattenbildning jämfört med årsmedel. Väster om Klinthagen, nere vid det låglänta området där marknivåer ligger på omkring +4 till +10 m ansätts grundvattenbildningen efter kalibrering till 63 mm/år.

Den något högre grundvattenbildningen i detta område motiveras av att det som kring Klinthagentäkten betecknas som "djupt berg" (dvs nivå kring +1 m till +20 m) ligger ytligt i det låglänta området och därmed är möjligheterna till grundvattenbildning större. I nordost och sydöst ansätts grundvattenbildningen efter kalibrering mot grundvattennivåer till 6 mm/år, vilket är ett mycket konservativt värde med avseende på påverkansområdets storlek.

6.2.1.2 Hydraulisk konduktivitet

Den hydrauliska konduktiviteten som används i beräkningar utgår ifrån de hydrauliska testerna som har utförts (vilka sammanfattas i Tabell 31 i *Bilaga 2 Hydrauliska tester*) och har tillsammans med grundvattenbildning kalibrerats mot uppmätta grundvattennivåer.

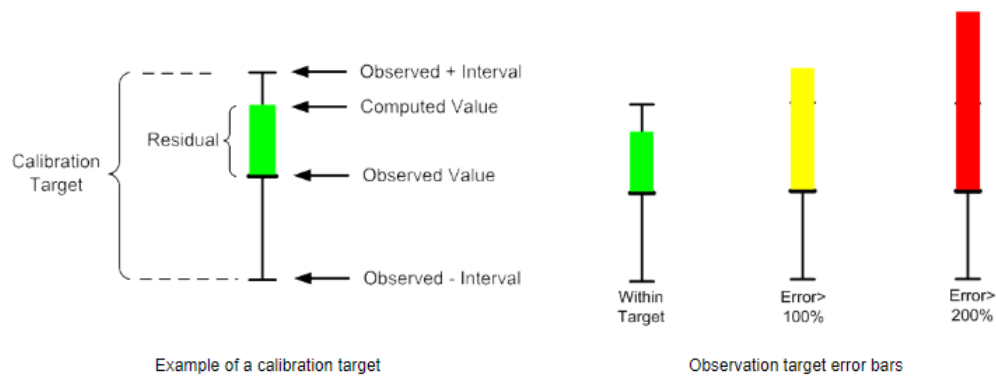
De slutliga värdena på den hydrauliska konduktiviteten efter kalibrering redovisas i Tabell 4. Ingen differentiering av den vertikala hydrauliska konduktiviteten (K_v) jämfört med den horisontella (K_h) har gjorts.

Tabell 4. Ansatta värden på hydraulisk konduktivitet (m/s) i de numeriska beräkningarna efter kalibrering.

Geografiskt område	Lager 1	Lager 2-5
Nordvästra Klinthagen	5E-9	4E-7
Nordkross	3E-6	3E-6
Norra Klinthagen	8E-7	8E-7
Centrala Klinthagen	2E-7	2E-7
Mellan Nordkross och Södra Klinthagen	5E-6	5E-6
Södra Klinthagen och söderut	5E-7	5E-7
Takstens	2E-7	2E-7
Öster om Klinthagen	5E-6	5E-6
Sydöst om Takstens	5E-6	5E-6
Väster om Klinthagen	8E-6	5E-6
Norr om Storungs	8E-6	5E-6

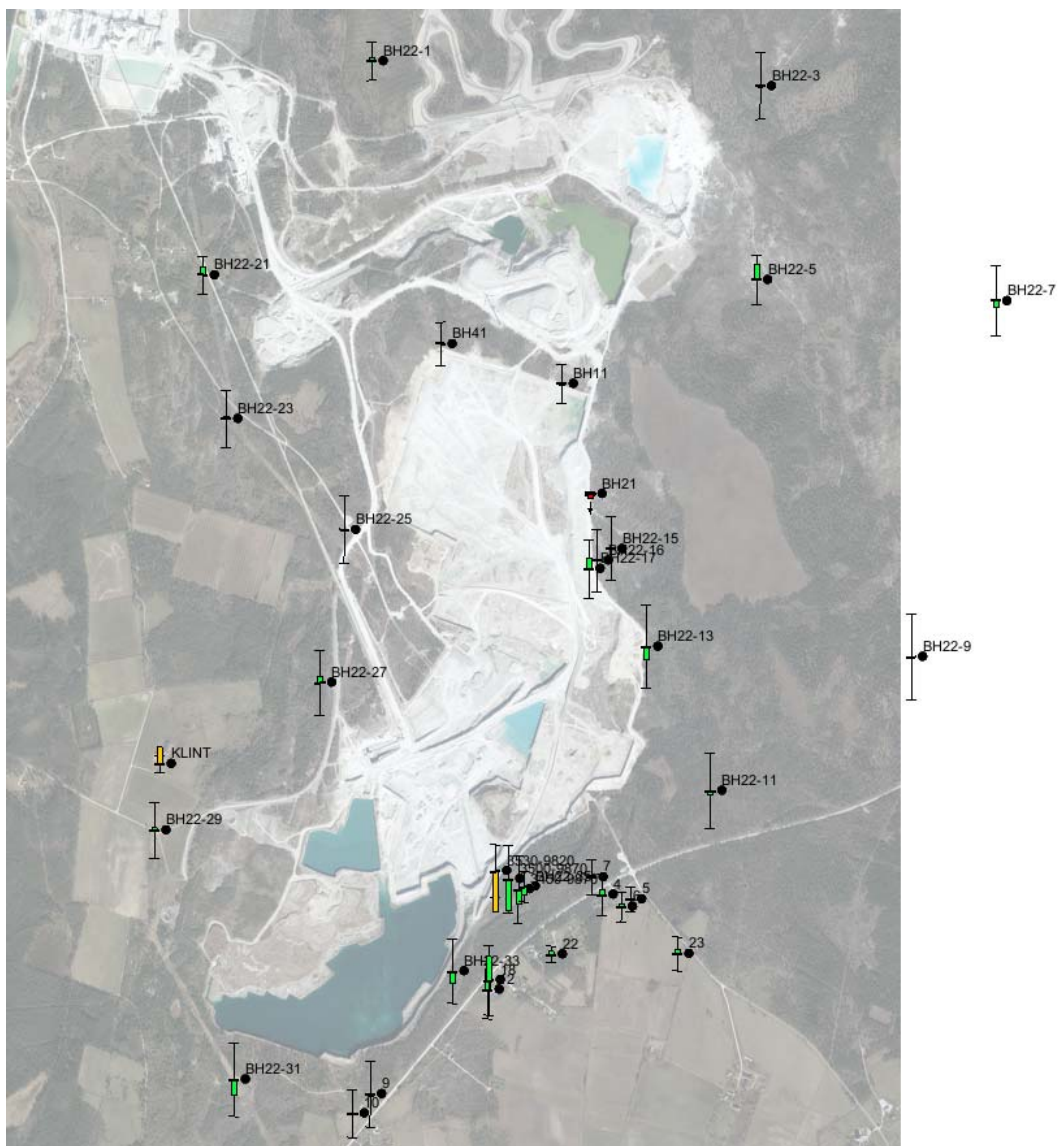
6.2.2 Kalibrering

Den numeriska modellen är en stationär modell som tar hänsyn till nuvarande brytområden och brytningsdjup (december 2022). Grundvattenbildningen utgår ifrån en period med lägre grundvattenbildning jämfört med årsmedel, vilket ger störst påverkansområde. Nivåerna kalibreras mot observerade nivåer i djupa borrhål. För varje observationspunkt anges ett kalibreringsmål, dvs en grundvattennivå, samt ett intervall, se Figur 46. I aktuell modell anges kalibreringsmålet till medelgrundvattennivån under perioden 2022-03 till 2022-12 och intervallet till de uppmätta max- och mininivåerna under samma period. Om den modellerade nivån är inom intervallet för respektive observationspunkt markeras stapeln grön, se Figur 46.

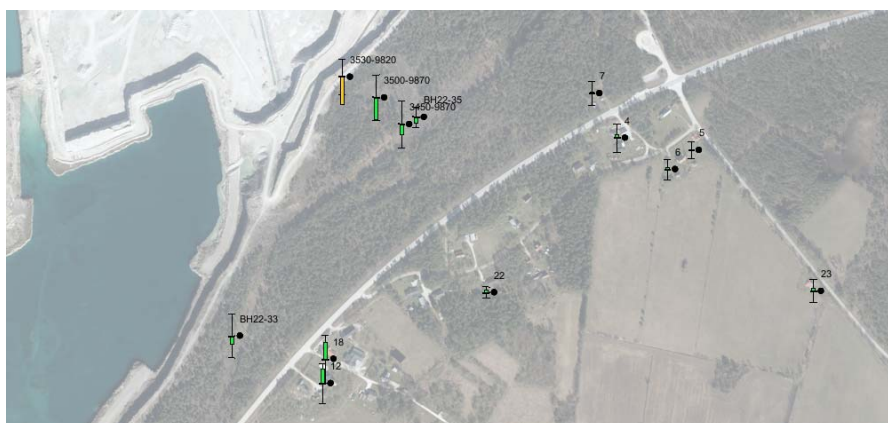


Figur 46. Redovisning av hur väl modellerad nivå överensstämmer med kalibreringsmålet.

En god överensstämmelse erhålls med observationspunkter i täktens närhet, men något avvikande modellerade nivåer i observationspunkter söder om befintlig täkt, se Figur 47 och Figur 48. De observationspunkter som har störst avvikelse är borrhål som inte är avskärmade från ytligt berg och det är därför möjligt att dessa inte helt representerar nivåer i det djupa berget, vilket redogörs för i Bilaga 2 *Hydrauliska tester* under avsnitt 2.5 Takstens. En korsplott över modellerade nivåer och uppmätt medelgrundvattennivå redovisas i Figur 49.

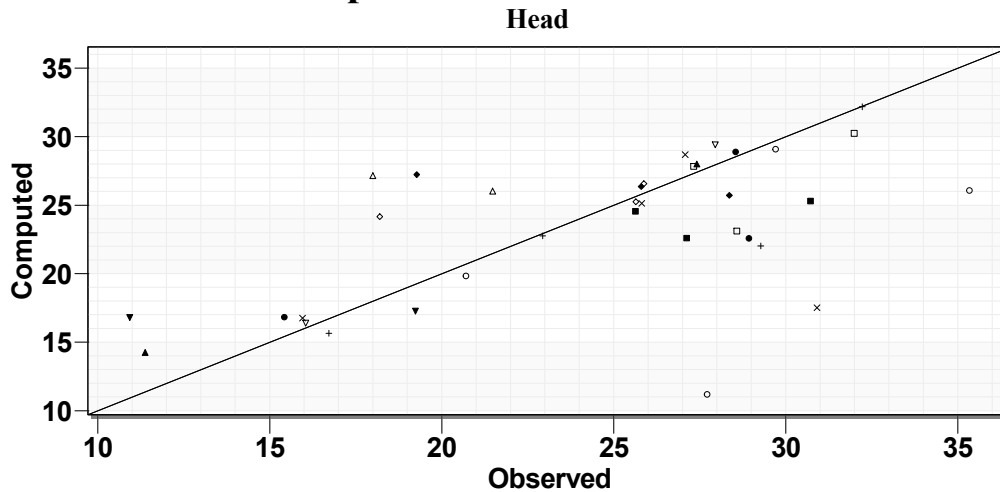


Figur 47. Överensstämmelse mellan observerade nivåer och modellerade nivåer i djupa borrhål.



Figur 48. Detalj över kalibreringsmål sydöst om befintlig täkt.

Computed vs. Observed Values



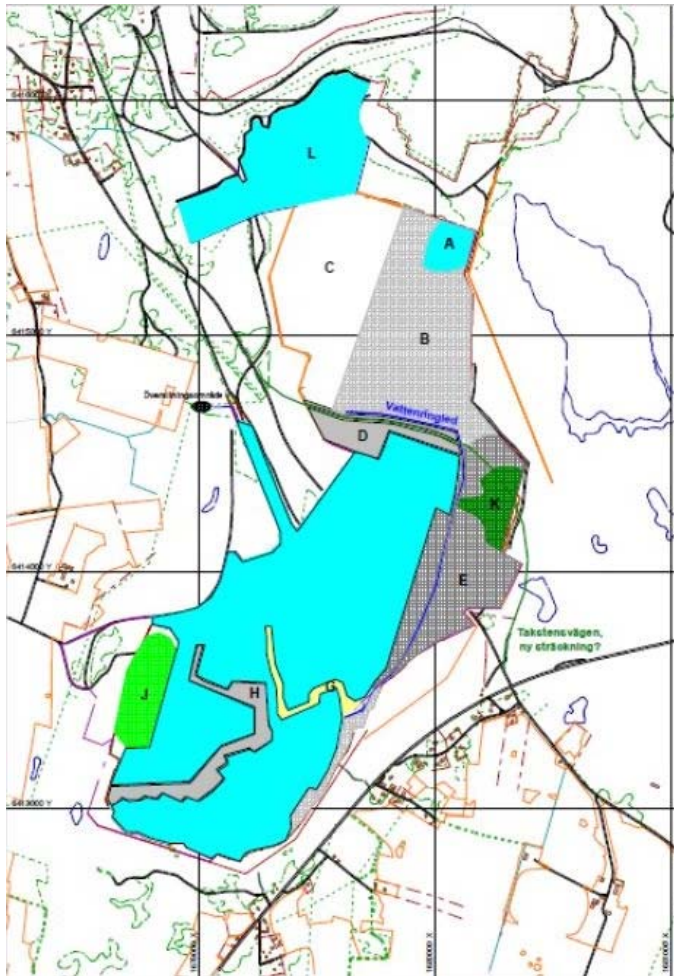
Figur 49. Korsplott över beräknade och observerade nivåer.

6.2.3 Beräkningsscenarioer och noll-alternativ

Efter att modellen är kalibrerad mot nuvarande förhållanden görs en beräkning av ett framtida scenario med en fullt utbruten täkt enligt Figur 2 under avsnitt 2 *Planerad verksamhet*. Som noll-alternativ används den efterbehandlingsplan (Nordkalk, 2018) som gäller för det nuvarande tillståndet, då detta är de förhållanden som kommer att råda om tillstånd inte medges för den aktuella ansökan. Den gällande efterbehandlingsplanen visar på två olika scenarier för den centrala delen av täkten: scenario 1 "Fastmark med självsådd, diken och mindre våtmarksområden" och scenario 2 "Täktsjö". Det noll-alternativ som används här är scenario 2, se Figur 50, där större delar av Klinthagentäkten kommer att vattenfyllas jämfört med scenario 1. Eftersom Nordvästra Klinthagen har ett ansökt brytdjup på +21 m, så kommer täktsjön med vattenyta på +20 i område L i efterbehandlingsplan och Figur 50 endast omfatta brytområde Nordkross.

Valet av scenario 2 är konservativt utifrån det påverkansområde och inläckage som beräknas för den tillkommande brytningen för expansion III.

Som jämförelse mot noll-alternativet görs även en beräkning av avsänkning mot nuvarande förhållanden, dvs nuvarande brytområden och brytningsdjup (december 2022).

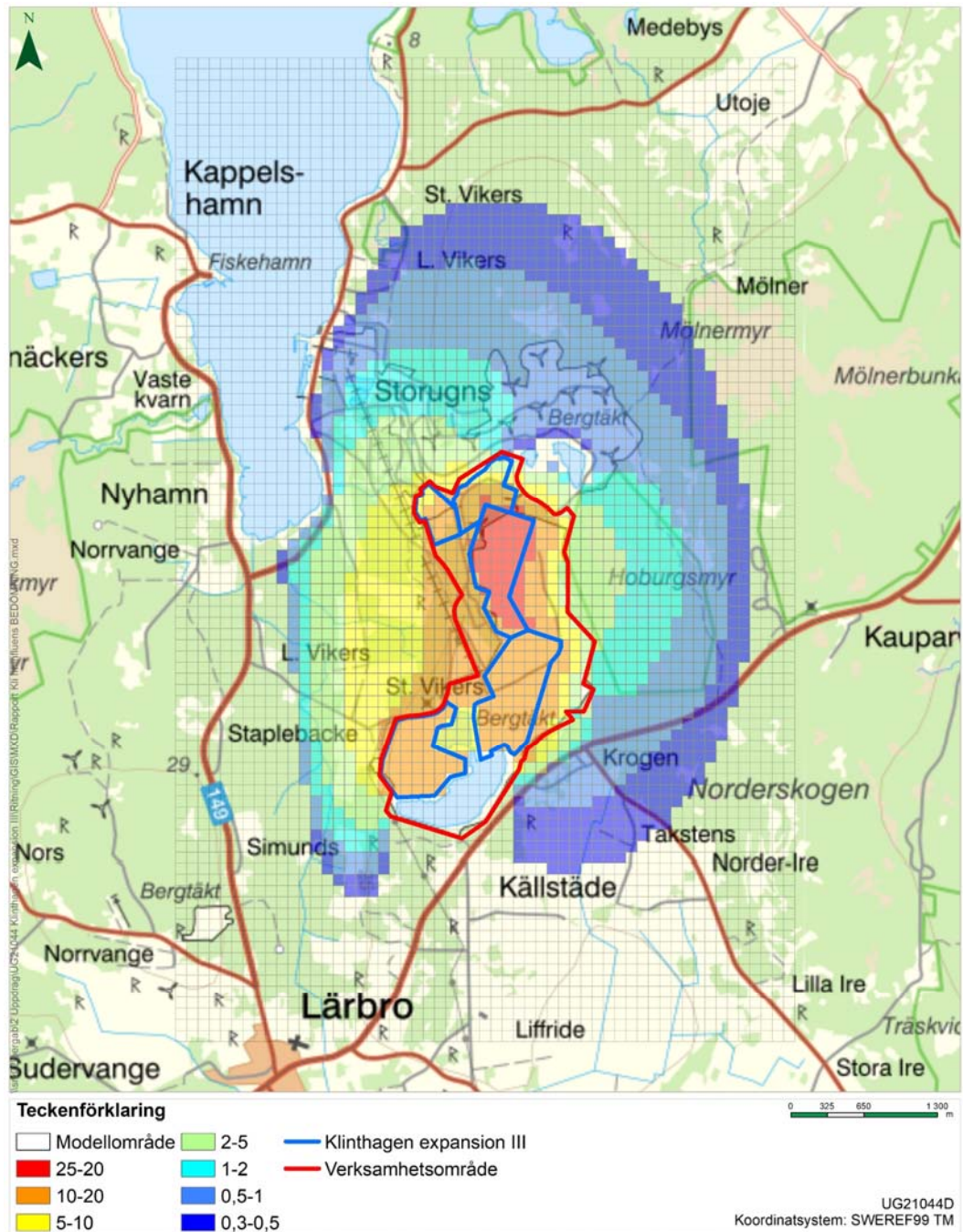


Figur 50. Aktuell efterbehandlingsplan för Klinthagen expansion II, scenario 2. I norr (område L) kommer en täktsjö att bildas (nivå +20 m). I nordöstra hörnet (område A) kommer en grund viltsjö (nivå +27 m) att bildas. I söder kommer det att vara en sammanhängande täktsjö (nivå +20 m) med ett oregerat utlopp till översilningsområde som leder täktvatten till Klinthagenbäcken.

6.2.4 Beräkningsresultat numerisk modellering

Modellerad avsänkning i det djupa berget jämfört med 0-alternativ visas i Figur 51 där den yttre gränsen för påverkansområdet är 0,3 m.

Grundvatteninläckaget till befintlig täkt beräknas med den numeriska modellen till 7,4 l/s, vilket ökar till 13,6 l/s vid en utökad och fördjupad täkt.



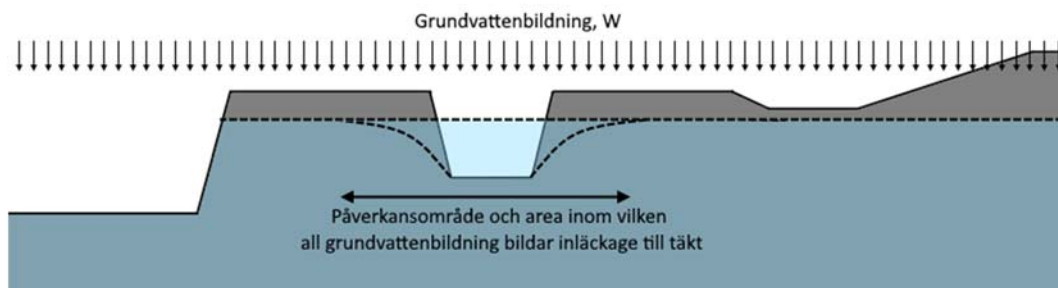
Figur 51. Modellerad avsänkning i det djupa berget vid fördjupad täkt jämfört med 0-alternativ. Yttre gränsen av påverkansområdet visar en modellerad avsänkning på 0,3 m.

6.3 Jämförelse och analys av beräkningsresultat

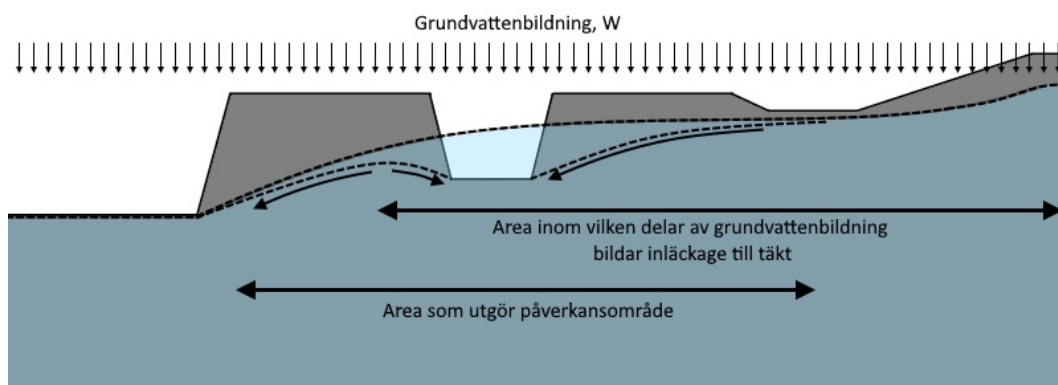
Både de analytiska och de numeriska beräkningarna utgör en kraftig förenkling av verkligheten. De analytiska beräkningarna är relevanta för att ge en indikation på påverkansområde och inläckaget storlek och bidrar med en enkel känslighetsanalys över hur stor inverkan de olika parametervärdena har på beräkningsresultatet.

Då de analytiska beräkningarna utförs för varje brytområde separat, saknas de adderade effekterna från de olika brytområdena. I verkligheten innebär det att inläckaget kommer att vara betydligt mindre än vad som beräknas analytisk, eftersom de olika brytområdena kommer att dränera varandra. Eftersom de beräknade influensområdena till viss del överlappar varandra innebär det att storleken på dessa underskattas i den analytiska beräkningen, till skillnad mot den numeriska beräkningen.

De analytiska beräkningarna förutsätter även att all grundvattenbildning som sker inom de beräknade influensområdet blir inläckage till täkten, dvs kan illustreras av en tratt där all grundvattenbildning som sker inom "trattens" kanter rinner ner i täkten, se Figur 52. I de numeriska beräkningarna kan en nivåförändring beräknas även utanför det område som "rinner" mot täkten, se Figur 53.



Figur 52. I de analytiska beräkningarna blir all grundvattenbildning inom påverkansområde inläckage till täkt. Principbild. Figur är ej skalening.



Figur 53. Princip över hur påverkansområde redovisas för de numeriska beräkningarna. Figur är ej skalening.

Vattenbalansen för Klinthagentäkten redovisar ett grundvatteninläckage i storleksordningen 15 l/s för den nuvarande täkten (WSP, 2023). Rapporten redogör dock att scenariot som används kan överskatta storleken på inläckaget. Vidare så

redovisas i vattenbalansen att den totala ökningen av länshållningsvatten från den ansökta utökningen av täkten beräknas vara 6 l/s. Metoden som används i vattenbalansen använder dock inte djupet på täkten som en variabel i beräkningarna (WSP, 2023), vilket kan innebära att länshållningsvattnet för den utökade täkten underskattas (jämför med Figur 44 i avsnitt 6.1.2.1 *Känslighetsanalys*).

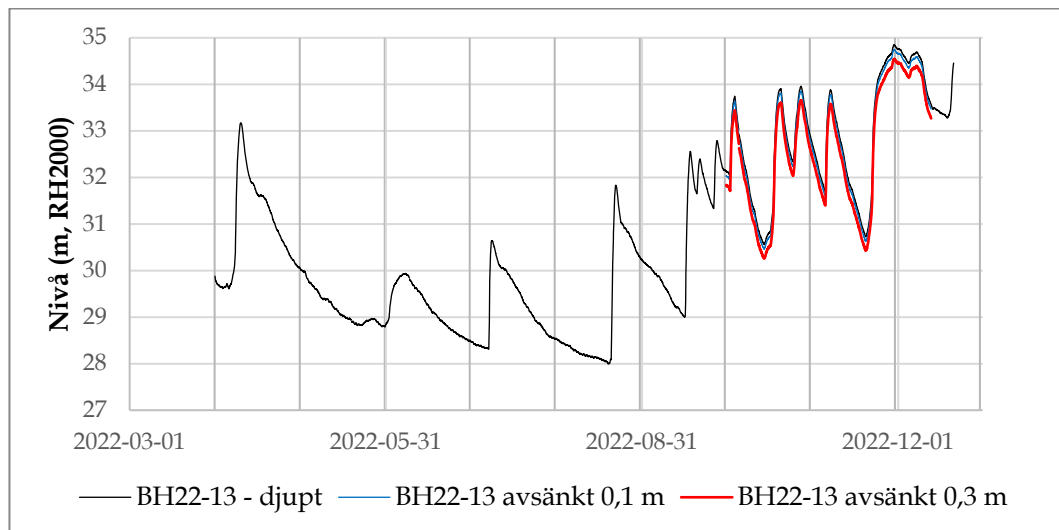
De numeriska beräkningarna visar på ett grundvatteninläckage till befintlig täkt i på omkring 7 l/s och ett grundvatteninläckage på omkring 14 l/s vid en utökning. De analytiska beräkningarna med metod enligt Marinelli och Niccoli (2000) visar på ett inläckage i storleksordningen 9 l/s för befintlig täkt och 30 l/s för den utökade täkten om hänsyn tas till att den vertikala konduktiviteten är låg (mindre än $1E-8$ m/s). Om ingen hänsyn tas till att den vertikala kontakten mellan olika horisontella sprickplan är begränsad, beräknas inläckaget enligt den analytiska metoden till 29 l/s för befintlig täkt och 115 l/s för den utökade täkten. Att inte ta hänsyn till den vertikala hydrauliska konduktivitet medför sannolikt en stor överskattning av det verkliga inläckaget, vilket även stöds av redovisningen av den befintliga länshållningen på ca 29 l/s som omfattar både nederbörd och grundvatteninläckage (WSP, 2023). Det bedöms som rimligt att grundvatteninläckaget till den befintliga täkten är i storleksordningen 7-15 l/s och att inläckaget vid en utökad täkt är i storleksordningen 20-60 l/s.

7 Motiv till avgränsning av påverkansområde

I avsnitt 6 *Beräkningar inläckage och påverkansområde* redovisas beräknade hydrauliska påverkansområden orsakade av grundvattenbortledning från täkten för olika simulerade situationer. Påverkansområdet definieras här som det största område inom vilket ändringen av grundvattennivå är större än 0,3 m. Teoretiskt kan man med en numerisk modell beräkna och redovisa ett påverkansområde som motsvarar i princip hur små belopp på avsänkning som helst, men man ska då betänka att osäkerheterna i modellens redovisning blir större ju mindre belopp som väljs.

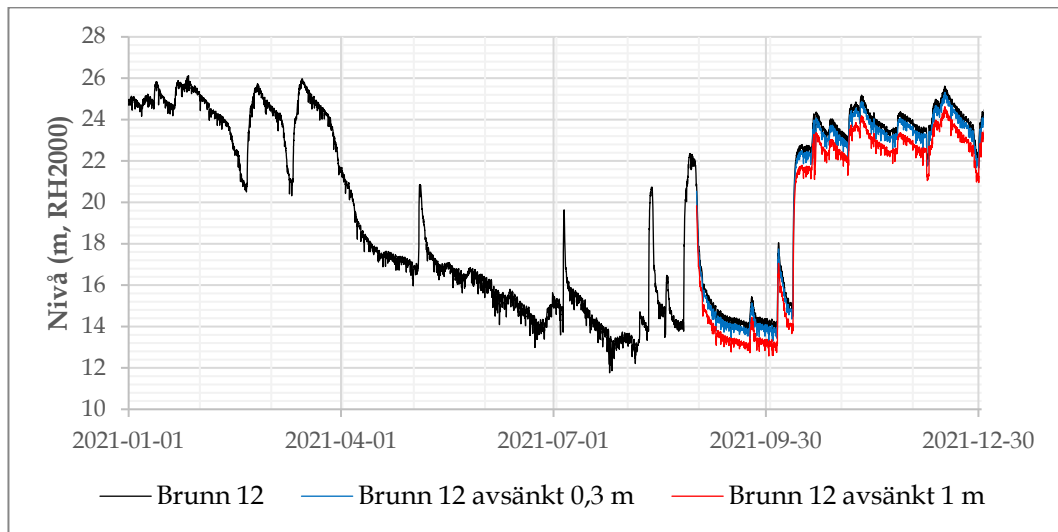
Beloppet på avsänkning som väljs att motsvara påverkansområdets gräns i tillståndsprövningar av vattenverksamhet brukar vara olika i olika hydrogeologiska miljöer, där högre värden vanligen används i berg än i jord. Vilket värde som väljs i redovisningen bör alltid anpassas till aktuella naturliga nivåfluktuationer och till vilken grundvattennivåförändring som har betydelse för de identifierade skyddsobjekten. Att anpassa värdet till storleken på de naturliga fluktuationerna är viktigt eftersom kontroller av nivåer förutsätter att nivåförändringar orsakade av den tillståndsgivna verksamheten måste kunna särskiljas från naturliga nivåförändringar.

I Figur 54 redovisas ett för området kring Klinthagen representativt djupt borrhål med naturliga nivåfluktuationer under året i storleksordningen 5 m. I figuren presenteras även konstruerade kurvor för samma borrhål med olika storlek på antagna nivåförändringar. Vi kan se att en förändring på 0,3 m, är urskiljbar i kurvan, medan en förändring på 0,1 m är mycket svår att se.



Figur 54. Grundvattennivåer i BH22-13 samt en fiktiv avsänkning på 0,1 respektive 0,3 m från september 2022.

I Figur 55 redovisas grundvattennivåer i en av de enskilda brunnarna söder om Klinthagen. Normal årstidsfluktuation är i storleksordningen 12 m. I figuren presenteras även konstruerade kurvor för samma brunn med olika storlek på antagna nivåförändringar. Vi kan se att en förändring på 1 m är urskiljbar i kurvan, medan en förändring på 0,3 m är mycket svår att se.



Figur 55. Grundvattennivåer i Brunn 12 samt en fiktiv avsänkning på 0,3 respektive 1 m från september 2021.

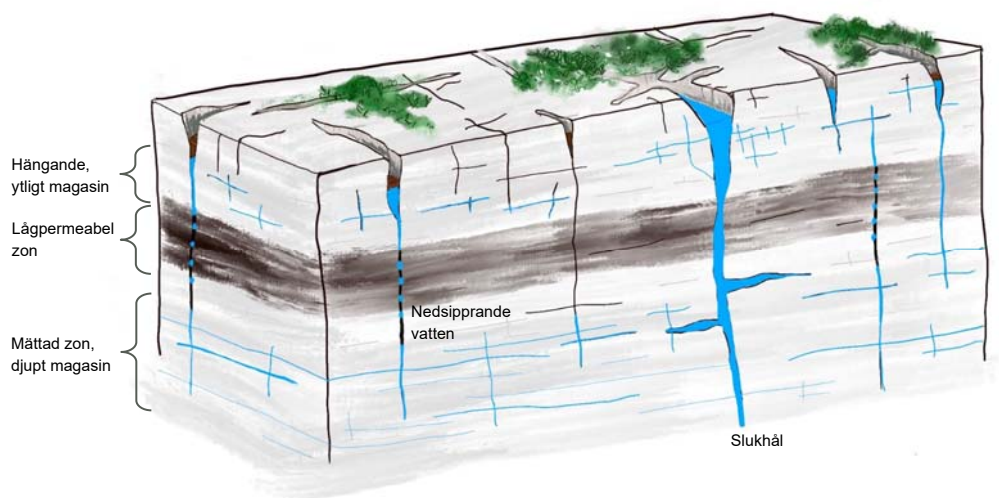
Det bör även noteras att i de båda graferna (Figur 54 och Figur 55) där en trycksänkning på 0,3 respektive 1 m redovisas, finns även den opåverkade nivåkurvan som gör det möjligt att visuellt se avvikelser. När en faktisk påverkan uppstår finns inte möjlighet till denna jämförelse, utan i stället får man förlita sig på trend- och säsongsanalyser alternativt referensrör med liknade fluktuationsmönster.

Med hänsyn till de identifierade skyddsobjekten som kan komma att påverkas (enskilda brunnar och naturvärden väster om tälten) borde en rimlig avgränsning av påverkansområdets utbredning vara 1 m för det djupa berget och 0,3 m för det ytliga berget. Under samrådsprocessen har det dock framkommit synpunkter på gränsen för påverkansområdet samtidigt som en avsänkning på 0,3 m är svårt, men inte omöjligt att särskilja har detta fått definiera gränsen för påverkansområdet i både det djupa och ytliga berget. Det är enligt resonemang ovan en onödigt snäv avgränsning som kommer att ge ett redovisat påverkansområde som överskattar den **relevanta** påverkan.

8 Analys

I allmänhet kan man konstatera att pumpningar i bergborrhål har kunnat utföras med måttliga flöden. I flertalet fall ger det måttliga eller lilla flödet en hydraulisk respons i djupa borrhål på i sammanhanget stort avstånd. Detta är tydliga tecken på att det djupare berget har en god hydraulisk kontakt över stora ytor, och att uttag av små vattenvolymer i många fall ger en synbar påverkan i det djupare berget på grund av små magasin, dvs att magasinet innehåller lite vatten. Däremot uppkommer vid dessa pumpningar ingen tryckpåverkan i grunda borrhål, vilket dels beror på en begränsad hydraulisk kontakt mellan ytligt och djupt berg, och dels på att det i det ytliga magasinet finns stora magasin, se Figur 56.

Nivåmätningarna visar i allmänhet att det föreligger skilda trycknivåer i de borrhål som återfinns i det ytliga berget jämfört med de delarna av borrhålen som representerar grundvattentryck i det djupare liggande berget. Uppenbarligen är sprickstrukturerna i området sådana att de hydrogeologiska förhållandena kan beskrivas som ytnära och djupa magasin med i de flesta fall dålig vertikal kontakt. Observationer från utförd brytning visar att en bestående påverkan har skett i det djupa grundvattenmagasinet.



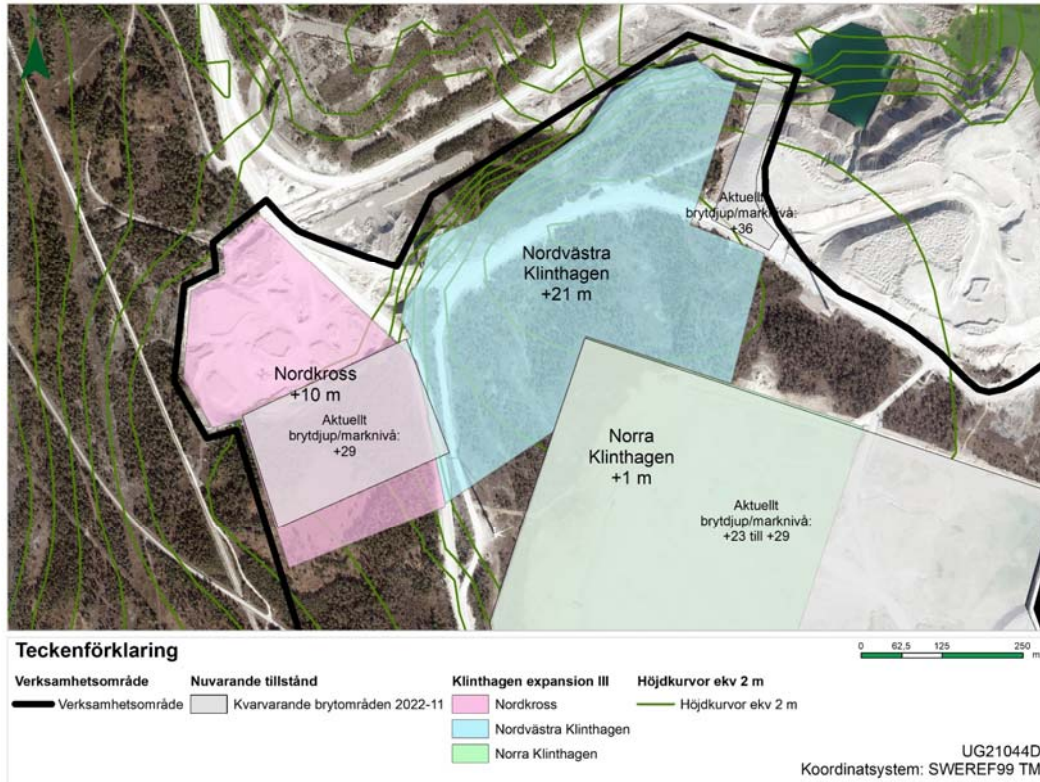
Figur 56. Schematisk bild över berggrunden, där tätare lager skapar olika grundvattenmagasin i en kalkstensstruktur.

I vissa fall har tester utförts i borrhål i botten på befintlig täkt, vilket innebär att det kan finnas en inverkan från utförd brytning inom de övre delar av bergmassan i täktbotten som undersökts med dessa borrhål. Det innebär att de utvärderade genomsläppligheterna i borrhål i täkten kan vara överskattade.

Förhållandena skiljer sig åt emellan de olika områden och de specifika förhållandena beskrivs under kapitel nedan, men det som beskrivs i stycket ovan ger den storskaliga bilden.

8.1 Analys område Nordvästra Klinthagen

Nuvarande marknivå i Nordvästra Klinthagen ligger kring +38 m. Nuvarande tillstånd medger brytning till +21 m inom en liten del av den nordvästra delen av området. Nordkalk önskar med aktuell ansökan att bryta till +21 m inom hela området som kallas för Nordvästra Klinthagen.



Figur 57. Brytområde Nordvästra Klinthagen med aktuella mark- och brytnivåer.

De hydrauliska testerna visar att det finns ett djupare och ett ytligare grundvattenmagasin i kalkstenen, vilket överensstämmer med tidigare utredningar (SGU 2002; Bergab 2012; Bergab 2014a). Utvärdering av provpumpningen i Nordvästra Klinthagen visar att bortledning av vatten i en 30 m djup pumpbrunn snabbt ger respons över ett större område (340 m) åt söder i det djupa magasinet, men ingen påverkan kan ses i grunda borrhål. Den snabba responsen i det djupa magasinet tyder på ett väl sammanhängande, men litet magasin. En liten vattenbortledning leder till stora trycksänkningar över ett förhållandevis stort område. Detta innebär i sin tur att det inte är sannolikt att det finns ett större vattenmagasin i den djupa bergmassan i området.

Ingen påverkan från provpumpningen kan ses i ett 30 m djupt observationsborrhål 150 m norr om pumpbrunnen. Detta kan antingen bero på det inte finns någon hydraulisk kontakt mellan pumpbrunn och observationsborrhål, d.v.s. det mellanliggande berget är tätt, eller så finns det en god hydraulisk kontakt mellan observationsborrhålet och ett större magasin, t.ex. en karststruktur. Utvärdering av

magasinskoefficient från korttidstest i detta observationsborrhål indikerar ett mycket lågt magasin, vilket motsäger att borrhålet skulle ha kontakt med större grundvattenmagasin. Det bedöms därför saknas en hydraulisk kontakt norrut, mellan pumpbrunnen och observationsborrhålet. Dessutom skiljer sig både grundvattennivåerna och fluktuationerna åt i de båda borrhålen.

Avsaknad av respons i det övre magasinet tillsammans med olika nivåfluktuationer tyder på en dålig hydraulisk kontakt mellan de ytliga och djupa magasinen.

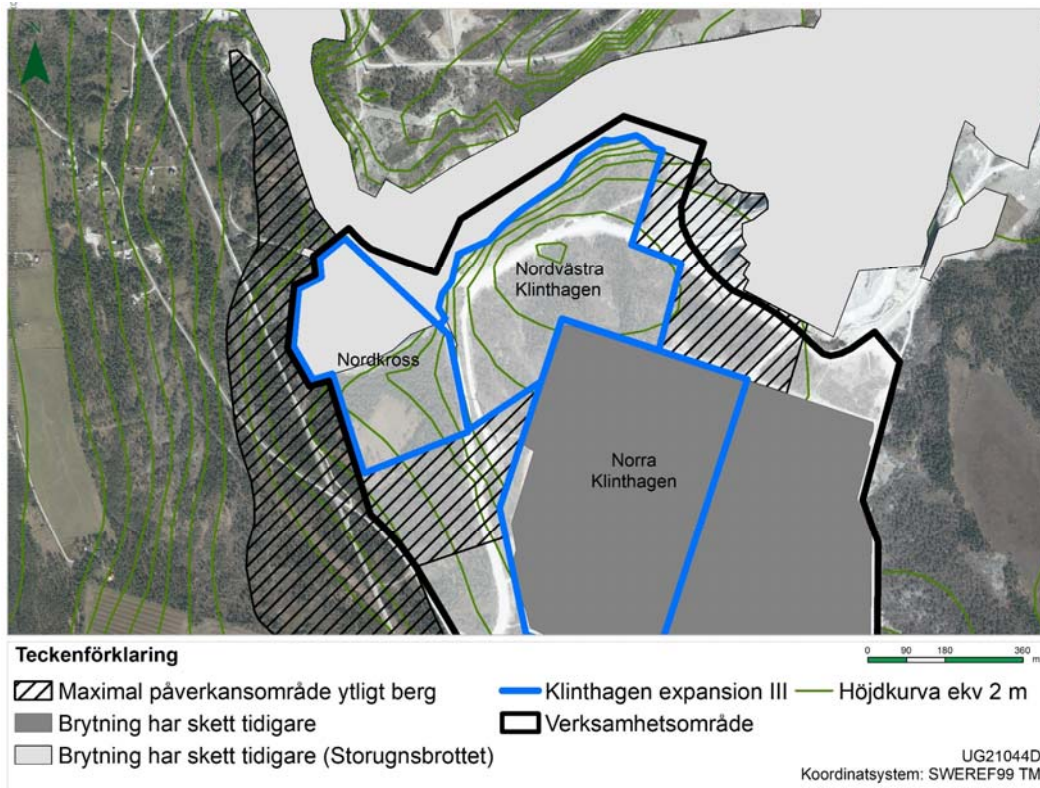
Gränsen mellan det ytliga och djupa magasinet har inte bestämts exakt, men utifrån respons från tester med manschetterade borrhål börjar det djupa magasinet först ca 20 m ner under markytan i brytområdet Nordvästra Klinthagen, vilket motsvaras av nivå ca +18 m. I borrhprotokoll för grundvattenrör inom Nordvästra Klinthagen anges vattenförande sprickor på djup 25-29 m under markytan.

Önskat brytningsdjup är +21 m, vilket motsvaras av ca 15 till 17 m under befintlig markyta. De hydrauliska korttidstesterna visar att bergmassan inom Nordvästra Klinthagen till djupet +21 m är mycket tät, med en hydraulisk konduktivitet på $4E-9$ m/s eller lägre. Detta innebär att vattenmängder och tryckstörningar i denna bergmassa förväntas att bli mycket begränsade.

Beräkningarna av påverkansområde från området kring Nordvästra Klinthagen visar på en mycket begränsad utbredning av påverkansområde i det djupa berget från den utökade brytningen i detta område till följd av den låga hydrauliska konduktiviteten.

De geofysiska undersökningarna har identifierat ett antal anomalier som tolkas som ytlig karst inom brytområdet. Eftersom området består av ej tidigare utbruten mark kan det finnas enskilda vertikala, ytliga sprickor med hög genomsläpplighet som ansluter till brytområdet och där en större avsänkning kan ske än vad som har beräknas. Uthålligheten på en sådan spricka eller skreva är vanligtvis mindre än 10 m, men kan uppgå till 100-tals meter. Då Nordvästra Klinthagen omgärdas av andra brytområden kan en sådan avsänkning inte utbredas annat än åt öster, men inom befintligt verksamhetsområde, se Figur 58.

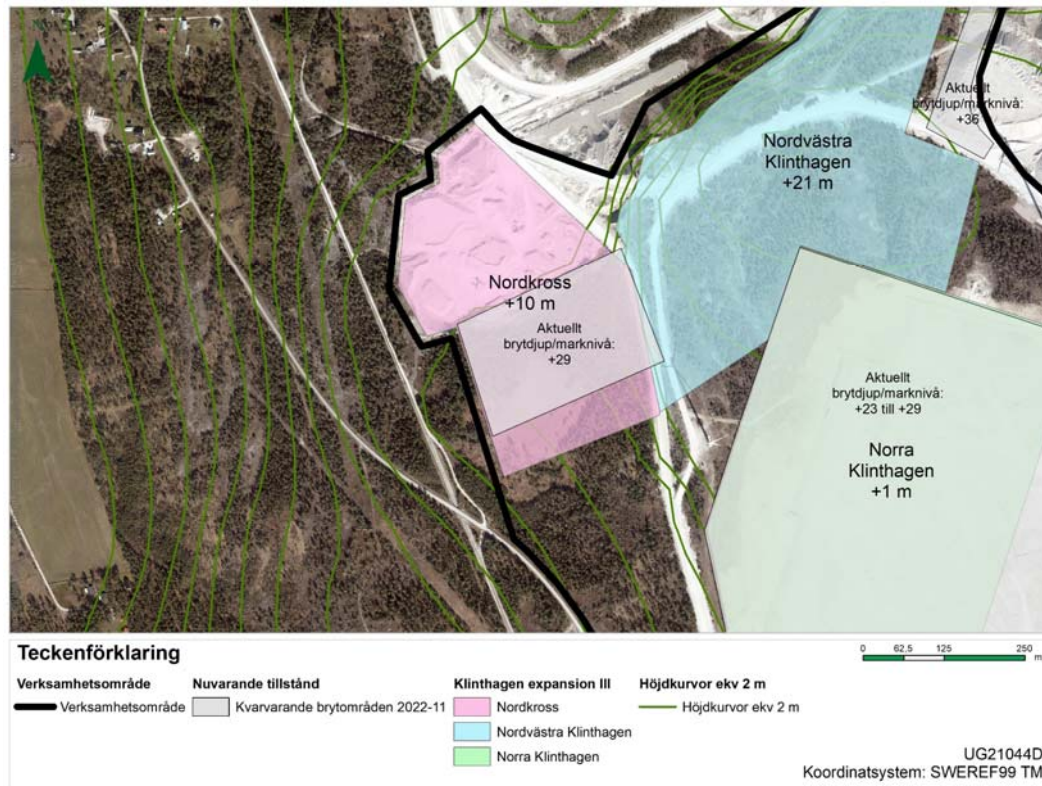
Baserat på ovan beskrivna resultat kommer en påverkan vid brytning till +21 m vara ytterst begränsad och i huvudsak uppkomma innanför verksamhetsområdet för både det ytliga och djupa grundvattenmagasinet.



Figur 58. Bedömning av maximalt påverkansområde i ytligt berg.

8.2 Analys område Nordkross

Nuvarande marknivå i Nordkross ligger kring +20 m i den tidigare utbrutna delen av området (norr) och +30 m i den södra delen, se Figur 59. Nuvarande tillstånd medger brytning till +15 m inom en del av den södra delen av området. Nordkalk önskar med aktuell ansökan att bryta till +10 m inom hela Nordkross-området.



Figur 59. Brytområde Nordkross med aktuella mark- och brytnivåer.

De hydrauliska testerna visar att det finns ett djupare grundvattenmagasin i området och att det sker ett läckage från ytligare magasin ner till det djupare magasinet.

Baserat på responser från provpumpning 2018 och resultat från sektionerade pulstester bedöms det finnas ett vattenförande sprickplan med en flack lutning från nordost mot sydväst på en nivå mellan cirka +6 och +8 m. Den snabba och tydliga responsen vid provpumpningen visar att sprickplanet inte står i kontakt med något karstsystem utan består av ett litet, men väl sammanhängande grundvattenmagasin. Provpumpningen ger något större responser i nord-sydlig riktning jämfört med i öst-västlig riktning. Det kan konstateras att området inte står i någon direkt kontakt med ett större djupare grundvattenmagasin.

De numeriska beräkningarna ger utifrån de planerade brytdjupen ett påverkansområde i det djupa magasinet på ca 2 km norrut och 1 km västerut. Där det lokalt finns kontakt mellan ytligt och djupt berg kommer påverkansområdet i det djupa magasinet att begränsas, vilket innebär att det verkliga påverkansområdet kan bli mindre. En påverkan åt öster och söder begränsas av den befintliga täkten som fungerar som en barriär.

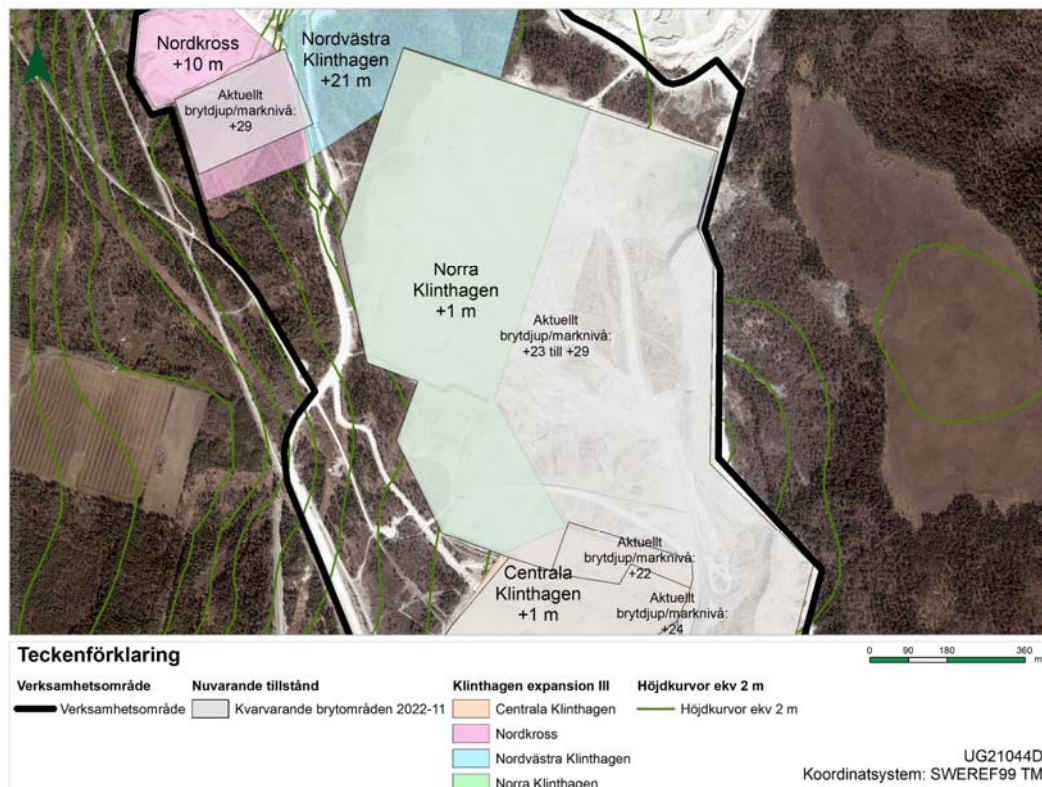
Då delar av området består av ännu ej utbruten mark kan det finnas ytliga sprickor som ansluter till brytområdet och därmed kan en avsänkning lokalt ske även i det ytliga magasinet. Då Nordkross omgärdas av andra brytområden samt ett låglänt

område i väster blir området, inom vilket en sådan lokal avsänkning i det ytliga berget kan ske, begränsad, se Figur 58.

Längs med kanten till det låglänta området väster om Nordkross kan det inte uteslutas att ett utflöde av djupt grundvatten till ytligt berg och jordlager sker i dagsläget. En trycksänkning i det djupa berget skulle kunna minska ett sådant eventuellt utflöde. Sannolikt är de volymer ytvatten och ytligt grundvatten som finns i området betydligt större än läckaget till täkten kommer vara, vilket innebär att denna eventuella förändring är försumbar, men går inte helt att utesluta och omfattas därför av möjligt påverkansområde för ytligt berg.

8.3 Analys område Norra Klinthagen

Nuvarande marknivå inom Norra Klinthagen ligger i huvudsak kring +23 till +29, se Figur 60, men det finns några pallar i västra delen av området på nivå +36 m som ännu inte är utbrutna. Nuvarande tillstånd medger brytning till +23 till +29 m inom området. Nordkalk önskar med aktuell ansökan att bryta till +1 m inom Norra Klinthagen.



Figur 60. Brytområde Norra Klinthagen med aktuella mark- och brytnivåer.

Då Norra Klinthagen utgörs av redan utbruten täkt saknas den kalksten och det grundvattenmagasin som för övriga Klinthagen benämns som ytligt. Resultat från propumpningen visar att man får en påverkan i främst nord-sydlig riktning i det djupare magasinet. En påverkan i det djupare magasinet kan även ses åt nordost,

men inte i samma omfattning. Ingen påverkan kan ses i det djupa berget öster om Norra Klinthagen, mot Hoburgsmyr. Från propumpningen kan inte heller någon påverkan ses i de ytliga magasinerna utanför den befintliga täkten.

En relativt stor avsänkning (omkring 0,8-1,6 m) på stora avstånd (300-375 m) tillsammans med avsänkningskurvans form visar på ett väl sammanhängande men begränsat magasin.

Resultatet från pulstesterna visar på ett heterogent kalkberg med stora variationer på genomsläppligheten. Pulstesterna indikerar även att det sammanhängande, genomsläppligare magasinet kan finnas kring nivå +10 m till +20 m. Pulstesterna visar även att kalkstenen under nivå +10 m är tätare.

Observationer från tidigare brytning till nivå ca +25 m visar att en trycksänkning har skett i ett borrhål i det djupa magasinet när brytfronten befann sig på ett avstånd om 0,5-1 km. Borrhålet befinner sig sedan 2012 på ett avstånd om 35 m norr om tätkant och uppvisar en avsänkning på 5-6 m jämfört med de tidigare högsta nivåerna. Ingen påverkan från befintlig täkt har observerats i det ytliga magasinet.

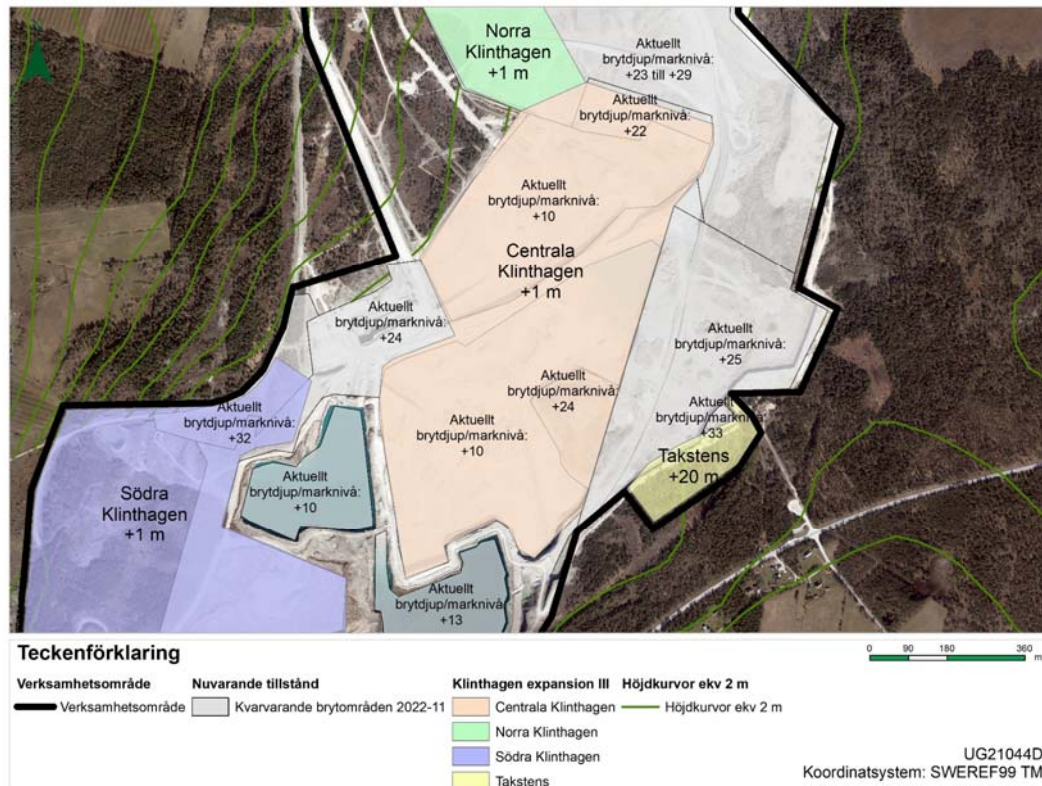
De numeriska beräkningarna ger ett påverkansområde för den ansökta verksamheten i det djupa magasinet på ca 2,5 km norrut, ca 2 km österut och 1,6 km västerut. Huvuddelen av avsänkningen åt öster sker under befintlig täkt. Åt söder begränsas påverkan av andra brytområden.

Det kan ifrån propumpningen konstateras att området inte står i någon direkt kontakt med ett större djupare grundvattenmagasin.

Då området består av tidigare utbruten mark, bedöms inte någon ytterligare påverkan på ytligt grundvattenmagasin kunna ske.

8.4 Analys område Centrala Klinthagen

Nuvarande marknivå inom Centrala Klinthagen ligger kring +10 m i stora delar av det utbrutna området, för några mindre delar av området ligger marknivå på omkring +22 m och +24 m, se Figur 61. Det finns även en krossgrop med bottennivå på +1,5 m inom området. Nuvarande tillstånd medger brytning till +10 m inom området. Nordkalk önskar med aktuell ansökan att bryta till +1 m inom Centrala Klinthagen.



Figur 61. Brytområde Centrala Klinthagen med aktuella mark- och brytnivåer.

Provpumpningen som utfördes visade inte på någon respons i närliggande borrhål, men pumpningen kunde endast genomföras med mycket små flöden och en total avsänkning av pumpbrunnen.

Generellt visar resultaten från testerna ett heterogent kalkberg. Flertalet test visar på ett medelgenomsläppligt kalkberg med en hydraulisk konduktivitet på omkring $4E-7$ m/s. Enstaka enhålstest visar dock på ett så pass tätt kalkberg att testerna ej kan utvärderas och andra enhålstest visar på ett mycket genomsläppligt kalkberg.

Från grundvattennivåobservationer noteras att borrhål utanför områden med nuvarande täktbotten på +10 m där marknivåer ligger på omkring +25 m inte visar på avsänkta nivåer, trots mycket korta avstånd till tätkant för den lägre brytnivån. Detta visar på ett mycket tätt berg där länshållning på en lägre nivå ger ingen eller mycket begränsad trycksänkning i omgivande berg.

Genom manschettering av borrhål P2S-1 kan artesiska nivåer observeras. Det visar att det finns ett tätande lager som ger en dålig vertikal kontakt mellan de olika djupa magasinerna.

Söder och sydväst om området finns två täktsjöar: Pall-2-sjön och Polenhålet. Pall-2-sjön avgränsas i norr med en smal berggrippa (ca 25 m bred) till Centrala Klinthagen där täktbotten idag ligger på ca +10 m. Inget läckage genom bergplinten kan noteras trots den stora tryckskillnaden som föreligger. Detta innebär att kalkstenen är mycket

tät. Långtidsobservationerna i de enskilda brunnarna under uppfyllnadsfasen av täktsjöarna visar dessutom inte på några uppenbara nivåförändringar.

De numeriska beräkningarna visar på att ett påverkansområde för den ansökta verksamheten i det djupa berget 1,7 km österut, 1 km sydöst och 1,8 km västerut. Påverkan åt sydväst begränsas av de befintliga täktsjöarna som fungerar som en hydraulisk barriär. Det kan dock inte uteslutas att en trycksänkning i det djupare berget kan ske söder om Centrala Klinthagen varför detta bör omfattas i ett bedömt påverkansområde för det djupa berget.

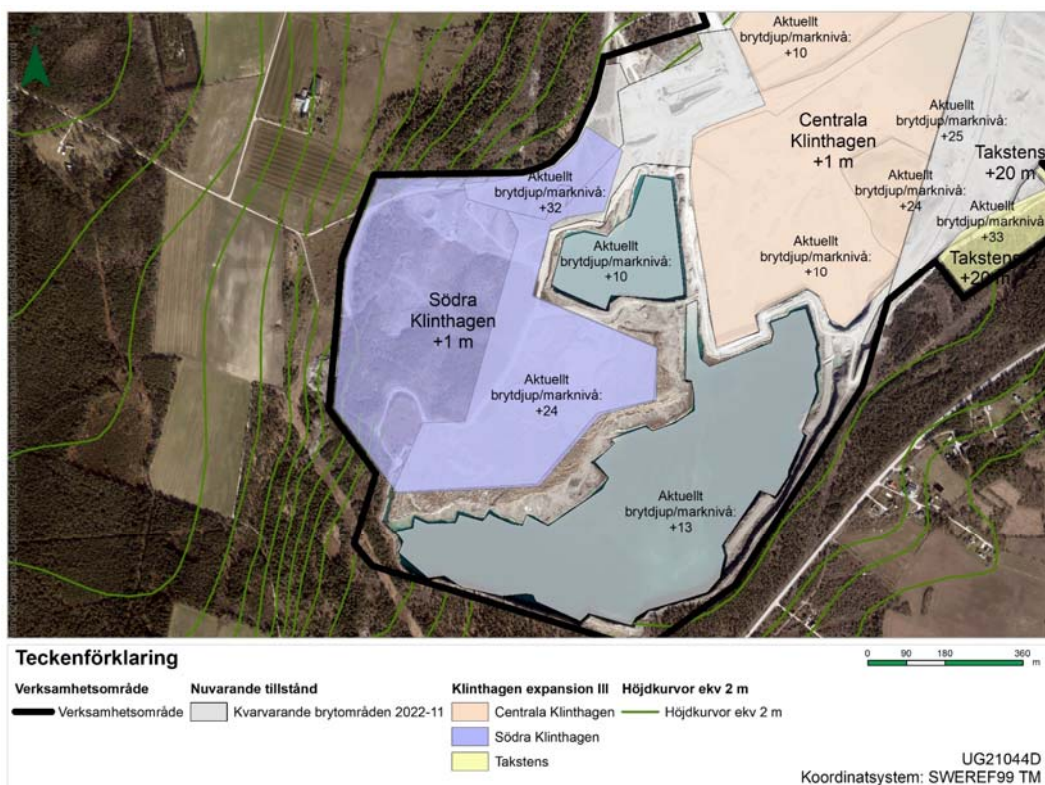
Då området består av tidigare utbruten mark, bedöms någon ytterligare påverkan på ytligt grundvattenmagasin vara försumbar.

8.5 Analys område Södra Klinthagen

Nuvarande marknivå i Södra Klinthagen ligger kring +24 m i den östra delen av området där brytning pågår och kring +32 i de västra delarna av området.

Nuvarande tillstånd medger brytning till +10 m inom de östra delarna av området.

Nordkalk önskar med aktuell ansökan att bryta till +1 m inom hela området som kallas för Södra Klinthagen.



Figur 62. Brytområde Södra Klinthagen med aktuella mark- och brytnivåer.

Området omgärdas av två täktsjöar: Pall-2-sjön och Polenhålet. Pall-2-sjön avgränsas i norr med en smal berggripa (ca 25 m bred) till ett brytområde med täktbotten på ca

+10 m. Inget läckage genom bergplinten kan noteras trots den stora tryckskillnaden som föreligger. Detta innebär att kalkstenen är mycket tät.

De tre provpumpningar som har utförts i området under 2021 och 2022 visar inte på någon respons i omkringliggande observationspunkter.

Provpumpningen i PP6-2021 kunde endast utföras med ett mycket litet flöde, med total håltömning som följd. Provpumpningen visar att pumpbrunnen ej står i kontakt med övriga borrhål eller något vattenförande spricksystem, vilket är normalt för berget i området.

Återhämtningen av provpumpningen i SK-PP2 visar på en helt linjär återhämtning vilket indikerar att återhämtningen sker från ett magasin som inte är avsänkt från provpumpningen. Detta indikerar att det sannolikt är den övre delen av borrhålet som står för huvuddelen av borrhålets transmissivitet och resterande del av den underliggande bergmassan antas vara förhållandevis tät. Utvärderingen gav mycket små magasininstal, vilket visar att borrhålet inte står i kontakt med något större magasin. Utvärderingen av magasininstal är dock mycket osäkra.

Provpumpningen i SK-OBS1 skedde med flöden på omkring 7,5-10 L/min och visade inte på några responser i omgivningen. Utvärderingen visar på en transmissivitet i storleksordningen $1e-6$ m²/s vilket kan sägas vara ett medelgenomsläppligt kalkberg, och relativt stora magasininstal, vilket innebär att borrhålet kan stå i kontakt med ett större magasin. Utvärderingen av magasininstal är dock mycket osäker. Detta större magasin skulle kunna bestå av den s.k. "syltan" som är det sprängpåverkade berget i den ytliga delen av den befintliga täktbotten, alternativt kan resultatet tyda på att det finns en kontakt med täktsjöarna öster om området.

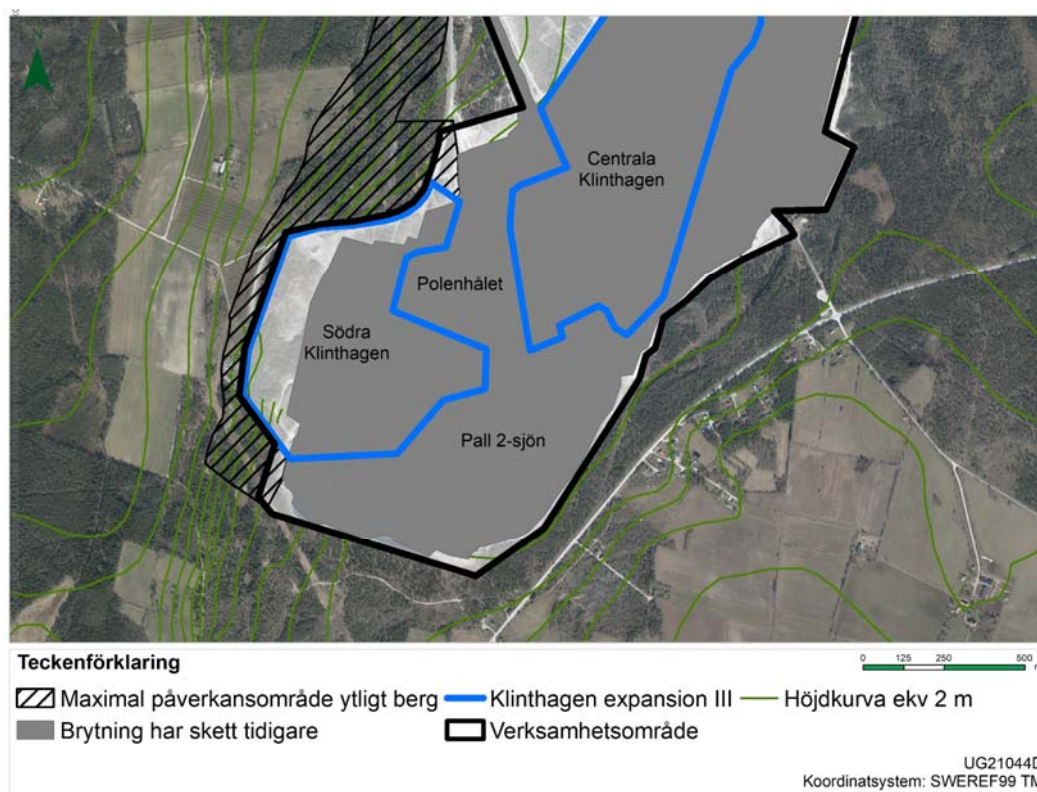
De numeriska beräkningarna visar på att en trycksänkning i det djupare magasinet från utökad brytning ger ett influensområde som sträcker sig ca 2,5 m norrut, och ca 0,7 km västerut. I de numeriska beräkningarna har den hydrauliska konduktiviteten konservativt satts till $5e-7$ m/s, observationer visar dock på ett betydligt tätare berg.

Sammanfattningsvis visar observationer av både täktsjöarnas nivåer och långtidsövervakning av nivåer i enskilda brunnar att bergmassan är förhållandevis tät. De utförda undersökningarna visar att detta sannolikt även gäller för den djupare delen av bergmassan under +10 m. De kringliggande täktsjöarna utgör dessutom en hydraulisk barriär i nord, syd och öst. Det kan dock inte uteslutas att en viss trycksänkning kan ske i det djupare berget sydöst om Södra Klinthagen varför detta bör omfattas i ett bedömt påverkansområde för det djupa berget.

Längs med kanten till det låglänta området väster och norr om Södra Klinthagen kan det inte uteslutas ett utflöde av djupt grundvatten till ytligt berg och jordlager sker i dagsläget. En trycksänkning i det djupa berget skulle kunna minska ett sådant eventuellt utflöde. Sannolikt är de volymer ytvatten och ytligt grundvatten som finns i området betydligt större än läckaget till täkten kommer vara, vilket innebär att

denna eventuella förändring är försumbar, men går inte helt att utesluta varför det ingår i möjligt påverkansområde för ytligt berg.

Då delar av området består av ännu ej utbruten mark kan det finnas ytliga sprickor som ansluter till brytområdet och därmed kan en avsänkning lokalt ske även i det ytliga magasinet. Då Södra Klinthagen omgärdas av andra brytområden samt lägre marknivåer i väster och norr blir området, inom vilken en direkt påverkan på det ytliga berget kan ske, begränsad, se Figur 63.



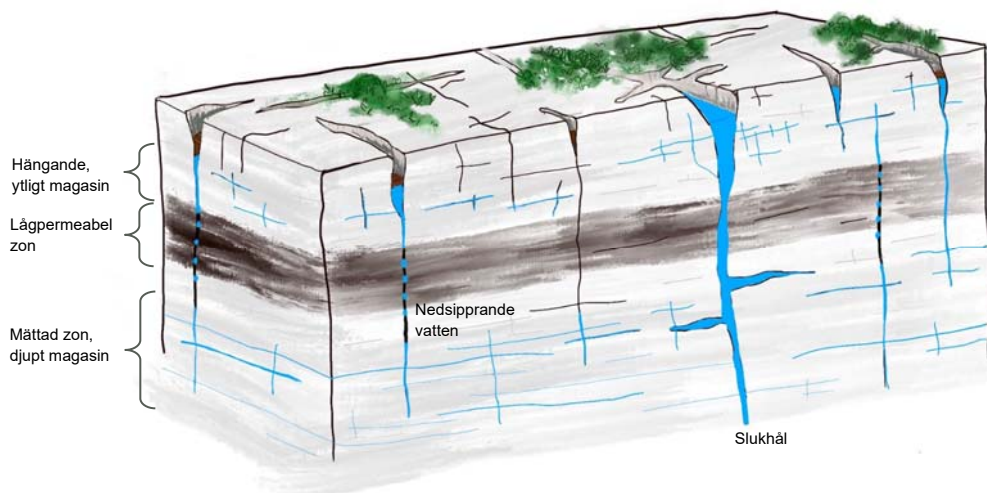
Figur 63. Bedömning av maximalt påverkansområde i ytligt berg.

9 Bedömning av hydraulisk påverkan och effekter

Utifrån utförda hydrauliska undersökningar verifieras tidigare bedömningar om mindre sammanhängande ytliga grundvattenmagasin som till stor del består av öppna karstsprickor med förhållandevis litet djup och låg konnektivitet i plan samt djupare, mer sammanhängande grundvattenmagasin med hög konnektivitet i plan.

Resultat från observationer och undersökningar visar att det djupare berget i Klinthagen generellt har en låg genomsläpplighet (hydraulisk konduktivitet i storleksordningen $1E-7$ - $1E-6$ m/s) och små magasininstal, vilket är normalt för ett kalkberg. De små magasininstalerna tillsammans med förutsättningen att det djupa magasinet har en hög konnektivitet i plan kan medföra att en trycksänkning sker över stora områden vid en liten bortledning (volym vatten).

De ytliga magasinerna är dåligt konnekterade och innehåller stora volymer vatten, särskilt i områden med ytlig karst. Generellt finns det en mycket dålig hydraulisk kontakt mellan de ytliga och djupa magasinerna, vilket exempelvis kan illustreras av tryckskillnaderna mellan de olika magasinerna som redovisas i grundvattennivåmätningarna samt i Figur 64.



Figur 64. Schematisk bild över berggrunden, där tätare lager skapar olika grundvattenmagasin i en kalkstensstruktur.

I de områden där det finns en kontakt mellan det ytliga och djupa berget sker en påfyllning från det ytliga berget. Eftersom det djupa magasinet har en låg genomsläpplighet och magasinerna en liten vattenvolym innebär det att det kompensande flödet från det ytliga magasinet är försumbart i förhållande till de volymer vatten som finns i det ytliga magasinet.

Om en påverkan i det djupa berget når en karststruktur längre ut från täkten, skulle denna struktur fungera som en hydraulisk rand och förhindra vidare utbredning av påverkansområdet. Vattenvolymer i en karststruktur är betydligt större jämfört med den porositet och vattenvolym som finns i sprickstrukturer i det djupa berget.

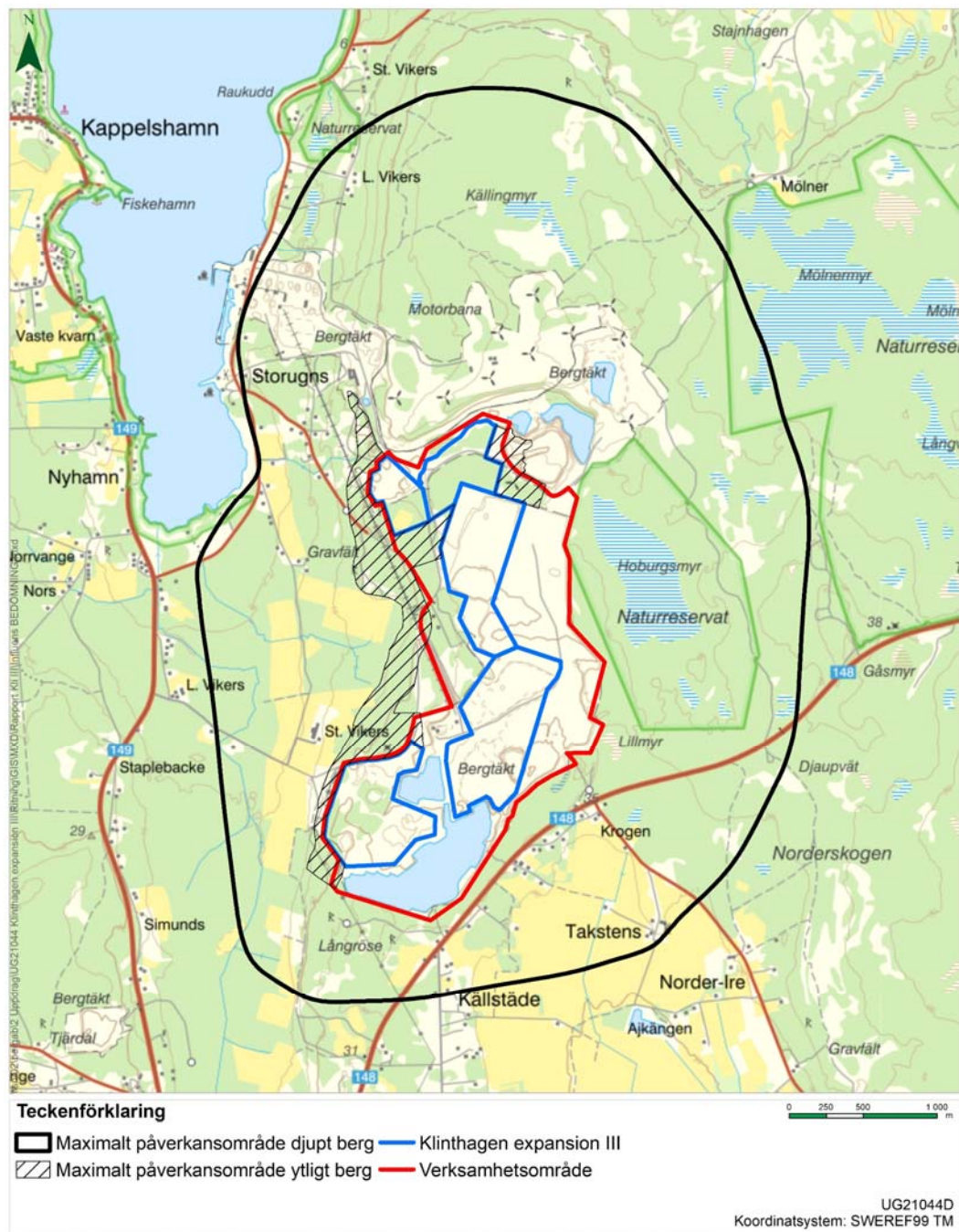
Påverkan på trycknivåer i en karststruktur som inte har direkt kontakt med tälten är därmed försumbar. Det är sannolikt att det finns ett djupare karstsystem mellan Storungsdagbrottet och Hoburgsmyr, vilket i så fall skulle avgränsa en påverkan i det djupare berget åt nordost. I bedömningen av påverkansområde har ingen hänsyn till detta tagits.

Den grundvattenpåverkan som kan ske från aktuell brytning i det ytliga berget är i första hand koncentrerad till de områden där brytning inte skett sedan tidigare, då det inte går att utesluta att det finns ytliga vertikala sprickor som har god kontakt med dessa områden. Det innebär att en sådan påverkan kan ske vid Nordvästra Klinthagen, delar av Nordkross och Södra Klinthagen.

Om det finns naturvärden som är beroende av utströmmande djupt grundvatten väster om Klinthagentälten, kan dessa komma att påverkas. Bedömningen är dock att ett eventuellt utflöde av djupt grundvatten väster om Klinthagentälten är underordnat det flöde som sker från avrinning och ytligt grundvatten.

Med hänsyn till erfarenheter av tidigare brytning bedöms trycksänkningen ha en marginell påverkan på omkringliggande skyddsobjekt i form av enskilda brunnar, men det kan inte uteslutas att en trycksänkning sker i det djupa berget söder om Klinthagentälten. Det innebär att en trycksänkning i enskilda brunnar inom redovisat påverkansområde kan uppkomma.

Sammanfattningsvis bedöms den totala maximala påverkan i det djupa berget för den framtida tälten, utifrån den definition som redovisas under *avsnitt 7 Motiv till avgränsning av påverkansområde*, kunna ske inom område ca 2,2 km norr, 1,5 km öster, 0,5 km söder och 1,5 km väster om verksamhetsområdet, se Figur 65. Påverkan på grundvattennivåer i ytligt berg kan ske i områden i anslutning till brytområden där ingen tidigare brytning av skett samt nedanför kanten väster om Klinthagentälten. Påverkansområde för ytligt berg redovisas separat i samma figur (Figur 65).



Figur 65. Bedömt maximalt påverkansområde i kalkstenen från den utökade brytningen.

Avrinningen från Hoburgsmyr kommer inte att påverkas även om en trycksänkning i det djupare berget kan uppkomma, vilket innebär att vattenståndet i myren inte kommer att påverkas.

I den norra och nordöstra utkanten av det redovisade påverkansområdet av det djupa berget finns Vitärtskällan, Stora Vikers och Mølnermyr. Observationer från flera borrhål mellan Klinthagentäkten och dessa naturområden visar att den konceptuella beskrivningen av ett ytligt och ett djupt magasin med begränsad

hydraulisk kontakt gäller även utanför Klinthagen. Det innebär att en relevant påverkan på ytligt grundvatten, utöver den som redovisas i Figur 65, inte kan ske, och därmed kan inte heller Vitärtskällan, Stora Vikers eller Mølnermyr påverkas.

På grund av bergets horisontella lagring med tätande lager och dominerande sprickriktningar, sker inte ursköljning och nedtryckning av relik saltvatten på samma sätt som i en jordakvifär. Då inga tendenser till saltvatteninträngning från havet observerats i närliggande brunnar (IVL, 2022a) bedöms risken för saltvatteninträngning till täkten till följd av den utökade brytningen som låg. De enskilda brunnar som visat på högre uppmätta kloridhalter, har även låga halter under delar av året. Detta tyder på att borrhålen inte har kontakt med några uthålliga större grundvattenmagasin med salthaltigt vatten, utan snarare mindre inneslutna fickor med relik grundvatten, något som beskrivs i IVLs rapport (IVL, 2022a).

10 Referenser

- AFRY (2022). *Markradarundersökning Klinthagen. PM Bergteknik. Uppdragsnummer B22013. 2022-10-28*
- AFRY (2023). *Resistivitet och markradarundersökning Klinthagen. PM Geofysik. Uppdragsnummer B22013. 2023-02-17*
- Arendus (2019). *PM Historien om Hoburgs myr Lärbro socken, Gotland. Arendus rapport 2019:34*
- Bergab (2012). *Analys av grund- och ytvattenpåverkan vid dagbrottet Klinthagen. Perioden 2004-2012. Uppdragsnummer US12122. 2012-12-07*
- Bergab (2014a). *Analys av grund- och ytvattenpåverkan vid dagbrotten Klinthagen. Perioden 2013-2014. Uppdragsnummer UG13015. 2014-08-22*
- Bergab (2014b). *Markundersökning Gotland. Georadarundersökning av ytbergets beskaffenhet med avseende på eventuell karstbildning. Uppdragsnummer UG14047. 2014-06-03.*
- Bergab (2017). *PM Hydrogeologi Klinthagen. Bergtäkt på Stora Vikers 1:94, Klinthagentäkten. Uppdragsnummer UG17111. 2018-02-13*
- Carlsson, L. och Gustafson, G. (1997). *Provpumpning som geohydrologisk undersökningsmetodik. Chalmers university of technology. Publ C62.*
- Cooper, Broedehoeft och Papadopoulos (1967). *Response of a finite-diameter well to an instantaneous charge of water. Water Resources Research, vol. 3, no. 1.*
- Hantush, M.S. & Jacob C.E. (1955). *Non-steady radial flow in an infinite leaky aquifer. Am. Geophys. Union Trans., vol. 36, pp. 95-100.*
- Hvorslev (1951). *Time Lag and Soil Permeability in Ground-Water Observations. Bull. No. 36, Waterways Exper. Sta. Corps of Engrs, U.S. Army, Vicksburg, Mississippi.*
- IVL (2003). *Miljökonsekvensbeskrivning av Nordkalk AB:s planerade täktverksamhets påverkan på Natura 2000-området Hoburgsmyr, Gotland. Arkivnummer U850. 2003-10-03*
- IVL (2022a). *PM reliket grundvatten.*
- IVL (2022b). *Trendanalys Hoburgsmyr.*
- Kresic (2007). *Hydrogeology and Groundwater Modelling. Second edition*
- Marinelli & Niccoli (2000). *Simple analytical equations for estimating ground water inflow to a mine pit. Ground water 38 (2).*
- Naturvårdsverket (2023). *Skyddad natur.*
[<https://skyddadnatur.naturvardsverket.se/>]
- Nordkalk (2018). *Efterbehandlingsplan. Tillståndsansökan för Nordkalk AB:s Täktverksamhet vid Klinthagentäkten, Lärbro Stora Vikers 1:94. Bilaga A:17.*

Nordkalk (2022). *Klinthagen expansion III_Brunsinventering*. [Microsoft Excel-fil]

Region Gotland (2016). *Gotlands grundvatten och dricksvatten*.

[<https://www.gotland.se/94272>]

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

Institutionen för geovetenskaper. Luft- och vattenlära. Report Series A. No. 66.

SF GeoLogic (2007). *Hydrogeologisk beskrivning av Bunge Ducker 1:64 med omgivning*.

Analys av hydrogeologiska förhållanden i kalkstenen utifrån strukturgeologi, borrhålskartering, geofysiska mätningar, grundvattennivåmätningar samt slugtester och korttidsprov pumpningar. Rapport 07-069-01. 2007-10-09

SGU (1955). *Hydrogeologiska förhållanden inom Slite köping på Gotland*. Helge Tullström.

Årsbok 48 (1954) No 3.

SGU (2002). *Partek Nordkalk Storugns AB. Hoburgsmyr. Påverkan på*

grundvattenförhållandena av kalkstensbrytning. Uppdragsnummer 08-630/2002. 2002-09-10

SGU (2003). *Nordkalk AB. Georadarmätningar inom planerat brytningsområde väster om*

Hoburgs myr. Uppdragsnummer 08-630/2002. 2003-08-28.

SGU (2009). *Beskrivning till regional berggrundskarta över Gotlands län*. K221

SGU (2020). *Yttrande över överklagan av tillstånd till befintlig och utökad täktoverksamhet på fastigheten Lärbro Stora Vikers 1:94 (Klinthagentäkten) i Gotlands kommun*. M 7168-19.

Aktbilaga 28

SGU (2021). *Gotland – Geologisk 3D-modell*. SGU-rapport 2021:27.

SGU (2022a). *Beskrivning av grundvattnet på Gotland*. SGU-rapport 2022:14.

SGU (2022b). *Karaktärisering av karst på Gotland – en pilotstudie på mellersta Gotland*.

SGU-rapport 2022:04.

Theis (1935). *The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage*. Am. Geophys. Union Trans., vol. 16.

VISS (2022). *Norra Gotland – Kappelshamn*. [<https://viss.lansstyrelsen.se>]

WSP (2023). *Kalkstenstäkt Klinthagen. Hydrologisk utredning – vattenbalansrevidering*.

Uppdragsnummer 10334727

ÅF (2017). *Markradarundersökning Klinthagen*. PM Bergteknik. Uppdragsnummer

739481. 2017-11-22.

1 Inledning

Föreliggande dokument utgör bilaga till PM Hydrogeologi Klinthagen expansion III. Dokumentet redovisar nivåobservationer i bergborrade observationspunkter.

Våren 2022 etablerades 20 nya borrhålspar för långtidsmätning runt omkring täkten samt öster om Hoburgsmyr, se Figur 1. De djupa borrhålen borrades generellt till 30 - 40 m djup, där de översta 6 - 10 metrarna avskärmades antingen med gjutet foderrör eller med en genomborrade betongplugg. De grunda borrades till mellan 6 och 10 meters djup.

Sydöst om täkten, mot Takstens, återanvändes tre befintliga djupa borrhål (3530-9820, 3500-9870 och 3450-9870) och dessa är därför inte avskärmade mot ytan. Även de äldre borrhålen BH11, BH21, BH31 och BH41 är inte avskärmade mot ytan.

BH22-11, som är ett djupt borrhål, visar sedan juli 2022 stopp på 4,6 m under markyta, vilket indikerar foderröret kan vara knäckt och att avskärmningen för detta hål därmed sannolikt är bristfällig.

BH22-29 har ibland artesiska nivåer och bräddar i nivå med foderröret.

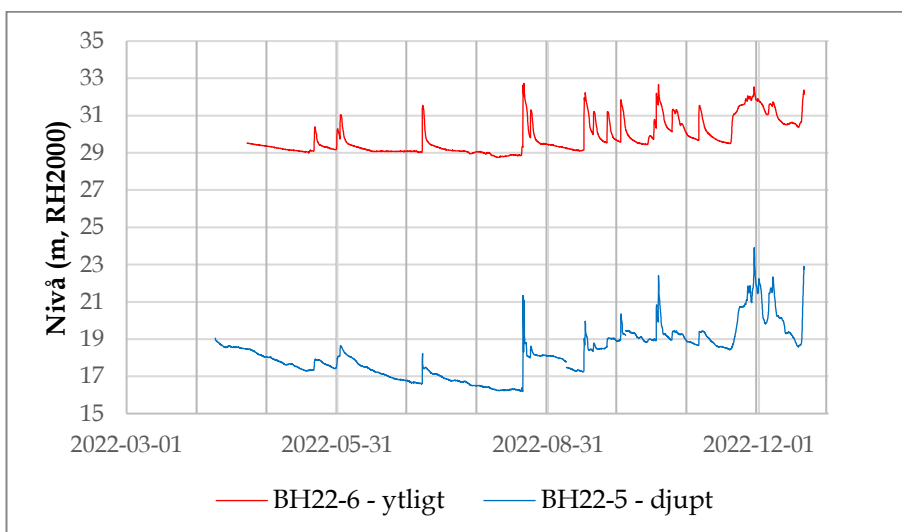
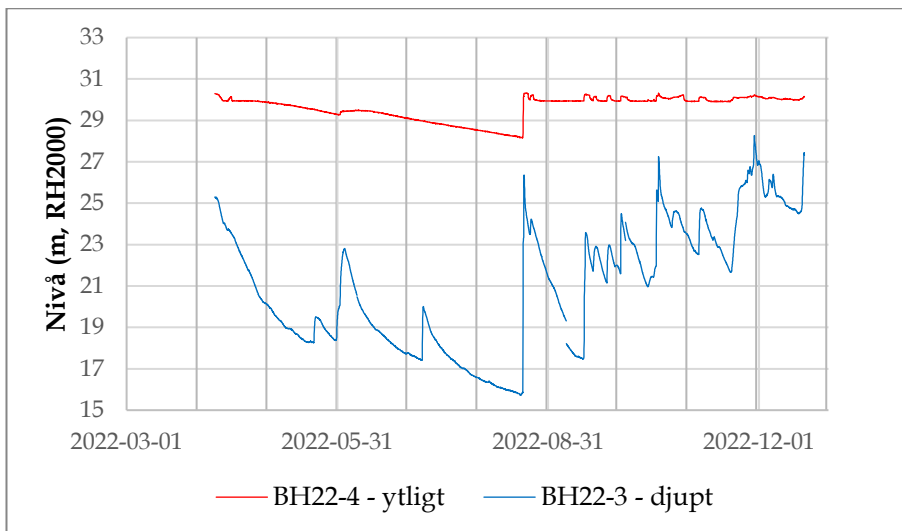
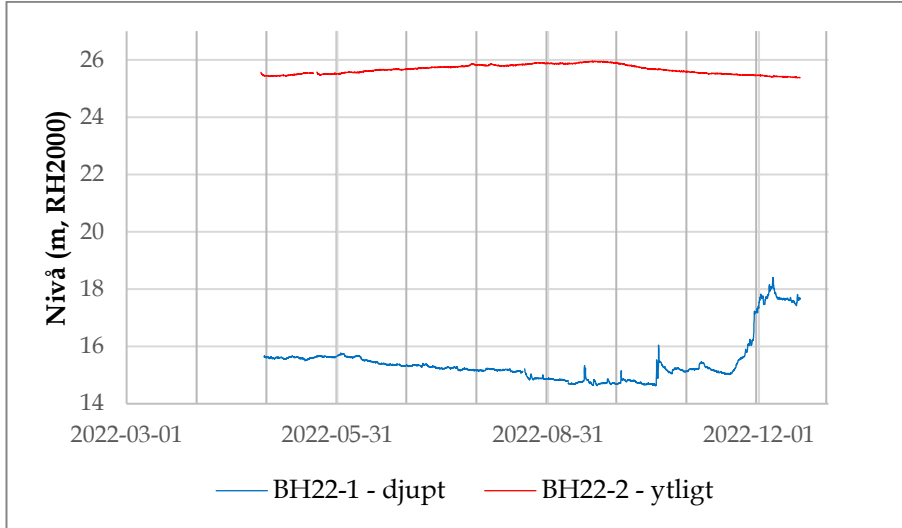
Syftet med de nya borrhålsparen var att undersöka skillnad i trycknivå och fluktuation mellan det djupare grundvattenmagasinet och de ytligare grundvattenmagasinen.

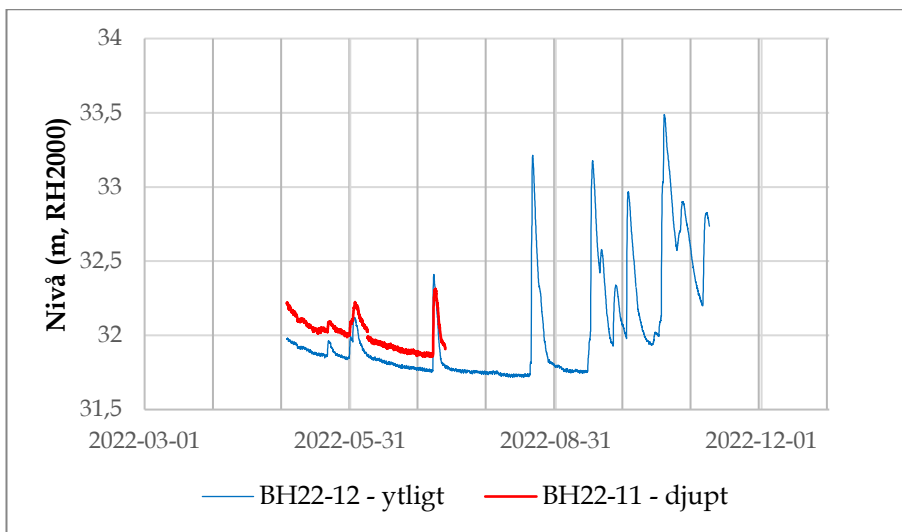
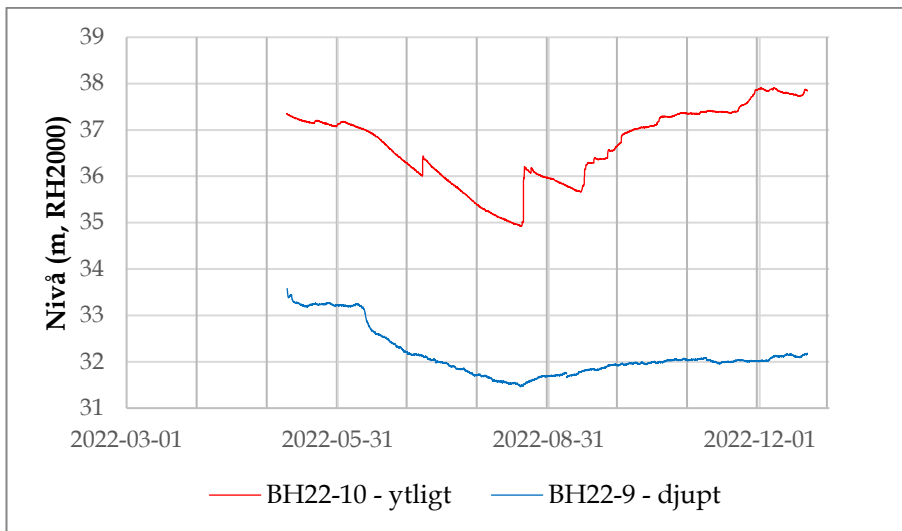
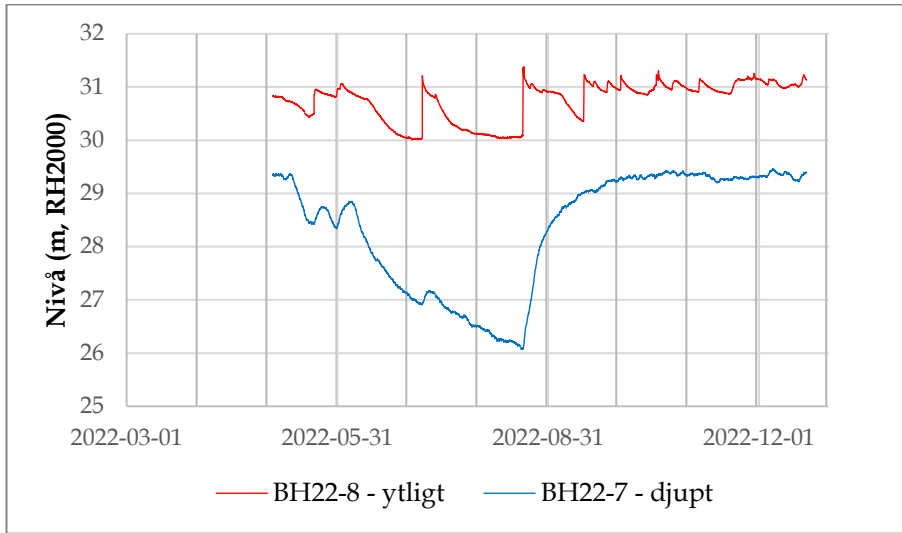
Mätningarna redovisas dels parvis med djupt respektive ytligt borrhål i samma graf under avsnitt 2 och dels enskilt tillsammans med manuella lodningar under avsnitt 3.

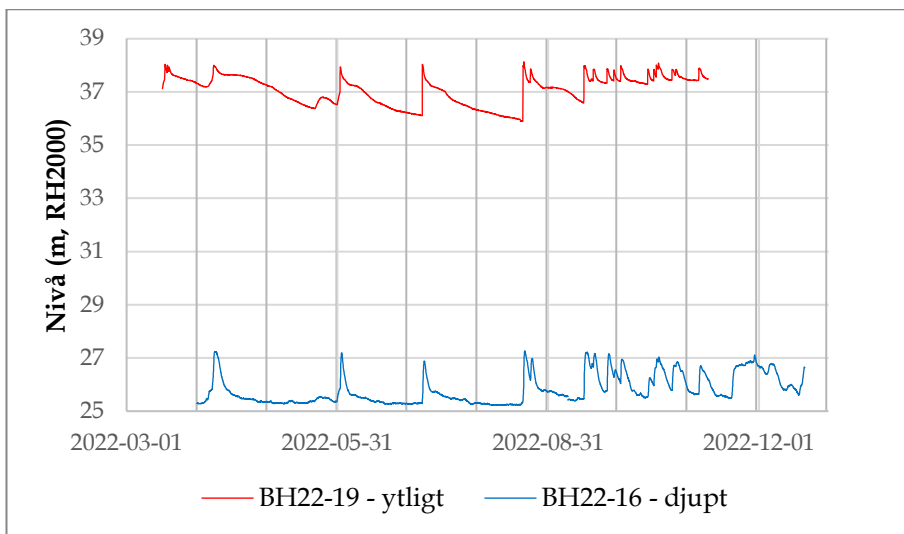
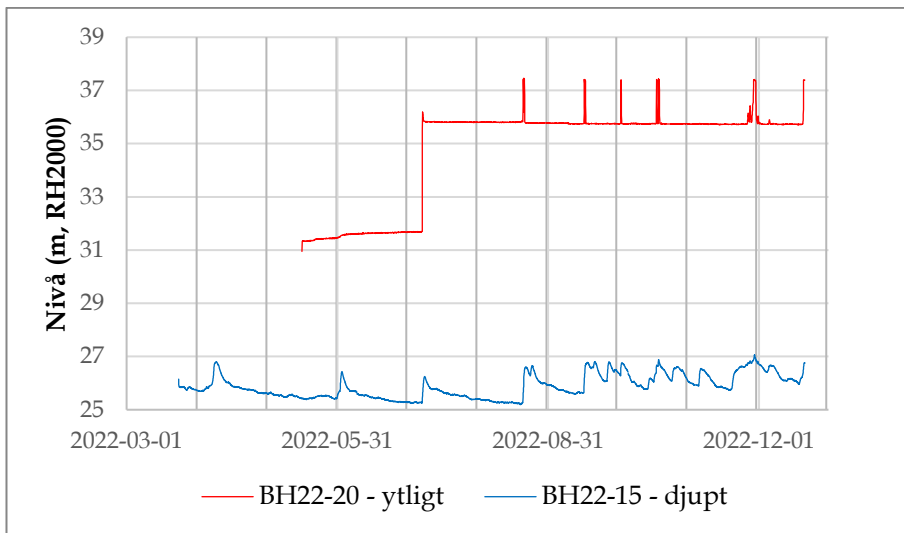
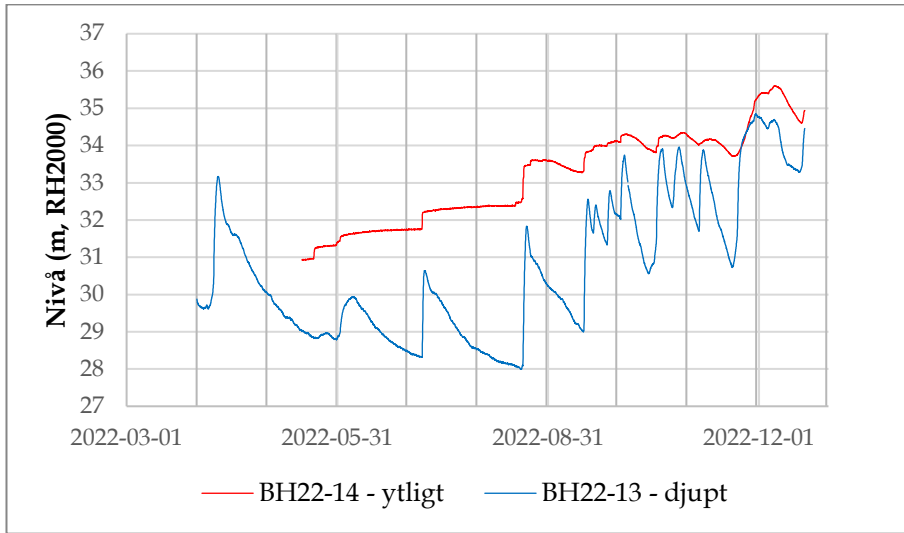


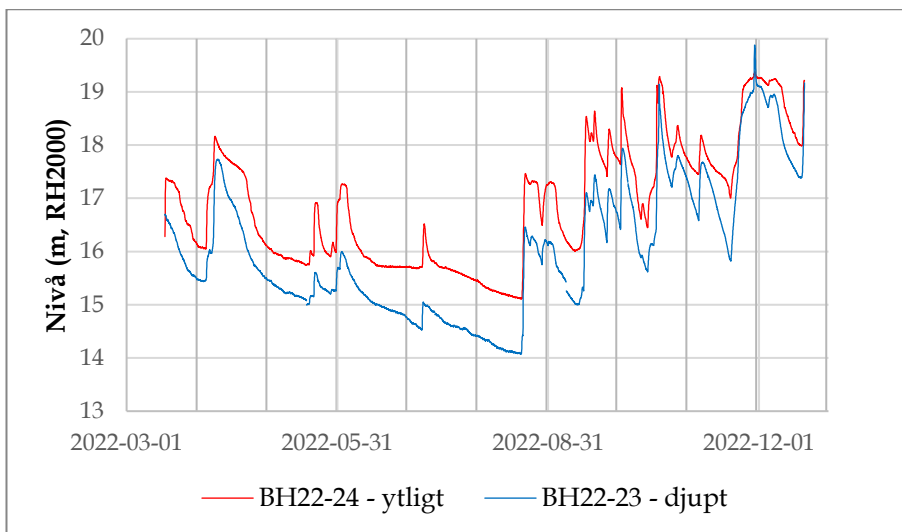
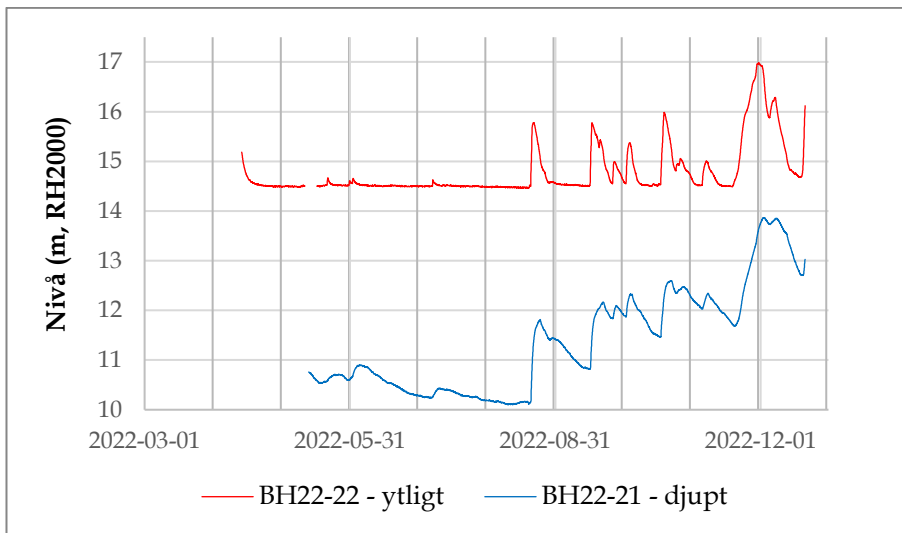
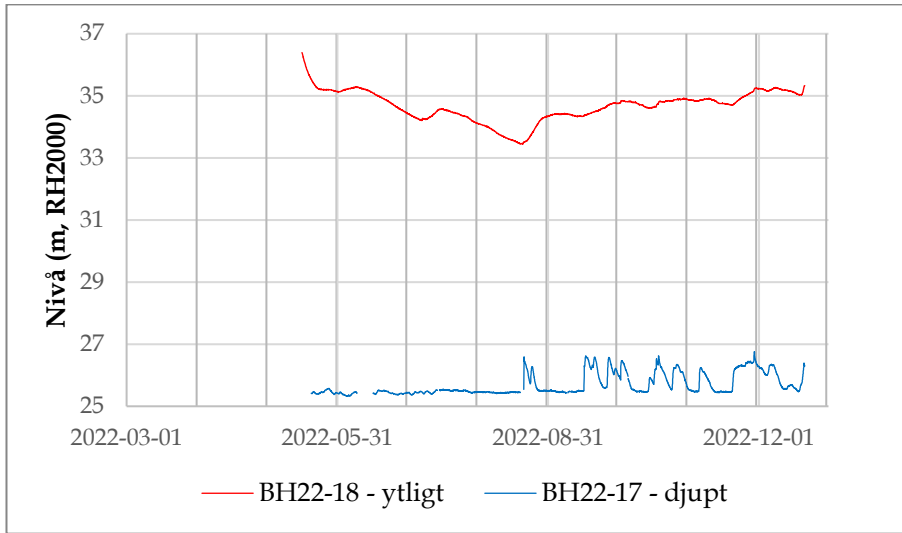
Figur 1. Läge och redovisning av skillnad i trycknivå för borrhålspar med grunda och djupa hål. Ett antal av de djupa borrhålen är inte avskärmade från det yttliga berget och kan då representera antingen ytligt eller djupt magasin eller en kombination av dessa beroende på vilka sprickor som ansluter till borrhålet.

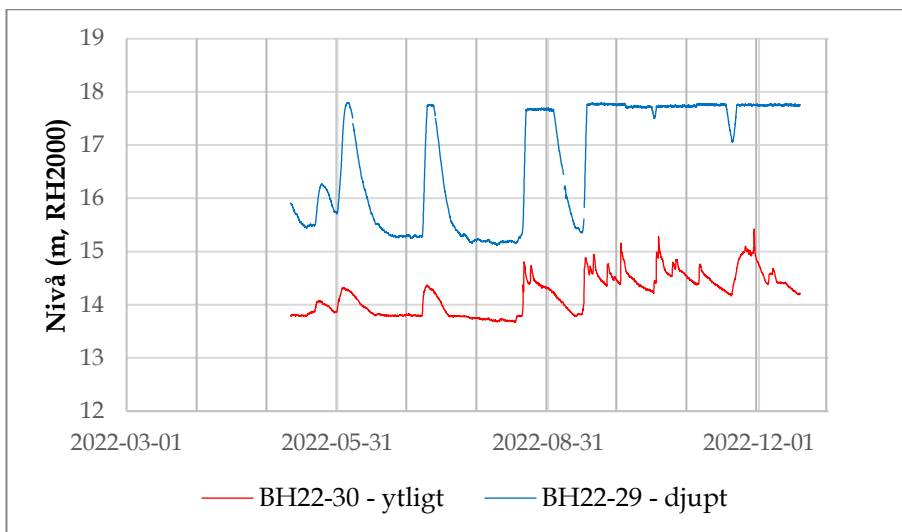
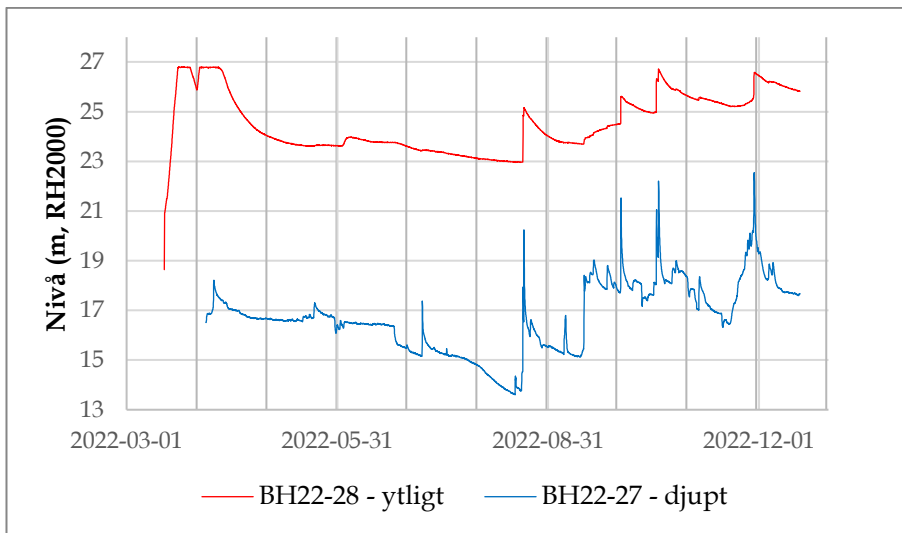
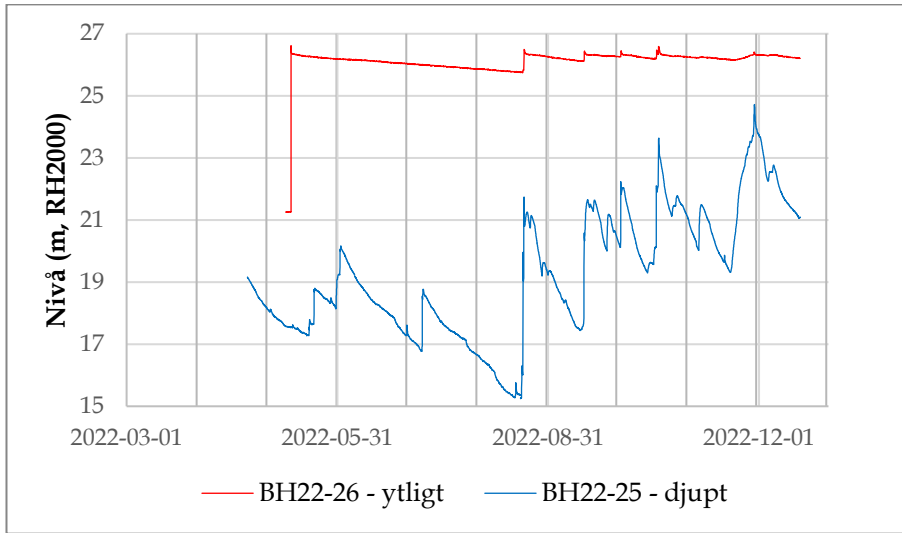
2 Nivåobservationer borrhål, parvis redovisade

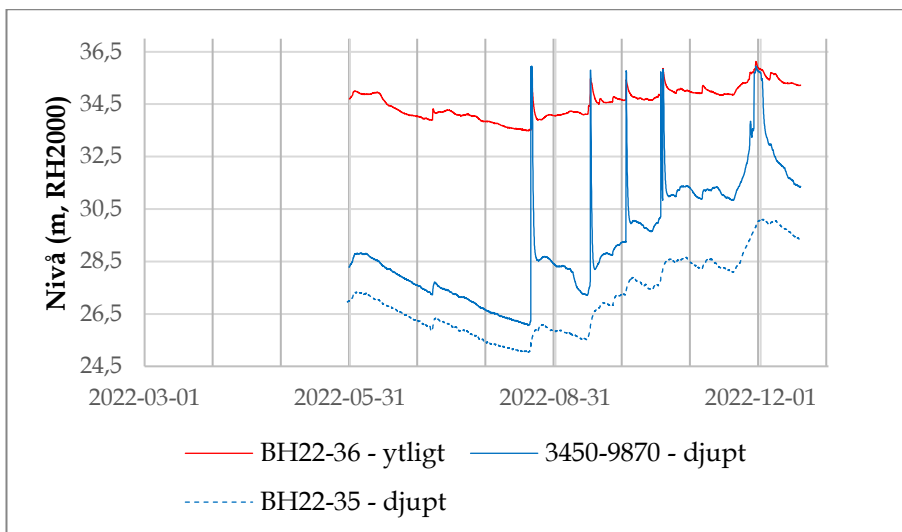
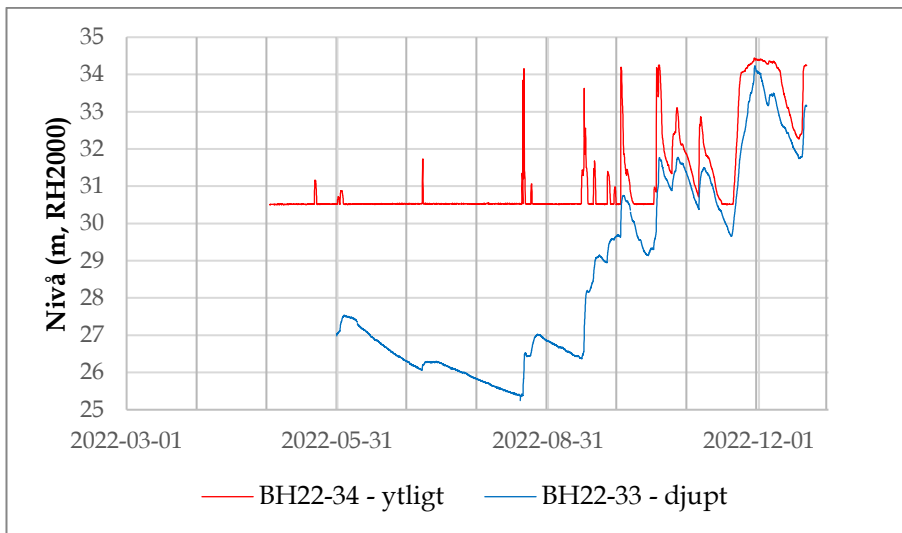
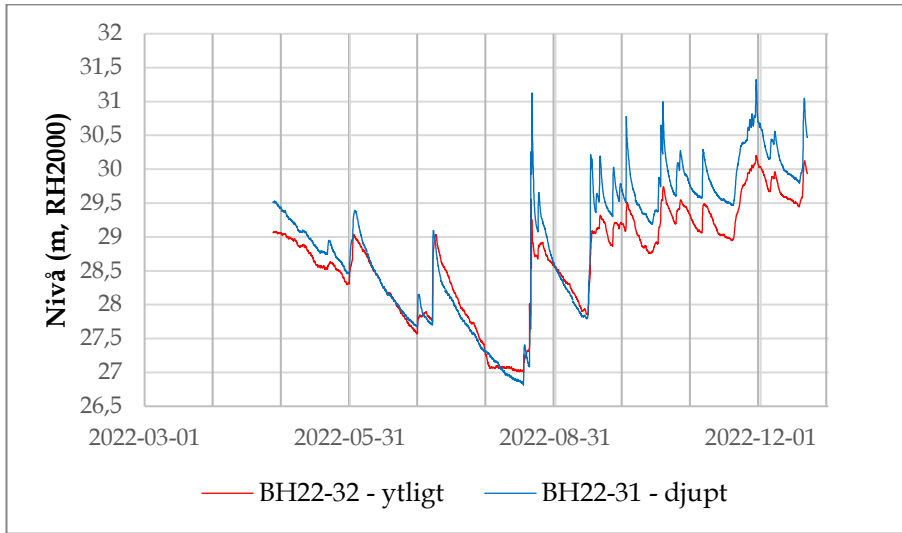


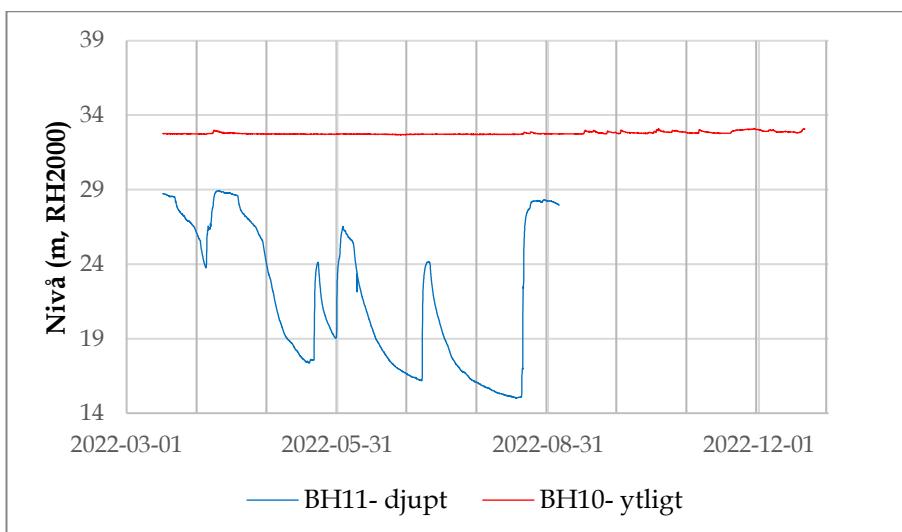
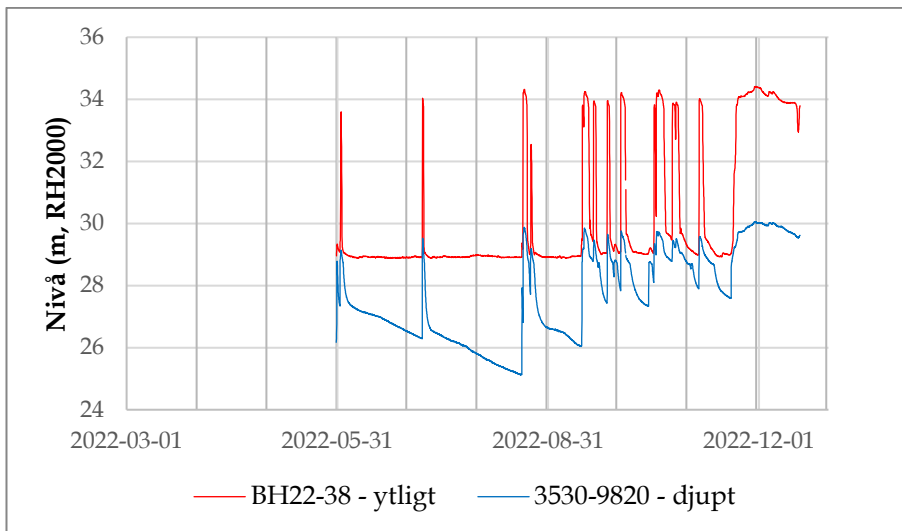
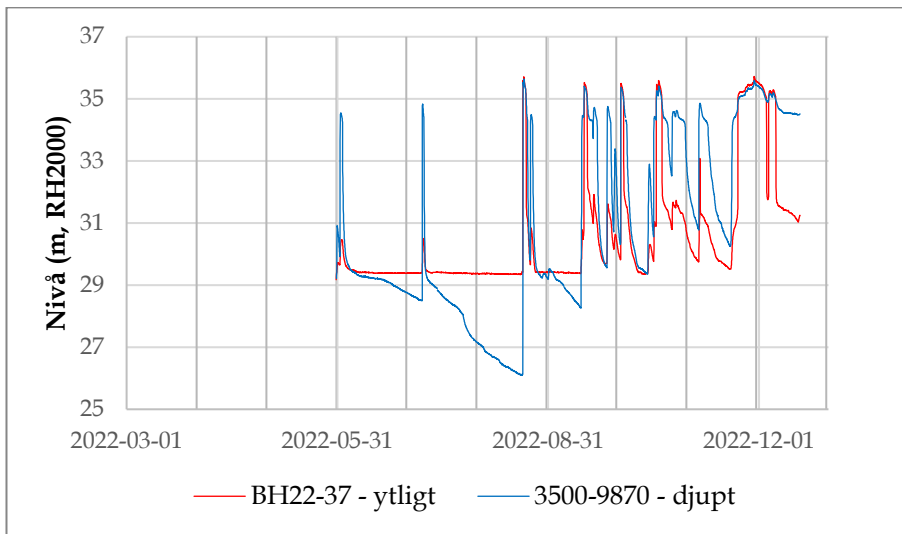


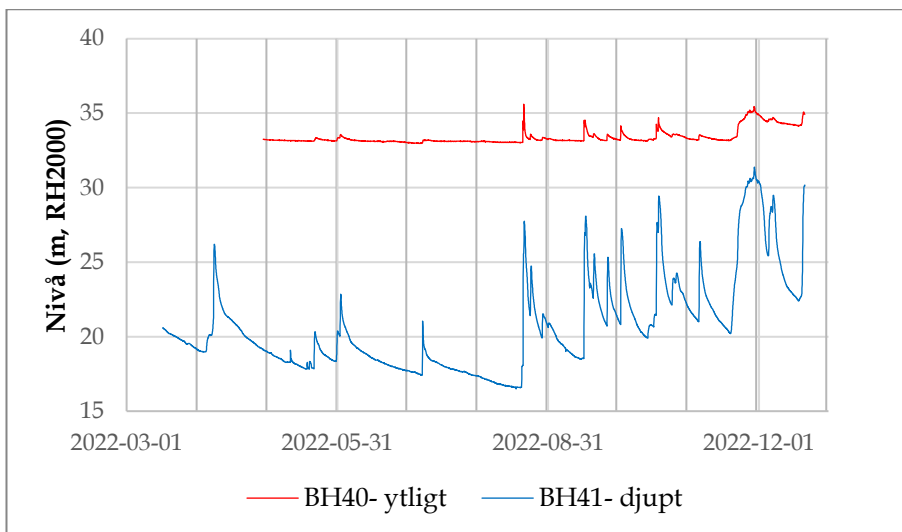
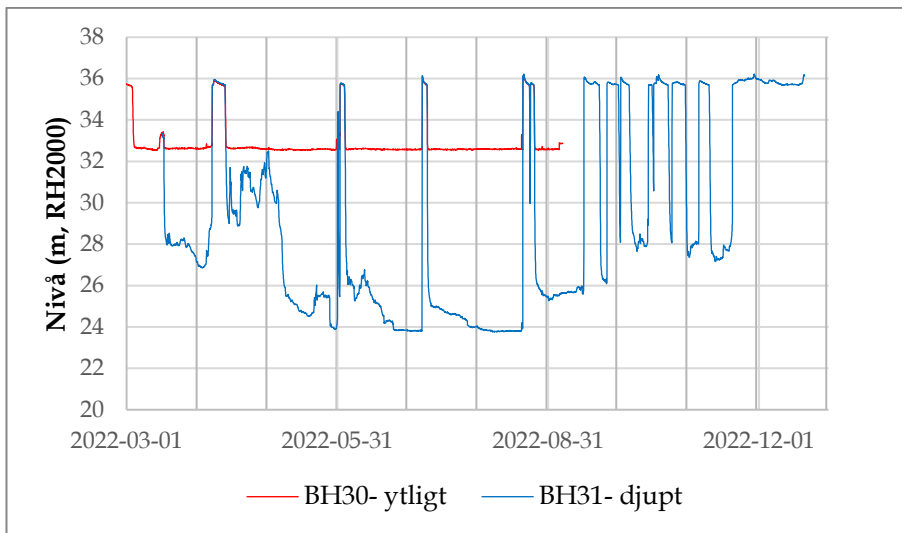
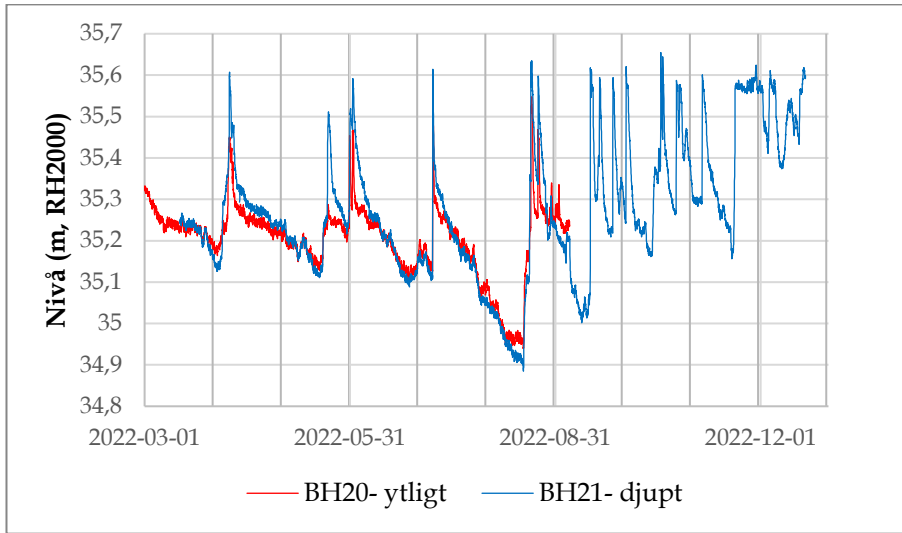




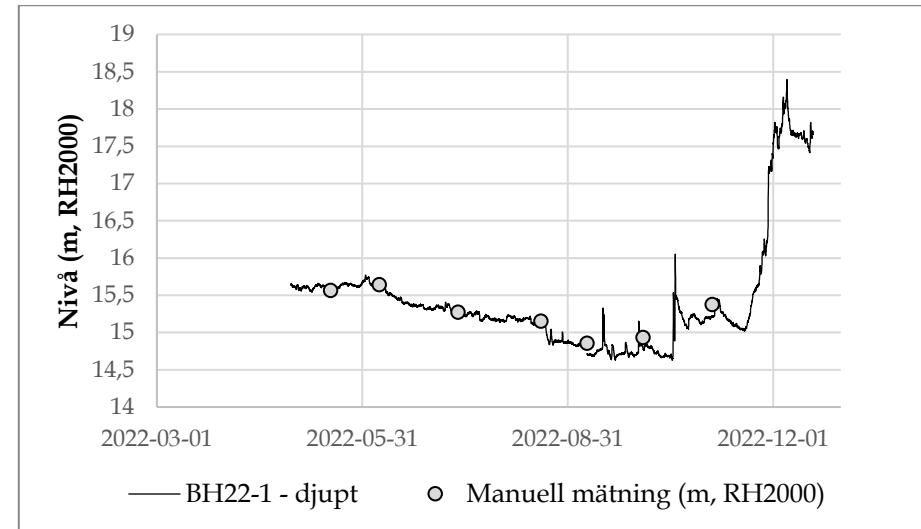
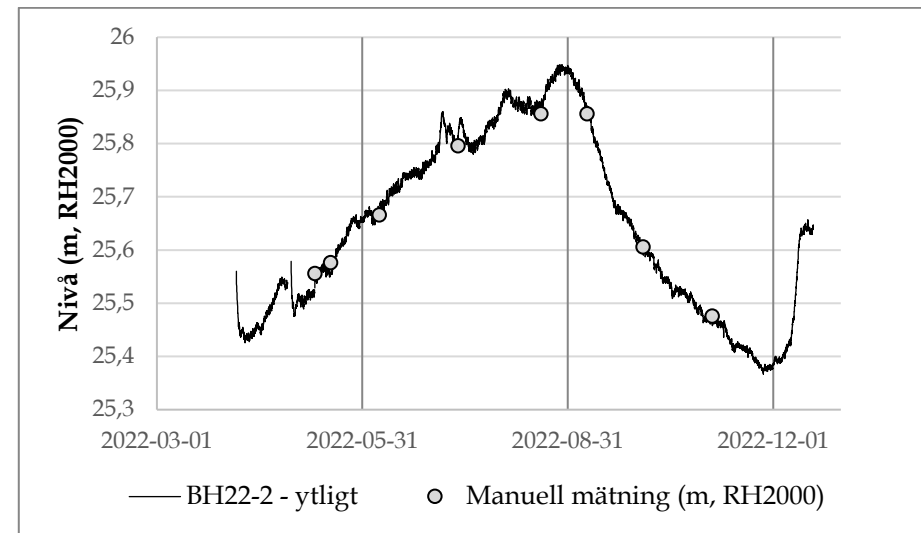
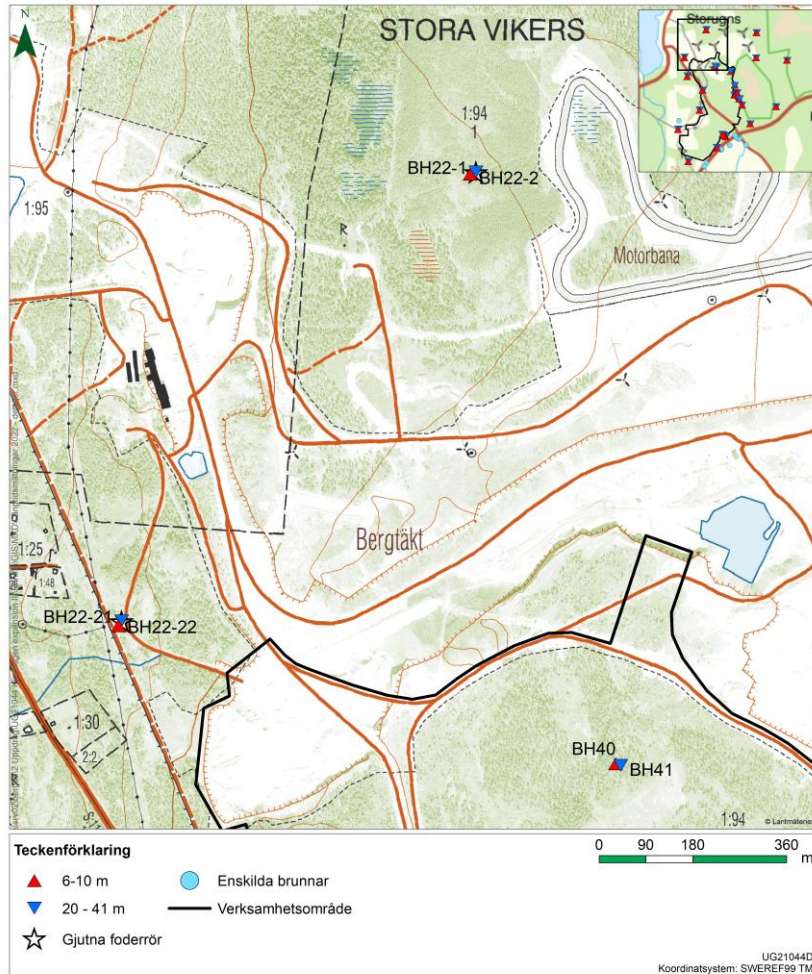


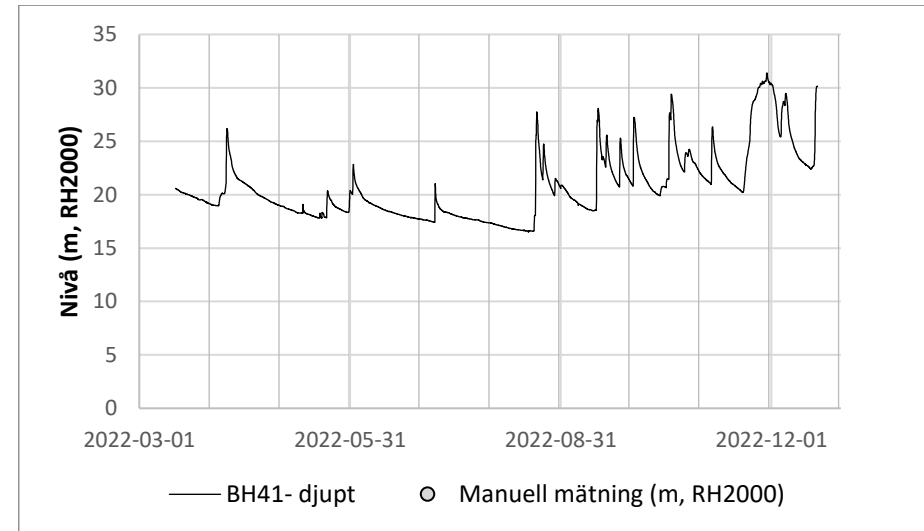
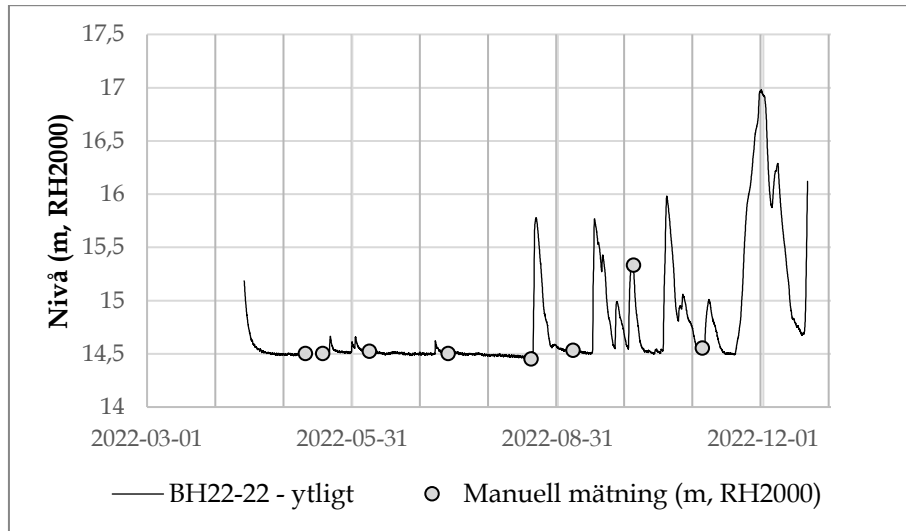
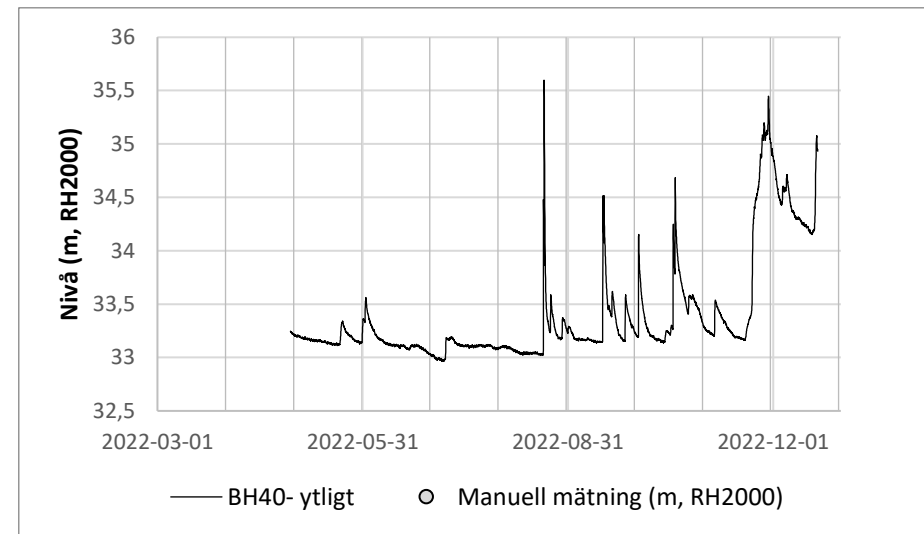
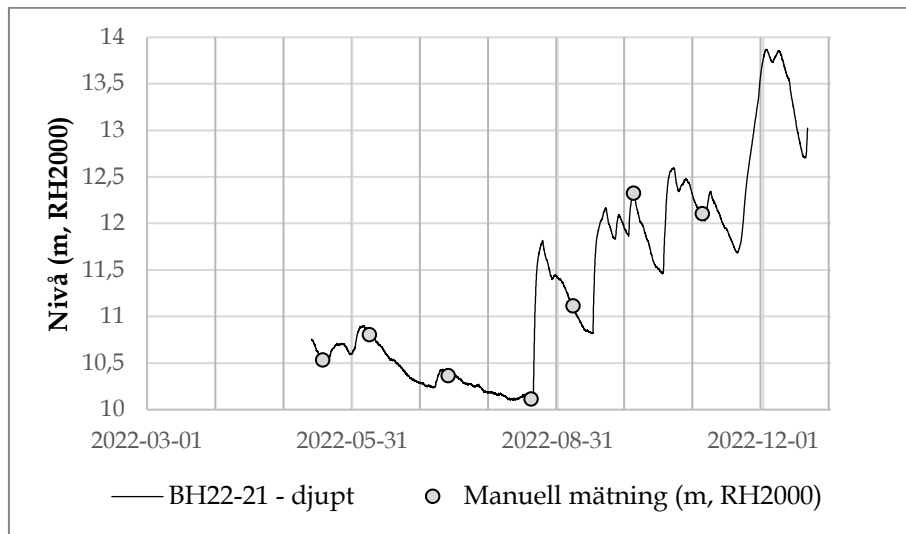


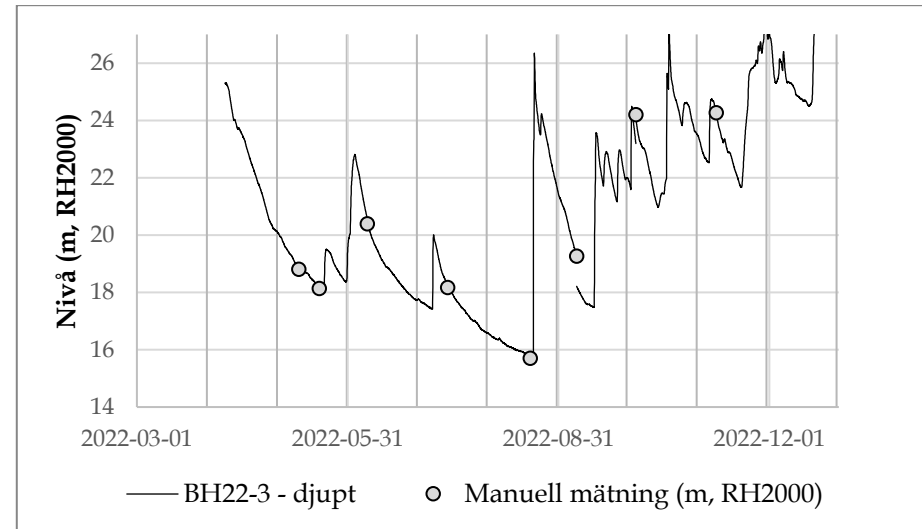
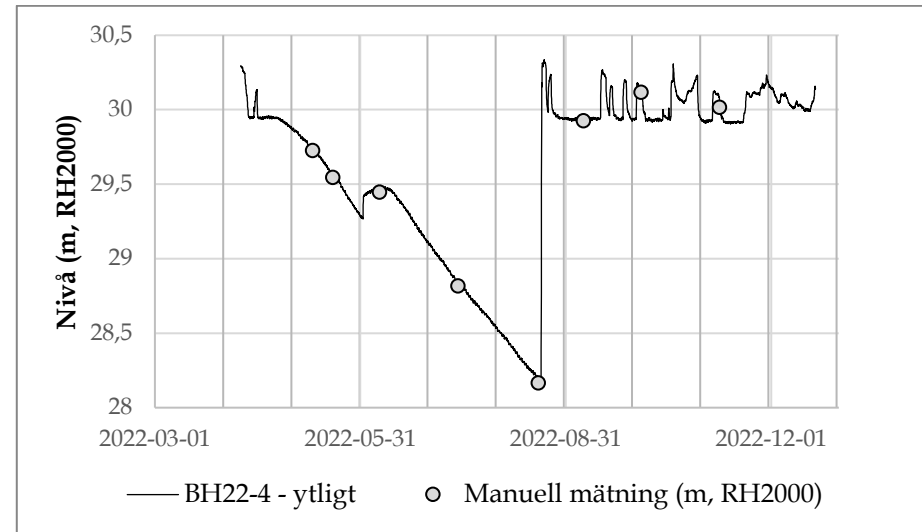
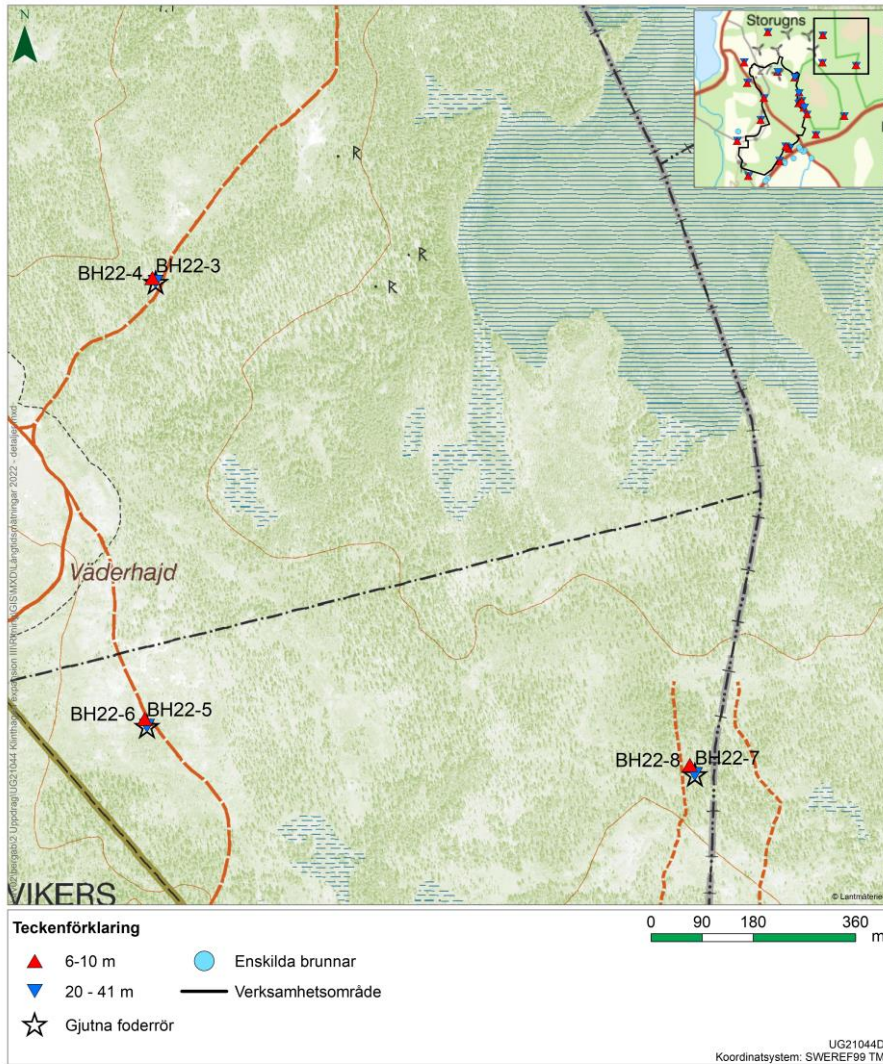


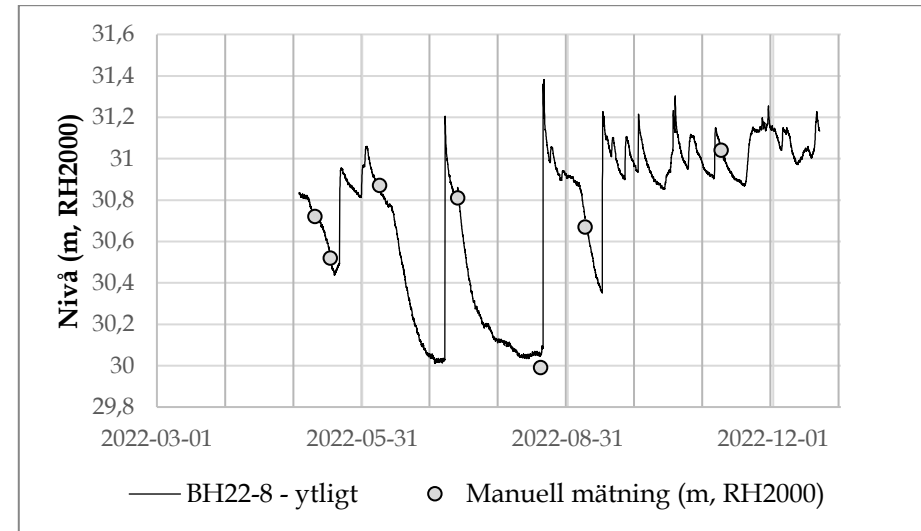
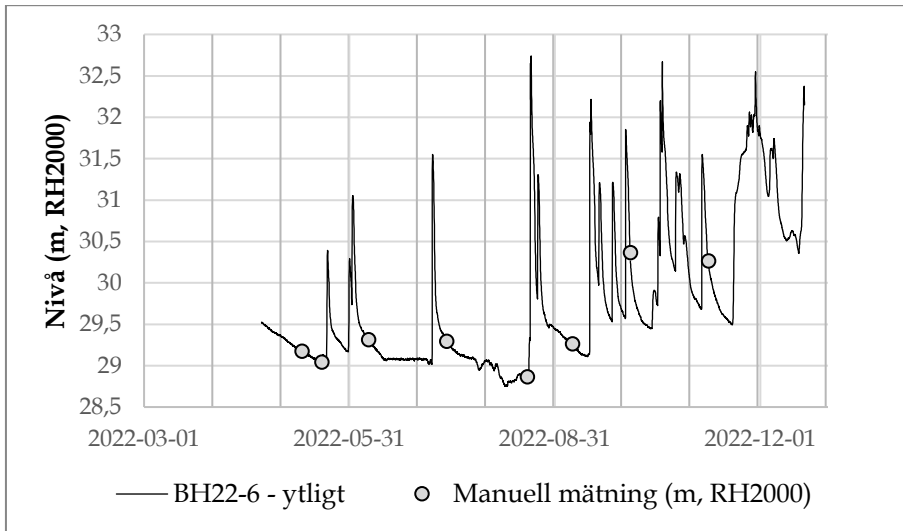
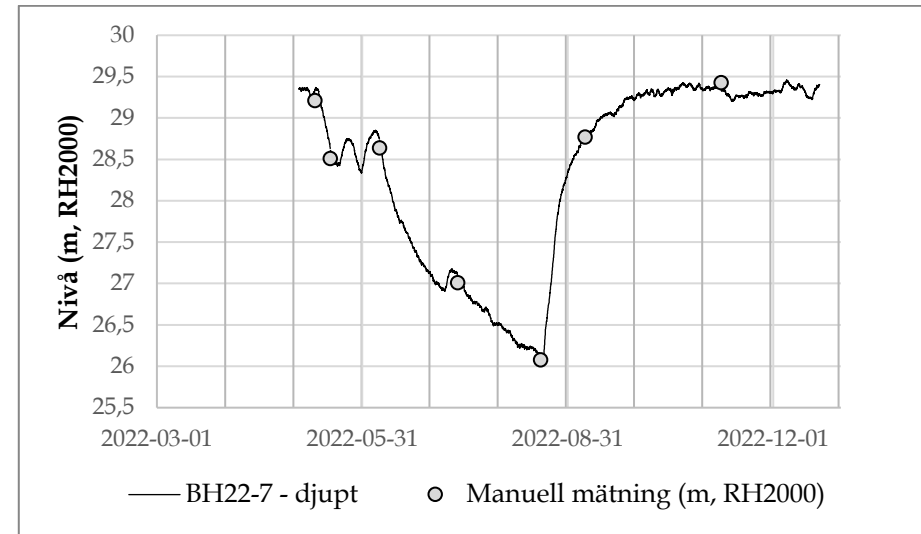
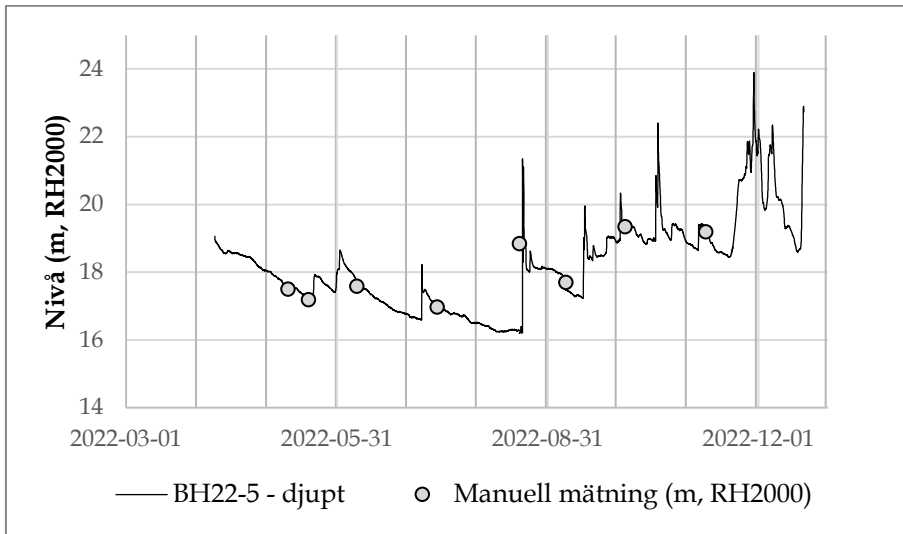


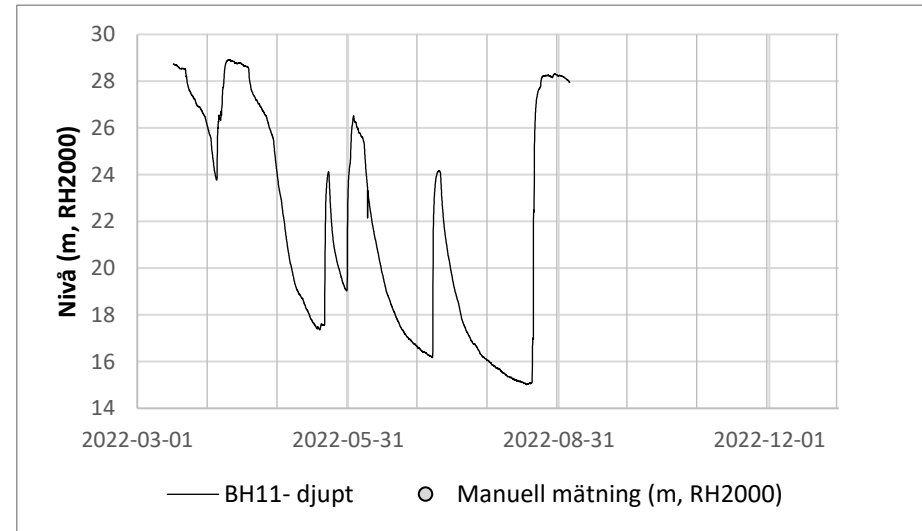
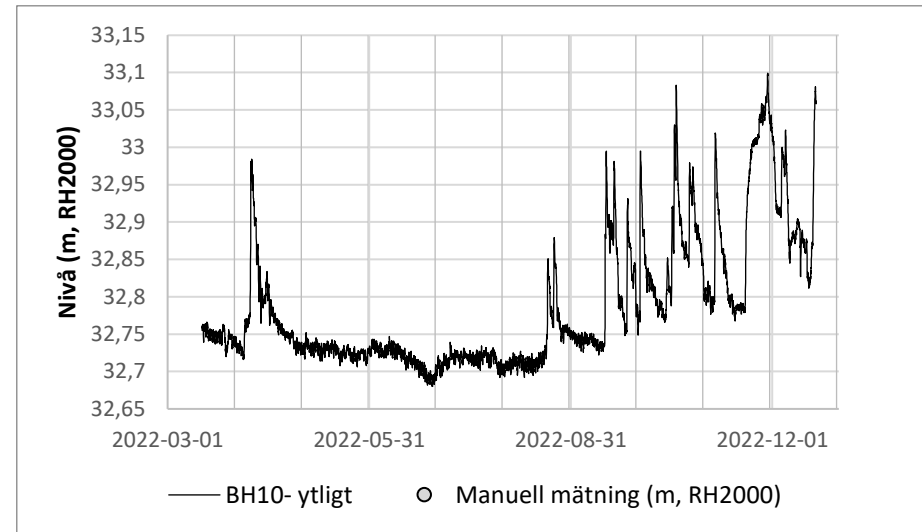
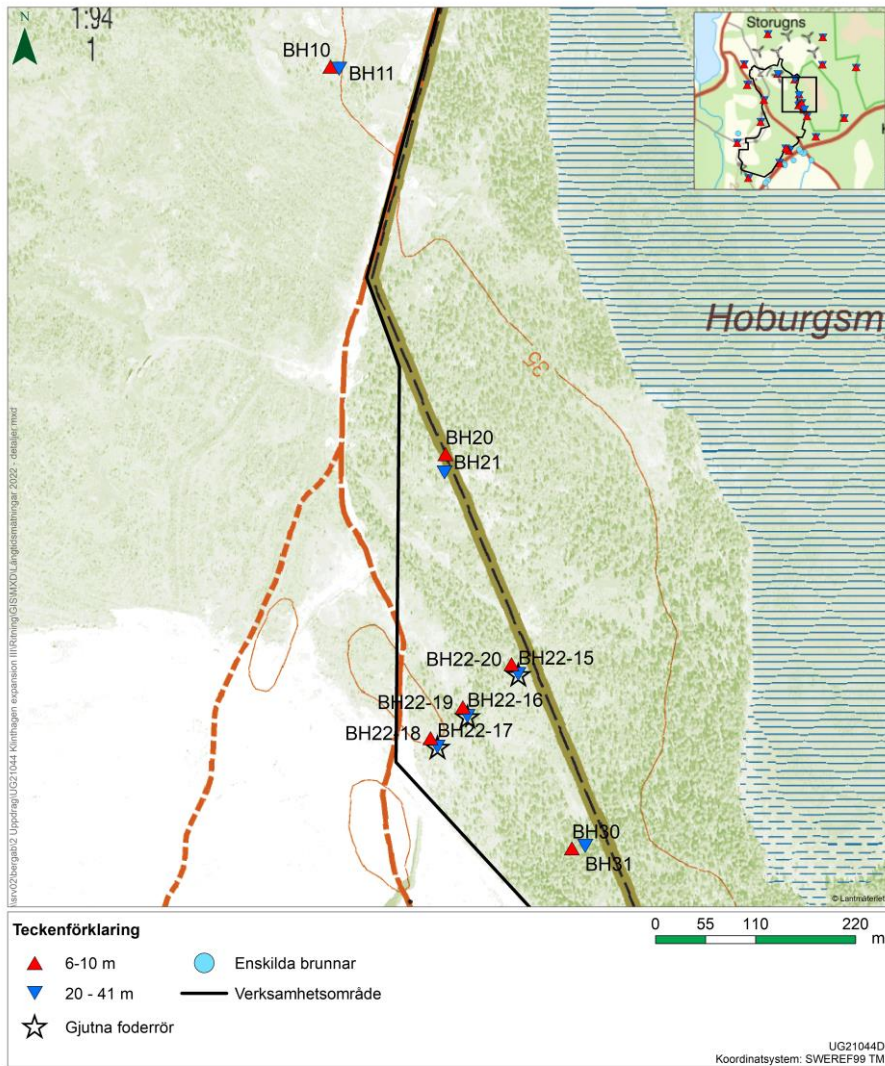
3 Nivåobservationer borrhål, enskilt redovisade

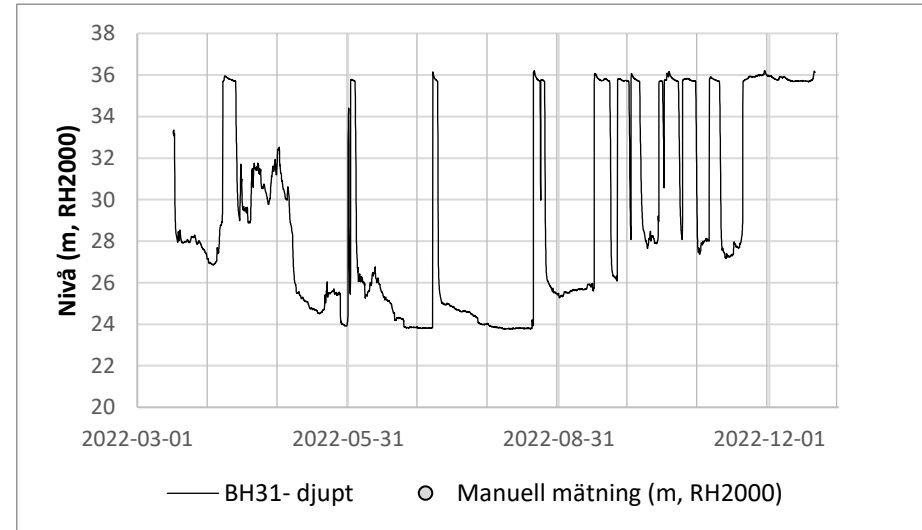
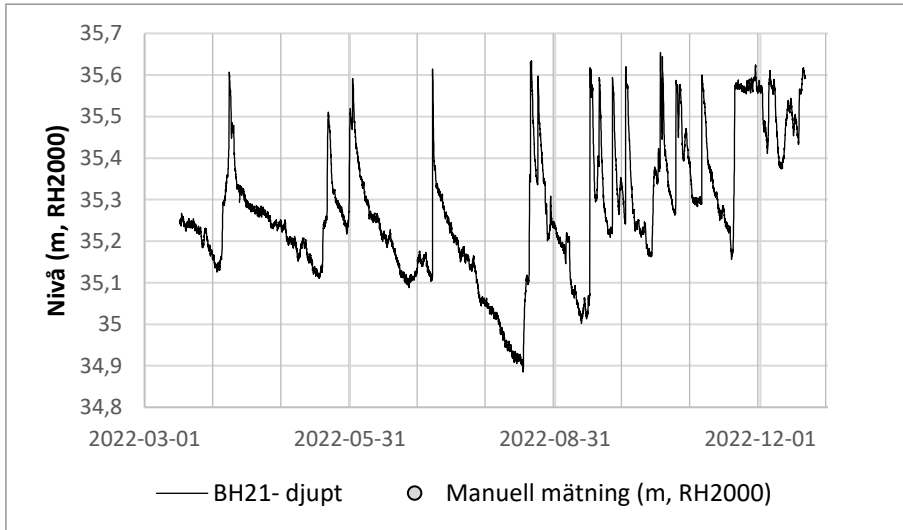
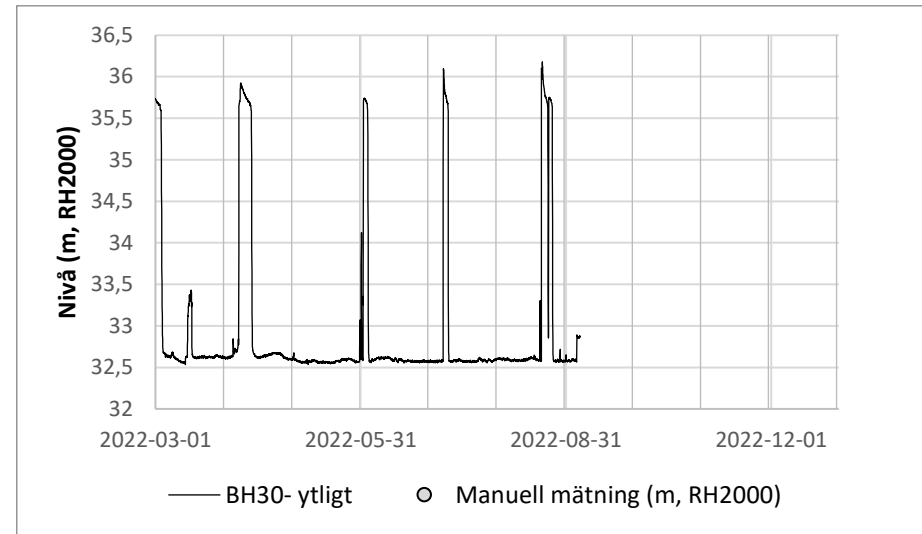
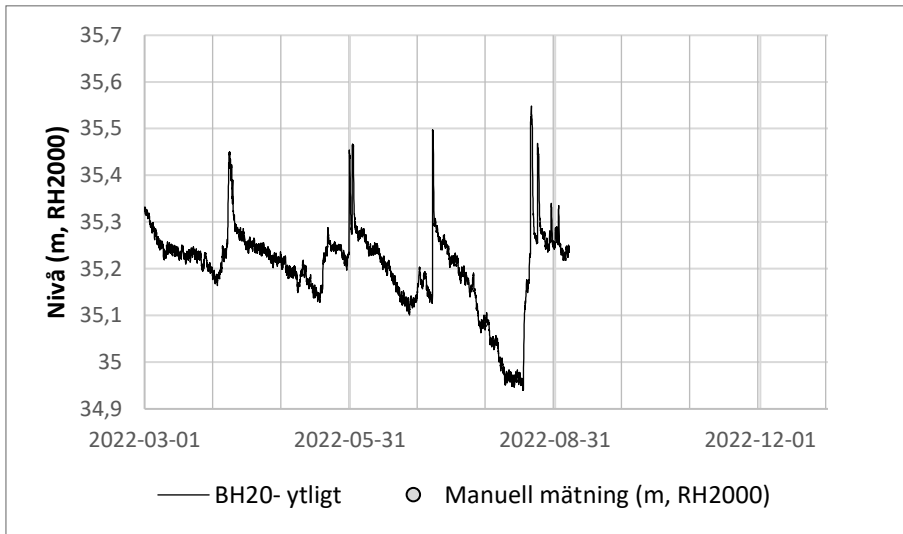


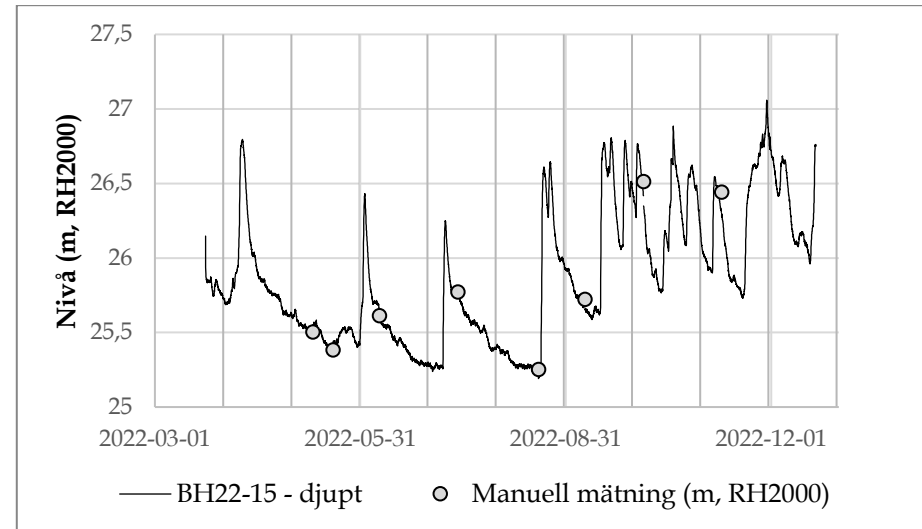
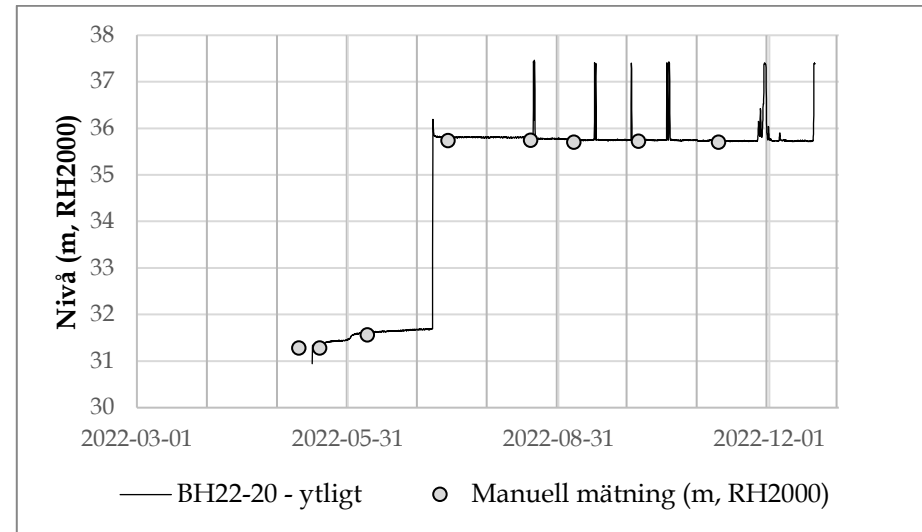
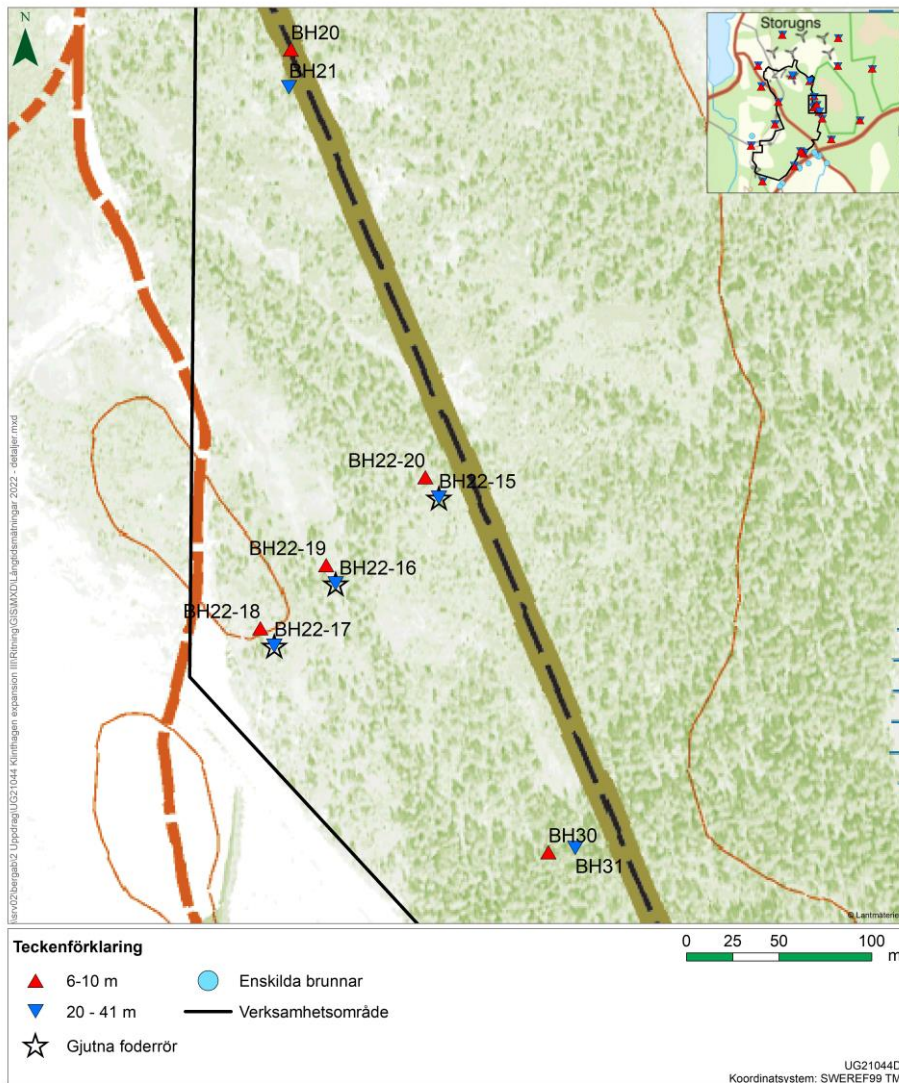


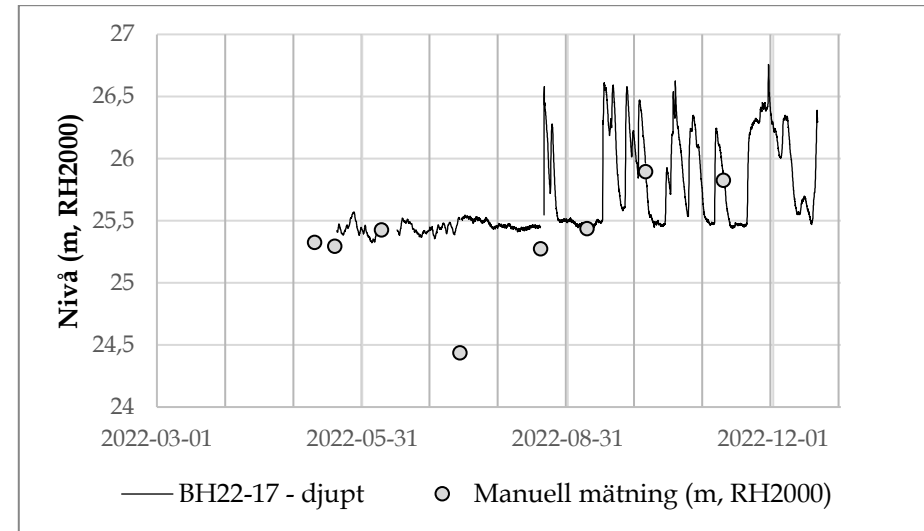
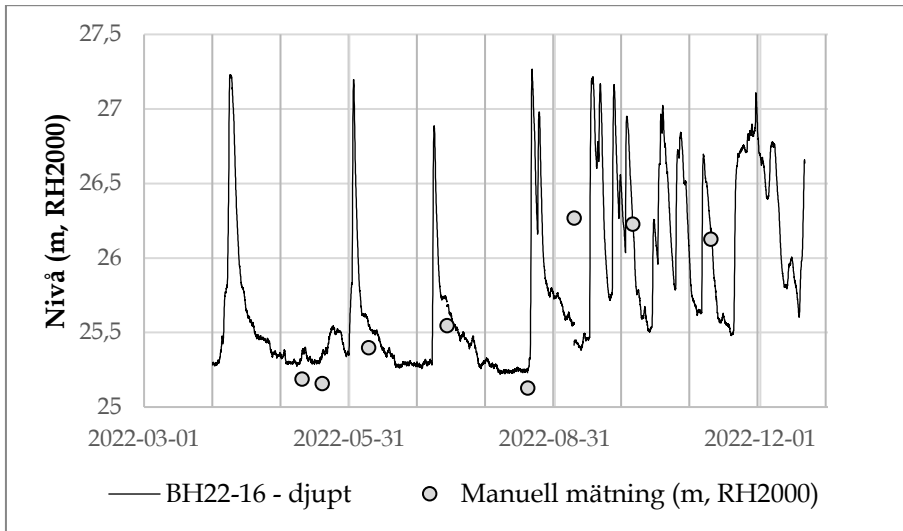
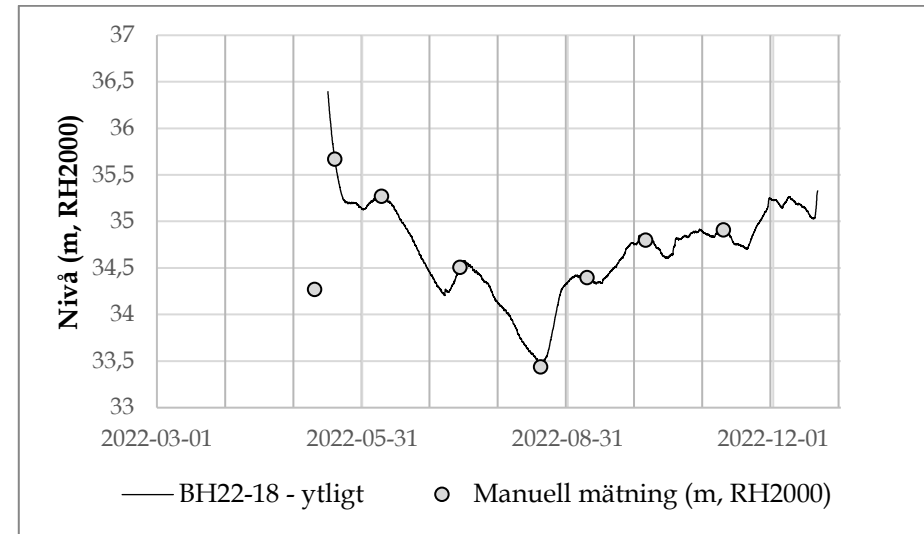
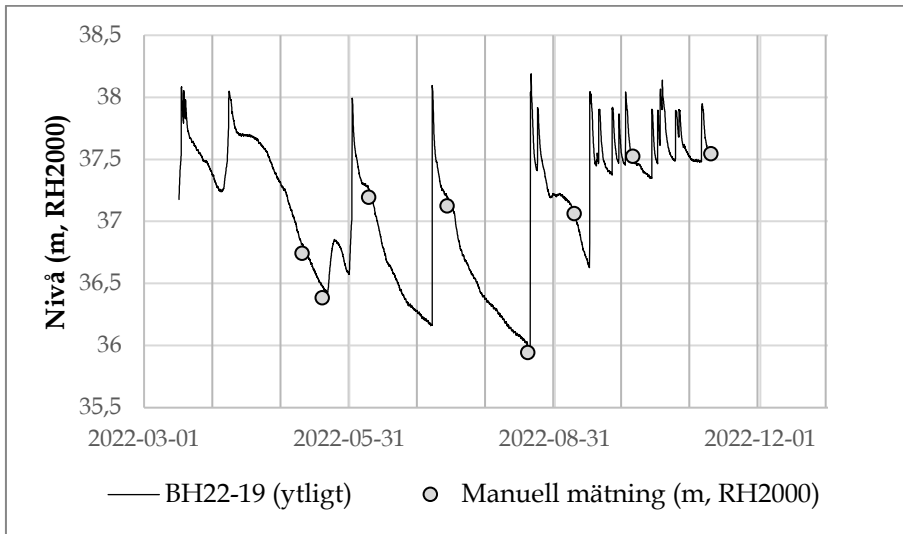


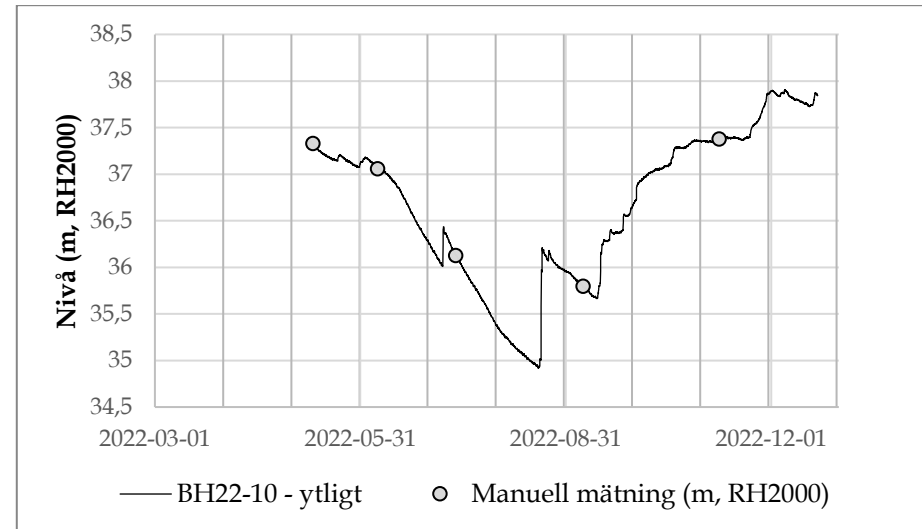
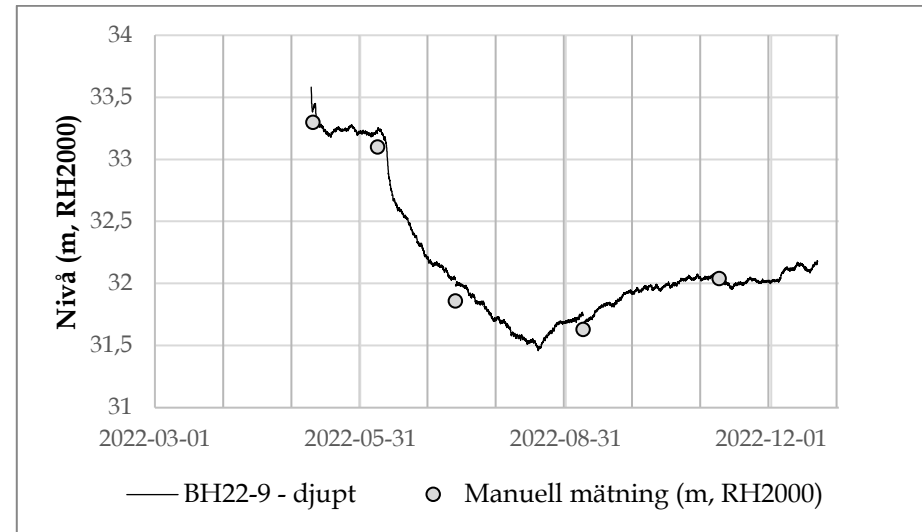
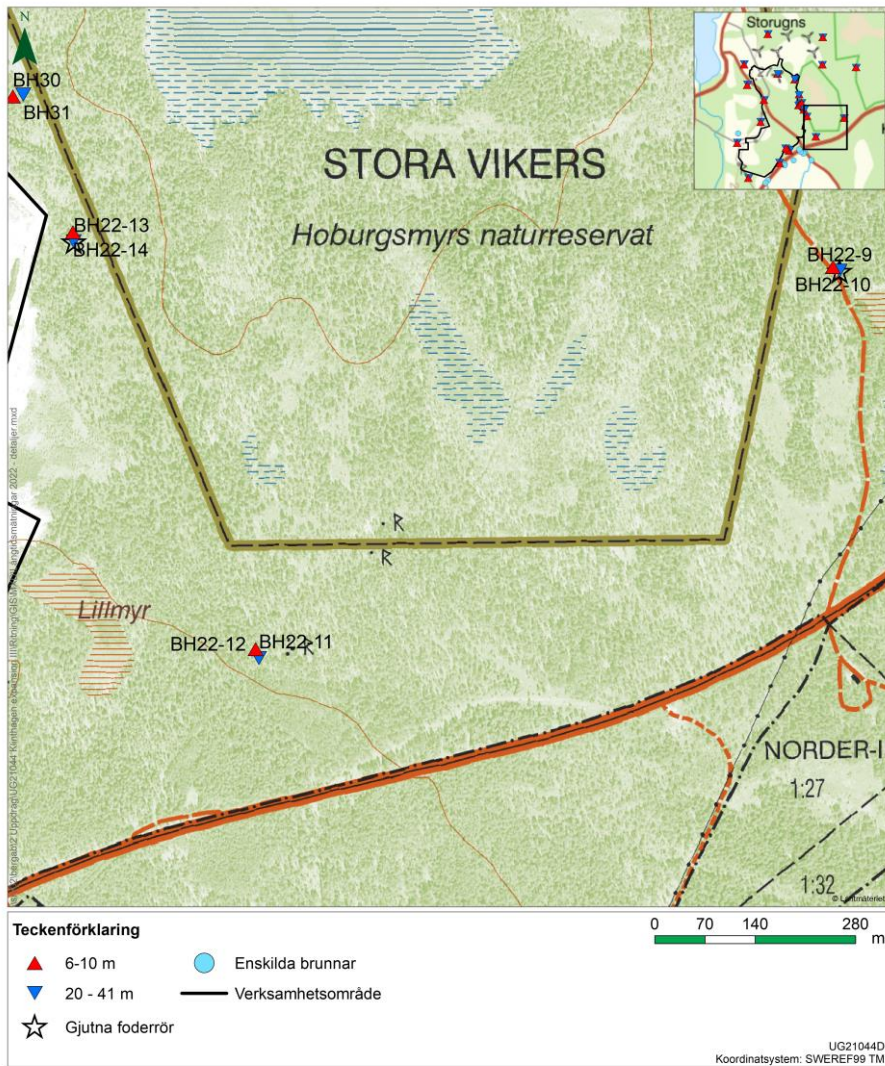


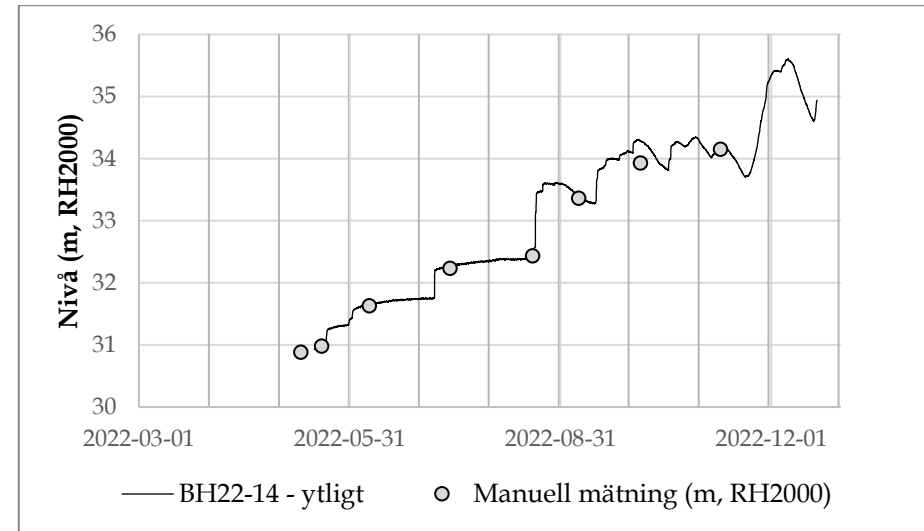
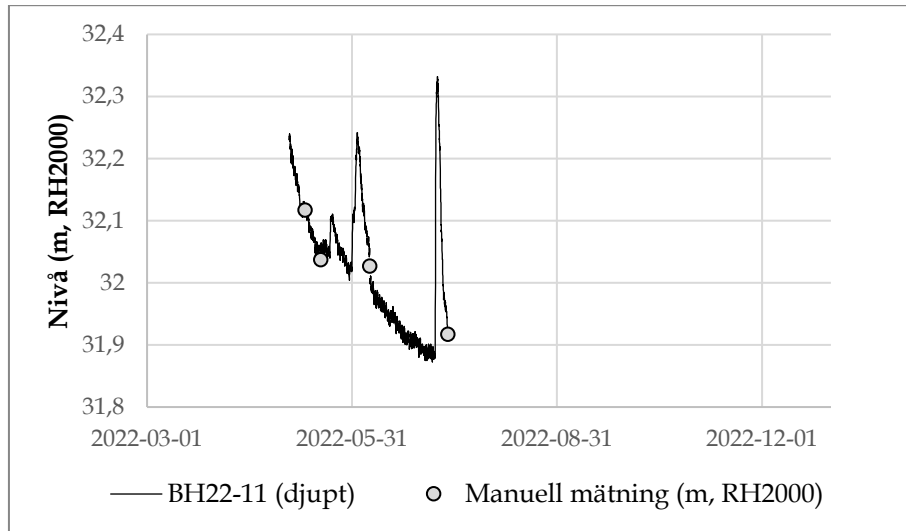
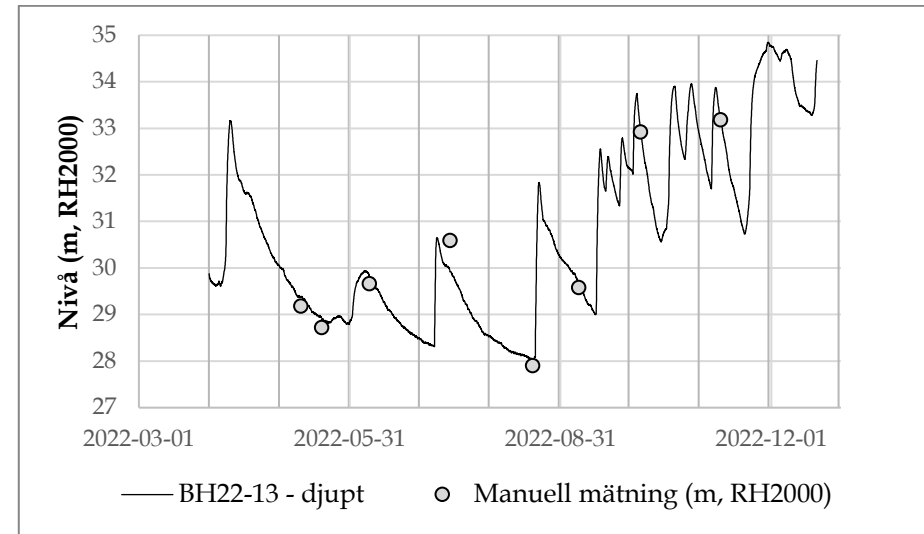
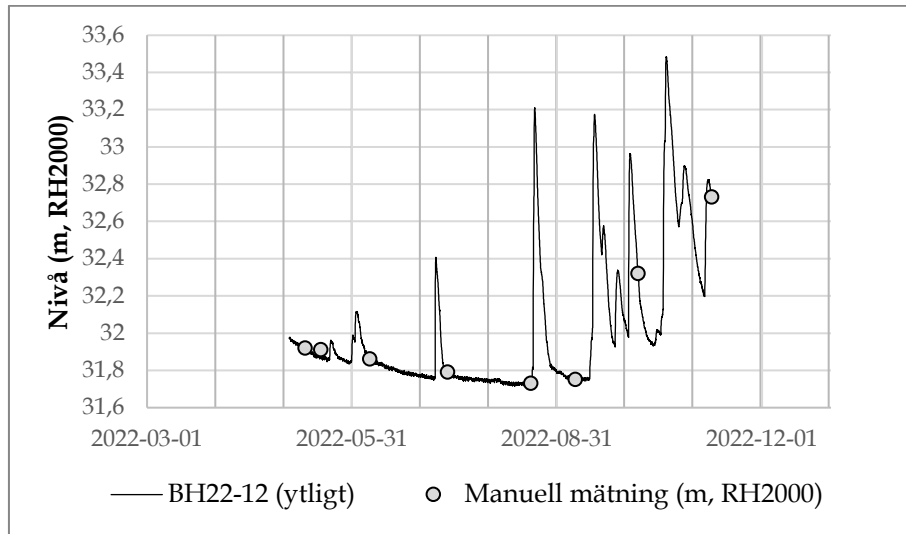


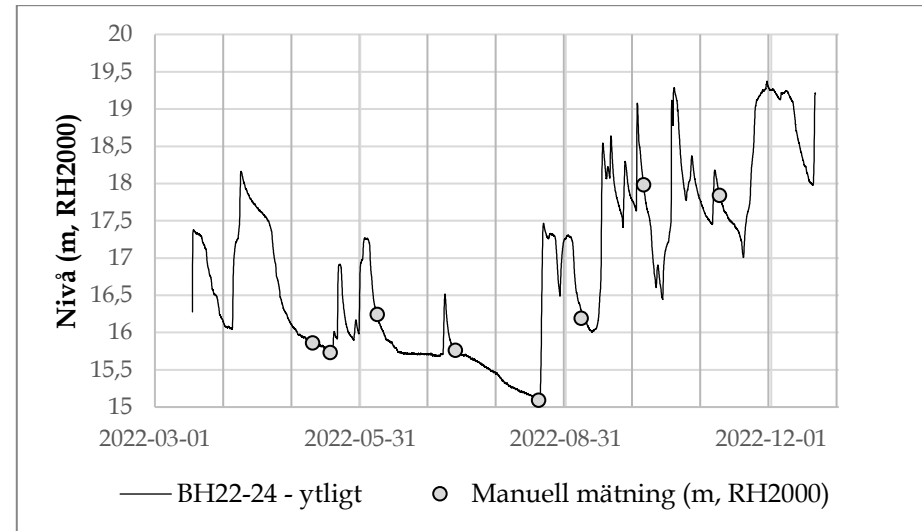
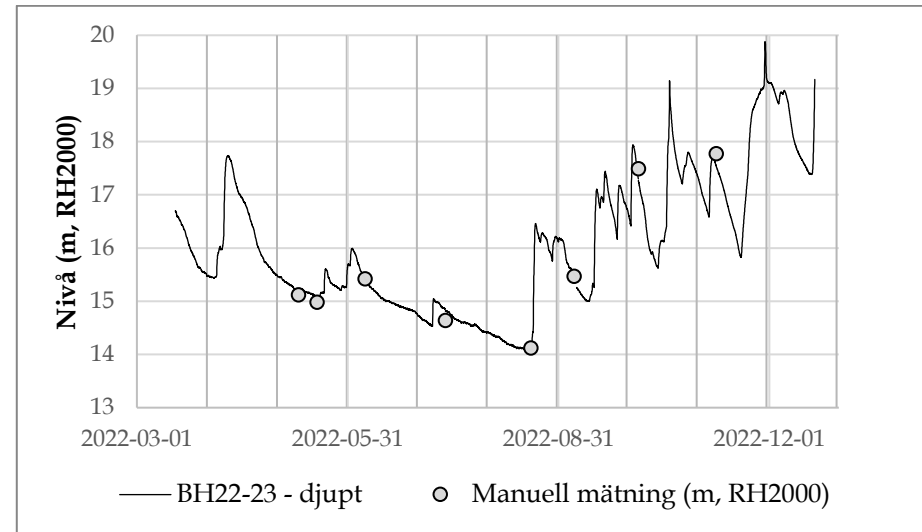
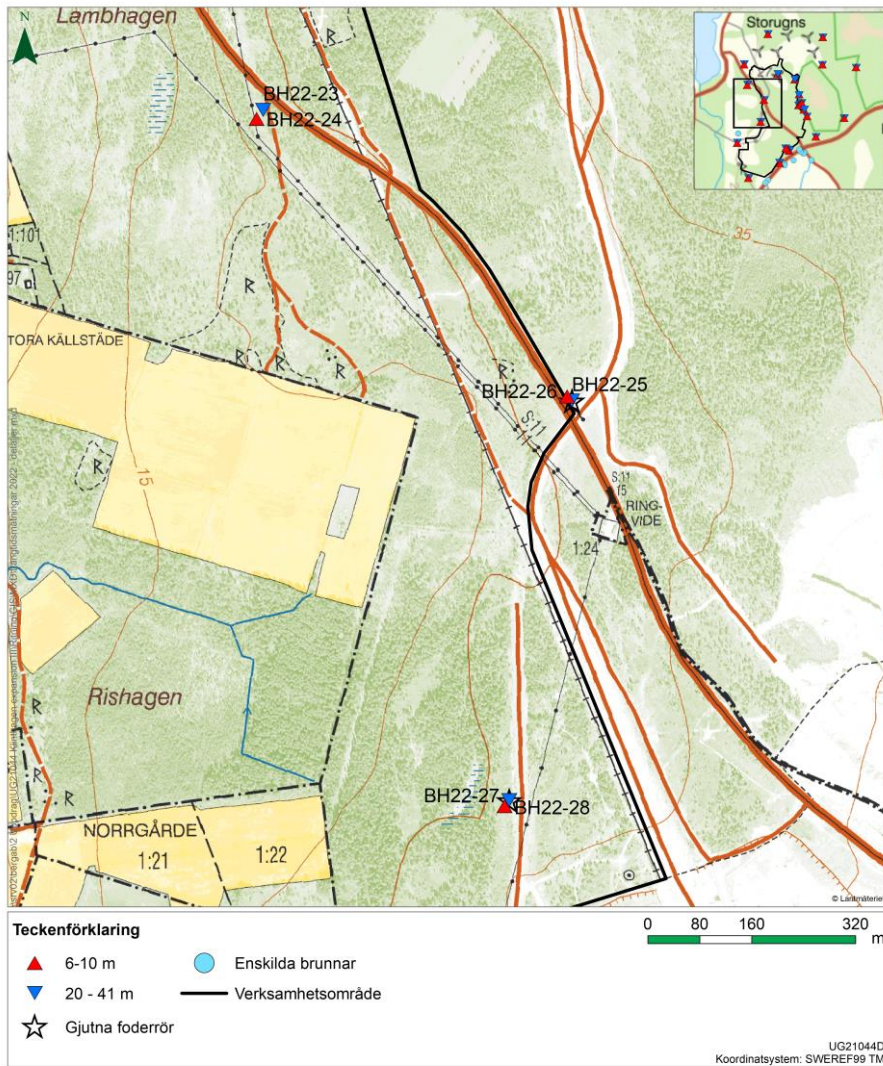


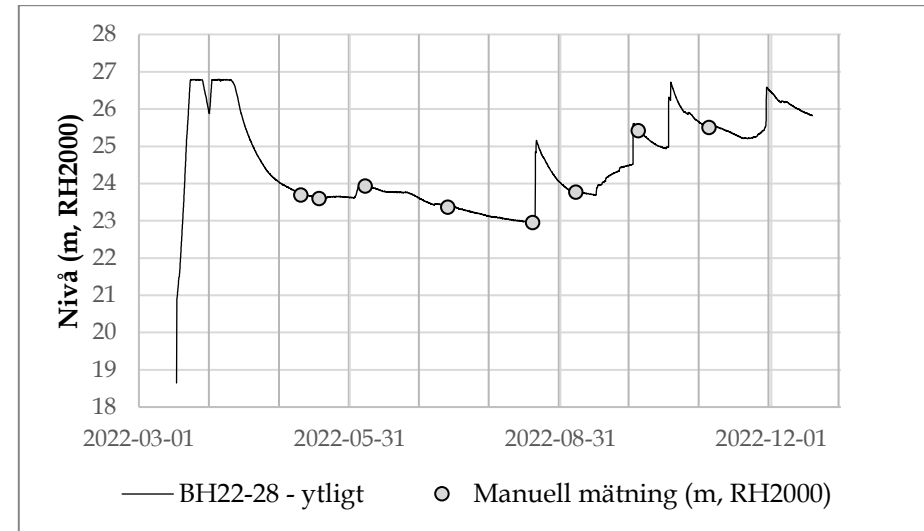
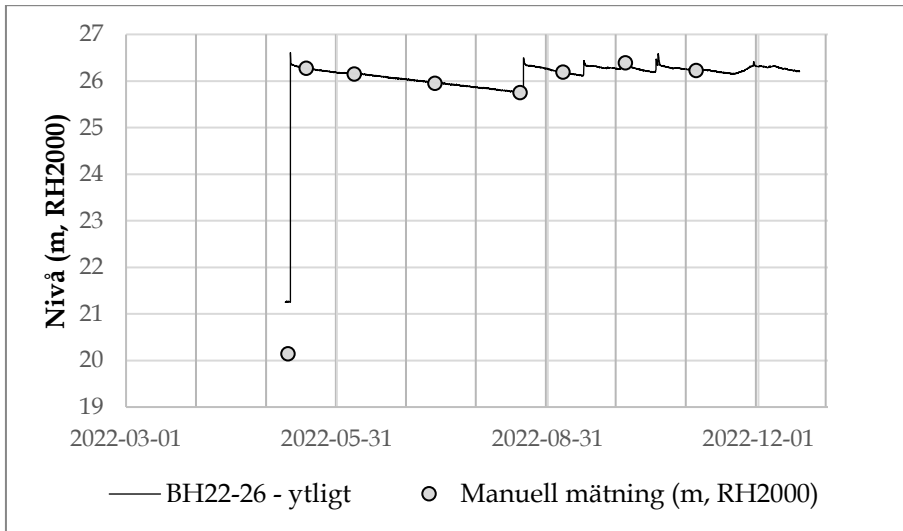
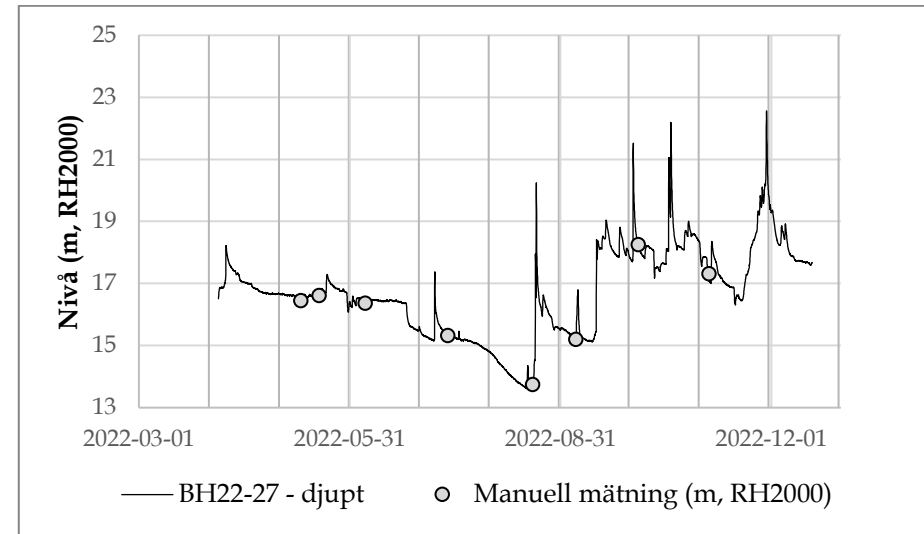
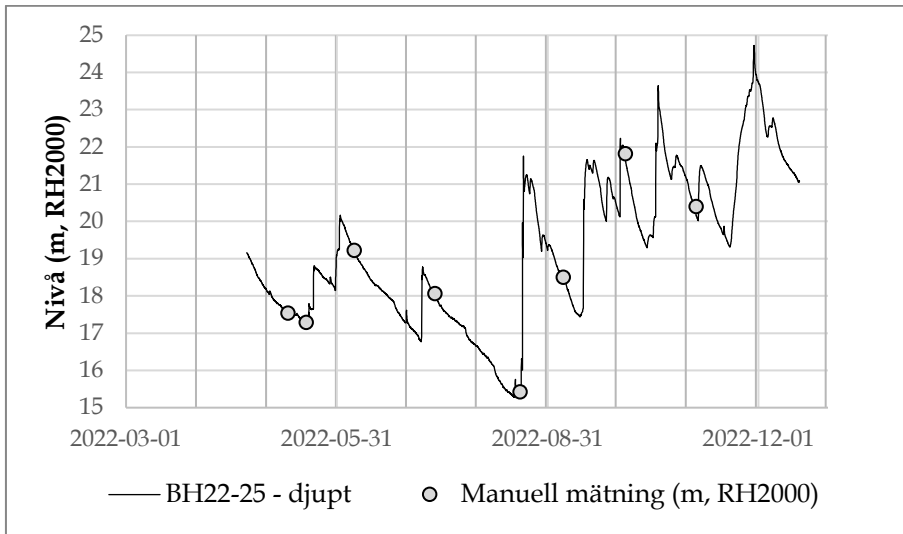


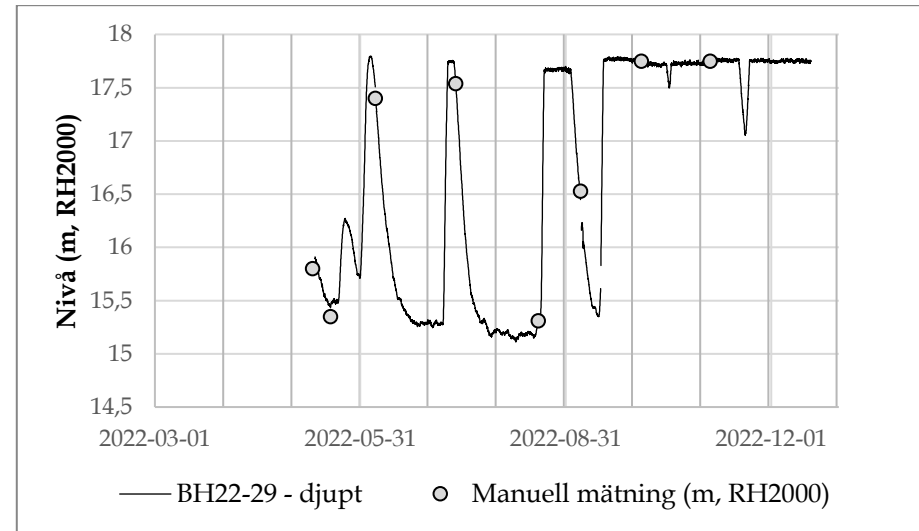
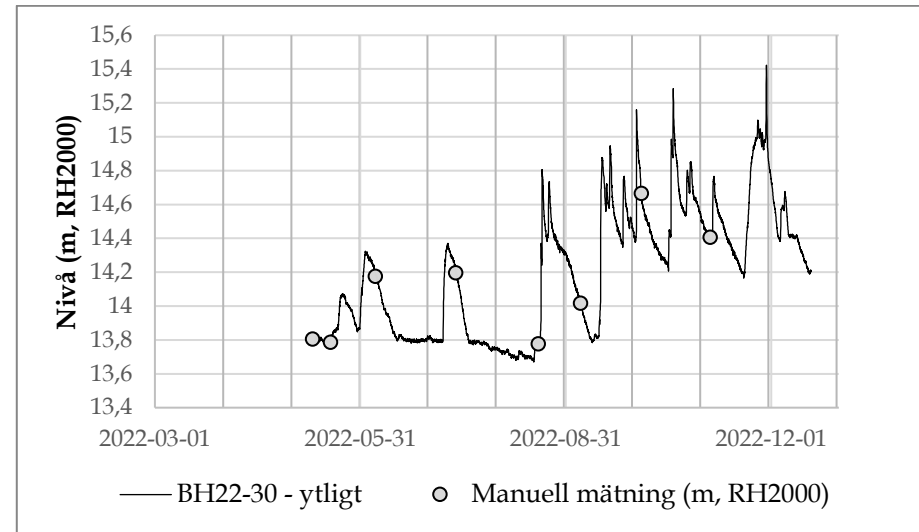
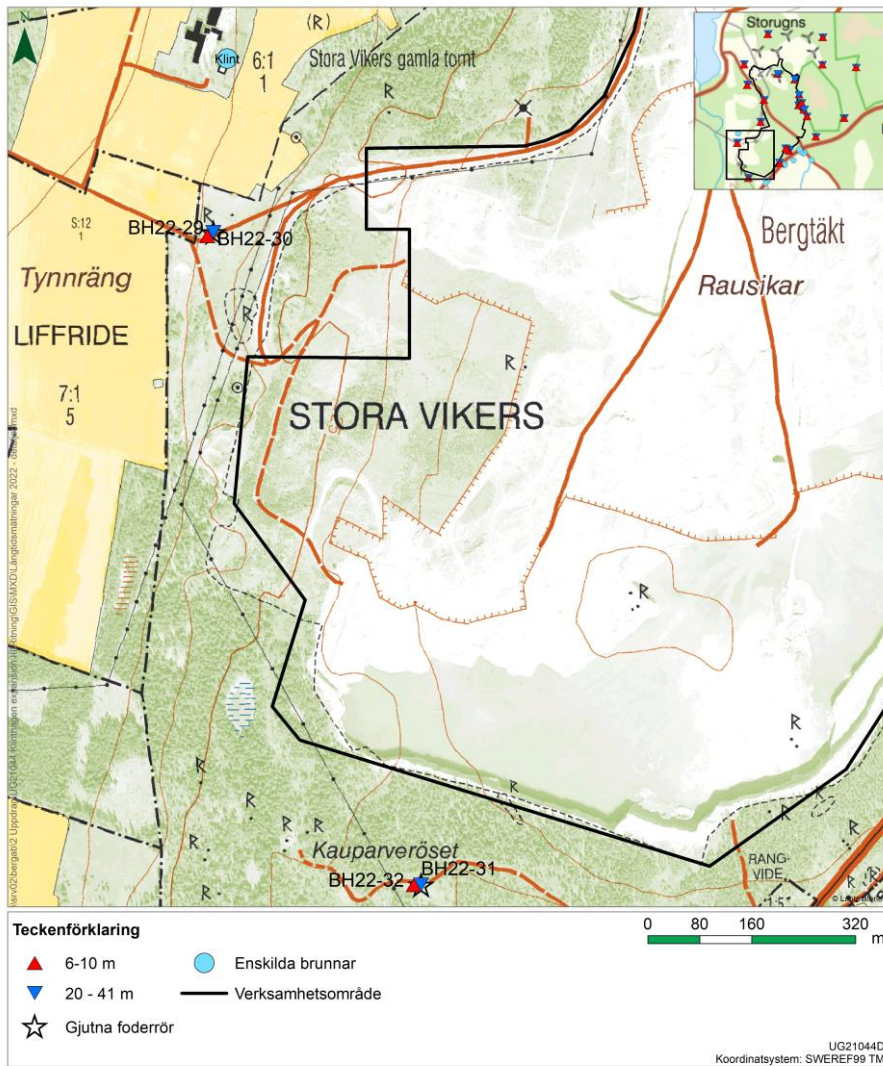


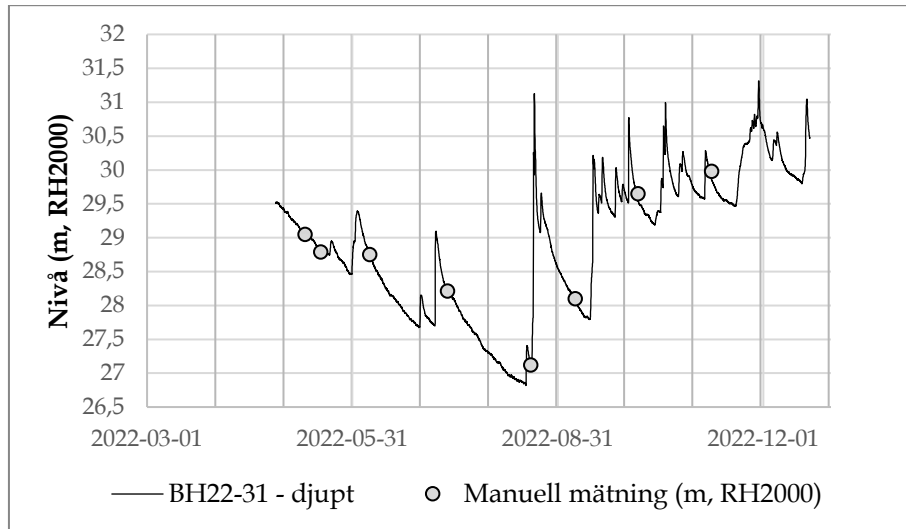
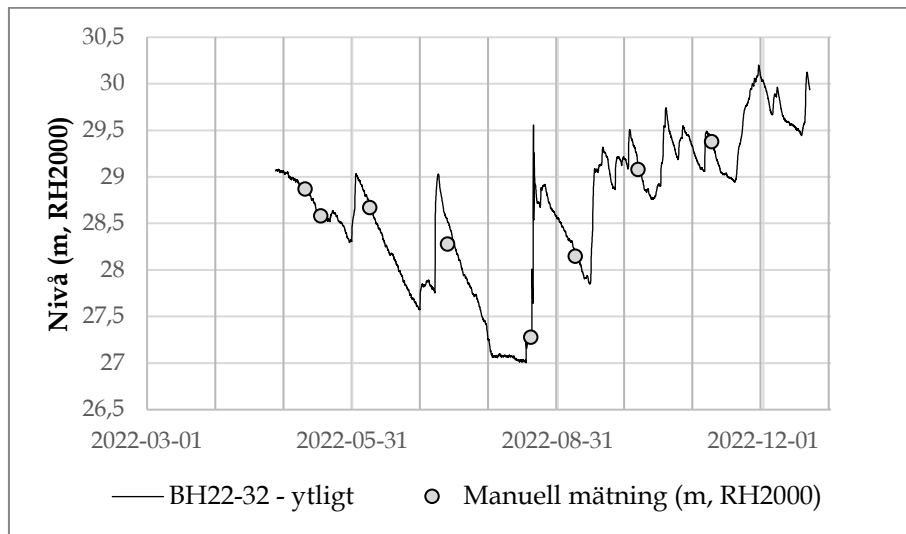


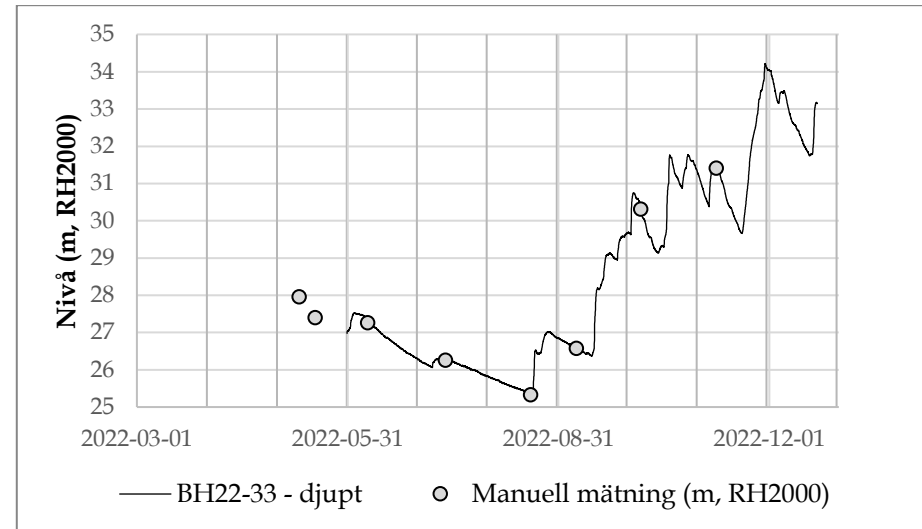
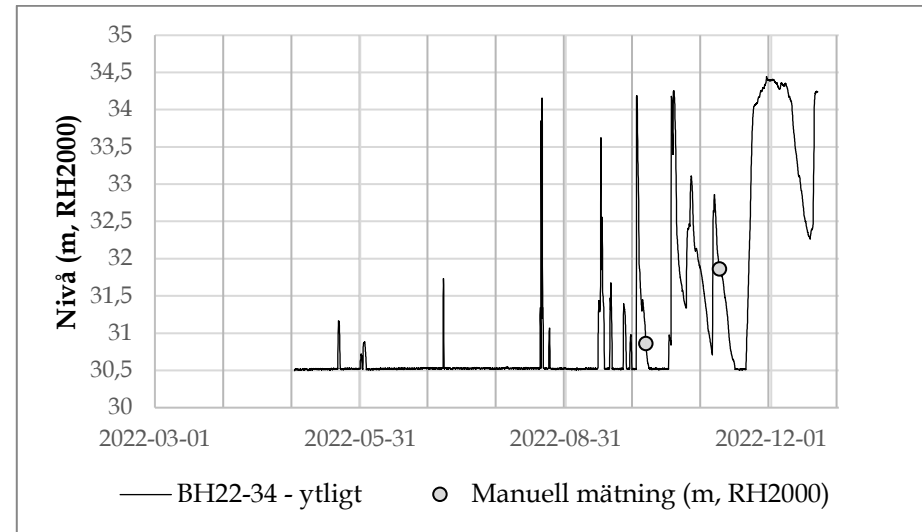
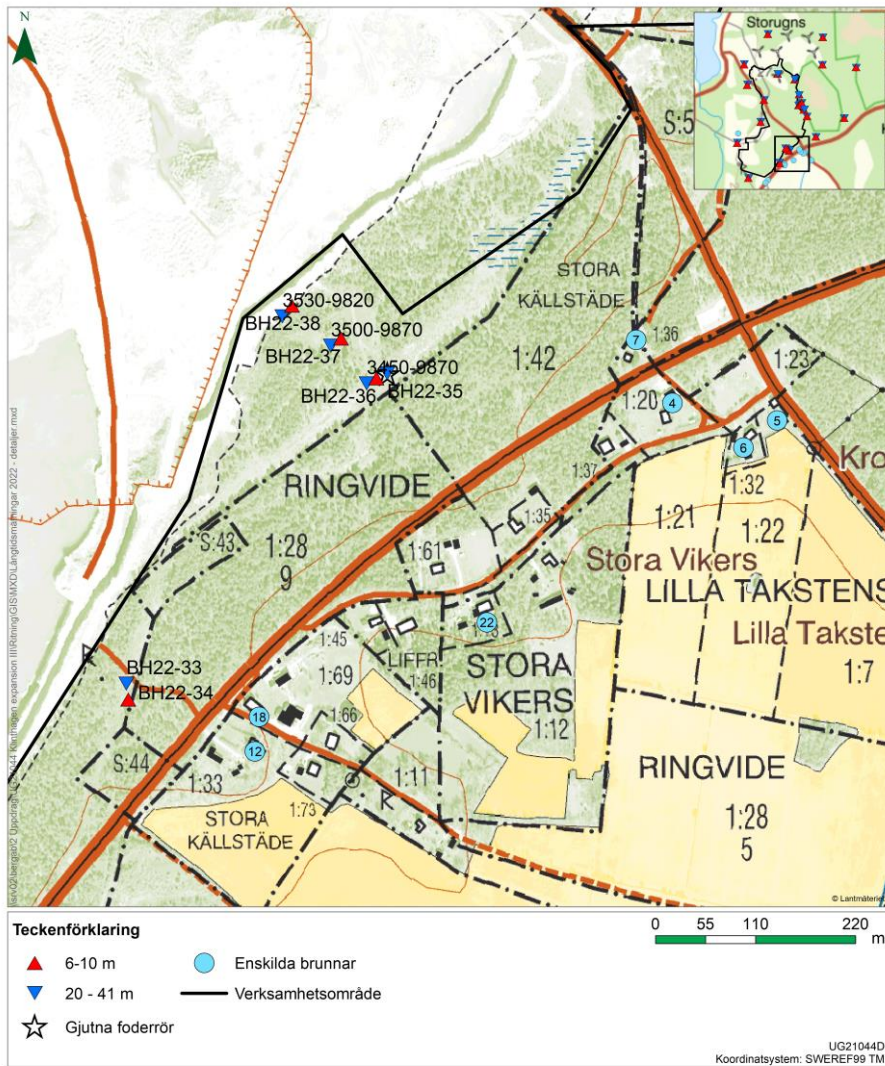


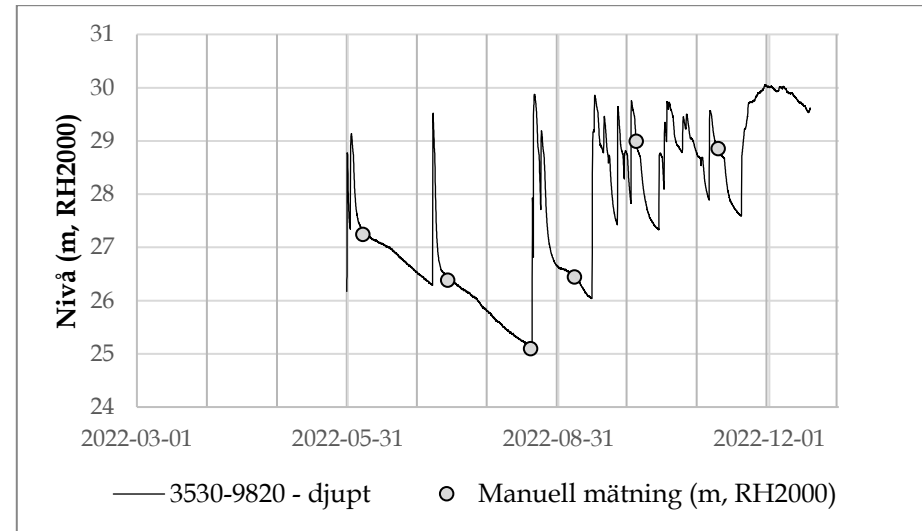
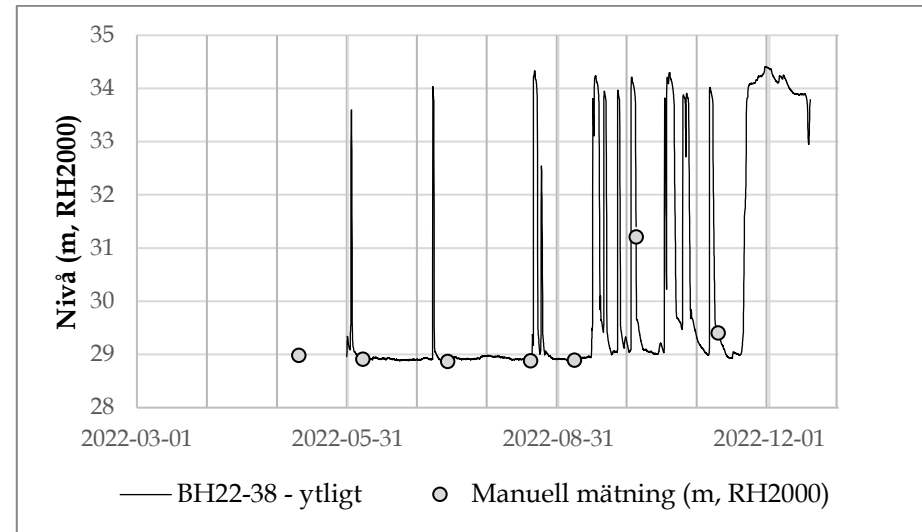
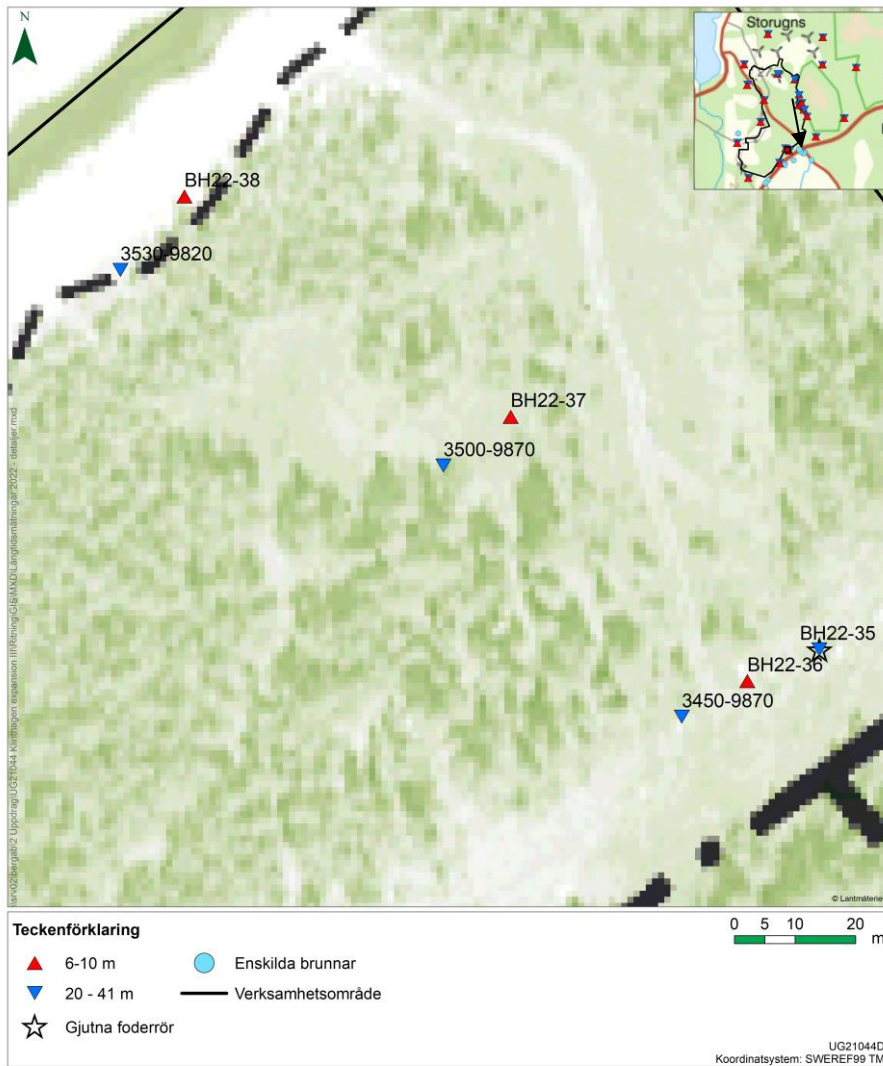


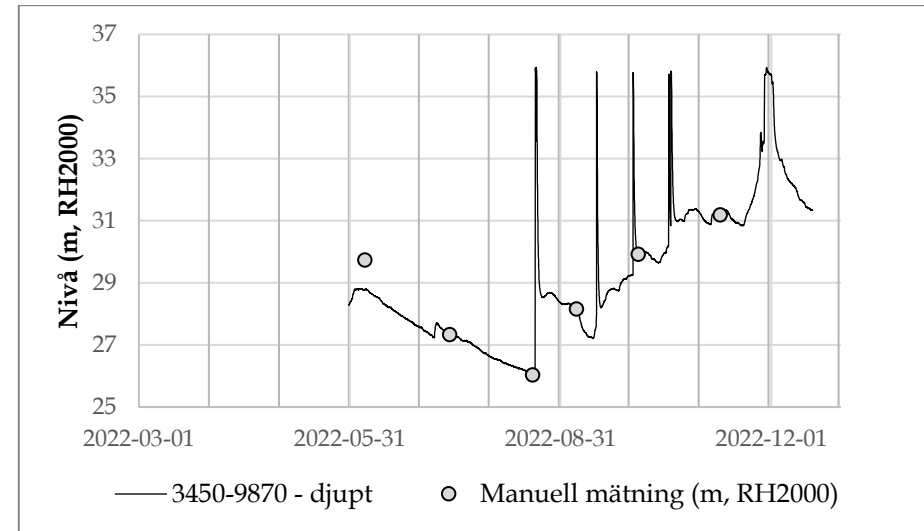
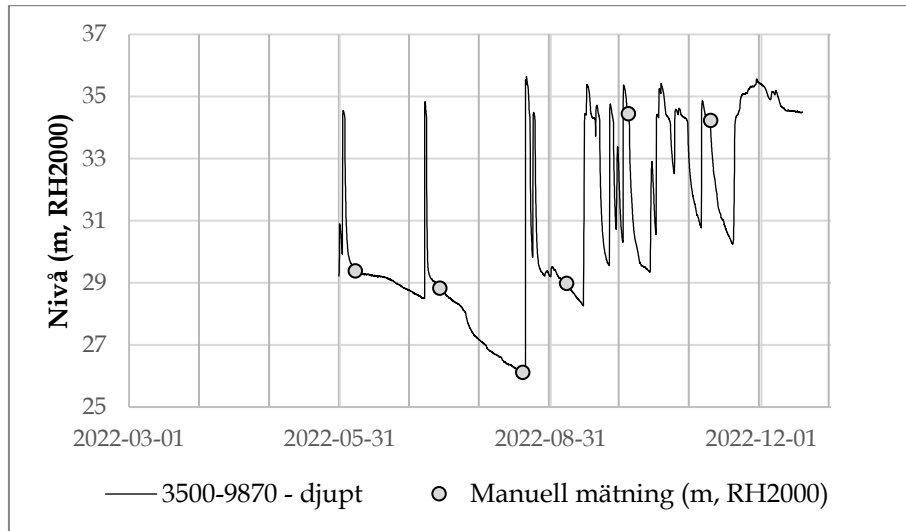
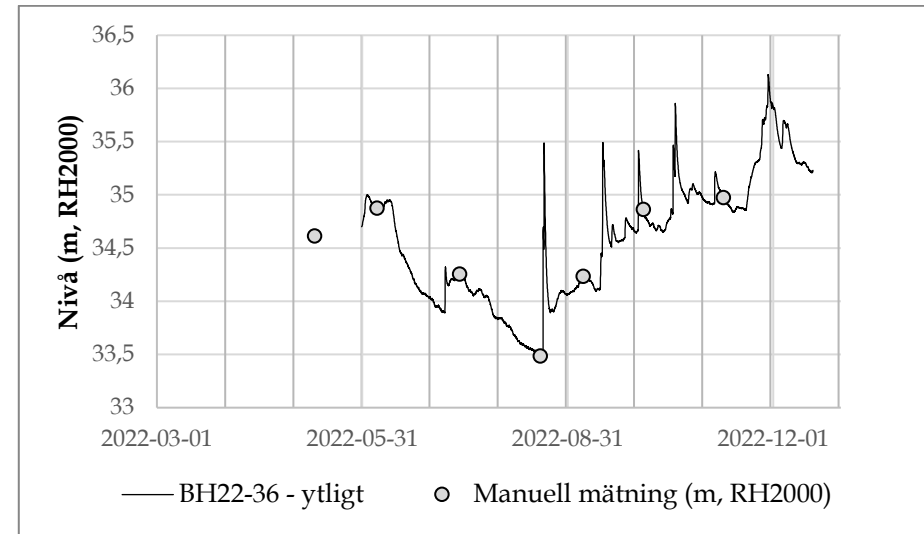
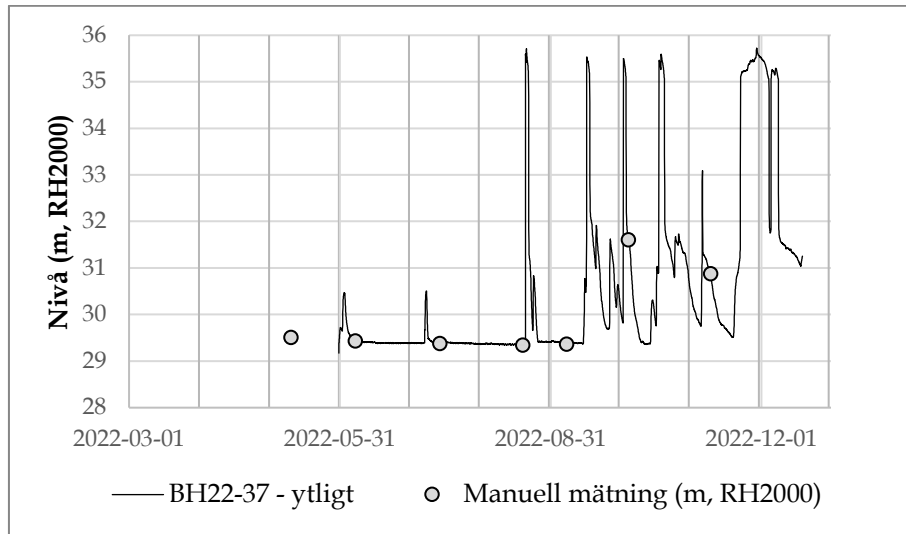


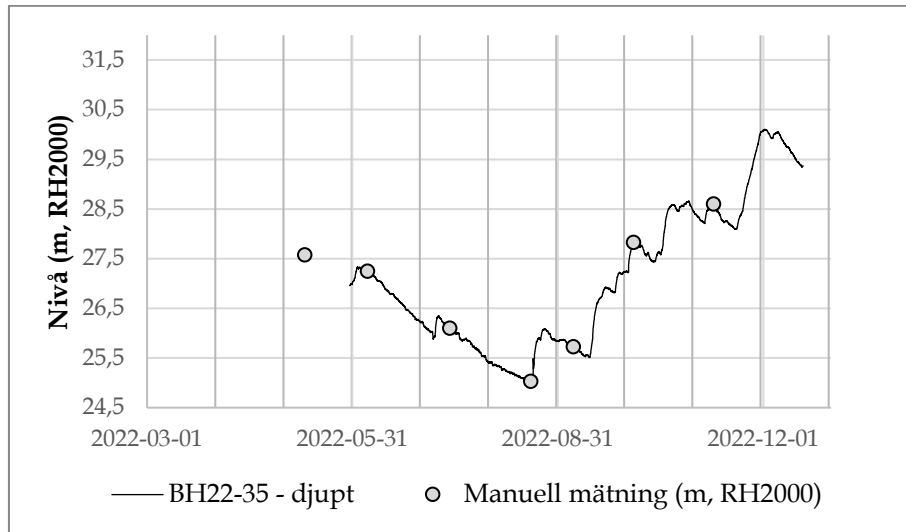












Klinthagen expansion III - hydrauliska tester

Bilaga till PM Hydrogeologi expansion III



BERGGEOLOGISKA UNDERSÖKNINGAR AB
org nr. 556173-2396

STOCKHOLM: Vretenvägen 12 • 171 54 Solna
www.bergab.se • 08-564 855 00

GÖTEBORG: Stampgatan 15 • 416 64 Göteborg
www.bergab.se • 08-564 855 00

KONTAKT

KUND

Företag: Nordkalk AB
Kontaktperson: Ola Thuresson

BERGAB

Uppdragsnr: UG21044D
Uppdragsledare: Johanna Lithén / Lina Grahm
Handläggare: Magnus Andersson, A bin Bostner, Jenny Palmenäs
Granskare: Thomas Wallroth / Ann ka Nilsson

INNEHÅLL

1 Inledning	5
2 Utförda undersökningar och resultat	6
2.1 Område Nordvästra Klinthagen	8
2.1.1 Observationspunkter	8
2.1.2 Grundvattennivåobservationer	9
2.1.3 Provpumpning 2017	10
2.1.4 Hydrauliska korttidstest	12
2.2 Område Nordkross	15
2.2.1 Observationspunkter	15
2.2.2 Grundvattennivåobservationer	16
2.2.3 Provpumpning 2017	18
2.2.4 Provpumpning 2018 med manschetterade observationspunkter	18
2.2.5 Hydrauliska korttidstest	23
2.3 Område Norra Klinthagen	25
2.3.1 Observationspunkter	26
2.3.2 Grundvattennivåobservationer	28
2.3.3 Provpumpning 2021	28
2.3.4 Hydrauliska korttidstest	34
2.4 Område Centrala Klinthagen	36
2.4.1 Observationspunkter	37
2.4.2 Grundvattennivåobservationer	39
2.4.3 Provpumpning 2021	40
2.4.4 Hydrauliska korttidstest	43
2.5 Område Takstens	48
2.5.1 Observationspunkter	49
2.5.2 Grundvattennivåobservationer	50
2.5.3 Provpumpning 2022	52
2.5.4 Hydrauliska korttidstest	60
2.6 Område Södra Klinthagen	62
2.6.1 Observationspunkter	63
2.6.2 Grundvattennivåobservationer	65
2.6.3 Provpumpning 2021	66
2.6.4 Provpumpningar 2022	69
2.6.5 Hydrauliska korttidstest	74
3 Sammanfattning hydraulisk konduktivitet	78
4 Referenser	79

BILAGOR

Bilaga 2.1 Utvärdering provpumpning Nordvästra Klinthagen

Bilaga 2.2 Utvärdering provpumpning Nordkross 2017

Bilaga 2.3 Utvärdering provpumpning Nordkross 2018

Bilaga 2.4 Utvärdering provpumpning Norra Klinthagen

Bilaga 2.5 Utvärdering provpumpning Centrala Klinthagen

Bilaga 2.6 Utvärdering provpumpning Takstens

Bilaga 2.7 Utvärdering provpumpning Södra Klinthagen 2021

Bilaga 2.8 Utvärdering provpumpning Södra Klinthagen 2022

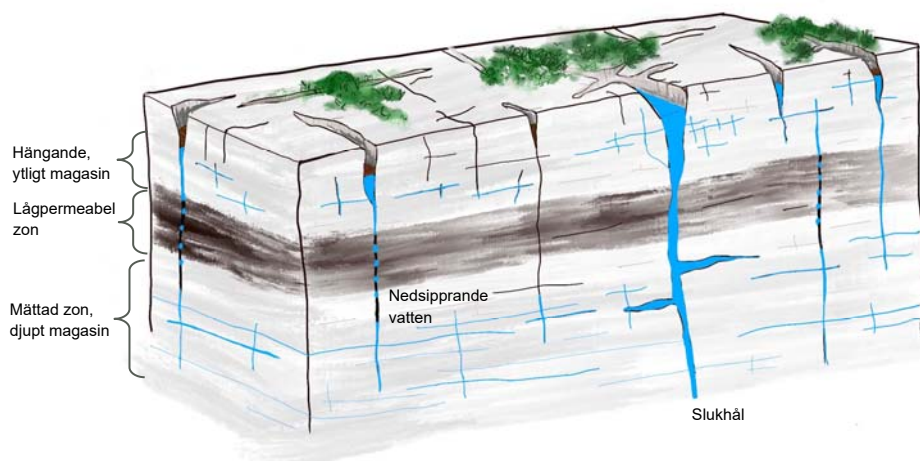
1 Inledning

Föreliggande dokument utgör bilaga till PM Hydrogeologi Klinthagen expansion III och redogör för de tester och grundvattennivåmätningar som är utförda i området 2017-2022. Erhållna resultat beskrivs i detta dokument, sammanfattande analys samt tolkning av dem beskrivs områdesvis i PM Hydrogeologi Klinthagen expansion III.

Den konceptuella bilden som finns för området är att i kalkstenen kommunicerar grundvattnet i huvudsak i horisontella sprickplan och kontakt mellan olika sprickplan sker via öppna brantstående eller vertikala sprickor. De vertikala sprickorna har dålig hydraulisk kommunikation med varandra till följd av deras begränsade utbredning samt av den i övrigt mycket täta kalkstenen. Däremot har de horisontella sprickorna generellt sett större areell utbredning. De horisontella sprickorna har generellt låga magasininstal (innehåller en liten vattenvolym) och en lägre vattengenomsläpplighet än de brantstående sprickorna.

Vidare är ett generellt karaktärsdrag i området att vattentrycknivån i det djupare berget har en lägre trycknivå jämfört med det ytligare berget. Den stora trycknivåskillnaden visar på att den hydrauliska kontakten mellan det ytliga berget och det djupa berget är mycket dålig i vertikalled. Det innebär att det finns ytliga hängande lokala magasin, där grundvatten från de ytliga magasinerna långsamt läcker ner genom en omättad zon till ett djupare magasin genom ett lager med tätare kalksten, se Figur 1.

Det djupa berget uppvisar en bättre hydraulisk kontakt i horisontalled med större areell utbredning än det ytliga. Det ytliga kalkberget uppvisar flera olika magasin med sämre hydraulisk kontakt i horisontalled. Lokalt kan även god hydraulisk kontakt förekomma mellan det djupa och det ytliga kalkberget.



Figur 1. Schematisk bild över berggrunden, där tätare lager skapar olika grundvattenmagasin i en kalkstensstruktur.

Samtliga nivåangivelser i föreliggande rapport anges i höjdsystem RH2000. Ortofoto som används i kartor har flygdatum 2020-04-06 om inget annat anges.

2 Utförda undersökningar och resultat

Undersökningarna har delats upp i undersökningsområden enligt de brytområden som var aktuella när undersökningarna genomfördes, se Figur 2. Sedan undersökningarna genomfördes har den slutliga utformningen av brytområdena reviderats, d.v.s. brytområde Takstens har utgått. Flera olika typer av hydrauliska tester har utförts och beskrivs områdesvis i detta dokument, även utförda tester inom Takstens redovisas. En sammanställning över erhållen hydraulisk konduktivitet från utförda tester kan ses i Tabell 31 i avsnitt 3 *Sammanfattning hydraulisk konduktivitet*.



Figur 2. Undersökningsområden samt de brytområden och brytnivåer som var aktuella när undersökningarna genomfördes.

Grundvattennivåmätningar har utförts inom samtliga undersökningsområden i samband med genomförda hydrauliska tester. Mer storskaligt har grundvattennivåmätningar utförts kontinuerligt under flera år inom ramen för Klinthagens kontrollprogram. I nuvarande kontrollprogrammet ingår nivåmätningar i åtta bergborrhål, 15 enskilda brunnar och tre ytvattenpeglar.

Under 2022 har ytterligare 38 borrhål etablerats utanför befintligt verksamhetsområde för att få en bättre helhetsbild över täktens närområde. Borrhålen har borrats parvis, dels på djup mellan ca 6-10 m och dels på djup mellan ca 30-40 m. Ett antal borrhål är även etablerade på ett stort avstånd från täkten (1-1,7 km) för att kunna fungera som referensobservationer av grundvattenfluktuationer i berg. Borrhålen är instrumenterade med tryckgivare som kontinuerligt loggar grundvattennivå sedan våren 2022. Mätdata redovisas i Bilaga 1 *Grundvattennivåobservationer*. Grundvattennivåernas generella fluktuationer i ytliga och djupa borrhål beskrivs i avsnitt 3.3 *Grundvattenmagasin och -nivåer* i PM Hydrogeologi Klinthagen expansion III. Grundvattennivåobservationer beskrivs även områdesvis i detta dokument.

I samtliga undersökningsområden har borrhål etablerats och hydrauliska korttidstest i form av pulstest genomförts. Pulstest ger en uppskattning av bergets genomsläpplighet i det testade borrhålets omedelbara närhet. I ett urval av borrhål genomfördes pulstest som sektionerade test för att bedöma kalkstenens egenskaper på olika nivåer. Sektioneringen genomfördes med hjälp av manschett. Manschetten tätar borrhålet på installerad nivå och pulstest kan genomföras både ovan och under manschetten. En manschett möjliggör tryckobservationer i olika delar av bergmassan genom att först sänkas ner i borrhålet till önskad nivå och sedan expanderas med gas för att avgränsa den hydrauliska kontakten mellan delarna av borrhålet som finns över och under manschetten. Vatten från den övre delen av borrhålet, kan således inte rinna ner under manschetten. Pulstesterna är utvärderade enligt Cooper, et.al (1967) samt enligt Hvorslev (1951).

I samtliga undersökningsområden har även provpumpningar utförts. Provpumpningarna har genomförts med varierande varaktighet, antal observationspunkter och utrustning. Två provpumpningar har utförts med manschetter i observationsborrhål. När observationsborrhål avgränsas med manschett är det möjligt att följa upp påverkan från provpumpningen på olika djup i bergmassan. Upplägget för provpumpningarna och placering av manschetterna har i första hand utgått från planerade brytdjup och bergmassans egenskaper. Beroende på erhållna resultat har provpumpningarna främst utvärderats efter Theis lösningsmetod för slutna akvifärer (1935) och Hantush och Jacobs lösningsmetod för läckande akvifärer (1955).

2.1 Område Nordvästra Klinthagen

Intill Nordvästra Klinthagen har kalkbrytning redan skett. Söder om Nordvästra Klinthagen, inom området Norra Klinthagen, har brytning skett till nivåer omkring +27 m. Väster om Nordvästra Klinthagen, i de norra och i de södra delarna av Nordkross, ligger markytan i dagsläget omkring +19 m respektive omkring +30 m. Även norr och öster om Nordvästra Klinthagen ligger markytan lägre på grund av historisk brytning i Storugnsdagbrottet. Där ligger brytnivåerna generellt mellan +19 och +23 och lokalt även på ca +16 m.

Följande undersökningar har utförts inom område Nordvästra Klinthagen:

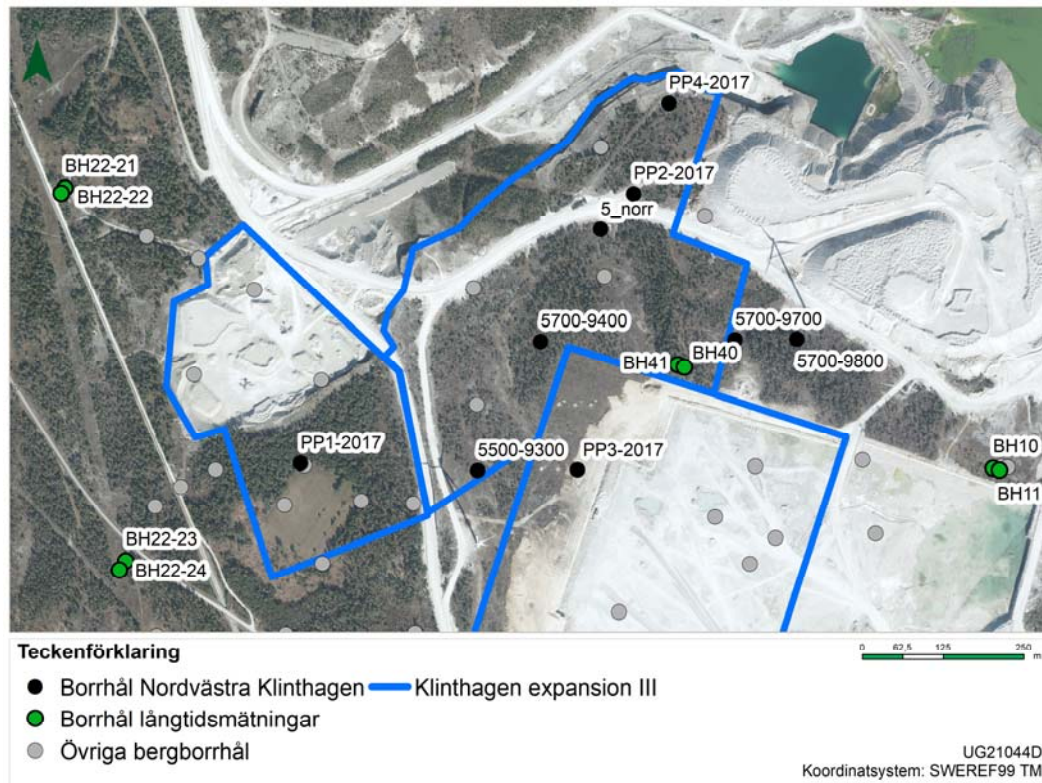
- Grundvattennivåobservationer
- Provpumpning 2017
- Hydrauliska korttidstest med och utan manschett 2017

2.1.1 Observationspunkter

I området har 19 borrhål använts för de hydrogeologiska utredningarna, se Tabell 1 och Figur 3.

Tabell 1. Borrhål i anslutning till Nordvästra Klinthagen som har använts för de hydrauliska testerna.

Borrhål	Djup (m)	Bottennivå (m, RH2000)
BH22-21	21	-3
BH22-22	8	+10
BH22-23	26	-5
BH22-24	8	+13
BH10	6	+28
BH11	30	+4
BH40	10	+28
BH41	30	+8
PP1-2017	30	-1
PP2-2017	30	+8
PP3-2017	30	+8
PP4-2017	30	+6
PP5-2017	15	+13
PP6-2017	30	-4
5500-9300	30	+6
5700-9400	30	+7
5700-9700	30	+8
5700-9800	30	+8
5_norr	15	+23



Figur 3. Borrhål i anslutning till Nordvästra Klinthagen som har använts för hydrauliska tester.

2.1.2 Grundvattennivåobservationer

Inom område Nordvästra Klinthagen har grundvattennivåmätningar utförts i både grunda (10-15 m) samt i djupa (30 m) borrhål.

Uppmätta grundvattennivåer inom det obrutna området för Nordvästra Klinthagen visar på högre grundvattentryck i det ytliga kalkberget än i det djupa, vilket stämmer överens med den generella konceptuella bilden för området. Nivåmätningar i det ytliga berget har utförts kontinuerligt i BH40 sedan januari 2016 och mellan februari och oktober 2017 i 5_norr. Uppmätta grundvattennivåer samvarierar, 5_norr visar dock större nivåvariationer. Grundvattennivåerna uppmätta i 5_norr fluktuerar mellan +26 m och +38 m, i BH40 mellan +33 m och +37 m. Grundvattenytan fluktuerar mellan 0 och 12 m, respektive mellan 0 och 4 m under markytan vid respektive borrhål. Grundvattennivån i det djupare kalkberget som kontinuerligt mätts i BH41 sedan januari 2016 varierar mellan nivåerna +16 m och +34 m, vilket motsvarar nedmätningar mellan 4 och 22 m under markytan. Inom detta intervall låg även grundvattennivåerna i borrhålen som användes för de hydrauliska testerna 2017 och som då mättes i samband med testerna.

Vid borrhning av PP2-2017 observerades vattenförande sprickor på ca 25 m och 28 m djup under markytan, motsvarande nivåer +13 m och +10 m. Sprickan vid +10 m var vattenförande med ett flöde av ca 7 l/min. Vid nivå +8 m observerades en

vattenförande spricka i borrhål PP4-2017. Där kunde dock ingen mätning av flödet genomföras.

2.1.3 Provpumpning 2017

Under 2017 utfördes en provpumpning i borrhål PP2-2017 som pågick 10 dygn med ett flöde på ca 10 l/min fram till det sista dygnet då pumpflödet, till följd av slangbrott, gick intermittent i 5-15 minuters cykler med maxkapacitet (50-60 l/min) alternativt helt avstängt.

Utöver registrering av grundvattennivån i den 30 m djupa pumpbrunnen observerades nivåer i ytterligare 22 punkter. En tydlig nivåpåverkan från pumpningen observerades i tre observationspunkter, se Figur 4 för lägen och respons i de 13 observationspunkter som ligger närmast pumpbrunnen. För samtliga observationspunkter se *PM Hydrogeologi* för expansion II (Bergab, 2017). Inga fler observationspunkter än de redovisade i Figur 4 visade någon påverkan från pumpningen.



Figur 4. Påverkan på närmast liggande borrhål från provpumpning i bergborrhål PP2-2017.

Nedan redovisas de viktigaste resultaten, medan testet i sin helhet, samt detaljerade flödes- och nivågrafer, redovisas i *PM Hydrogeologi* för expansion II (Bergab, 2017).

Pumpningen utfördes i ett 30 m djupt bergborrhål. I ytterligare tre 30 m djupa borrhål inom en 340 m radie från pumpbrunnen observerades respons från pumpningen, se Tabell 2. Inom en 340 m radie från pumpbrunnen ligger ytterligare

tre borrhål, som dock inte påvisar någon respons från provpumpningen. Två av dessa borrhål är grundare än 30 m; BH40 är 10 m djupt och 5_norr är 15 m djupt. Det tredje borrhålet PP4-2017 som inte visar någon respons är 30 m djupt och ligger endast ca 150 m norr om pumpbrunnen. Något längre ifrån, ca 440 m söder om pumpbrunnen, ligger borrhål PP3-2017. Det är svårt att se en tydlig påverkan från provpumpningen i PP3-2017, men en mindre respons kan inte uteslutas.

Tabell 2. Bedömd påverkan (efter justering mot naturlig trend) från provpumpning i observationspunkter.

Borrhål	Bedömd påverkan efter 10h pumpning (innan nederbörd)
5700-9400	0,4 m
5700-9800	0,7 m
BH41	0,4 m
PP1-2017	Ingen påverkan
PP3-2017	Mycket liten påverkan kan ej uteslutas
PP4-2017	Ingen påverkan
PP5-2017	Ingen påverkan
PP6-2017	Ingen påverkan
BH10	Ingen påverkan
BH11	Ingen påverkan
BH40	Ingen påverkan
5_norr	Ingen påverkan

Det observerades att nederbörd resulterar i stor påverkan på grundvattennivåer i pumpbrunn och i observationsborrhål. Den 26 oktober ledde 19 mm dygnsnederbörd till högre nivåer i pumpbrunnen än den ursprungliga nivån innan pumpningen startade, trots pågående pumpning.

Grundvattennivån i borrhål 5700-9800 låg innan pumpstart på ca +25,8 m, vilket även motsvarade nivån i borrhål BH 41. Grundvattennivån i borrhål 5700-9400 låg innan pumpstart på ca +21,4 m. Nivåerna innan pumpstart låg ca 2 m respektive 6,5 m under närliggande befintlig täktbotten. Grundvattennivåerna i de tre borrhålen blev också starkt påverkade av nederbörd trots pågående pumpning. Nivåerna steg vid nederbörd upp till 5 m ovan befintlig täktbotten.

När pumpningen avslutades återhämtade nivåerna sig mycket snabbt i pumpbrunn PP2-2017, vilket betyder att tillrinningen till brunnen är god.

Den hydrauliska transmissiviteten redovisas för de enskilda borrhålen i Tabell 3. Utvärderingen har gjorts med två olika metoder: Theis (1935) och Papadopulos & Cooper (1967). Theis lösning för slutna akviferer var den som passade bäst. Theis och Papadopulos & Cooper tillhör de mest vedertagna metoderna för denna typ av akvifer.

I Tabell 4 redovisas den hydrauliska transmissiveten utvärderad för flera brunnar tillsammans. Utvärderingarna redovisas i bilaga 2.1 *Utvärdering proppumpning Nordvästra Klinthagen*.

De olika analysmetoderna ger inte exakt samma resultat, men är relativt samstämmiga. Den sammanvägda bedömningen av de olika analysmetoderna ger en hydraulisk transmissivitet på omkring $4E-5 - 1E-4$ m²/s.

Tabell 3. Utvärderad hydraulisk transmissivitet och magasin-koefficient i de enskilda påverkade borrhålen.

	Theis (1935)		Papadopulos & Cooper (1967)	
	T (m ² /s)	S (-)	T (m ² /s)	S (-)
BH41	1E-4	7E-6	9E-5	4E-6
5700-9400	1E-4	6E-6	1E-4	4E-6
5700-9800	4E-5	3E-6	5E-5	2E-6

Tabell 4. Utvärderad hydraulisk transmissivitet och magasin-koefficient baserad på integrerad analys av flera borrhål.

Ingående borrhål	Theis (1935)	
	T (m ² /s)	S (-)
PP2/BH41/5700-9400	8E-5	6E-6

2.1.4 Hydrauliska korttidstest

Inom området har hydrauliska korttidstest i form av pulstest genomförts, se Tabell 5. I fyra av borrhålen genomfördes pulstester som sektionerade test för att bedöma kalkstenens egenskaper i den ytliga respektive djupa delen i samma borrhål. Sektioneringen genomfördes med hjälp av manschett på nivåer omkring +16 till +18 m.

Tabell 5. Borrhål med utförda korttidstest i området Nordvästra Klinthagen.

Borrhål	Typ av test	År för utförande av test
PP2-2017	Sektionerat pulstest	2017
PP4-2017	Sektionerat pulstest	2017
5700-9400	Sektionerat pulstest	2017
5700-9800	Sektionerat pulstest	2017
5_norr	Pulstest	2017

Hydraulisk konduktivitet har utvärderats med metod enligt Cooper et. al (1967) samt enligt Hvorslev (1951) och redovisas i Tabell 6. Samtliga erhållna resultat enligt metod Cooper et. al (1967) beskrivs nedan och är sammanställda i Figur 5.

Borrhålen PP2-2017 och PP4-2017 som sektionerades på +18 m respektive +16 m visade på ett väldigt tätt ytligt kalkberg. Testerna gick ej att utvärdera kvantitativt p.g.a. deras långsamma återhämtning. I 5_norr utfördes pulstest utan manschett som visade på samma täta kalkberg till 15 m djup vid detta borrhål. Återhämtningen av pulsen i 5_norr var också så långsam att någon kvantitativ utvärdering av konduktiviteten ej gick att genomföra. Den kvalitativa tolkningen är att den ytliga bergmassan vid dessa tre bergborrhål är mycket tät, d.v.s. har en mycket låg hydraulisk konduktivitet.

Testerna utförda i det djupare berget vid borrhålen PP2-2017 och PP4-2017, mellan nivåerna +8 m och +17 m, respektive +6 m och +15 m, visar på en betydligt högre hydraulisk konduktivitet i det djupa berget än i det ytliga. Den hydrauliska konduktiviteten utvärderades i borrhål PP4-2017 till 5E-7 m/s och i borrhål PP2-2017 uppskattas den vara större än 1E-5 m/s. En kvantitativ utvärdering av testet under manschett i PP2-2017 var ej genomförbar till följd av snabb återhämtning.

I 5700-9400 utfördes ett sektionerat pulstest. Testet under manschett, mellan nivå +7 m och +16 m, visade på en hydraulisk konduktivitet på omkring 3E-7 m/s. Ovan manschett, mellan nivå +17 m och +27 m var återhämtningen av pulsen betydligt långsammare och den hydrauliska konduktiviteten utvärderades här till omkring 9E-9 m/s.

I 5700-9800 utfördes ett sektionerat pulstest. Under manschett, mellan nivå +8 m och +17 m, visade utvärderingen på en hydraulisk konduktivitet kring 4E-7 m/s. Ovan manschett, mellan nivå +18 m och +36 m återhämtades pulsen till en högre nivå än före vattnet fylldes på. En kvantitativ utvärdering av testet kunde därför ej genomföras. Övre delen av den testade sektionen ovan manschett uppskattas ha en hydraulisk konduktivitet kring 1E-6 m/s.

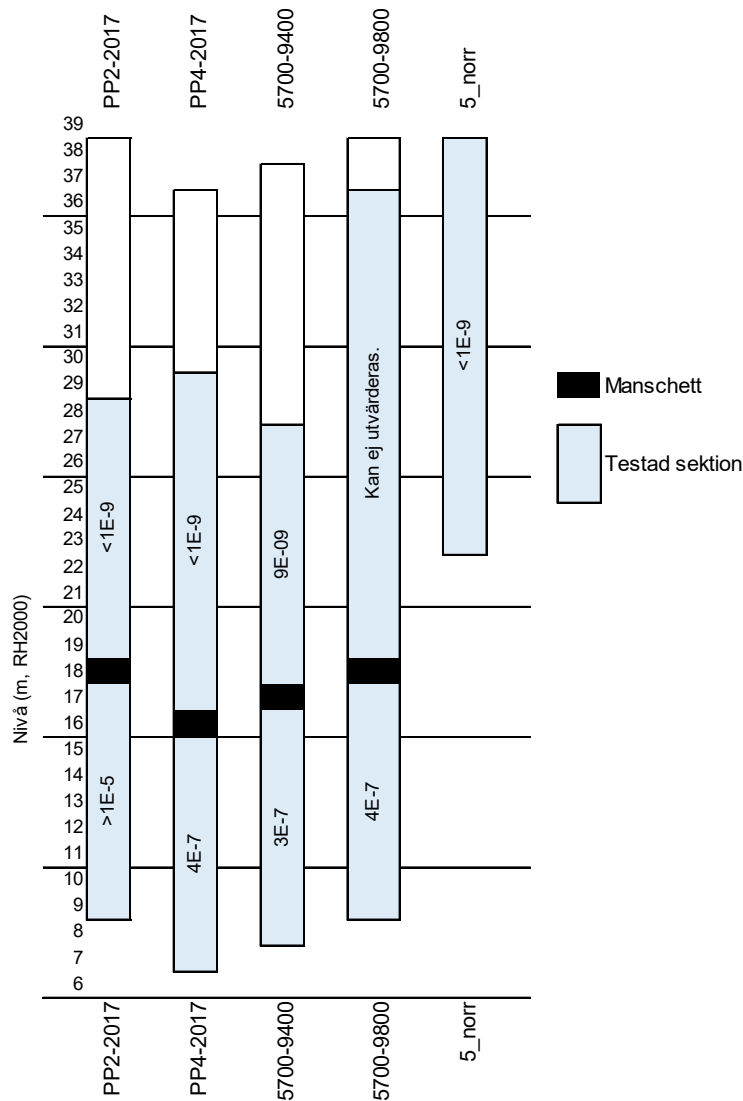
5700-9800 samt flera av de andra borrhålen visar tydligt i de utförda sektionerade korttidstesten att två avskilda magasin förekommer i området. Ett i den ytliga och ett i den djupare delen av kalkstenen. Grundvattentrycken i det ytliga berget ligger högre än i det djupa berget, vilket tyder på en mycket begränsad kontakt mellan dessa magasin.

För figurer på nivåskillnaden under utförda hydrauliska korttidstest se *PM Hydrogeologi* för expansion II (Bergab, 2017).

Tabell 6. Hydraulisk konduktivitet (m/s) i testade borrhål i området kring Nordvästra Klinthagen.

Borrhål	Typ av test	Testad sektion (m, RH2000)	Hvorslev (1951)	Cooper et al. (1967)
PP2-2017	Sektionerat pulstest	+18 till +28	<1E-9	
		+8 till +17	>1E-5	
PP4-2017	Sektionerat pulstest	+16 till +29	<1E-9	
		+6 till +15	2E-7	5E-7
5700-9400	Sektionerat pulstest	+17 till +27	4E-9	9E-9
		+7 till +16	1E-6	3E-7

Borrhål	Typ av test	Testad sektion (m, RH2000)	Hvorslev (1951)	Cooper et al. (1967)
5700-9800	Sektionerat pulstest	+18 till +36	Vattennivå ovan manschett stiger i samband med manschettetablering. Nivån är ej stabil innan pulstest påbörjas och kan därför ej utvärderas kvantitativt. Den hydrauliska konduktiviteten uppskattas till omkring 1E-06.	
		+8 till +17	2E-6	4E-7
5_norr	Pulstest	+23 till +38	<1E-9	



Figur 5. Hydraulisk konduktivitet (m/s) utvärderat enligt Cooper et.al (1967). Figur redovisar borrhålsdjup, testade sektioner och var manschetten är placerad.

2.2 Område Nordkross

Inom Nordkross har historisk kalkbrytning skett i de norra delarna av området, där ligger markytan i dagsläget omkring +20 m. I de södra delarna av Nordkross ligger markytan omkring +30 m. Sydost om Nordkross ligger utbruten täkt med brytnivåer mellan +23 och +29 m.

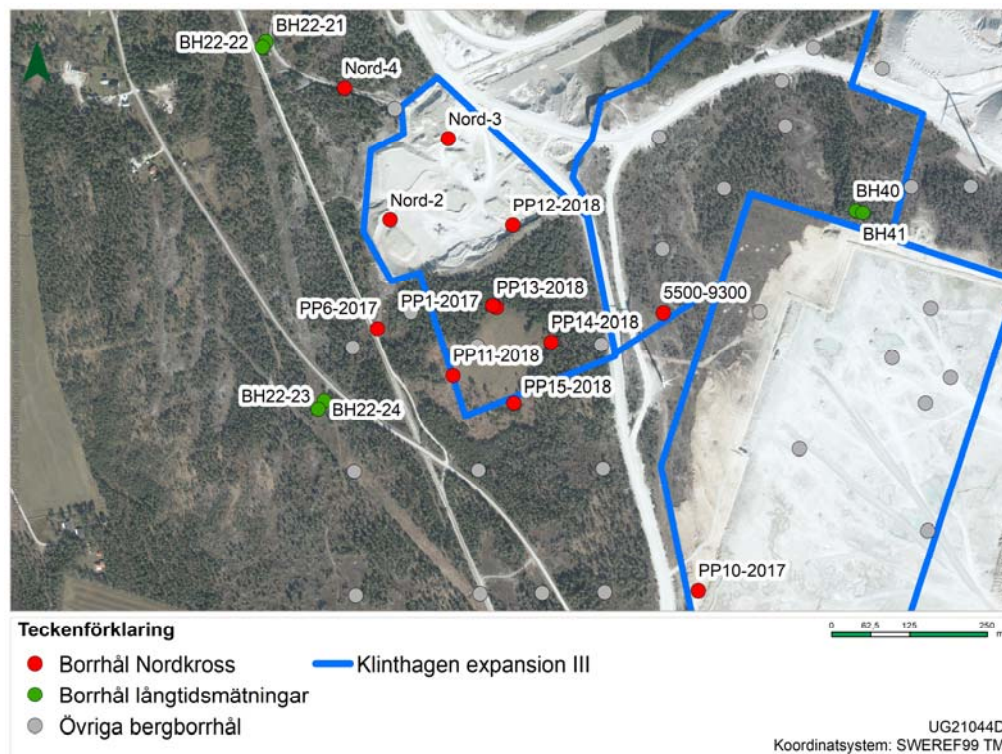
I området dominerar en finkornig och tät, tunnbankad (lagertjockleken 5-7 cm) krinoidékalksten överst i lagerföljden som underlagras av en stromatoporoidérik krinoidékalksten, här betecknad som stromatoporoidékalksten. Mäktigheten hos dessa lager varierar mellan 10 och 15 m. Tunna mellanlager av mörkgrå, ca 0,5 m-tjocka, förekommer på flera nivåer i sekvensen. Underst kan man observera en revartad kalksten som kan följas över långa horisontella avstånd och vars tjocklek inte är känd.

Följande undersökningar har utförts inom område Nordkross:

- Grundvattennivåobservationer
- Provpumpning 2017
- Provpumpning 2018 med manschetterade observationspunkter
- Hydrauliska korttidstest med och utan manschett 2017 och 2021

2.2.1 Observationspunkter

I området har 16 borrhål använts för de hydrogeologiska utredningarna, se Figur 6 och Tabell 7



Figur 6. Borrhål i anslutning till Nordkross som har använts för hydrauliska tester.

Tabell 7. Borrhål i anslutning till Nordkross som har använts för de hydrauliska testerna.

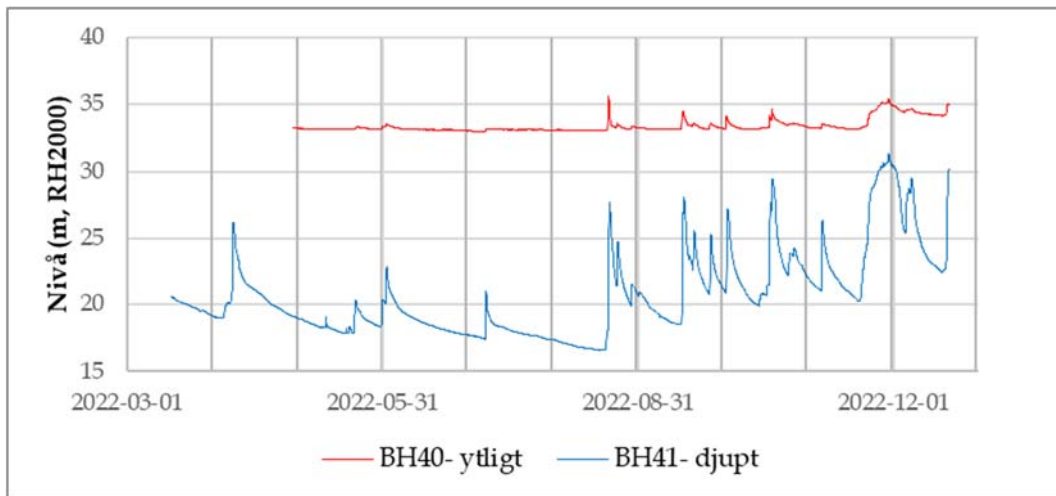
Borrhål	Djup (m)	Bottennivå (m, RH2000)
BH22-21	21	-3
BH22-22	8	+10
BH22-23	26	-5
BH22-24	8	+13
BH40	10	+28
BH41	30	+8
PP1-2017	30	-1
PP6-2017	30	-4
PP10-2017	15	+15
PP11-2018	30	-4
PP12-2018	20	+6
PP13-2018	30	-1
PP14-2018	30	-2
PP15-2018	30	-2
Nord-2	14	+5
Nord-3	14	+8
Nord-4	13	+6
5500-9300	30	+6

2.2.2 Grundvattennivåobservationer

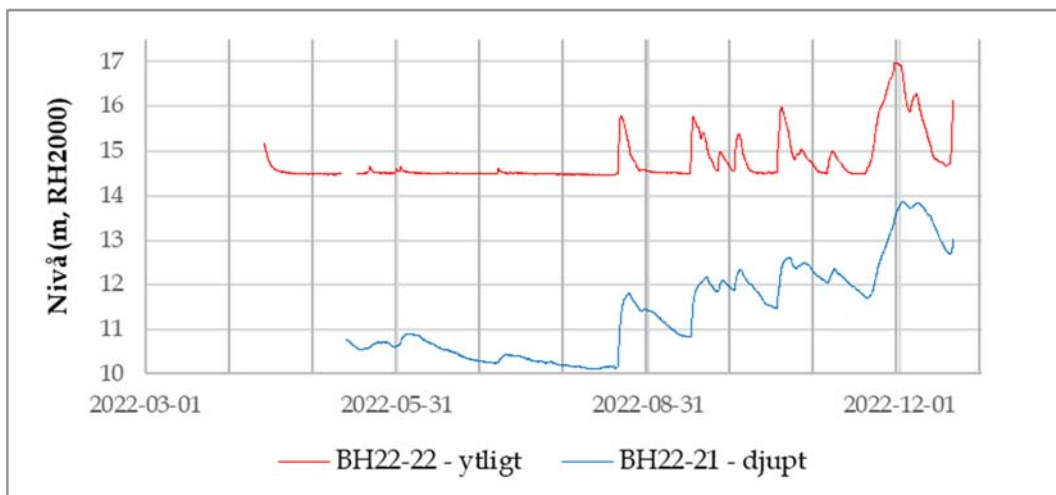
Utanför Nordkross-området sker grundvattennivåmätningar inom ramen för det nuvarande kontrollprogrammet för Klinthagen i borrhål BH40 och BH41 sedan 2016, och våren 2022 etablerades ytterligare borrhål där nivåobservationer görs med kontinuerlig loggning med tryckgivare. Borrhålen är borrhålen parvis med ett djupare borrhål (21-30 m) och ett grundare borrhål (8-10 m) på samma plats. Nivåer redovisas i Bilaga 1 *Grundvattennivåobservationer* samt i Figur 7, Figur 8 och Figur 9.

Inom eller i direkt anslutning till Nordkross-området har nivåer mätts i samband med utförda hydrauliska tester under 2017, 2018 och 2022.

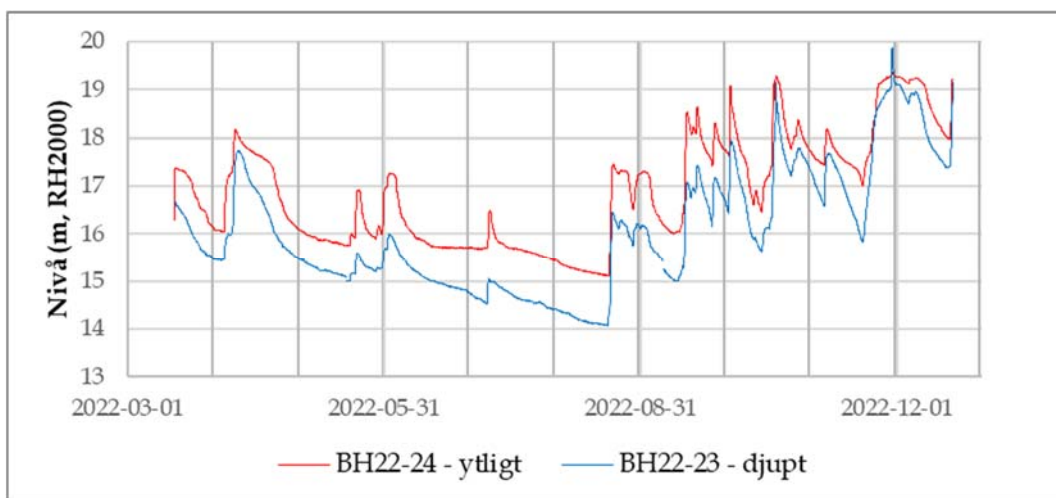
Generellt ligger grundvattennivåerna som högst vid borrhålen BH40 och BH41 med lägre nivåer mot nordväst. Nivåerna i både det ytliga och det djupa magasinet följer topografien. Borrhålen som är borrhålen parvis visar på högre trycknivåer i det ytligare än i det djupare berget. Mycket tydligt är detta i BH40 och BH41 (se Figur 7) samt i BH22-21 och BH22-22 (se Figur 8), där nivåerna skiljer sig med 3-17 m, respektive 3-4,5 m, med störst skillnad under sommarmånaderna.



Figur 7. Grundvattennivåer i BH40 och BH41 öster om brytområde Nordkross.



Figur 8. Grundvattennivåer i BH22-21 och BH22-22 norr om brytområde Nordkross



Figur 9. Grundvattennivåer i BH22-23 och BH22-24 väster om brytområde Nordkross.

Trycknivåerna i de båda magasinen varierar kraftigt beroende på årstiden. Under sommaren ligger nivåerna som lägst, i det djupa magasinet omkring +16 m öster om Nordkross och omkring +10 m norr om Nordkross. I det ytliga magasinet ligger de då på +33 m respektive +14,5 m. På vintern, när grundvattenytan är som högst, kan nivåerna i det djupa magasinet öster om Nordkross komma att ligga på +34 m och norr om Nordkross på +14 m. I det ytliga magasinet kan nivåerna uppgå till + 37 m respektive +17 m. Tryckskillnaden mellan det ytliga och det djupa magasinet är mindre i borrhålsparet väster om Nordkross-området (BH22-23 och BH22-24), som mätts sedan mars 2022. Nivåerna samvarierar tydligt och fluktuerar mellan nivå +14 m och +20 m i det djupa och mellan +15 m och +19 m i det ytliga.

Grundvattennivån i det djupa magasinet ligger generellt ca 1 m lägre än i det ytliga, förutom under fåtal dagar i december 2022, då vattennivån i det djupa magasinet överskred nivån i det ytliga med ca 1 m. Observationerna tyder på skilda magasin, men dessa magasin bedöms ha något bättre hydraulisk kontakt än vad motsvarande ytliga/djupa delar av bergmassan gör i de flesta andra områden runt tälten. De båda observationshålerna ligger dessutom i relativt starkt sluttande terräng, vilket också kan påverka grundvattennivåerna. Grundvattennivåerna kan påverkas av vattenförande sprickor som dräneras ut över en bergskant i sluttande terräng.

De enstaka nivåobservationer i borrhål inom Nordkross-området, som har gjorts i samband med de hydrauliska testerna, ligger inom det förväntade intervallet i relation till borrhålen med längre mätserier. Uppmätta nivåer i samband med hydrauliska tester inom Nordkross-området har legat mellan +15 m i norra delen och +19 m längst söderut. Samtliga uppmätta nivåer inom Nordkross-området ligger lägre än brytnivån i närliggande bruten täkt (Norra Klinthagen).

2.2.3 Provpumpning 2017

Under 2017 utfördes en provpumpning i borrhål PP1-2017 under 2 dygn med ett flöde på omkring 10 l/min. Närmaste observationspunkt var belägen på ett om ca 190 m från pumpbrunnen. Ingen påverkan från pumpningen kunde observeras i någon av observationspunkterna. Transmissiviteten i pumpbrunnen utvärderades till $6E-6$ m²/s. Resultatet av testet redovisas utförligare i *PM Hydrogeologi för expansion II* (Bergab, 2017).

2.2.4 Provpumpning 2018 med manschetterade observationspunkter

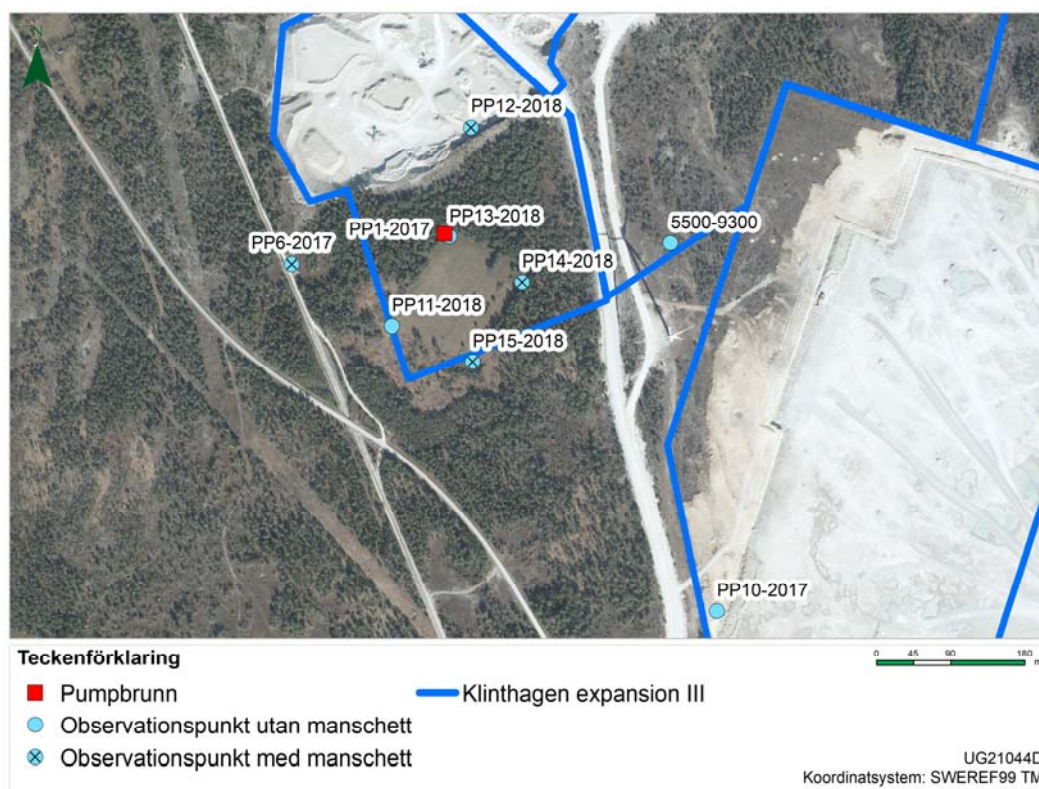
Under 2018 etablerades ytterligare borrhåll inom området för Nordkross och en ny provpumpning utfördes i borrhål PP1-2017. Fyra av observationspunkterna, som nu var belägna närmare pumpbrunnen jämfört med provpumpningen 2017, sektionerades med manschett för att kunna undersöka responser på olika nivåer i bergmassan. Nedan redovisas de viktigaste resultaten, men testet i sin helhet beskrivs i *PM Hydrogeologi Nordkross* (Bergab, 2018).

Manschetterna etablerades ca 20 m under markyta, vilket motsvarade nivåer mellan +6 och +11 m i observationshålerna. I PP1-2018 låg vattennivån på ca - 1,7 m, och

etablering av manschett var därför inte relevant¹. I Tabell 8 beskrivs de borrhål som ingick som observationspunkter i försöket samt i vilka borrhål och på vilket djup under markytan manschett etablerats.

Tabell 8. Observationspunkter och grunduppgifter för installation.

Borrhål	Manschett djup (m.u.rök)	Manschett nivå (m, RH2000)
PP1-2017	Ingen manschett installerades	
PP6-2017	20	+6
PP10-2017	Ingen manschett installerades	
PP11-2018	Ingen manschett installerades	
PP12-2018	10	+11
PP13-2018	Ingen manschett installerades	
PP14-2018	20	+8
PP15-2018	20	
5500-9300	Ingen manschett installerades	+8



Figur 10. Pumpbrunn samt observationspunkter som ingick i provpumpningen 2018.

¹ Borrhålet blåstes vid borrhning veckan innan, och den låga vattennivån visar på en mycket liten tillrinning som i sig visar att berget kring borrhålet är mycket tätt.

Provpumpningen i PP1-2017 pågick under ca 3 dygn med ett flöde på inledningsvis ca 15 l/min för att efter ca 15 timmar justeras ner till ca 12 l/min. Innan provpumpningen startades låg grundvattenytan 12 m under markytan, på en nivå omkring +16,5 m. Under den första delen av provpumpningen var grundvattennivån i pumpbrunnen omkring +1 m, för att efter flödesjusteringen ligga på omkring +8 m. Detaljerade flödes- och nivågrafer redovisas i *PM Hydrogeologi Nordkross* (Bergab, 2018).

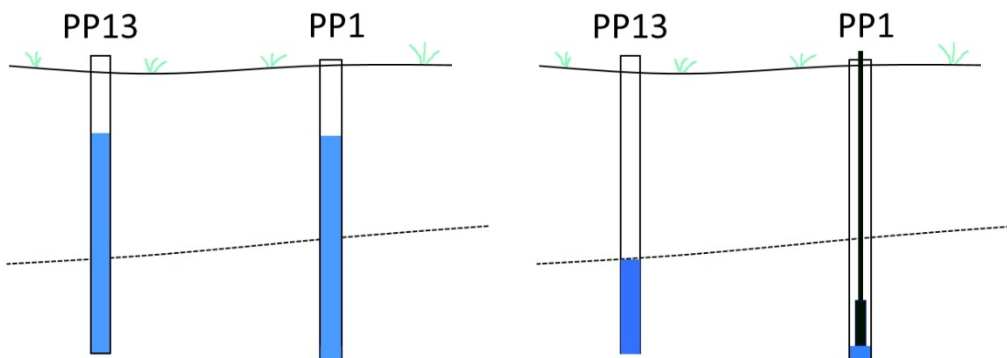
I anslutning till och under provpumpningens gång var nederbördsmängderna mycket små. I bedömningen av provpumpningen har därav ingen hänsyn tagits till nederbörd, dock till den naturliga sjunkande trend som kunnat observeras på grundvattennivåerna i referensbergborrhål.

I 5500-9300, PP10-2017 och PP11-2018, som inte var manschetterade, kunde ingen påverkan från provpumpningen observeras. I PP11-2018 steg vattennivån långsamt under hela provpumpningen. Detta beror troligtvis på att nivån fortfarande var under långsam återhämtning efter att hålet borrats veckan innan provpumpningen och att berget kring hålet har en mycket låg vattenförande förmåga. I Tabell 9 sammanfattas påverkan från provpumpningen i borrhål utan manschett.

Tabell 9. Bedömd påverkan från provpumpning i observationspunkter utan manschett.

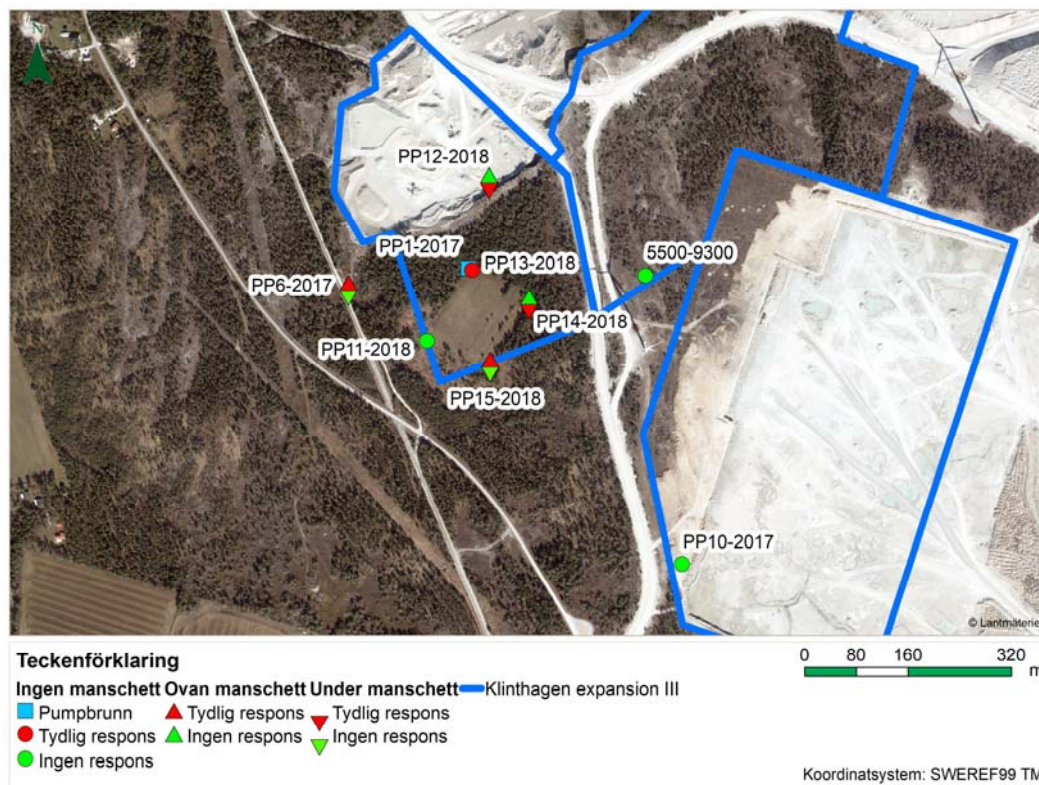
Borrhål	Bedömd påverkan vid pumpstopp
PP1-2017, pumpbrunn	8,3 m
PP10-2017	Ingen påverkan
PP11-2018	Ingen påverkan
PP13-2018	8,3 m
5500-9300	Ingen påverkan

Grundvattennivån i PP13-2018, som ligger 2 meter sydöst om PP1-2017, var i princip samma som i PP1-2017 under hela provpumpningen undantaget då nivån i PP1-2017 underskred +6 m. Det kan konstateras att det finns en mycket god hydraulisk kontakt mellan de två borrhålen PP13-2018 och PP1-2017 som upphör vid nivå +6 m och djupare, se konceptuell skiss i Figur 11. I borrhållsprotokoll för PP1-2017 finns en spricka dokumenterad vid denna nivå, som sannolikt är starkt vattenförande. Samma spricka återfinns i borrhållsprotokoll från PP13-2018. Detta styrks även av det sektionerade pulstest som utfördes i PP1-2017 under 2017, se avsnitt 2.2.5.



Figur 11. Konceptuell figur över grundvattnets trycknivåer i PP13-2018 och PP1-2017 samt det vattenförande sprickplan vid nivå ca +6 m som sammankopplar de båda borrhålen. Figuren till vänster visar ursprungliga grundvattnenivåer och figuren till höger visar grundvattnenivåer när nivån i pumpbrunnen (PP1-2017) sänks djupare än sprickplanet på nivå ca +6 m.

Påverkan från provpumpningen redovisas i Figur 12. För de borrhål där manschett etablerats inför testet redovisas påverkan i Tabell 10.



Figur 12. Bedömd påverkan från provpumpningen i PP1-2017 som utfördes under 2018.

Tabell 10. Bedömd påverkan från provpumpning i observationspunkter i sektionerade borrhål.

Borrhål	Manschettnivå (m, RH2000)	Bedömd påverkan vid pumpstopp över manschett	Bedömd påverkan vid pumpstopp under manschett
PP6-2017	+6,4	0,3 m	Ingen påverkan
PP12-2018	+10,8	Ingen påverkan	0,5 m
PP14-2018	+8,4	Ingen påverkan	0,8 m
PP15-2018	+7,7	0,1 m	Ingen påverkan

PP6-2017 är belägen ca 190 m väst om pumpbrunnen PP1-2017. I PP6-2017 var manschett etablerad 20 m under befintlig markyta, på nivån +6,4 m. Responsen från provpumpningen var framförallt tydlig ovan manschetten, med en avsänkning på ca 0,3 m. Under manschett fanns en sjunkande trend som bedömdes vara naturlig.

PP12-2018 ligger 135 m norr om PP1-2017. I PP12-2018 sattes manschetten 10 m under befintlig markyta, på nivån +10,8 m. Grundvattennivån under manschett i borrhålet visade på en tydlig respons från provpumpningen och återhämtades mycket snabbt efter att provpumpningen avslutades. Nivån ovan manschett visade ingen påverkan från provpumpningen.

PP14-2018 är beläget 105 m sydöst om PP1-2017. I PP14-2018 var manschetten etablerad ca 20 m under markytan, på nivå + 8,4 m. En tydlig respons från provpumpningen observerades i PP14-2018 under manschett. Ingen tydlig påverkan kunde ses i PP14-2018 ovan manschett, den sjunkande trend som observerades bedömdes vara naturlig. Nivåmätningar visar att trycknivån ovan manschett var högre jämfört med under manschett, vilket visar att sektionerna ovan och under manschett har kontakt med olika vattenförande sprickor.

PP15-2018 är beläget 155 m söder om PP1-2017. I PP15-2018 etablerades manschetten 20 m under markytan, på nivå +7,7 m. Mätningar visar att det föreligger en liten men tydlig påverkan från provpumpningen ovan manschett, med en avsänkning på ca 0,1 m. Ingen tydlig påverkan från pumpningen kunde ses under manschett. Trycknivån under manschett var högre jämfört med trycknivån ovan manschett, vilket visar att sektionerna ovan och under manschett har kontakt med olika vattenförande sprickor.

Provpumpningen har utvärderats med metod enligt Theis och redovisas för påverkade observationspunkter i Tabell 11. I utvärderingen har ingen hänsyn tagits till den avtagande trend som kunde observeras i de flesta borrhålen, vilket innebär att den utvärderade transmissiviteten är något högre än om hänsyn tagits.

Tabell 11. Provpumpning i PP1-2017 utvärderad enligt Theis för påverkade observationspunkter.

Borrhål	Hydraulisk transmissivitet, T (m ² /s)	Magasinskoefficient, S (-)
PP6-2017, ovan manschett	2E-4	6E-5
PP12-2018, under manschett	7E-5	7E-6
PP13-2018	3E-6	4E-3
PP14-2018, ovan manschett	1E-4	2E-4
PP14-2018, under manschett	3E-5	2E-5
PP15-2018, ovan manschett	1E-4	9E-5
PP15-2018, under manschett	2E-4	7E-5

2.2.5 Hydrauliska korttidstest

Inom området har hydrauliska korttidstest i form av pulstest genomförts, se Tabell 12. I fyra av borrhålen genomfördes pulstestet som sektionerade test för att bedöma kalkstenens egenskaper på olika nivåer. Sektioneringen genomfördes med hjälp av manschett på nivåer omkring +7 till +10 m.

Tabell 12. Borrhål med utförda korttidstest i området Nordkross.

Borrhål	Typ av test	År för utförande av test
PP1-2017	Sektionerat pulstest	2017
PP6-2017	Sektionerat pulstest	2017
PP11-2018	Återhämtning från blåsning i samband med borning	2018
PP12-2018	Pulstest	2021
PP15-2018	Sektionerat pulstest	2018
Nord-2	Pulstest	2021
Nord-3	Sektionerat pulstest	2021
Nord-4	Pulstest	2021

Hydraulisk konduktivitet har utvärderats med metod enligt Cooper et. al (1967) samt enligt Hvorslev (1951) och redovisas i Tabell 13. Samtliga erhållna resultat enligt metod Cooper et. al (1967) beskrivs nedan och är sammanställda i Figur 13.

I PP1-2017 utfördes ett sektionerat pulstest. Återhämtningen ovan manschett gick ej att utvärdera kvantitativt p.g.a. den långsamma återhämtningen av vattennivån. Berget mellan nivå +9 och +22 m bedöms därför som mycket tätt. Testet under manschett, mellan nivå -1 och +8 m, visade på en hydraulisk konduktivitet på omkring 1E-5 m/s.

I PP6-2017 utfördes ett sektionerat pulstest. Testet visar att den ytligare bergmassan är något tätare än den djupare. Det ytligare berget på nivåer mellan +7 och +21 m visade en konduktivitet på 1E-7 m/s. Liknande hydraulisk konduktivitet på 4E-7 m/s erhöles vid pulstestet i PP12-2018 som utfördes mellan nivå +5 och +18 m. Det djupare berget vid PP6-2017, mellan nivå -3 och +6 m, uppvisade en konduktivitet på 9E-7 m/s. I borrhållsprotokoll noteras flera mindre sprickor från ca 7

meter och nedåt, med en större vattenförande spricka 28,4 m under befintlig markyta.

PP11-2018 blåstes vid borrhning, dvs tömdes i stort sett på vatten. Efter 12 dagar låg vattennivån i borrhålet som har en bottennivå på -4 m fortfarande på nivå -1,7 m, vilket innebär att tillrinningen till borrhålet i princip är obefintlig och att berget omkring borrhålet är mycket tätt.

I PP15-2018 utfördes ett sektionerat pulstest. Testet ovan manschett, mellan nivå +8 och +21 m visade på en hydraulisk konduktivitet på $5E-7$ m/s. Trycknivån under manschett, mellan nivå -2 och +7 m, steg snabbt i samband med att manschetten blåstes upp och visade därefter en långsam avsänkning. Det innebär att berget omkring den djupare delen av borrhålet har en lägre hydraulisk konduktivitet jämfört med den yttligare delen. Inget pulstest utfördes under manschett eftersom trycknivån inte återhämtades från manschettetableringen.

I Nord-2 utfördes pulstest utan manschett. Utvärderingen visade på en hydraulisk konduktivitet på $1E-6$ m/s mellan nivå +6 och +15 m.

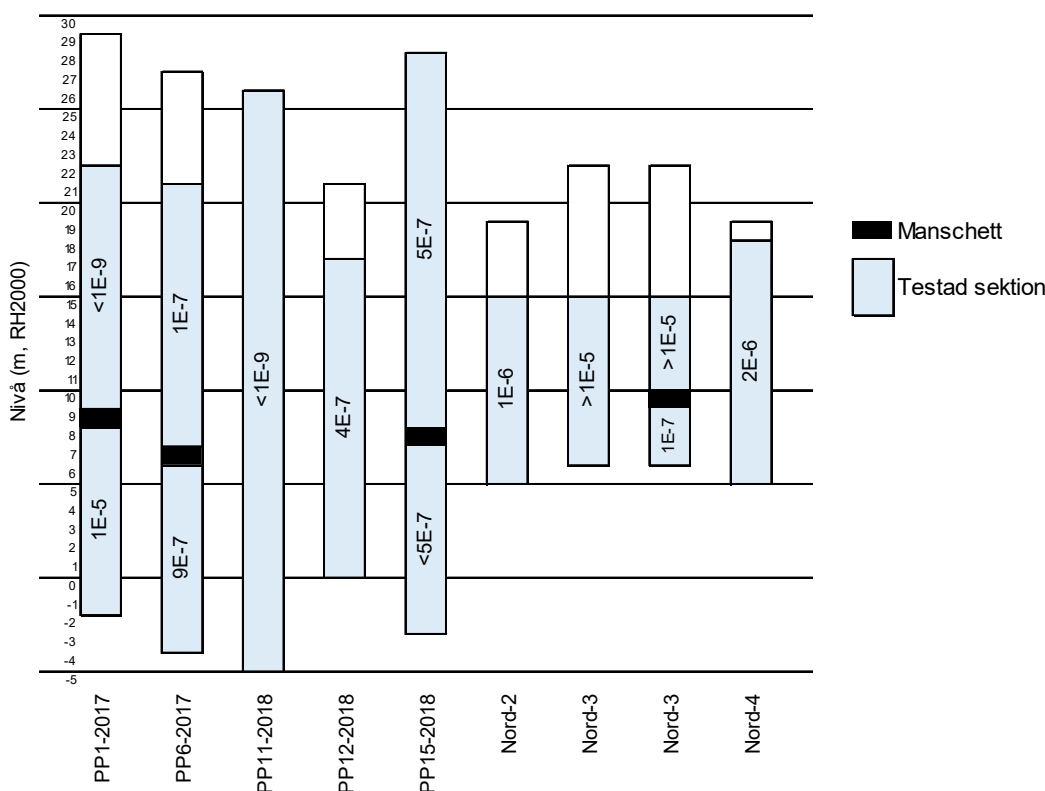
I Nord-3 utfördes först pulstest utan manschett. Återhämtning av pulsen var så snabb att en kvantitativ utvärdering av testet inte var möjlig. Därför utfördes även pulstest med manschett. Det sektionerade pulstestet i borrhål Nord-3 visar på ett mycket genomsläppligt yttligt berg, mellan nivå +10 och +15 m, och ett tätare djupare berg, mellan nivå +7 och +9 m. Det djupare berget visar på en hydraulisk konduktivitet omkring $1E-7$ m/s.

I Nord-4 utfördes ett pulstest utan manschett. Utvärderingen visade på en hydraulisk konduktivitet på $3E-6$ m/s mellan nivå +6 och +18 m.

Tabell 13. Hydraulisk konduktivitet (m/s) i testade borrhål i området kring Nordkross.

Borrhål	Typ av test	Testad sektion (m, RH2000)	Hvorslev (1951)	Cooper et al. (1967)
PP1-2017	Pulstest med manschett	+9 till +22	Långsam återhämtning, ej möjlig att utvärdera. Berget bedöms som mycket tätt.	
		-1 till +8	2E-6	1E-5
PP6-2017	Pulstest med manschett	+7 till +21	2E-7	1E-7
		-3 till +6	4E-7	9E-7
PP11-2018	Återhämtning från blåsning i samband med borrhning	-4 till +26	Ingen kvantitativ utvärdering möjlig. Berget bedöms som mycket tätt.	
PP12-2018	Pulstest utan manschett	+5 till +18	6E-7	4E-7
PP15-2018	Pulstest med manschett	+8 till +21	6E-7	5E-7
	Återhämtning av manschettupplåsning	-2 till +7	Långsam återhämtning av vattennivån efter expansion av manschett. Tätare än övre delen av borrhålet (dvs $<5E-7$)	
Nord-2	Pulstest	+6 till +15	2E-6	1E-6

Borrhål	Typ av test	Testad sektion (m, RH2000)	Hvorslev (1951)	Cooper et al. (1967)
Nord-3	Pulstest	+7 till +15 (hela borrhålet)	Mycket snabb respons. För snabb för att utvärdera.	
	Pulstest med manschett	+10 till +15	Mycket snabb respons. För snabb för att utvärdera.	
		+7 till +9	8E-8	1E-7
Nord-4	Pulstest	+6 till +18	1E-6	3E-6



Figur 13. Hydraulisk konduktivitet (m/s) utvärderad enligt Cooper et.al (1967). Figur redovisar borrhålsdjup, testade sektioner och var manschetten är placerad.

2.3 Område Norra Klinthagen

Norra Klinthagen utgörs av redan utbruten täkt till nivåer mellan +23 m och +29 m och den ursprungliga marknivån låg på omkring +38 m.

Lagerföljden i området är mycket jämn och homogen, med horisontellt utsträckt lager. Överst i lagerföljden förekommer en 5-7 m-tjock stromatoporoidkalksten som underlagras av en 6-10 m-tjock märgelsten. Märgelstenen uppvisar en successivt ökad mäktighet söderut. Tunna mellanlager av revartad kalksten (revkalksten med endast svag lagerstruktur) förekommer på olika nivåer kalkstenspacken.

Märgelstenen underlagras i sin tur av en mörk krinoidkalksten som varierar i tjocklek mellan 5 och 10 m. Underst i lagerföljden kan man observera en ljus krinoidkalksten med varierande inslag av stromatoporoider och

stromatoporoidélinser. Frekvensen av dessa är ställvis så pass stor att den betecknas som stromatoporoidékalksten, trots att den likaväl kunde kallas för en stromatoporoidérik krinoidékalksten. Kalkstenssekvensen i området stupar genomgående söderut, vilket förklarar den lutande bottennivån i detta brytområde.

Följande undersökningar har utförts inom område Norra Klinthagen:

- Grundvattennivåobservationer
- Provpumpning 2021
- Hydrauliska korttidstest med och utan manschett 2017 och 2021

Ytterligare två provpumpningar i angränsande områden har utförts 2017 respektive 2022. Dessa redovisas under avsnitt 2.1 *Område Nordvästra Klinthagen* och avsnitt 2.4 *Område Centrala Klinthagen*.

Att området redan är utbrutet innebär att för de borrhål som ligger nere i den befintliga täkten finns inte det berg som för övriga Klinthagen hänvisas till som "det ytliga berget".

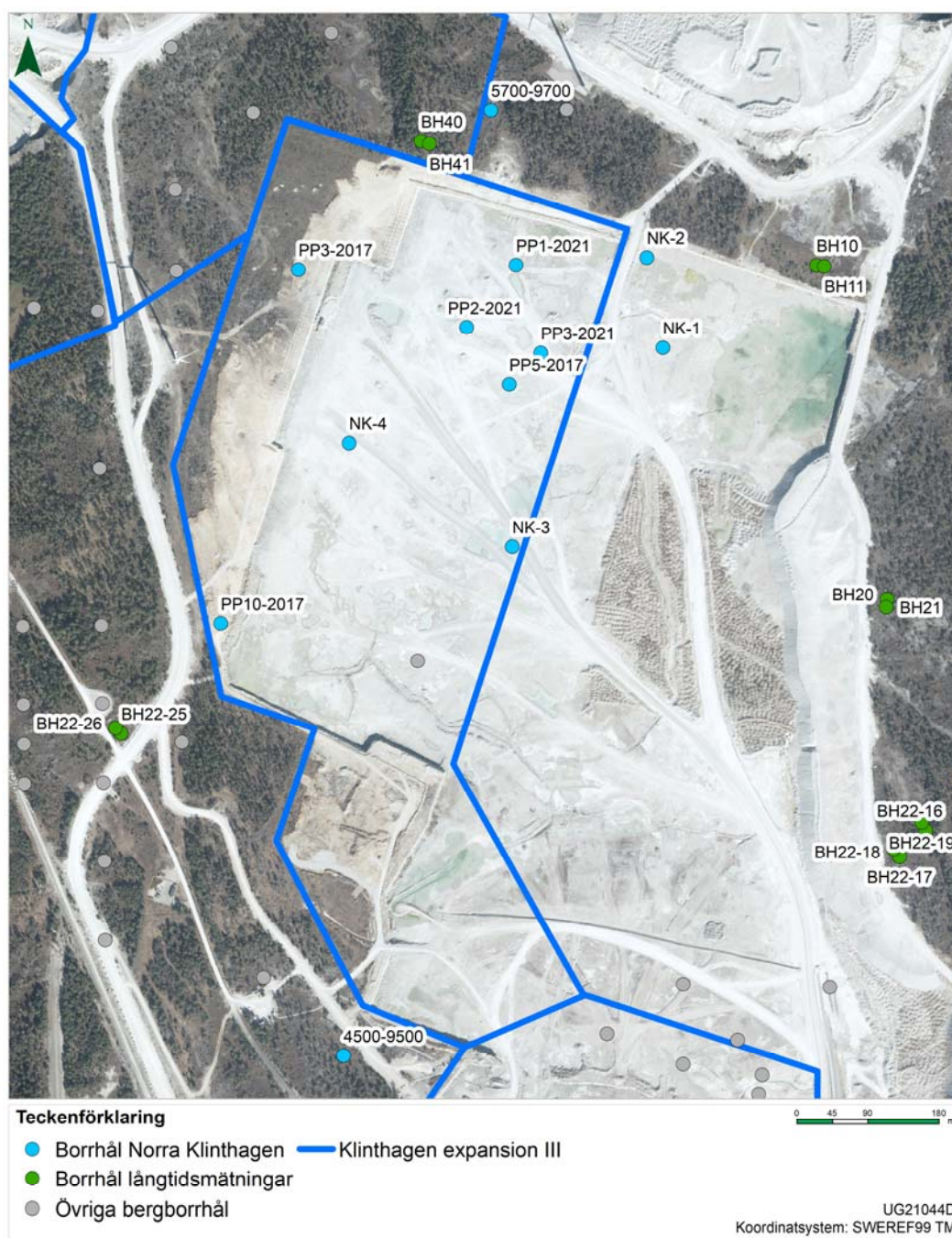
2.3.1 Observationspunkter

I området har 22 borrhål använts för de hydrogeologiska utredningarna, se Tabell 14 och Figur 14. Strax söder om Norra Klinthagen finns ytterligare ett flertal borrhål där tester är utförda, dessa redovisas under avsnitt 2.4 *Område Centrala Klinthagen*.

Tabell 14. Borrhål i anslutning till Norra Klinthagen som har använts för de hydrogeologiska utredningarna.

Borrhål	Djup (m)	Bottennivå (m, RH2000)
5700-9700	30	8
4500-9500	30	+1
BH10	6	+28
BH11	30	+4
BH20	6	+31
BH21	30	+7
BH30	6	+30
BH31	30	+7
BH40	10	+28
BH41	30	+8
BH22-25	32	-4
BH22-26	8	+20
NK-1	27	+1
NK-2	28	+1
NK-3	26	+1
NK-4	25	+3
PP1-2021	28	+1

Borrhål	Djup (m)	Bottennivå (m, RH2000)
PP3-2021	26	+3
PP2-2021	28	+1
PP3-2017	30	+8
PP5-2017	15	+13
PP10-2017	15	+15



Figur 14. Borrhål i anslutning till Norra Klinthagen som har använts för hydrauliska tester.

2.3.2 Grundvattennivåobservationer

Inom område Norra Klinthagen har grundvattennivåobservationer utförts i borrhål, etablerade både innanför och utanför utbruten täkt. Norr, öster och väster om den redan brutna täkten finns både grunda (6-10 m) och djupa (ca 30 m) borrhål där nivåobservationer har mätts och loggats kontinuerligt sedan flera år tillbaka. Nivåobservationerna de senaste tio åren i direkt anslutning norr om tätkant visar på grundvattennivåer som varierar mellan ca +15 m och +32 m i de djupa borrhålen. I de grunda borrhålen har nivåerna varierat mellan +33 m och +37 m under de senaste tio åren. Väster om Norra Klinthagen har nivåobservationer utförts sedan våren 2022 och de visar på grundvattennivåer mellan +15 m och +25 m i det djupa magasinet och mellan +26 m och +26,5 m i det grunda magasinet. Nivåobservationer under 2022 redovisas i Bilaga 1 *Grundvattennivåobservationer*. Generellt är grundvattentrycket högre i den ytliga bergmassan än i den djupa. Grundvattennivåer uppmätta i de grunda borrhålen för långtidsobservationer ligger ovan intilliggande brytnivåer. Grundvattennivåer i de djupa borrhålen fluktuerar ovan och under brytnivå beroende på årstid och nederbörd.

Inom den utbrutna täkten låg nivåerna i maj 2021 mellan ca +19 m, som uppmättes vid torr väderlek och +24 m, som uppmättes efter nederbörd. Vid torr väderlek i maj 2021 låg grundvattennivån i flertalet borrhål ca 9 m under täktbotten. Enstaka borrhål uppvisar även grundvattennivåer som ligger mellan 3 m och 13 m under markytan vid torr väderlek.

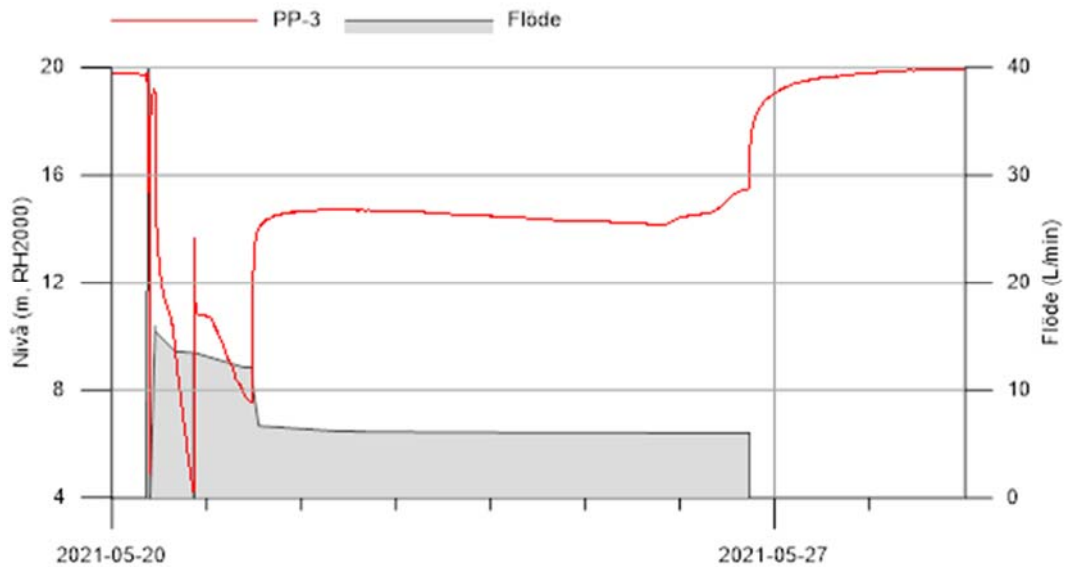
Vid borrningen av PP3-2017 observerades en vattenförande spricka på ca 27,5 m djup, motsvarande nivå + 10 m, vars flöde dock ej kunde fastställas.

2.3.3 Provpumpning 2021

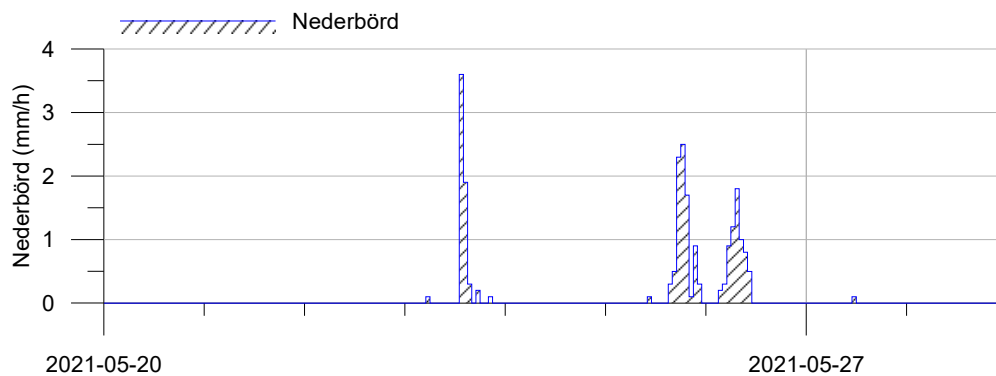
I maj 2021 utfördes en provpumpning inom området Norra Klinthagen. Pumpbrunnen bestämdes utifrån pulstester i borrhål PP1-2021, PP2-2021 och PP3-2021, vilket redovisas under avsnitt 2.3.4 Hydrauliska korttidstest. PP3-2021 valdes till pumpbrunn på grund av lämplig placering och genomsläpplighet.

Provpumpningen pågick under sex dagar. Inledningsvis ställdes pumpflödet in på ca 40 l/min men stängdes snabbt av då en för stor avsänkning uppstod med inställt flöde. Nivån återhämtade sig efter ca 30 minuter till 0,5 m under ursprunglig nivå innan pumpning återigen startades med flödet 16 l/min, se Figur 15. Samma kväll avbröts pumpningen under 10 minuter då dieselgeneratoren kort stängdes av vid tankning. Flödet sjönk sedan till ca 12 l/min under de nästkommande 24 timmarna.

Dagen efter pumpstart sänktes pumpflödet från 12 l/min till 6 l/min, på grund av för stora nivåavsänkningar i pumpbrunnen. Med ett medelflöde på 6 l/min pumpades sedan brunnen till dess att provpumpningen avslutades, se Figur 15.



Figur 15. Nivå och flöde i pumpbrunnen PP3-2021.



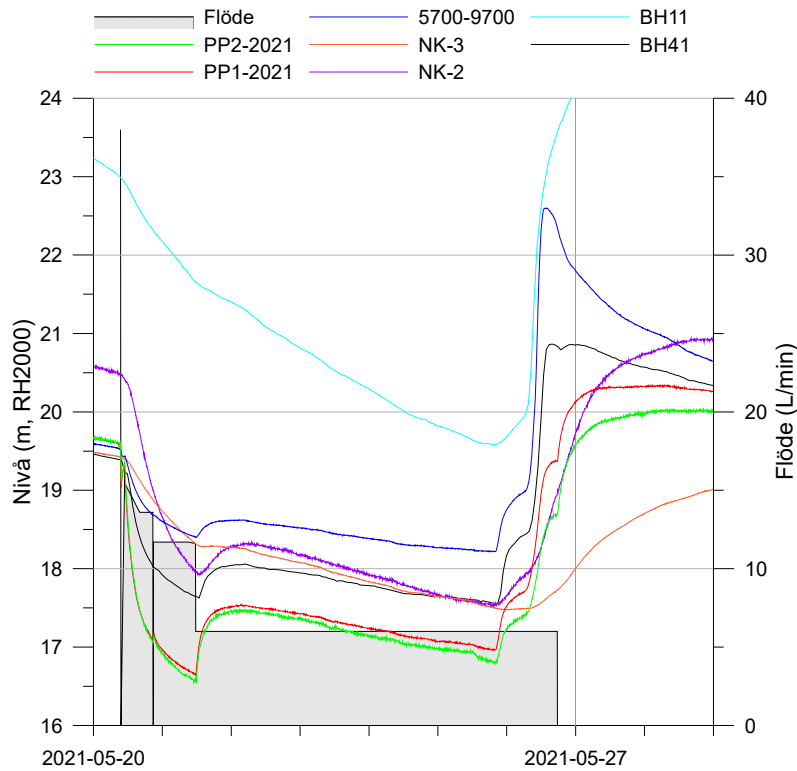
Figur 16. Nederbörd per timme vid SMHI:s mätstation Fårösund Ar A.

Den nederbörd som registrerades vid mätstationen Fårösund Ar A den 23 maj, se Figur 15, föll ej över Klinthagentäkten (noterat av fältpersonal på plats) dock stämmer tiderna för ymnig nederbörd den 25 och 26 maj väl överens med vad som noterades av fältpersonal på plats i Klinthagentäkten. Regnet som föll under dessa två dagar ledde till en markant nivåhöjning i de flesta observationspunkter samt i pumpbrunnen, se Figur 15 och Figur 17.

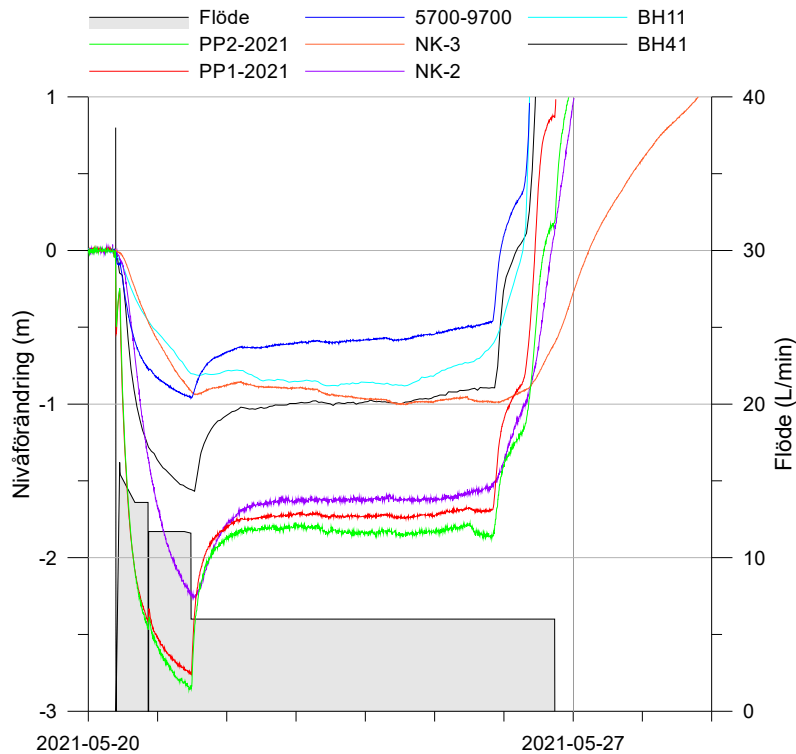
I pumpbrunnen PP3-2021 låg grundvattenytan på nivå ca +20 strax innan pumpningen startade, vilket är ca 8,5 m under befintlig täktbotten och en sjunkande trend fanns i magasinet. En liknande sjunkande trend kunde observeras i flertalet observationspunkter. Avsänkningen i pumpbrunn och samtliga påverkade observationsbrunnar justerades individuellt mot den naturliga sjunkande trend som observerades i respektive borrhål före teststart. Nivåjusteringen gjordes genom att subtrahera trenden före teststart från nivådata, på så vis antas första delen av testet

ge en mer rättvis bild av den faktiska avsänkningen orsakad av pumpning, se Figur 17 för uppmätt nivå och Figur 18 för justerad nivåförändring.

Respons från pumpning i PP3-2021 observerades i sju observationspunkter inom en radie av ca 370 m från PP3-2021, se Figur 20. Störst avsänkning påvisades under första pumpperioden då flödet låg mellan 12 - 16 l/min, se Figur 17 och Figur 18.



Figur 17. Nivå i samtliga påverkade observationspunkter samt pumpflödet i PP3-2021.

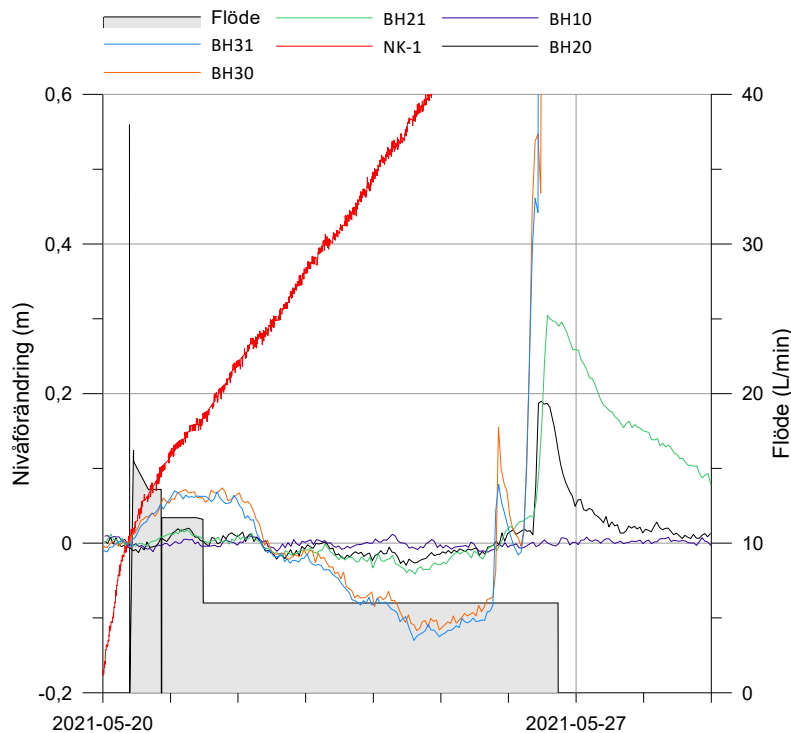


Figur 18. Nivåförändring i samtliga observationspunkter påverkade av pumpning i PP3-2021. Samtliga nivåer är justerade mot bakgrundstrenden.

I både pumpbrunn och samtliga observationspunkter var det tydligt att nederbörden som föll mellan 2021-05-25 och 2021-05-26 resulterade i en betydande nivåhöjning i magasinet. Grundvattennivån i merparten av observationspunkterna steg till följd av nederbörden till en högre nivå än nivån före pumpstart, trots pågående pumpning. Detta gällde för samtliga påverkade observationsborrhål förutom NK-3 som inte visade lika stor respons på nederbörden. Eftersom samtliga dataserier kompenserats för den sjunkande trend som påvisades före pumpstart, blir effekten av nederbörden under pumptest förstärkt i det justerade datasetet. Med anledning av det användes endast första halvan av pumptestet för utvärdering av hydraulisk konduktivitet och magasinskoefficient.

Nivån i de påverkade observationspunkterna låg före pumpstart mellan +19,5 m och +23 m. Störst avsänkning till följd av pumpning gavs i PP1-2021 och PP2-2021 som sänktes av med ca 3 m från ca +19,5 till +16,5 m, punkterna ligger ca 80 m norr respektive 120 m väst om pumpbrunnen. Observationspunkten som visade störst avsänkning i relation till avstånd från pumpbrunn är BH41 belägen ca 300 m nordväst om pumpbrunnen, utanför täkten. Nivån i BH41 sänktes av med ca 1,6 m under den första delen av provpumpningen, se Figur 17 och Figur 18. Även 375 m nordost om pumpbrunn kunde respons ses i det djupa bergborrhålet BH11, avsänkningen efter justering uppgick till ca 0,8 m.

Inga av de ytliga borrhålen, BH10 nordöst om tätkanten eller BH20 och BH30 öster om tätkanten påvisade någon respons från provpumpningen. Inte heller de djupa borrhålen BH21 och BH31 öster om tätkanten visade någon respons från provpumpningen. Nivåförändringen i dessa borrhål samt övriga ej påverkade borrhål kan ses i Figur 19. Grundvattennivån i NK-1 låg vid pumpstart ca 14 m lägre än nivån i pumpbrunnen. Nivåerna i NK-1 har vid pumpstart troligtvis ej återhämtat sig efter etableringen av borrhålet, vilket tyder på ett väldigt tätt berg.



Figur 19. Nivåförändring i de brunnar som bedömts vara opåverkade av pumpning tillsammans med pumpflöde i PP3-2021.



Figur 20. Respons från provpumpning i pumpbrunn PP3-2021.

Den hydrauliska transmissiviteten (T) samt magasinskoefficienten (S) för varje enskilt påverkat håll redovisas i Tabell 15. Utvärderingen har gjorts med Theis lösningsmetod för slutna akvifärer (1935) vilket även redovisas i Bilaga 3 AQTESOLV. Som jämförelse har även utvärdering gjorts med Papadopulos & Cooper (1967) lösningsmetod för slutna akvifärer, med samstämmiga resultat.

I Tabell 16 redovisas hydraulisk transmissivitet och magasinskoefficient baserad på en integrerad analys mellan PP1-2021, PP2-2021 och BH41.

Tabell 15. Utvärderad hydraulisk transmissivitet samt magasinskoefficient i de enskilda påverkade borrhålen utvärderat enligt Theis (1935).

Borrhål	T (m^2/s)	S (-)
PP3-2021	1E-5	-
PP2-2021	3E-5	1E-5
PP1-2021	3E-5	7E-6
NK-2	1E-5	2E-5
NK-3	2E-5	3E-5
BH41	3E-5	5E-6
5700-9700	5E-5	7E-6
BH11	4E-5	1E-5

Tabell 16. Utvärderad hydraulisk transmissivitet samt magasinskoefficient baserad på integrerad analys av borrhålen PP1-2021, PP2-2021 samt BH41.

Borrhål	T (m ² /s)	S (-)
PP1-2021, PP2-2021 och BH41	3E-5	7E-6

2.3.4 Hydrauliska korttidstest

Inom området har hydrauliska korttidstest i form av pulstest genomförts, se Tabell 17. I fem av borrhålen genomfördes pulstesten som sektionerade test för att bedöma kalkstenens egenskaper på olika nivåer.

Tabell 17. Borrhål med utförda korttidstest i området Norra Klinthagen.

Borrhål	Typ av test	År för utförande av test
4500-9500	Sektionerat pulstest	2017
NK-1	Pulstest	2021
NK-2	Pulstest	2021
NK-3	Sektionerat pulstest	2021
NK-4	(Pulstest, borrhål rasat och tryckdata förlorat)	2021
PP1-2021	Sektionerat pulstest	2021
PP2-2021	Pulstest (endast manuella mätningar)	2021
PP3-2017	Sektionerat pulstest	2017
PP3-2021	Pulstest	2021
PP5-2017	Pulstest	2017

Hydraulisk konduktivitet har utvärderats med metod enligt Cooper et. al (1967) samt enligt Hvorslev (1951) och redovisas i Tabell 18. Samtliga erhållna resultat enligt metod Cooper et. al (1967) beskrivs nedan och är sammanställda i Figur 21.

Borrhålen PP1-2021 och NK-1 som testades sektionervis mellan +1 m och +8 m respektive +1 m och +13 m visade på ett väldigt tätt kalkberg på detta djup. Testerna gick ej att utvärdera p.g.a. deras långsamma återhämtning. Även det djupare berget i borrhålen NK-3 samt 4500-9500 visar på liknande egenskaper. Borrhålen pulstestades mellan +1 m till +6 m respektive +1 m till +10 m och visar på en hydraulisk konduktivitet på omkring 1E-8 m/s respektive 6E-8 m/s.

NK-2, visar också på en relativt låg genomsläpplighet, med en hydraulisk konduktivitet på omkring 5E-8 m/s mellan nivå +1 m och +21 m.

PP2-2021 samt PP3-2021 pulstestades mellan nivå +1 m till +20 m respektive +2 m till +21 m. Båda pulstesterna visade på relativt genomsläppligt berg med en hydraulisk konduktivitet på 2E-6 m/s och 1E-6 m/s. PP5-2017, nära PP3-2021, pulstestades mellan nivå +13 m till + 28 m utan någon återhämtning alls. Borrhålet bedöms därför i motsats till PP3-2021, vara mycket tätt.

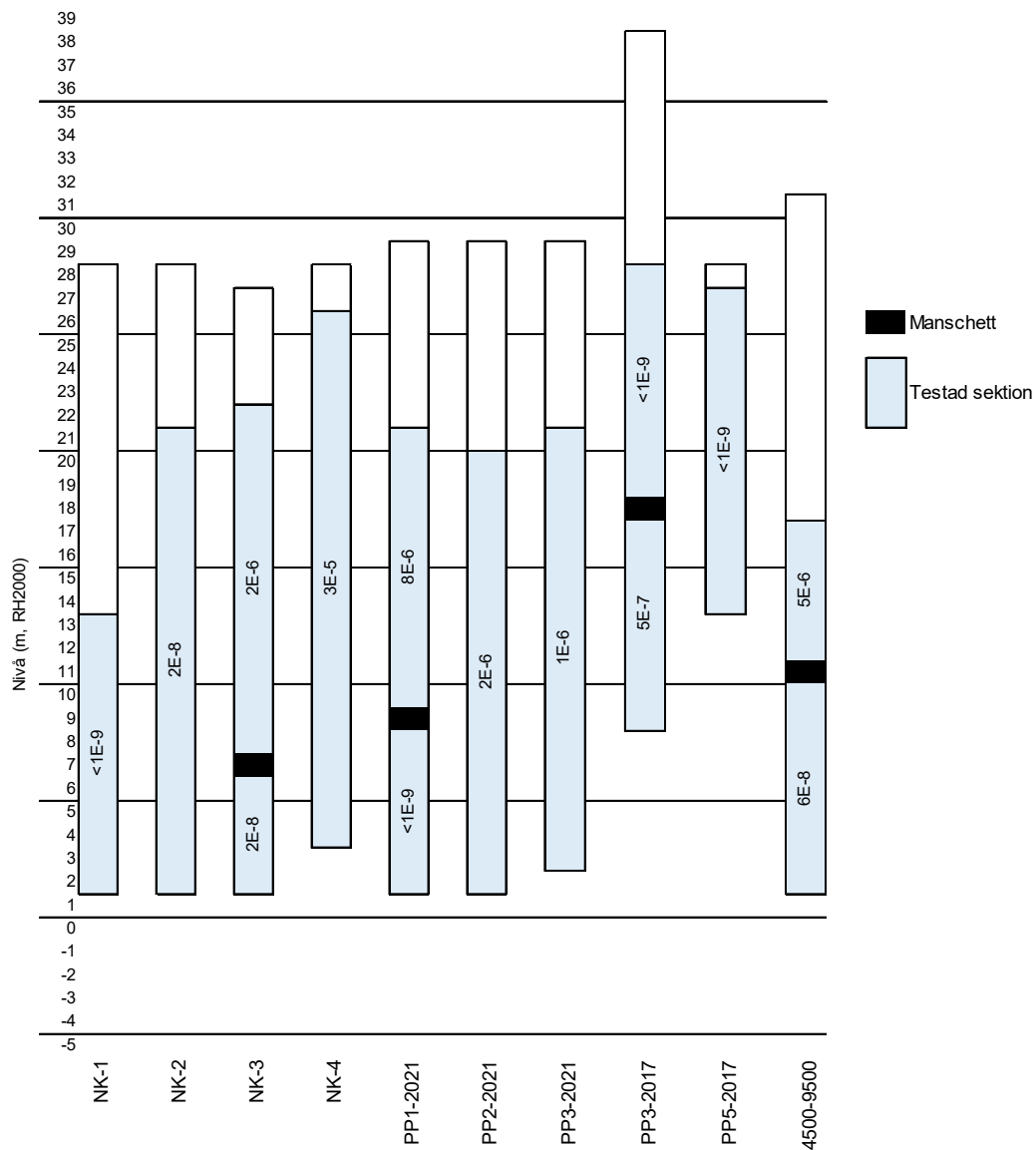
Det ytligare berget i den befintliga tåkten (dessa nivåer motsvarar alltså "djupt berg" om tåkten inte hade varit utbruten) som testades mellan nivåerna +9 och +21 samt mellan +7 m och +22 m med hjälp av manschetter i PP1-2021 respektive NK-3 visar på en högre hydraulisk konduktivitet än tidigare redovisade borrhål, på omkring 1E-6 – 8E-6 m/s. Även 4500-9500 visade sig ha en högre hydraulisk konduktivitet i den övre delen av borrhålet mellan nivå +11 m till +17 m på ca 5E-6 m/s.

I PP3-2017 utfördes ett sektionerat pulstest mellan +8 m till +17 m samt mellan +18 m till +28 m. Testet visade på ett relativt genomsläppligt berg i den djupare delen med en hydraulisk konduktivitet kring 5E-7 m/s. Den ytligare delen av borrhålet saknade helt återhämtning vid tillförsel av vatten och bedöms därför vara mycket tät.

Pulstestet i NK-4 visar på en extremt snabb återhämtning, vilket bedöms bero på uppsprucket berg i ytan från tidigare sprängning. På grund av den direkta återhämtningen av puls var testet svårt att utvärdera, men indikativa värden visar på en hydraulisk konduktivitet kring 3E-5 m/s. Borrhålet pulstestades mellan nivå +3 m och +26 m.

Tabell 18. Hydraulisk konduktivitet (m/s) i testade borrhål i området Norra Klinthagen.

Borrhål	Typ av test	Testad sektion (m, RH2000)	Hvorslev (1951)	Cooper et al. (1967)
NK-1	Pulstest	+1 till +13	Mycket långsam återhämtning, ej möjlig att utvärdera. Bedöms som mycket tät.	
NK-2	Pulstest	+1 till +21	3E-8	5E-8
NK-3	Sektionerat pulstest	+7 till +22	1E-6	2E-6
		+1 till +6	9E-9	2E-8
NK-4	(Pulstest, borrhål rasat och tryckdata förlorat)	+3 till +26	3E-5	3E-5
PP1-2021	Sektionerat pulstest	+9 till +21	8E-6	8E-6
		+1 till +8	Långsam återhämtning, ej möjlig att utvärdera. Bedöms som mycket tät.	
PP2-2021	Pulstest	+1 till +20	2E-6	2E-6
PP3-2017	Sektionerat pulstest	+18 till +28	Långsam återhämtning, ej möjlig att utvärdera. Bedöms som mycket tät.	
		+8 till +17	2E-6	5E-7
PP3-2021	Pulstest	+2 till +21	4E-6	1E-6
PP5-2017	Pulstest	+13 till +28	Ingen återhämtning. Bedöms som mycket tät.	
4500-9500	Sektionerat pulstest	+11 till +17	8E-6	5E-6
		+1 till +10	3E-8	6E-8



Figur 21. Hydraulisk konduktivitet (m/s) utvärderat enligt Cooper et.al (1967). Figur redovisar borrhålsdjup, testade sektioner och var manschetten är placerad.

2.4 Område Centrala Klinthagen

Centrala Klinthagen utgörs helt av tidigare utbruten täkt till nivåer mellan +10 m och +24 m. Norr om området angränsar Norra Klinthagen som i stort utgörs av utbruten täkt till nivåer mellan +22 m och +29 m. Syd och sydväst om Centrala Klinthagen angränsar området till täktsjöarna Pall 2-sjön samt Polenhålet. Sydöst om området angränsar obruten mark med marknivå kring +30 m till +40 m och öster om väg 148 ligger bostadsområdet Takstens. Området öster om Centrala Klinthagen utgörs av redan utbruten täkt med brytnivå mellan +23 m och +25 m. Väster om området angränsar obruten mark med marknivå kring +30 m till +33 m.

Området domineras av krinoidékalksten. Kalkstenen är hårdbankad och kännetecknas av tunna (ca 1 mm tjocka) lermellanlager med ca 3-7 centimeters intervall. Kalkstenen är ofta stylolitisk med svarta lerskikt på lagerplanen. Området uppvisar mestadels en homogen och jämn lagerföljd, förutom längst i öster och söder där både rev- och fragmentkalksten dominerar. Österut ökar revkalkstenen i tjocklek och når en mäktighet på över 15 m. Bottnen på revkroppen är inte nådd i borrhningarna. Längst i söder förekommer rikligt med en fragmentkalksten, vilken är hårt konsoliderad och cementserad. Denna fragmentkalksten markerar randområdet till den revkropp som numera är utbruten, men som täckte hela Pall-2-sjöområdet.

Längst i norr kan man i borrhningarna se en skarp kontakt mellan mägersten i norr och krinoidékalksten söderom. Norrut kan man observera stromatoroidékalkstenen överst i lagerföljden, men denna ligger utanför det ansökta brytområdet.

Följande undersökningar har utförts inom område Centrala Klinthagen:

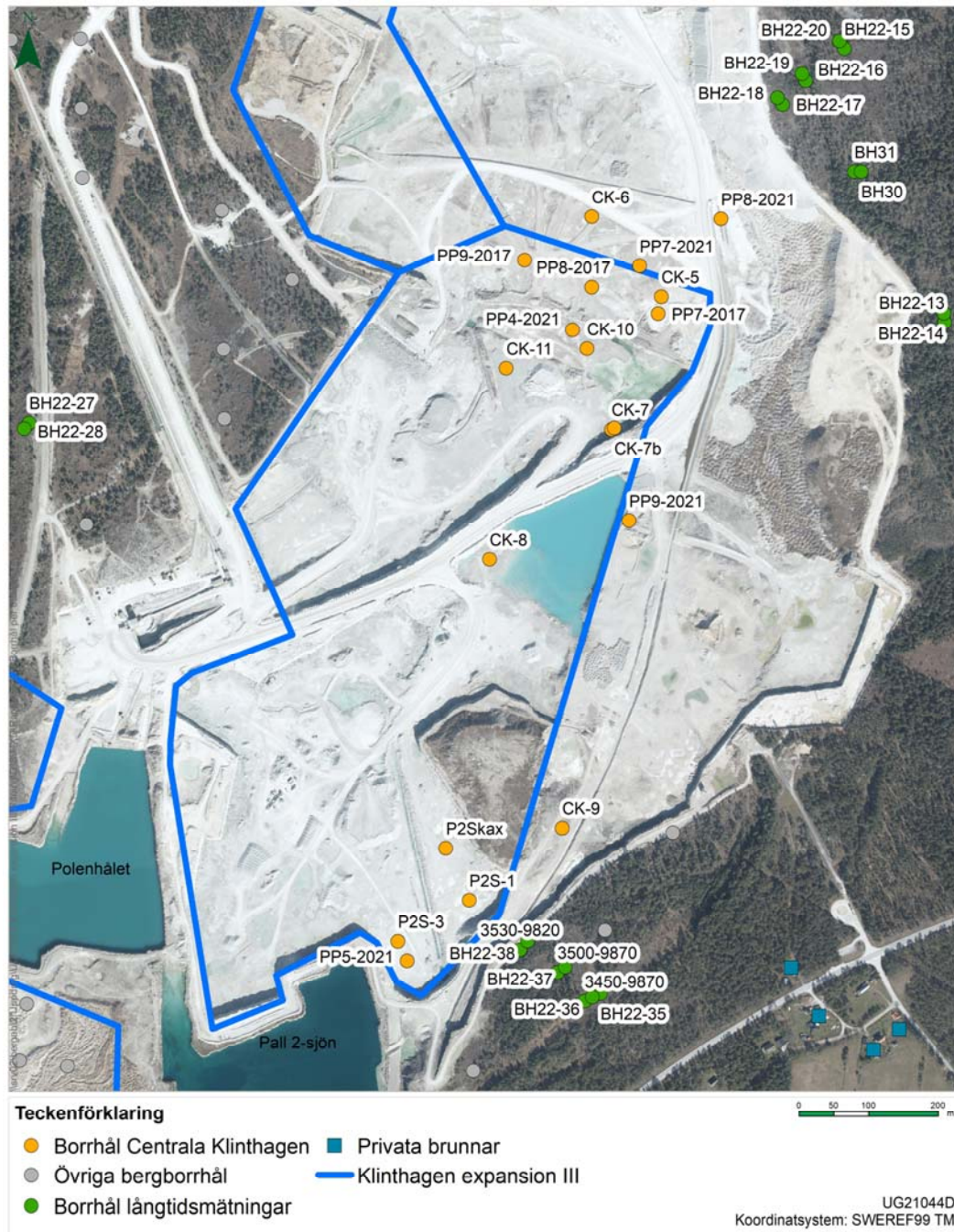
- Grundvattennivåobservationer
- Provpumpning 2021
- Hydrauliska korttidstest med och utan manschett 2017 och 2021

2.4.1 Observationspunkter

I området har 23 borrhål använts för de hydrauliska testerna och ytterligare 14 borrhål har använts för grundvattennivåobservationer, se samtliga i Tabell 19 och Figur 22. Direkt sydöst om Centrala Klinthagen finns ytterligare ett flertal borrhål där tester är utförda, dessa redovisas under avsnitt 2.5 *Område Takstens*.

Tabell 19. Borrhål i anslutning till Centrala Klinthagen som har använts för de hydrogeologiska utredningarna.

Borrhål	Djup (m)	Bottennivå (m, RH2000)
PP4-2021	10	+1
PP5-2021	10	+0
PP7-2021	23	+0
PP8-2021	22	+2
PP9-2021	22	+1
CK-10	10	+1
CK-11	9	+1
CK-5	20	+1
CK-6	20	+4
CK-7	10	+1
CK-7b	10	+1
CK-8	10	+1
CK-9	25	-5
TA-10	13	+20
TA-11	17	+20
P2Skax	15	-4
P2S-1	15	-5
P2S-3	15	+4
3530-9820	31	+4
3500-9870	30	+6
3450-9870	30	+7
BH30	6	+30
BH31	30	+7
BH22-13	38	-1
BH22-14	8	+30
BH22-15	38	+0
BH22-16	38	+0
BH22-17	39	+1
BH22-18	8	+32
BH22-19	8	+31
BH22-20	8	+30
BH22-27	33	-5
BH22-28	10	+18
BH22-35	39	-1
BH22-36	8	+29
BH22-37	7	+29
BH22-38	7	+28



Figur 22. Borrhål i anslutning till Centrala Klinthagen som har använts för hydrauliska tester.

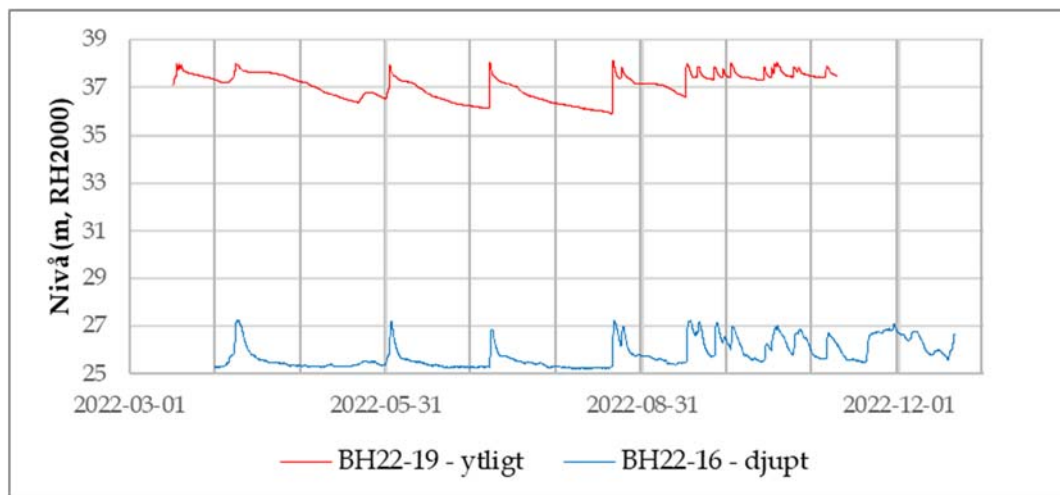
2.4.2 Grundvattennivåobservationer

Område Centrala Klinthagen är sedan tidigare brutet täktområde, med brytnivåer mellan +10 m och +24 m. Grundvattennivåerna uppmätta i samband med utförda hydrauliska tester 2017 och 2022 inom Centrala Klinthagen ligger generellt mellan +7 m och +23 m, med enstaka uppmätt lägstanivå på +2,5 m. I flertalet bergborrhål som ligger inom täktdelarna med brytnivå omkring +10 m ligger grundvattenytan

mellan 0,5 m till 1,5 m under täktbotten, dvs. på nivåer mellan +9 m och +10 m. Enstaka bergborrhål uppvisade en vattennivå omkring +7,5 m.

På den obrutna marken nordost, öster och söder om Centrala Klinthagen finns ett borrhålspar (BH30 och BH31) där mätning av grundvattennivå har skett sedan flera år tillbaka samt ett antal borrhålspar som etablerades 2022 och där kontinuerlig mätning och loggning av grundvattennivå har utförts sedan våren 2022, se lägen för långtidsmätningar i Figur 22. Grundvattennivåmätningar redovisas i Bilaga 1 *Grundvattennivåobservationer*. De nya djupa borrhålen är avskärmade från ytligt berg genom gjutning och/eller foderrör och representerar därför endast trycknivåer i det djupa berget. Det äldre djupa borrhålet BH31 är inte avskärmat i ytan.

I de borrhålspar där det finns en avskärmning från ytligt berg i de djupa borrhålen kan en tydlig tryckskillnad observeras mellan det ytliga och djupa berget, se exempelvis Figur 23 men även Bilaga 1 *Grundvattennivåobservationer*. Nivåerna i det djupa berget ligger generellt lägre än i det ytliga.



Figur 23. Grundvattennivåer i borrhålspar BH22-16 och BH22-19 norr om brytområde Centrala Klinthagen.

Observerade grundvattennivåer väster om Centrala Klinthagen fluktuerar mellan +13,5 m och +22 m i det djupa och mellan +23 m och +27 m i det ytliga berget. Observerade grundvattennivåer i BH22-13 och BH22-14 öster om täktområdet fluktuerar mellan +28 m och +35 m i det djupa och mellan +31 m och +36 m i det ytliga berget.

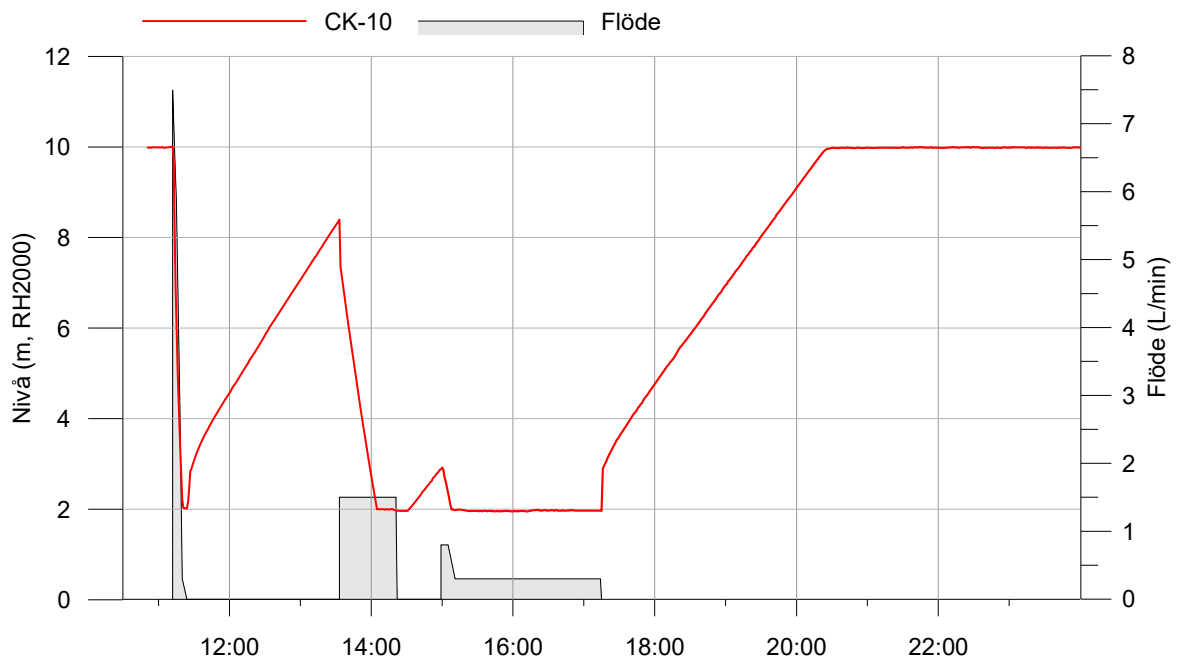
2.4.3 Provpumpning 2021

I maj 2021 utfördes en provpumpning inom område Centrala Klinthagen. Valet av pumpbrunn CK-10 gjordes utifrån en sammanvägd bedömning av pulstester och placering av brunnar i området. Pulstesterna redovisas under Hydrauliska korttidstest 2.4.4.

Provpumpningen i CK-10 pågick under ca sex timmar den 21 maj 2021.

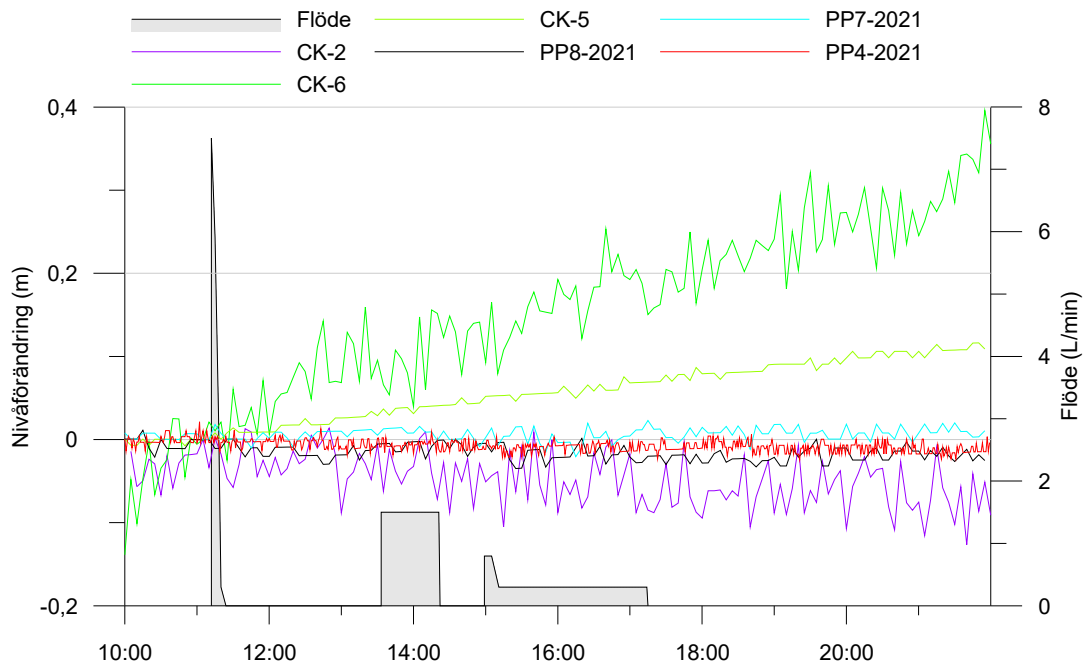
Provpumpningen startades med ett flöde på ca 7,5 l/min men reglerades under de

första minuterna ner till ca 3 l/min. Efter några minuter gick brunnen torr, trots flödesminskningen och pumpningen avbröts. Ca två timmar senare återupptogs pumpningen igen med ett flöde på ca 1,5 l/min innan brunnen gick torr igen. Pumpning startades därefter ännu en gång med ännu lägre flöde på ca 0,8 l/min. Trots det låga flödet gick pumpen återigen torr och stängdes av efter att pumpen tömt borrhålet på vatten till pumpens nivå under ca 2 timmars tid, se Figur 24. Ingen nederbörd föll i anslutning till testet.



Figur 24. Nivå samt pumpflöde i pumpbrunnen CK-10. Tryckgivaren hängde på nivå +2 m och kunde därför inte registrera ner till nivå ca +1,5 m där pumpens inflöde låg.

Före pumpning påbörjades låg grundvattenytan i pumpbrunnen ca 1 m under täktbotten, på nivå +10 m. Under pumpning sänktes grundvattenytan i omgångar till ca +1,5 m men då tryckgivaren hängde ca 0,5 m ovan pumpen syns ingen avsänkning under nivå +2 m. På grund av låg kapacitet i brunnen gick det inte att pumpa med tillräckligt lågt flöde utan att pumpen gick torr. Nivå bevakades i sju närliggande observationsbrunnar men ingen nivåförändring kopplad till pumpning kunde observeras. PP9-2021 redovisas ej då nivån i denna brunn fortfarande var påverkad av borrhålets avhållning, nivåförändringen i övriga observationspunkter redovisas i Figur 25.



Figur 25. Nivåförändring i samtliga observationspunkter förutom PP9-2021.

Då ingen observationspunkt visade någon respons från pumpning kunde inte någon utvärdering göras för det aktuella området. Pumpbrunnen utvärderades med hjälp av Papadopulos-Coopers lösningsmetod och gav en hydraulisk transmissivitet (T) på ca $2E-6 \text{ m}^2/\text{s}$ och en magasincoeffcient (S) på ca $8E-11$. Då magasincoeffcienten baseras på utvärdering av endast en observationspunkt är den mycket osäker. I kombination med ett mycket lågt magasininstal, en relativt hög transmissivitet och en total avsänkning av pumpbrunnen vid ett väldigt litet flöde tyder på ett relativt genomsläppligt, men mycket litet grundvattenmagasin. Samtliga observationspunkter som användes vid testet redovisas i Figur 26.



Figur 26. Respons från provpumpning i CK-10.

2.4.4 Hydrauliska korttidstest

Inom området har hydrauliska korttidstest i form av pulstest genomförts, se Tabell 20. I ett av borrhålen genomfördes pulstestet som ett sektionerat test för att bedöma kalkstensens egenskaper på olika nivåer. I ett av borrhålen har även ett trycknivåtest med manschett genomförts.

Tabell 20. Borrhål med utförda korttidstest i området Centrala Klinthagen.

Borrhål	Typ av test	År för utförande av test
CK-7b	Pulstest	2021
CK-8	Pulstest	2021
CK-9	Pulstest	2021
CK-10	Pulstest	2021
CK-11	Pulstest	2021
P2S-1	Pulstest, sektionering av borrhål	2021
P2S-kax	Pulstest	2021
P2S-3	Pulstest	2021
PP7-2017	Pulstest	2017
PP8-2017	Sektionerat pulstest	2017
PP9-2017	Pulstest	2017
PP4-2021	Pulstest	2021
PP5-2021	Återhämtning från borning, pulstest	2021
PP9-2021	Återhämtning från borning, pulstest	2021

Hydraulisk konduktivitet har utvärderats med metod enligt Cooper et. al (1967) samt enligt Hvorslev (1951) och redovisas i Tabell 21. Samtliga erhållna resultat enligt metod Cooper et. al (1967) beskrivs nedan och är sammanställda i Figur 27.

Pulstest som utfördes i CK-7b, CK-11, P2S-1 och PP8-2017, visade på en så pass snabb återhämtning av pulsen så att en kvantitativ utvärdering av testet ej var möjlig. Sektionerade pulstestet i PP8-2017 visar tydligt på att det är förekommande ytliga sprickor (1-3 m under markyta) med hög hydraulisk konduktivitet som leder till denna snabba reduktion av den skapade vattenpulsen. Dessa ytliga sprickor bedöms kunna ha uppstått i samband med tidigare brytning. Tidigare använd brytmetod inom stora delar av Centrala Klinthagen ledde till uppsprucket kvarlämnat ytberg.

De ytterligare två testade sektionerna i PP8-2017 omfattande bergets nivåer mellan +6 m till +10 m och mellan +6 m till +17 m. Pulstesterna i dessa båda sektioner gav en utvärderad hydraulisk konduktivitet på $1E-6$ m/s.

I bergborrhålet P2S-1, som också visade på en ytlig spricka med god vattenförande förmåga, utfördes även grundvattennivåmätningar i samband med sektionering av borrhålet. Resultaten redovisas senare i detta kapitel och i Figur 28.

Pulstest som utfördes i P2S-3 och P2Skax utvärderas till en hydraulisk konduktivitet på $2E-7$ m/s respektive $4E-7$ m/s. Båda pulstesterna visade på en tydlig skillnad mellan uppmätt puls och teoretisk puls vid utförandet av pulstest. Detta innebär att en stor del av pulsen har återhämtats innan loggning av tryckförändring har hunnit ske, vilket kan tyda på en ytlig spricka i borrhålen med hög hydraulisk konduktivitet, alternativt att borrhålsvolymen är större än angiven (vilket exempelvis kan bero på utfall i borrhålet).

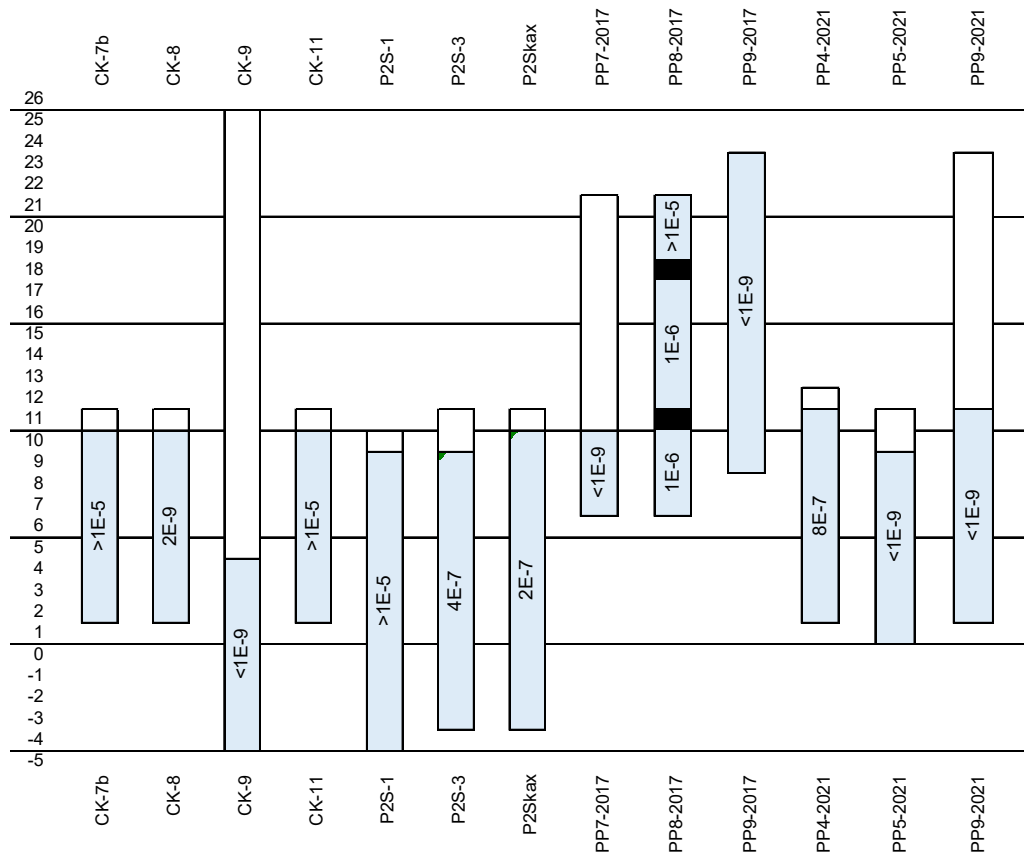
I CK-8, i den mellersta delen av Centrala Klinthagen, utfördes ett pulstest. Pulstestet visade på en tät bergmassa mellan +1 m och +10 m med en utvärderad hydraulisk konduktivitet på $2E-9$ m/s.

I borrhålen CK-9, CK-10, PP7-2017, PP9-2017, PP5-2021 samt PP9-2021 utfördes pulstest där ingen återhämtning av pulsen kunde observeras. Bergmassan omkring dessa borrhål bedöms därför som mycket tät. Borrhålen ligger fördelade inom Centrala Klinthagen.

Pulstestet i PP4-2021 visade de första fem minuterna ingen återhämtning alls, för att sedan börja återhämta sig. Återhämtningskurvan utvärderades och gav en hydraulisk konduktivitet på $8E-7$ m/s. Borrhålets fördröjda respons på pulsen har inte kunnat förklaras.

Tabell 21. Hydraulisk konduktivitet (m/s) i testade borrhål i området kring Centrala Klinthagen.

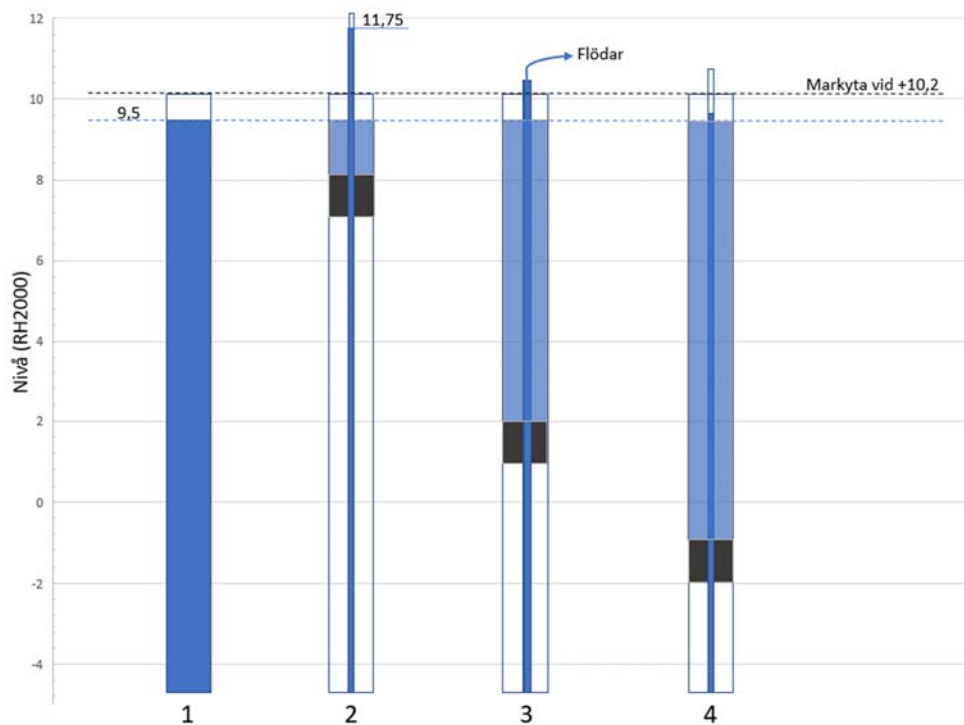
Borrhål	Typ av test	Testad sektion (m, RH2000)	Hvorslev (1951)	Cooper et al. (1967)
CK-7b	Pulstest	+1 till +10	Mycket snabb respons, puls hann ej observeras. För snabb för att utvärdera, bedöms som mycket genomsläppligt.	
CK-8	Pulstest	+0,8 till +10	6E-9	2E-9
CK-9	Pulstest	-5 till +4	Ingen återhämtning, ej möjlig att utvärdera. Bedöms som mycket tätt.	
CK-11	Pulstest	+1 till +10,2	Snabb återhämtning, bedöms som mycket genomsläpplig. Indikativt k-värde 2E-5.	
P2S-1	Pulstest	-5 till +10	Momentan återhämtning, bedöms som mycket snabbt. Kontakt med bortledande spricka 0,7 m under markyta.	
	Sektionerade grundvattennivåmätningar	-4,5 till +9,5	En spricka förekommer under nivå +9,5 med en grundvattentrycknivå på 2 meter över marknivå. Se vidare test i Figur 28.	
P2Skax	Pulstest	-4 till +10	2E-7	4E-7
P2S-3	Pulstest	-4 till +9	2E-7	2E-7
PP7-2017	Pulstest	+6 till +10	Ingen återhämtning, ej möjlig att utvärdera. Bedöms som mycket tätt.	
PP8-2017	Sektionerat pulstest	+18 till +21	Snabb återhämtning, ej möjlig att utvärdera. Bedöms som mycket genomsläppligt.	
		+6 till +17	5E-7	1E-6
		+6 till +10	1E-6	1E-6
PP9-2017	Pulstest	+8 till +23	Ingen återhämtning, ej möjlig att utvärdera. Bedöms som mycket tätt.	
PP4-2021	Pulstest	+1 till +11	4E-7	8E-7
PP5-2021	Återhämtning från borring, pulstest	+0 till +9	Ingen återhämtning, ej möjlig att utvärdera. Bedöms som mycket tätt.	
PP9-2021	Återhämtning från borring, pulstest	+1 till +11	Ingen återhämtning, ej möjlig att utvärdera. Bedöms som mycket tätt.	



Figur 27. Hydraulisk konduktivitet (m/s) utvärderat enligt Cooper et al. (1967). Figur redovisar borrhålsdjup och testade sektioner.

Pulstesterna i P2S-3 och P2Skax visade på en tydlig skillnad mellan uppmätt puls och teoretisk puls vid utförandet av pulstest. Detta innebär att en stor del av pulsen har återhämtats innan loggning av tryckförändring har hunnit ske, vilket kan tyda på en ytlig spricka i borrhålen med hög hydraulisk konduktivitet, alternativt att borrhålsvolymen är större än angiven (vilket exempelvis kan bero på utfall i borrhålet).

De båda borrhålen CK-9 och PP5-2021 som ligger ca 170 m nordost respektive 120 m sydväst om P2S-1 bedöms ej stå i kontakt med den högkonduktiva ytliga sprickan i P2S-1, då lägre grundvattennivåer förekommer i dessa observationspunkter.



Figur 28. Nivåer (m) i P2S-1 utan och med manschett på tre olika djup, manschett är redovisad med svart. Nivåerna i det smala röret som går från rörets bottennivå igenom manschett redovisar grundvattennivån under manschett. (1) Grundvattennivå vid utgångsläge. (2) Manschett mellan nivåerna +7 m och +8 m. (3) Manschett mellan nivåerna +2 m och +1 m. (4) Manschett mellan nivåerna -1 m och -2 m.

2.5 Område Takstens

Område Takstens utgörs av obrutet täktområde med marknivå mellan ca +30 m och +36 m. Öster om området gränsar bostadsområdet Takstens, med ett antal privata bostäder öster om väg 148. Norr om området ligger bruten täkt till nivå +25 m.

En tunn stromatoporoidkalksten överlagrar de mellersta delarna av området och underlagras av ett ca 10 m tjockt krinoidkalkstenslager. Under krinoidkalkstenen förekommer en långt utsträckt revkalksten som ökar i mäktighet söderut där den uppvisar en tjocklek på ca 15 m. I direkt anslutning till och under revkalkstenen förekommer ett ca 10 m tjockt lager av fragmentkalksten. Norröver domineras lagerföljden helt och hållet av krinoidkalksten.

Följande undersökningar har utförts inom område Takstens:

- Grundvattennivåobservationer
- Provpumpning 2022
- Hydrauliska korttidstest 2021 och 2022

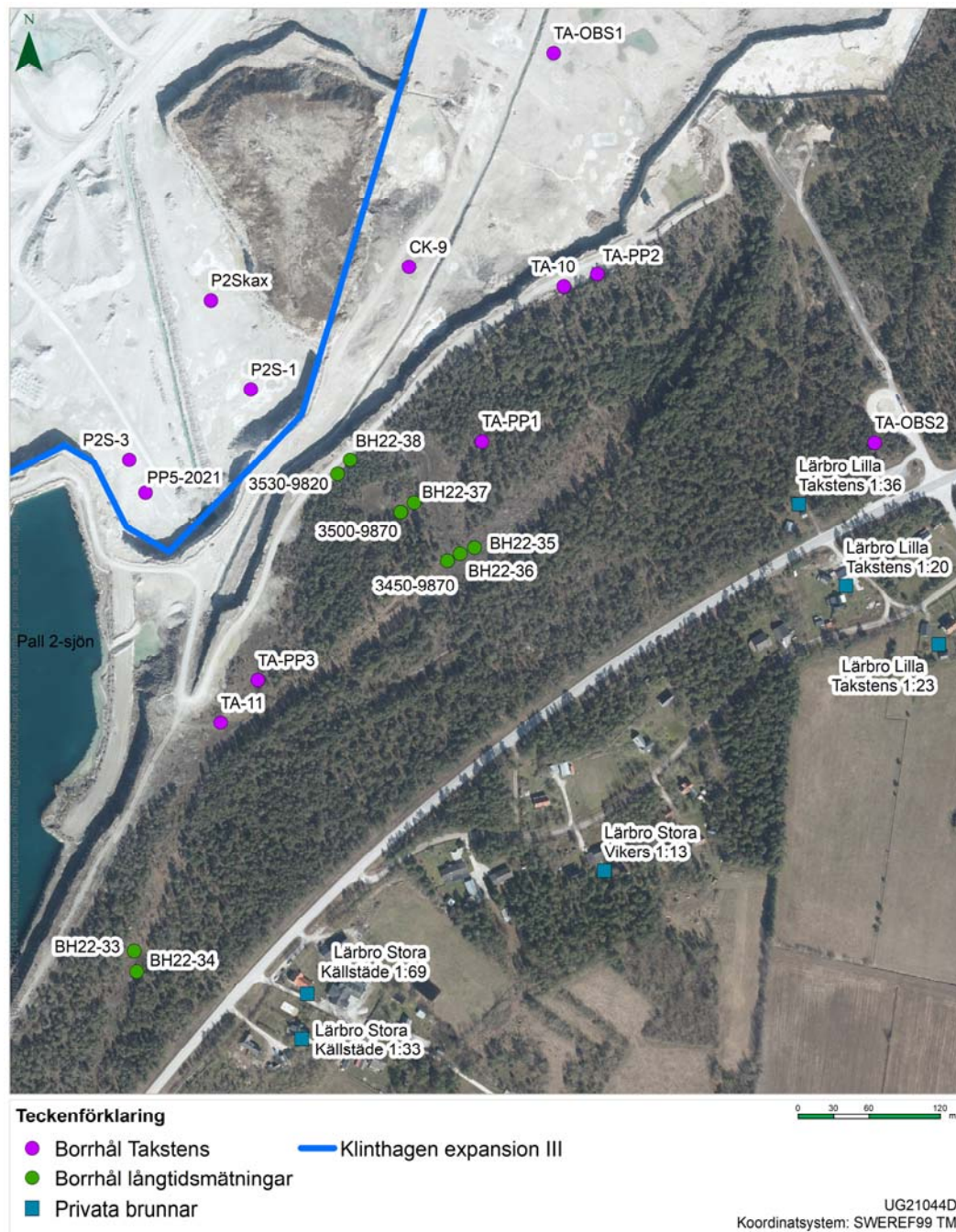
Ett mindre område i Takstens var aktuellt som planerat brytområde när undersökningarna genomfördes, men kommer inte längre ingå i ansökan.

2.5.1 Observationspunkter

I området har 20 borrhål använts för de hydrogeologiska utredningarna, se Tabell 22 och Figur 29.

Tabell 22. Borrhål i anslutning till Takstens som har använts för de hydrogeologiska utredningarna.

Borrhål	Djup (m)	Bottennivå (m, RH2000)
TA-PP1	38	-1
TA-PP2	36	-2
TA-PP3	38	-2
TA-10	13	+21
TA-11	17	+20
TA-OBS1	26	-2
TA-OBS2	35	-1
BH22-33	39	-1
BH22-34	8	+30
BH22-35	39	-1
BH22-36	8	+29
BH22-37	7	+29
BH22-38	7	+28
3450-9870	30	+7
3500-9870	30	+6
3530-9820	31	+5
CK-9	25	+1
P2SKax	15	-4
P2S-1	15	-5
P2S-3	15	-4



Figur 29. Borrhål som har använts för hydrauliska tester och observationer i Takstens.

2.5.2 Grundvattennivåobservationer

Befintlig brytnivå för de delar av Klinthagentäkten som området angränsar till är +25 m i norr och +10 m i de centrala delarna. Pall 2-sjön består av ett tidigare utbrutet område och har en bottennivå på ca +10 m, men området är nu vattenfyllt och vattennivån ligger på omkring +20 m. Grundvattennivåer har mätts kontinuerligt i fem djupa och fyra ytliga borrhål sedan våren 2022 (se Bilaga 1 *Grundvattennivåobservationer*) samt i enskilda brunnar sedan flera år tillbaka.

Grundvattennivåerna i de borrhål som representerar det ytliga berget fluktuerar mellan omkring +28 och +36 m. Grundvattennivåer i djupa borrhål i närheten av den befintliga tälten, där markytan idag är +10 m, fluktuerar mellan nivåer kring +24 och +36 m.

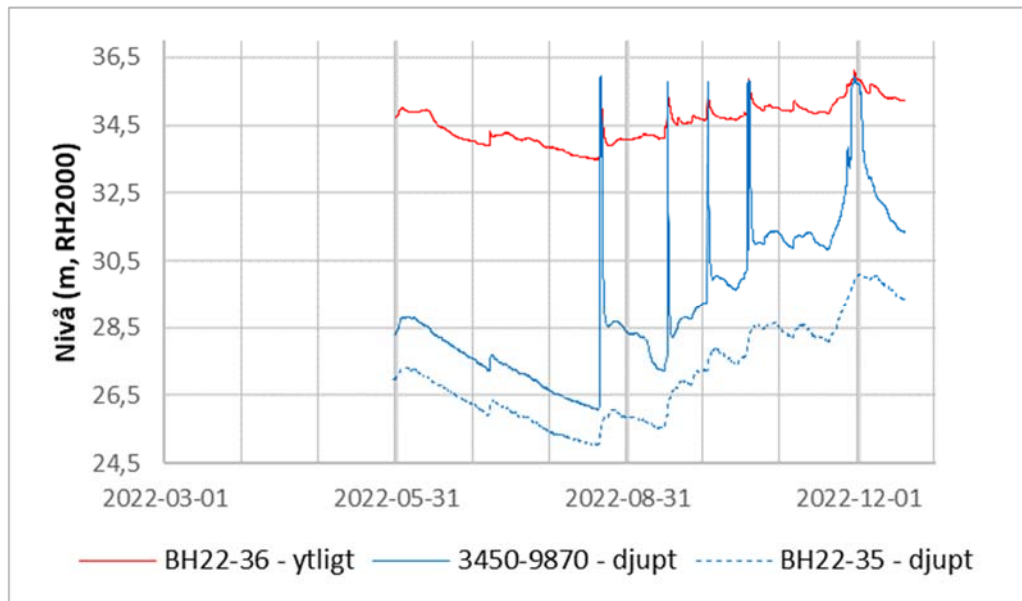
Borrhålen som etablerades under 2022 (med benämning BH22-xx) har tätats i den ytliga delen av borrhålen, vilket innebär att de endast representerar trycknivåer i det djupa berget. De äldre djupa borrhålen 3530-9820, 3500-9870 och 3450-9870 är inte avskärmade i ytan, vilket innebär att nivån i dessa inte nödvändigtvis enbart representerar det djupa berget. Detta illustreras exempelvis av BH22-35 och 3450-9780 i samband med nederbördstillfällena, se Figur 30, där BH22-35 till skillnad från 3450-9780 är avskärmat från det ytliga berget. När 3530-9820 (som är ett djupt borrhål som inte är avskärmat från ytligt berg) manschetternas i samband med provpumpningen kan en tydlig tryckskillnad ses i den övre delen av borrhålet jämfört med den undre delen av borrhålet och där den övre delen av borrhålet reagerar tydligare på nederbörd, se Figur 31.

Att trycknivåerna i de ytliga och djupa magasinen är olika visar på en begränsad hydraulisk kontakt mellan dessa. Trycknivåskillnaden mellan djupt och ytligt berg i området uppgår i perioder till maximalt 4-6 m, se Bilaga 1

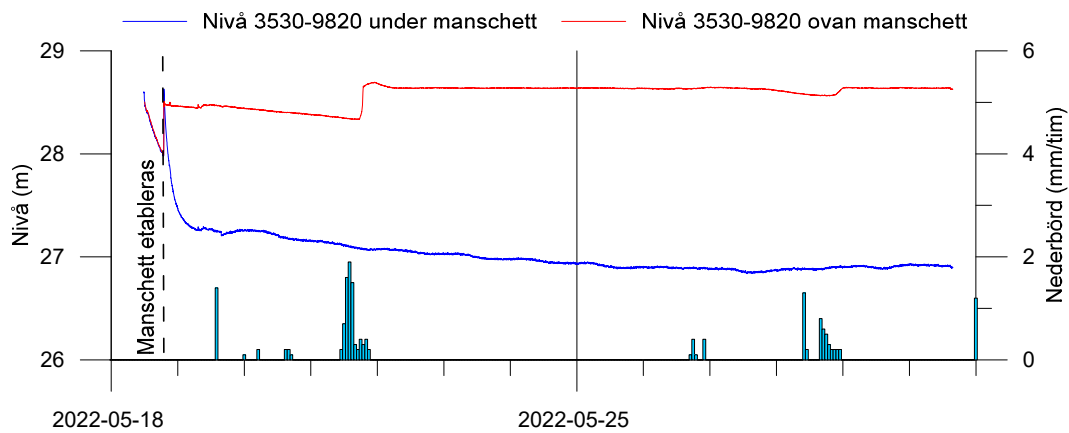
Grundvattennivåobservationer.

Grundvattennivåer i de enskilda brunnarna i trakten Lilla Takstens (se Figur 29) varierar mellan +24 och +32 m, i trakten Stora Vikers mellan +26 till +30 och vid Stora Källstäde +12 till +26 m.

De enstaka mätningar av grundvattennivåer som har mätts i samband med de hydrauliska testerna i övriga borrhål i området ligger i linje med långtidsmätningarna.



Figur 30. Grundvattennivå i ytligt (BH22-36), icke avskärmat djupt (3450-9870) och avskärmat djupt (BH22-35) borrhål vid Takstens.

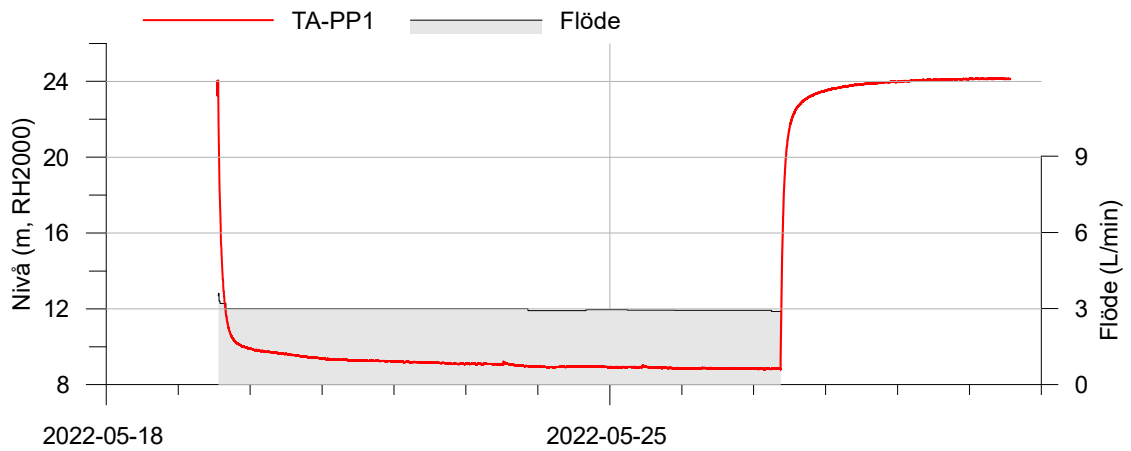


Figur 31. Grundvattennivå i 3530-9280 tillfälligt avskärmad med manschett i samband med provpumpning.

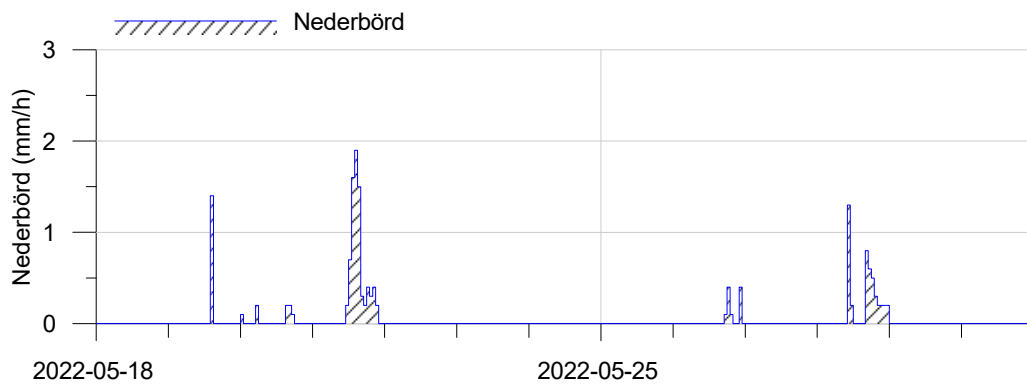
2.5.3 Provpumpning 2022

Under maj 2022 utfördes en provpumpning inom området Takstens. Pumpbrunnen bestämdes utifrån pulstester som genomförda i borrhål TA-PP1, TA-PP2 och TA-PP3, vilket redovisas under avsnitt 2.5.4. TA-PP1 valdes till pumpbrunn på grund av lämplig placering och hög genomsläpplighet.

Provpumpningen stoppades 23 min efter start på grund av ett trasigt reglage. Efter att vattennivån i pumpbrunnen återhämtat sig till ursprunglig nivå återstartades provpumpningen. Pumpflödet var initialt 3,5 l/min, men sjönk strax efter pumpstart till 3 l/min. Flödet hölls konstant under resterande pumpning. Pumpningen avslutades efter ca 8 dygn, se Figur 32.



Figur 32. Avsänkningskurva och pumpat flöde i pumpbrunn TA-PP1.



Figur 33. Nederbördsdata från SMHI:s mätstation Fårösund A.

En större nederbördsmängd noterades på plats efter påbörjad provpumpning. Regnet pågick från 13:35 till 14:00. Nederbördsdata under pågående provpumpning har hämtats från mätstation Fårösund A och visar på två ytterligare nederbördsstillfällen; 7,7 mm den 2022-05-21 och 4,5 mm den 2022-05-28. Se Figur 33 nederbörd vid Fårösund A.

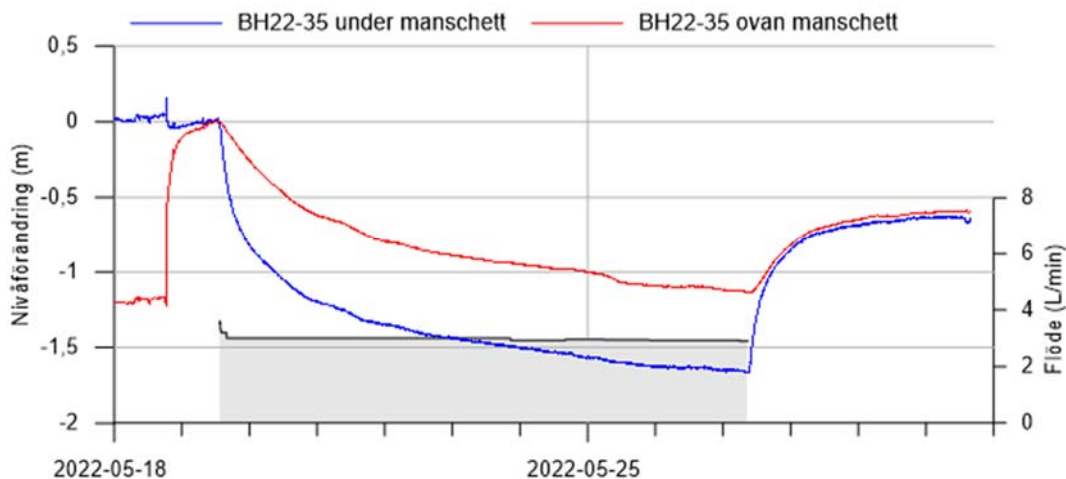
Provpumpningen orsakade en trycksänkning i 6 av 27 observationspunkter, se Figur 34 och Figur 38. En tryckpåverkan kunde inte ses i några ytligt borrade observationspunkter, utan endast i djupa borrhål.



Figur 34. Respons från provpumpning i TA-PP1.

I BH22-35, som är ca 38 m djupt och har en bottennivå på ca -1 m var under provpumpningen avgränsad med en manschett på nivå ca +17 m, d.v.s. ca 20 m under markyta, I borrhålet kunde en påverkan ses i både den djupare delen av borrhålet och den ytliga delen av borrhålet. Effekten från provpumpning var inte lika tydlig i den övre delen av borrhålet som i den nedre delen av borrhålet, se Figur 35. I

samband med att manschetten etablerades i BH22-35 erhöles en tryckökning i den övre delen av borrhålet.

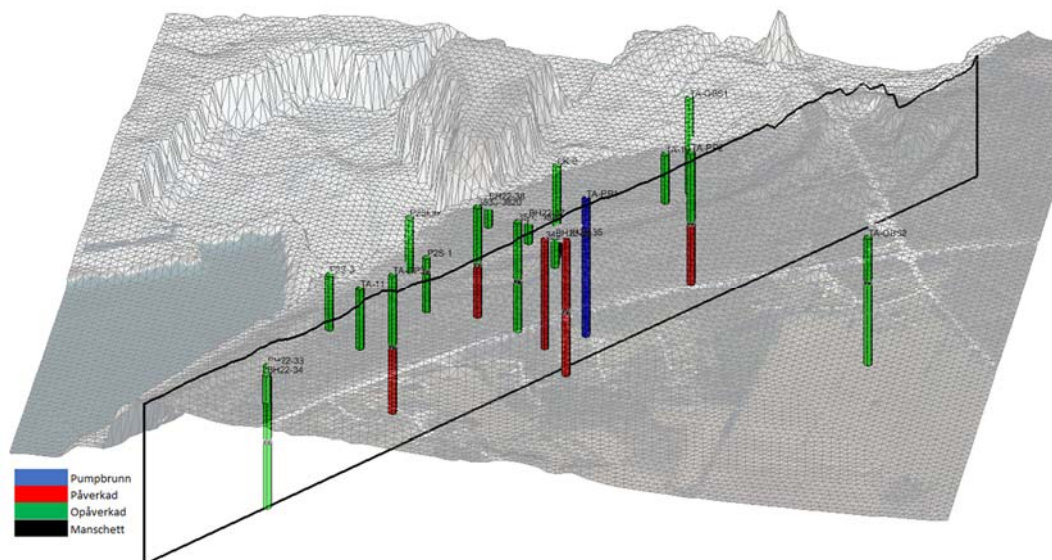


Figur 35. Trycknivåförändring i BH22-35 ovan och under manschett vid provpumpningen

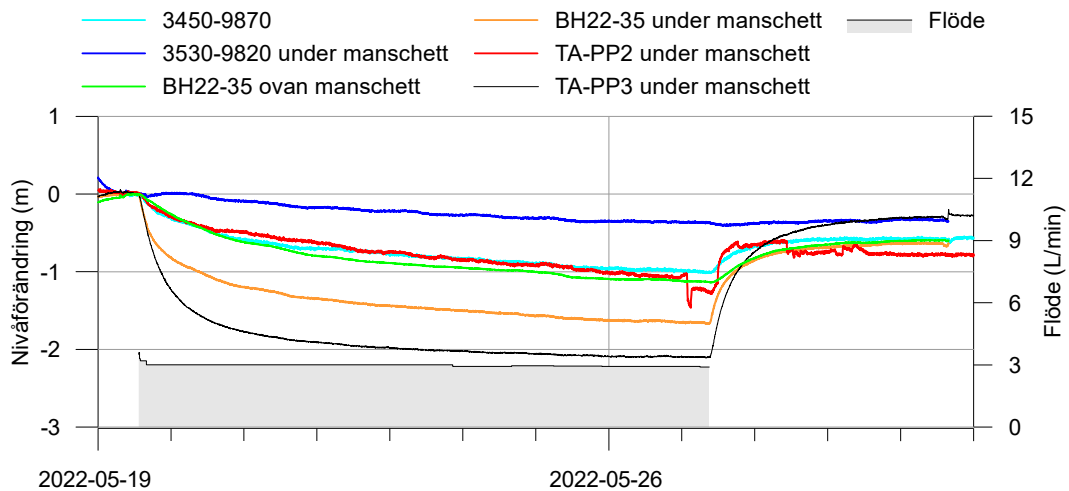
Cirka 80 m sydväst om pumpbrunnen finns en linje med observationspunkter med ytliga och djupa hål, se Figur 34 och Figur 36. I Figur 36 redovisas en tvärsnitt över de djupa observationspunkter samt bedömning om borrhålen (eller delar av borrhålen) är påverkade från provpumpningen eller ej. Det kan noteras att ingen påverkan kunde observeras i 3500-9870 vare sig ovan eller under manschett, trots att detta är ett djupt borrhål som befinner sig mitt emellan två påverkade borrhål.



Figur 36. Tvärsektion längs med borrhålen 3530-9820, 3500-9870, 3450-9870, BH22-36 och BH22-35 där sektioner som påverkades av provpumpningen markeras med rött och sektioner som var opåverkade markeras med grönt. Läge för manschetter i tre av borrhålen redovisas med svart.



Figur 37. Tvärsnitt längs med profil i övre bild.



Figur 38. Avsänkningskurvor för samtliga påverkade observationsborrhål.

En direkt grundvattenavsänkning kunde observeras i samtliga påverkade observationspunkter utom under manschett i 3530-9820, där en eventuell påverkan kunde noteras först efter ca 1 dygn. Återhämtningen i 3530-9820 var mycket svag, vilket indikerar att observationspunkten kan vara opåverkad.

För att analysera den hydrauliska konduktiviteten användes metoden enligt Hantush och Jacob (1955) för en läckande akvifär. En integrerad analys av samtliga påverkade observationspunkter ger en mycket dålig kurvpasning. Det innebär att magasinet inte är homogent, utan har olika egenskaper vid de olika observationspunkterna. Observationspunkterna har därför utvärderats var för sig samt i en mindre grupp. Se Figur 29 för resultat från provpumpning.

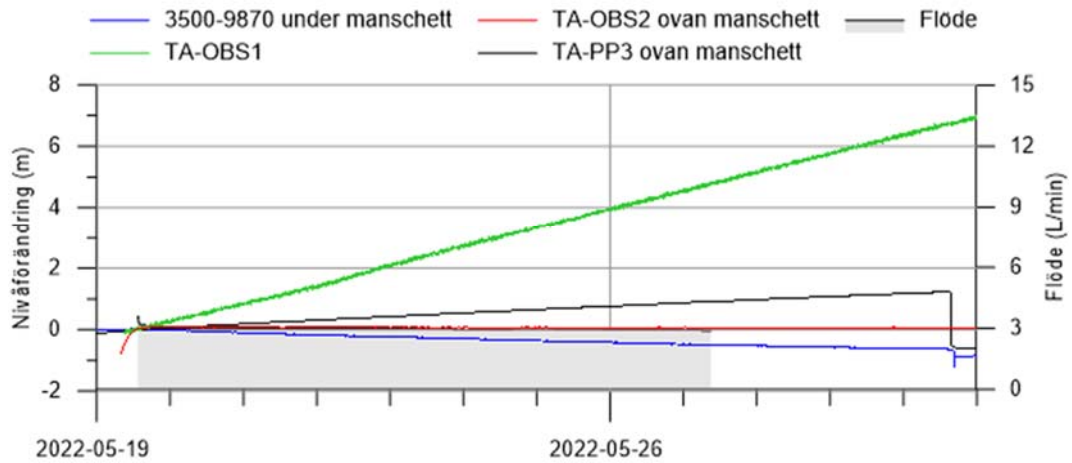
Tabell 23. Beräknad transmissivitet enskild analys med Hantush-Jacob.

Observationspunkt	Transmissivitet	Magasinskoefficient
TA-PP1 (Pumpbrunn)	1,3E-06	-
TA-PP2 (under manschett)	1,2E-05	1,5E-05
TA-PP3 (under manschett)	7,2E-06	1,0E-06
3450-9870	1,7E-05	4,5E-05
3530-9820 (under manschett)	1,3E-05	3,5E-04
BH22-35 (över manschett)	1,3E-05	6,3E-05
BH22-35 (under manschett)	1,5E-05	5,5E-05

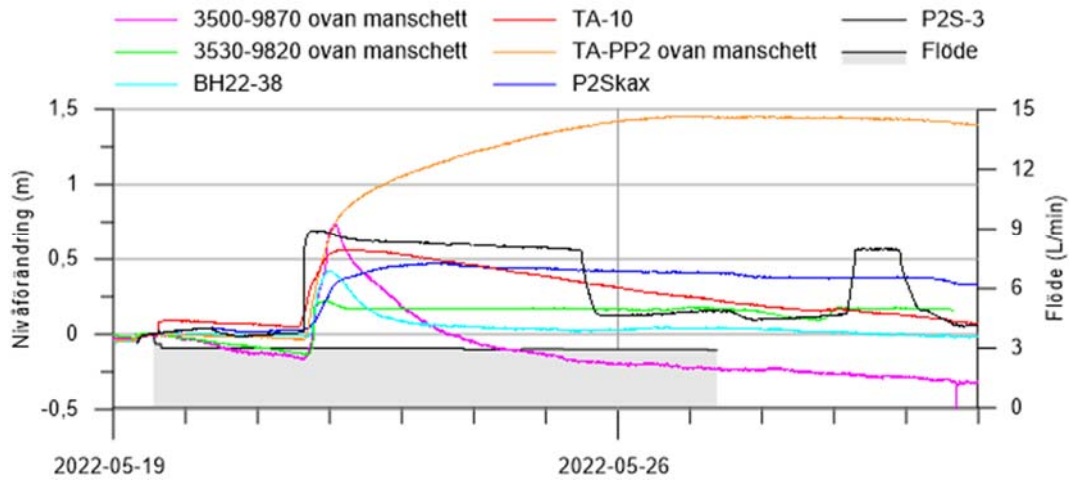
Tabell 24. Beräknad transmissivitet integrerad analys med metod enligt Hantush & Jacob (1955).

Observationspunkter	Transmissivitet (m ² /s)	Magasinskoefficient (-)
TA-PP1, 3450-9870 och TA-PP2 (under manschett)	3,0E-06	1,3E-05

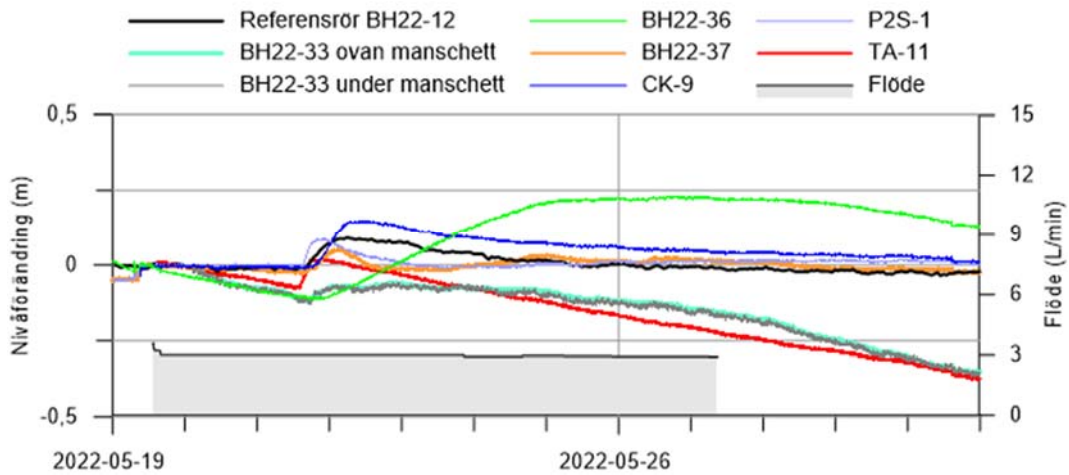
I Figur 39 - Figur 42 redovisas nivåförändring i samtliga opåverkade observationspunkter. De opåverkade observationspunkterna grupperade efter fluktuationsbeteende.



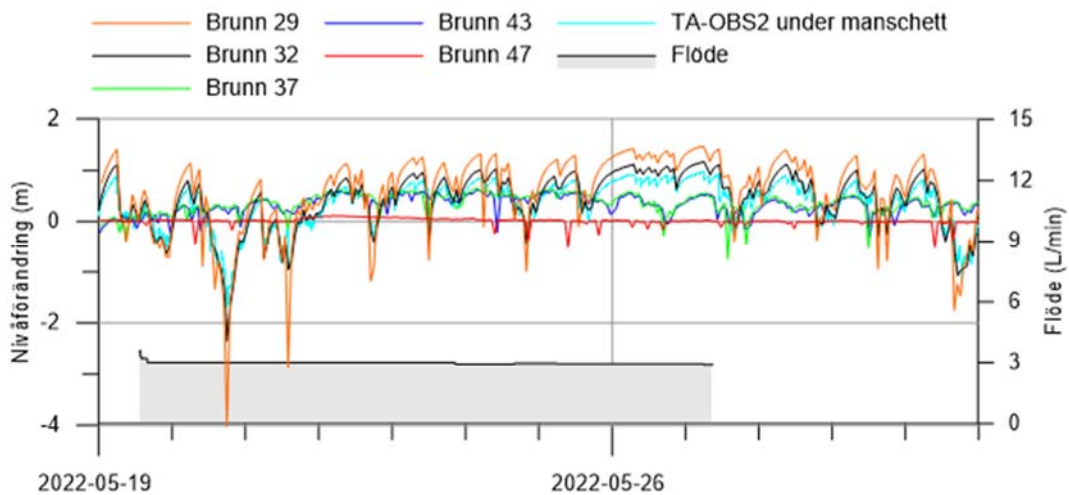
Figur 39. Nivåförändring i opåverkade observationspunkter. Linjär trend.



Figur 40. Nivåförändring i opåverkade observationspunkter. Stor respons från nederbörd.



Figur 41. Nivåförändring i opåverkade observationspunkter. Viss respons från nederbörd.



Figur 42. Nivåförändring i opåverkade observationspunkter. Påverkade från uttag i enskilda brunnar.

2.5.4 Hydrauliska korttidstest

Inom området har hydrauliska korttidstest i form av pulstest genomförts, se Tabell 25. Resultatet från pulstesterna presenteras i Tabell 26 och Figur 43.

Samtliga genomförda pulstest vid området Takstens utfördes utan manschett.

Den hydrauliska konduktiviteten för TA-PP1, TA-PP2 och BH22-35 utvärderades enligt Hvorslev (1951) till $1E-7$ - $4E-7E$ m/s. I TA-PP3, 3500-9870 och 3530-9820 utvärderades den hydrauliska konduktiviteten cirka en tiopotens högre ($2E-6$ - $5E-6$ m/s.) Borrhål BH22-36 och 3450-9870 visar på mycket låg hydraulisk konduktivitet på omkring $2E-9$ - $4E-9$ m/s.

I borrhålen TA-10 och TA-11 fortsatte nivån att stiga efter pulstest, vilket visar att dessa borrhål inte var återhämtade från borrning. Återhämtningen från borrning är

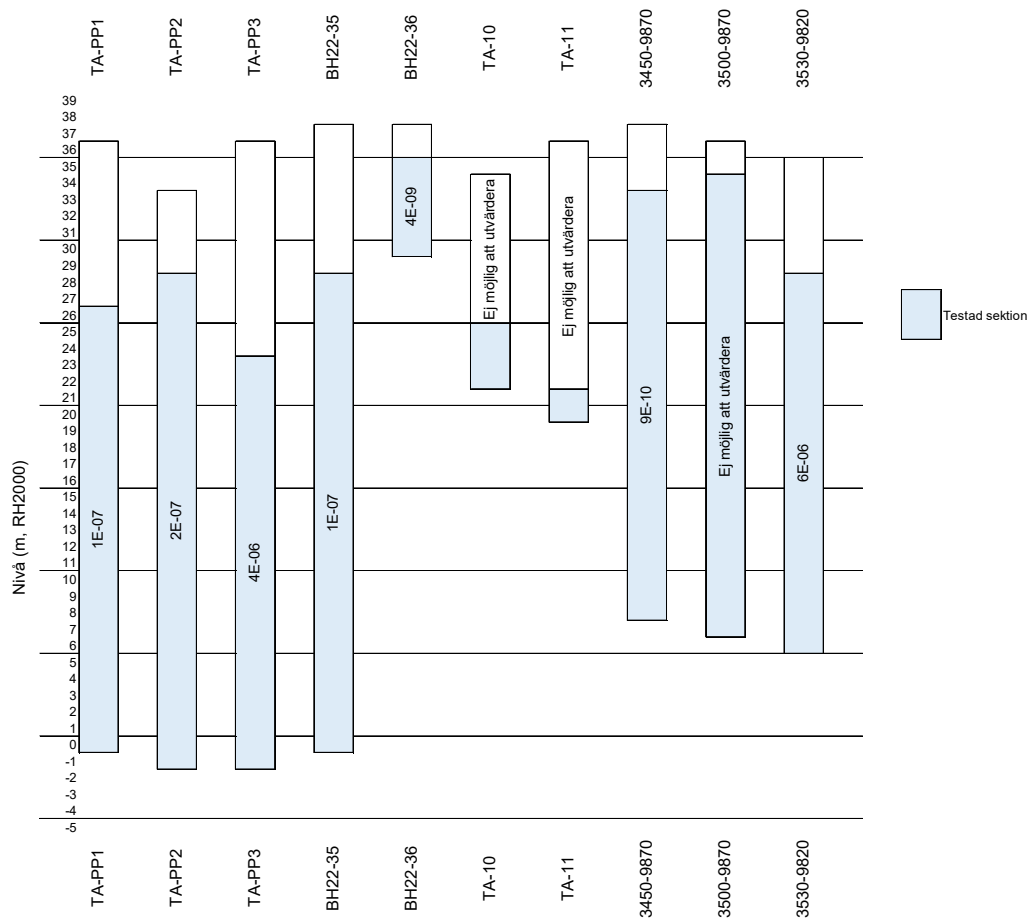
mycket långsam, vilket tyder på att den hydrauliska konduktiviteten är relativt låg, men den har inte varit möjlig att kvantifiera.

Tabell 25. Grunduppgifter för borrhål med utförda korttidstest i området Takstens.

Borrhål	Markyta (m, RH2000)	Bottennivå (m, RH2000)	Borrhålsdjup (m)	Typ av test	År för utförande av test
TA-PP1	+36	-1	38	Pulstest	2022
TA-PP2	+33	-2	36	Pulstest	2022
TA-PP3	+36	-2	38	Pulstest	2022
BH22-35	+37	-1	38	Pulstest	2022
BH22-36	+37	+29	8	Pulstest	2022
TA-10	+34	+21	13	Pulstest	2021
TA-11	+36	+20	16	Pulstest	2021
3450-9870	+37	+7	29	Pulstest	2021
3500-9870	+36	+6	30	Pulstest	2021
3530-9820	+35	+5	29	Pulstest	2021

Tabell 26. Hydraulisk konduktivitet (m/s) i testade borrhål i området kring Takstens.

Borrhål	Typ av test	Testad sektion (m, RH2000)	Hvorslev (1951)	Cooper et al. (1967)
TA-PP1	Pulstest	+26 till -1	2,0E-07	1,3E-07
TA-PP2	Pulstest	+28 till -2	1,3E-07	2,2E-07
TA-PP3	Pulstest	+23 till -2	1,6E-06	3,6E-06
BH22-35	Pulstest	+28 till -1	3,2E-07	1,1E-07
BH22-36	Pulstest	+35 till +29	4,4E-09	4,2E-09
TA-10	Pulstest	+25 till +20	Nivå ej återhämtad från borning. Bedöms som relativt tät.	
TA-11	Pulstest	+21 till +20	Nivå ej återhämtad från borning. Bedöms som relativt tät.	
3450-9870	Pulstest	+33 till +7	1,7E-09	9E-10
3500-9870	Pulstest	+34 till +6	Mycket snabb återhämtning. Går ej att utvärdera. Bedöms som mycket genomsläpplig.	
3530-9820	Pulstest	+28 till +4	4,2E-06	6,2E-06



Figur 43. Hydraulisk konduktivitet (m/s) utvärderad enligt Cooper et.al. (1967). Figur redovisar borrhålsdjup och testade sektioner.

2.6 Område Södra Klinthagen

Område Södra Klinthagen utgörs till stor del av tidigare utbruten täkt med nivåer mellan ca +24 m och +32 m. Den västra delen av området utgörs av tidigare obruten täkt med en markyta som sluttar åt väst, från nivå ca +24 m ner till nivå +20 m. Väster om brytområdet sluttar marken utanför täktområdet relativt brant ner och mellan 200 - 300 m utanför täkten ligger marknivån kring +10 m.

Stromatoporoidkalksten kan endast observeras längst i norr, där den ligger överst i lagerföljden och uppvisar en tjocklek på ca 2-4 m. Stromatoporoidkalkstenen består av 5-30 cm i diameter runda stromatoporoidéer (svampdjur från silurtiden) inlagrade i en fin- till medelkornig, ofta delvis omkristalliserad grundmassa av krinoidkalksten. Stromatoporoidkalkstenen överlagrar hela Klinthagenfyndigheten och uppvisar på andra håll i brottet en tjocklek på upp till 7 m. I den nordligaste delen förekommer mellanlager av både fragmentkalksten och märtelsten.

I de norra och västliga delarna karaktäriseras lagerföljden av växellagrade krinoidkalksten och märtelsten: lagren är uthålliga och kan följas horisontellt över långa avstånd, flera hundra meter. I de östliga och sydliga delarna (mot Polenhållet

och Pall-2-sjön) förekommer en större revkropp med en mäktighet på över 25 m i vertikalled. Revkalkstenen är den enda icke-lagrade kalkstenstypen i Klinthagen och domineras av stromatoporoidéer och krinoidéer (sjölimjor). Denna kalkstenstyp är heterogen och massiv och saknar lagerstruktur. I anslutning till revkroppen kan man observera ett ökat inslag av fragmentkalksten (som ursprungligen avlagrats som erosionsmaterial från revkalkstenen). Lagren runt revet kan ses böja av mot revkroppen (p.g.a. större densitet hos revet i förhållande till den omgivande kalkstenen). Lagerföljden i dessa delar är följdaktligen ”störd” i jämförelse med den jämna och horisontellt lagrade kalkstenen norrut och västerut. Revkalkstenen i detta område innehåller ett rikligt inslag av fragment.

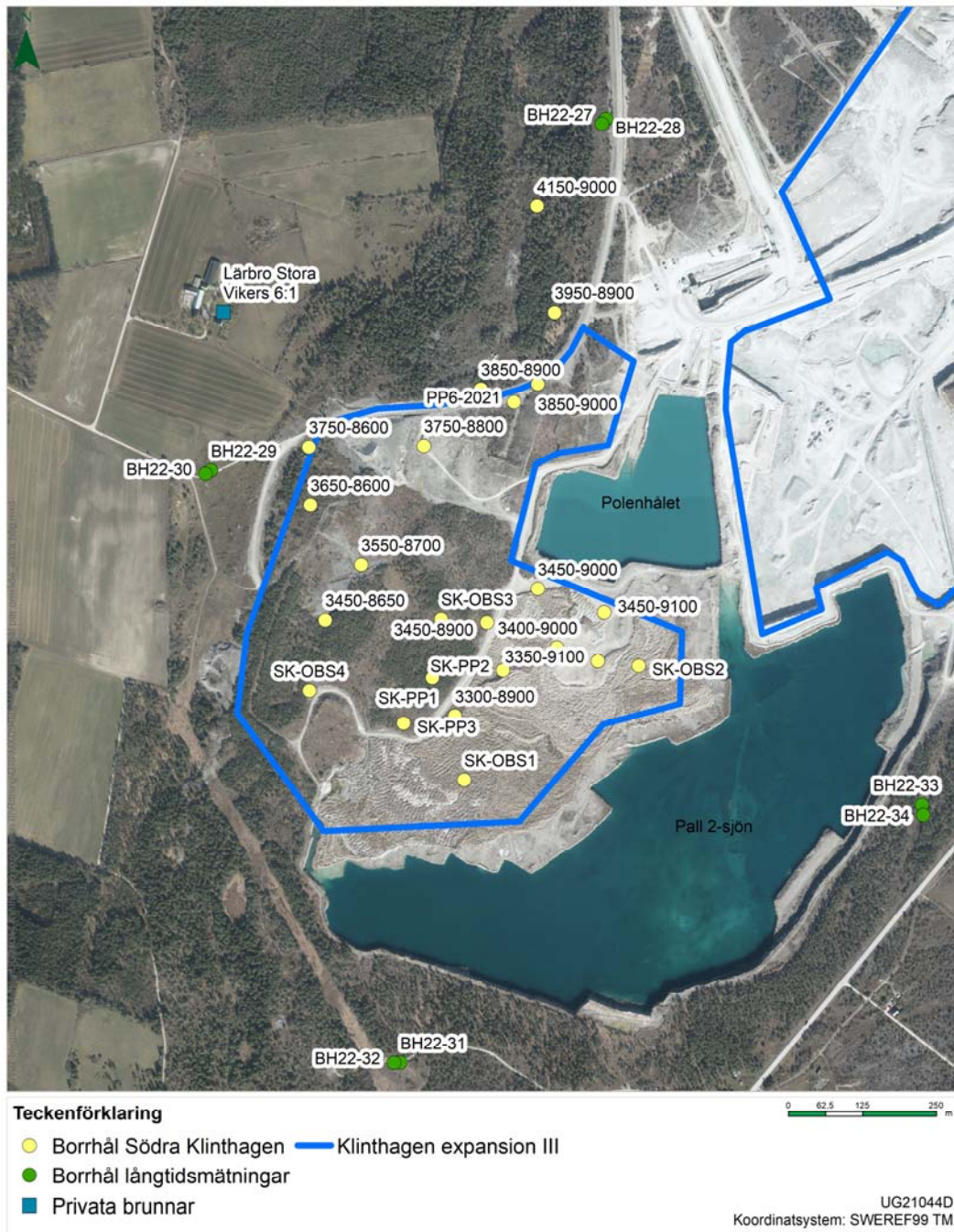
Den utbrutna Pall-2-sjön dominerades helt och hållet av revkalksten, av vilken vi i dag ser resterna av i randområdena. Norrut och västerut fortsätter revkalkstenen på djupet och antar mera revartad karaktär (revliknande lager snarare än väldefinierad revkropp). Kontakten mellan överlagrande krinoidékalksten och revkalksten ligger på ca +1 m. Revkalkstenen har inte genomträngts någonstans i området: borrhningen har inte gått tillräckligt djupt. Den undre revkontakten är därför inte fastställd.

Följande undersökningar har utförts inom område Södra Klinthagen:

- Grundvattennivåobservationer
- Provpumpning 2021
- Två provpumpningar 2022
- Hydrauliska korttidstest med och utan manschett 2021 och 2022.

2.6.1 Observationspunkter

I området har 26 borrhål använts för de hydrogeologiska utredningarna, se Figur 44 och Tabell 27.



Figur 44. Borrhål i anslutning till Södra Klinthagen som har använts för hydrauliska tester.

Tabell 27. Borrhål i området Södra Klinthagen som har använts för de hydrogeologiska utredningarna.

Borrhål	Djup (m)	Bottennivå (m, RH2000)
3300-8900	29	-2
3350-9100	36	-6
3400-9000	39	-9
3450-8650	29	-6
3450-8900	28	-4
3450-9000	27	-3
3450-9100	30	-5
3550-8700	30	-4
3650-8600	30	-2
3750-8600	30	-7
3750-8800	30	-6
3850-8900	30	+1
3850-9000	19	+14
3950-8900	30	-2
4150-9000	30	-4
SK-PP1	29	-2
SK-PP2	27	-2
SK-PP3	27	-7
SK-OBS1	28	-2
SK-OBS2	30	-2
SK-OBS3	28	-3
SK-OBS4	27	-2
PP6-2021	31	+1
BH22-27	33	-5
BH22-28	10	+18
BH22-29	24	-6
BH22-30	8	+9
BH22-31	33	+0
BH22-32	8	+24
Lärbro Stora Vikers 6:1	30	Ca -15

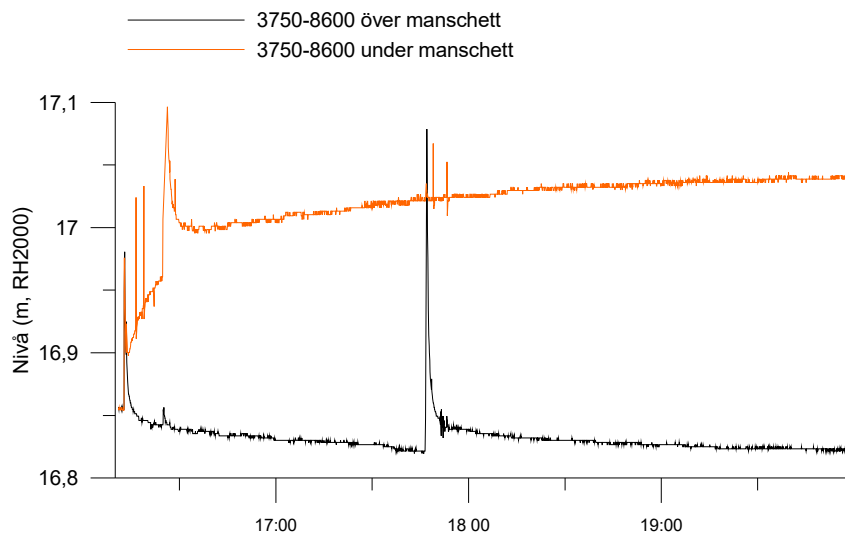
2.6.2 Grundvattennivåobservationer

Uppmätta grundvattennivåer (enstaka mätningar under maj och juni 2022) i borrhål inom nuvarande täktområde visar på varierande nivåer mellan +16 och +20 m.

Väster om brytområdet Södra Klinthagen finns två borrhålspår med kontinuerlig mätning från maj 2022. Till skillnad från övriga undersökningsområden, ligger nivåerna i de djupare borrhålen kring täkten här ytligare eller på samma nivå som i de ytliga hålen, se Bilaga 1 *Grundvattennivåobservationer*. Borrhålsparet väster om täkten, BH22-29 (bottennivå -6 m) och BH22-30 (bottennivå +9 m), visar på en

grundvattennivå mellan +13,5 och +14,5 m (3 -4 m under markytan) i det ytliga borrhålet, samt periodvis artesiska nivåer i det djupa borrhålet, alltså ett vattentryck som ligger ovanför markytan. Noterbart är att BH22-29 är borrarat till nivå -6 m och ligger en bit väster om tåkten där markytan ligger vid nivå +17 m. Det innebär att borrhålet går djupare än borrhålen öster om tåkten och troligtvis har kontakt med djupare sprickor som matas med vatten från högre belägna områden.

Från de sektionerade pulstester som är gjorda i borrhål 3750-8600 (bottennivå -7 m) samt 3750-8800 (bottennivå -5 m) syns delvis samma mönster. 3750-8800 som ligger i tidigare bruten tåkt, har en något högre trycknivå i övre delen av borrhålet än i den djupare. 3750-8600 som ligger i obrutet tåktområde, visar vid sektionering kring nivå +8,5 m tvärtom på en något högre nivå i den djupare bergmassan än i den grunda bergmassan, trots sin djupa bottennivå, se Figur 45.



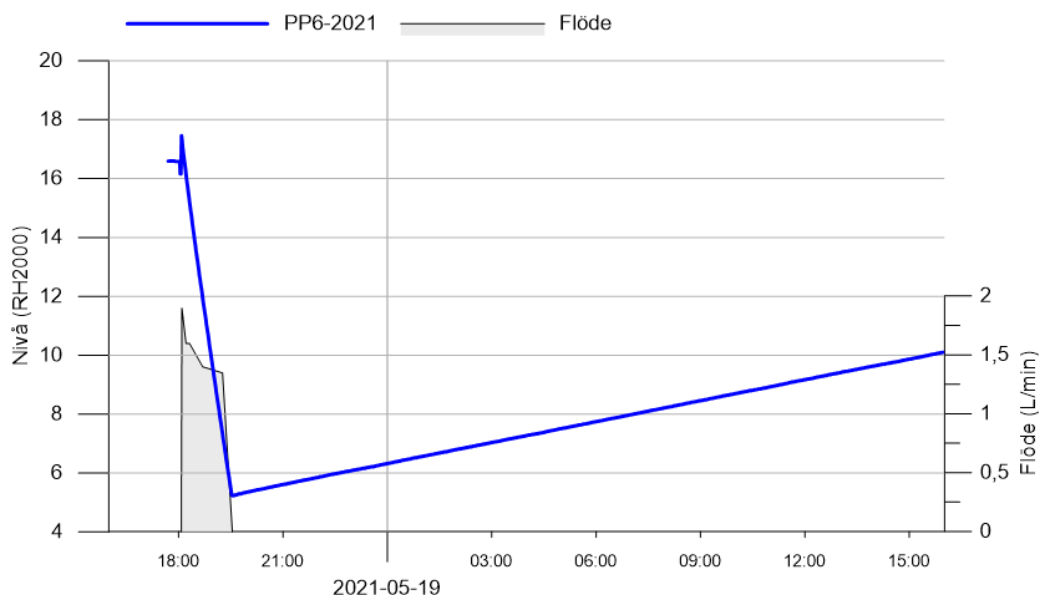
Figur 45. Nivåförändring över och under manschett i borrhål 3750-8600 vid expansion av manschett. De plötsliga nivåförändringarna i borrhålen är utförda pulstester.

Norr om brytområdet ligger ett borrhålspar (BH22-27 och BH22-28) där trycknivån är betydligt högre i det ytliga borrhålet än i det djupa. Söder om tåkten, i borrhål BH22-31 och BH22-32 finns ingen tydlig nivåskillnad mellan det djupa och det grunda borrhålet, avgränsningen mellan magasinen är alltså inte lika tydlig här.

Vattennivån i Polenhålet fluktuerar mellan +13 m till +18 m. Nivåerna i Pall-2-sjön ligger mer stabilt mellan +20 m till +21 m.

2.6.3 Provpumpning 2021

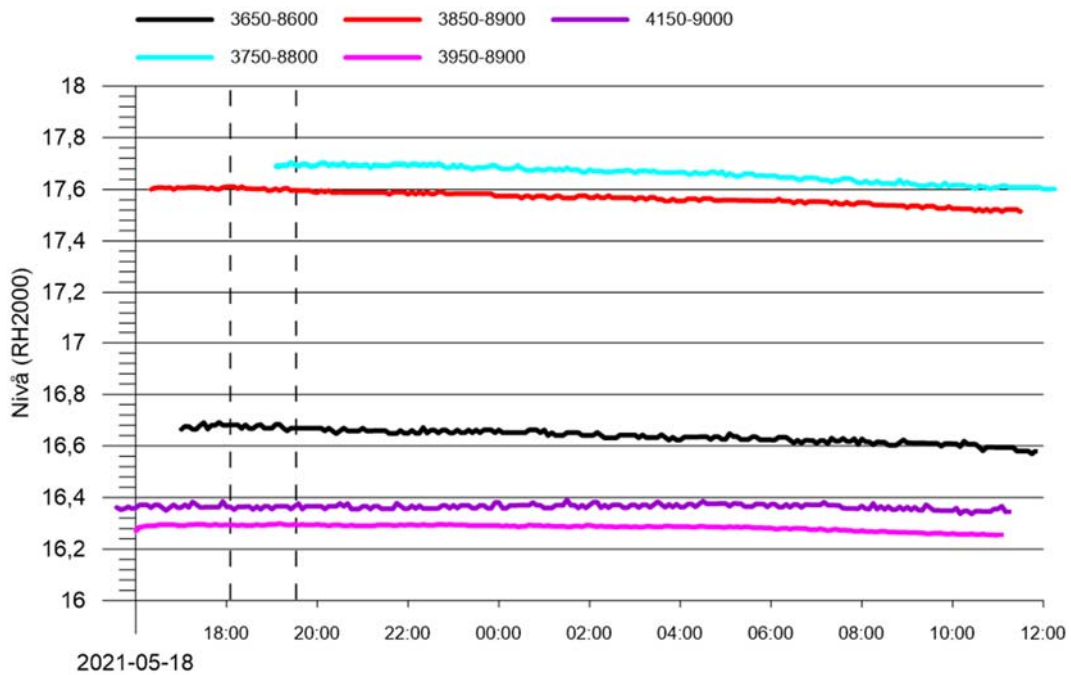
Inom område Södra Klinthagen utfördes en provpumpning 2021 i PP6-2021 som pågick under 90 min den 18:e maj. Pumpen i PP6-2021 startades med ett flöde på ca 2 l/min. Under de kommande 90 minuterna sjönk flödet naturligt till ca 1,4 l/min. Då pumpningen endast ledde till att borrhålet PP6-2021 tömdes på vatten stängdes pumpen av efter 90 minuter då nivån i borrhålet hade sänkts av med ca 12 m.



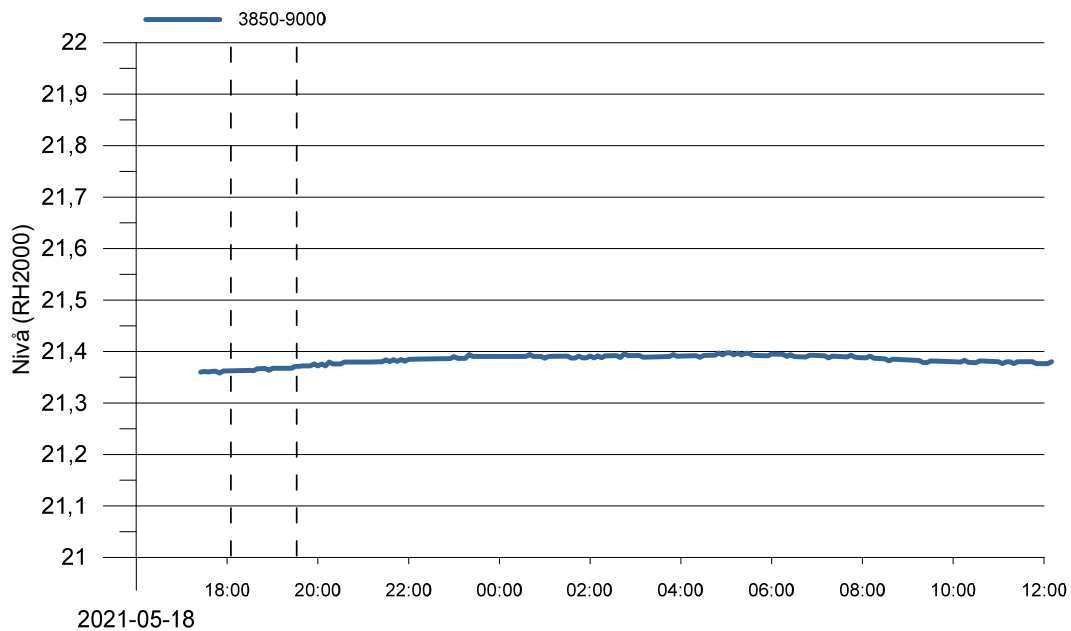
Figur 46. Nivå och flöde i pumpbrunnen PP6-2021.

Grundvattennivån i pumpbrunnen mättes manuellt med ett ljuslod och registrerades även automatiskt med tryckgivare. Pumpbrunnen visade mycket långsam återhämtning. Nivåerna som sänktes av med ca 12 m återhämtade sig ca 11 m under 2,5 dygn. Ingen nederbörd föll under provpumpningen eller dess återhämtningsperiod.

Grundvattennivån observerades även i ytterligare sex borrhål inom tåkten på samma sätt som i pumpbrunnen. Utöver borrhålen inom tåkten observerades även nivåerna i den enskilda brunnen på Lärbro Stora Vikers 6:1 med tryckgivare. Inga observationer visade på påverkan från provpumpningen, se Figur 47 och Figur 48.



Figur 47. Grundvattennivåer i fem borrhål som uppvisar liknande grundvattennivåer, mellan +16 och +18, som ej påvisade respons från pumpning i PP6-2021.



Figur 48. Grundvattennivå i borrhål 3850-9000, där grundvattennivåerna naturligt ligger kring +21. Ingen grundvattenpåverkan observeras från provpumpning i PP6-2021.

Då markytan naturligt sluttar mot nordväst ligger den enskilda brunnen på Lärbro Stora Vikers 6:1 lägre än täktområdet Södra Klinthagen samt övriga privata dricksvattenbrunnar öster om Klinthagentäkten. Den enskilda brunnen på Lärbro Stora Vikers 6:1 ligger vid en marknivå på nivå +14 m och har grundvattennivåer

som under de senaste fyra åren varierar mellan +7 m och +13 m. Vid provpumpningstillfället i PP6-2021 låg nivån i den enskilda brunnen kring +11,4 m. Nivån i pumpbrunn PP6-2021 sänktes under provpumpningens gång till en lägre nivå än nivån i den enskilda brunnen. Ca 24 h efter pumpstopp återhämtade sig nivån i pumpbrunnen återigen till högre nivå än den som mäts i den enskilda brunnen. Den enskilda brunnen på Lärbro Stora Vikers 6:1 (LSV 6:1) påverkades inte av utförd provpumpning.

Resultaten från pumpbrunnen utvärderades med Dougherty-Babus (1984) lösningsmetod för slutna akvifärer. Transmissiviteten utvärderades till $8E-8$ m²/s och magasinskoefficienten till $2E-5$. Magasinskoefficienten är mycket osäker då endast en observationspunkt används för utvärdering.



Figur 49. Respons från pumpning i brunn PP6-2021.

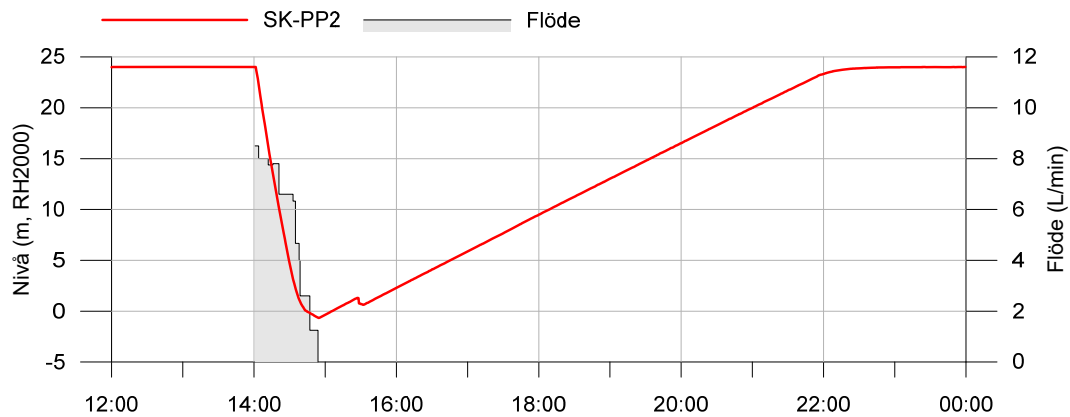
2.6.4 Provpumpningar 2022

I juni 2022 utfördes två provpumpningar inom brytområde Södra Klinthagen. Tre potentiella pumpbrunnar etablerades: SK-PP1, SK-PP2 och SK-PP3. SK-PP1 och SK-PP3 var vid testets start inte återhämtade från borrning, varför SK-PP2 var den enda pumpbara brunnen. Då pumpningen i SK-PP2 i princip enbart ledde till ren brunnstömning avslutades pumpförsöket efter ca 1 timme. Därför pulstestades de tänkta observationshålen för att hitta en ersättningsbrunn att utföra pumptest i. Analys av de ytterligare pulstesterna visade att brunn SK-OBS1 skulle fungera att pumpa i. Trots dåligt med observationspunkter kring SK-OBS1 ansågs den vara bäst lämpad för pumpning.

2.6.4.1 Provpumpning SK-PP2

Provpumpningen i SK-PP2 pågick under ca 50 minuter den 2 juni 2022. Under pumpningen mättes nivå i brunn och observationspunkter manuellt med ljuslod samt automatiskt med tryckgivare. Ingen nederbörd föll under provpumpningen eller dess återhämtning.

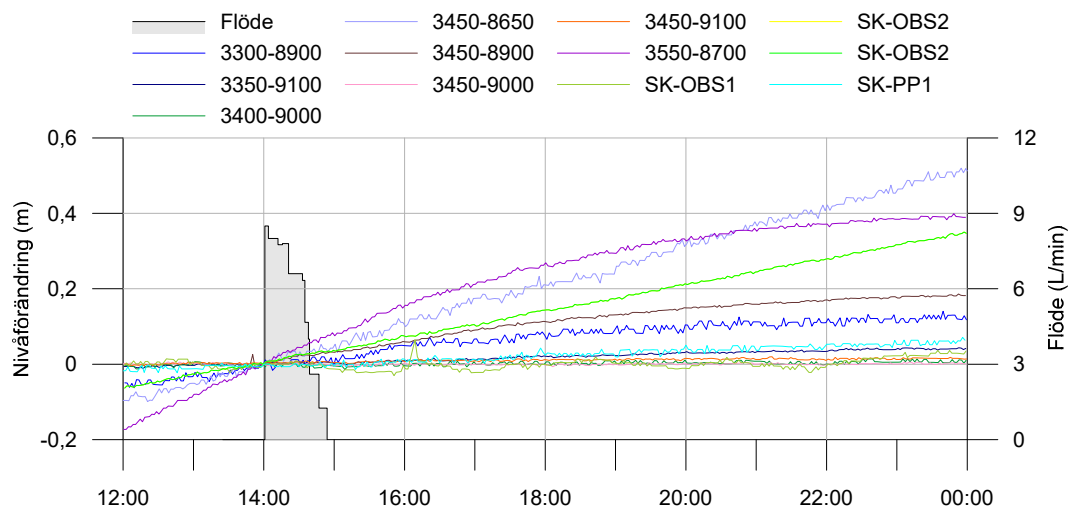
Pumpningen startade med ett flöde på ca 8,5 l/min. Efter 30 minuter sänktes flödet till 5 l/min då brunnen var nära att pumpas torr. Nästkommande ca 20 minuter sänktes flödet ytterligare tre gånger för att till slut gå torr med ett flöde på 1,25 l/min. Under pumpningen sänktes nivån i brunnen av från +24 m till ca -1 m och återhämtningen tillbaka till nivå +24 m tog ca 7,5 timmar. Se Figur 50.



Figur 50. Uppmått pumpflöde och nivåförändring i SK-PP2 under provpumpningens gång.

Då påfyllnadshastigheten var konstant fram till ca 1 m från den ursprungliga vattenytan, antas den vattenförande delen av borrhålet ligga kring denna nivå, ca +23. Med en brunnsdiameter på 115 mm ges ett medelflöde till brunnen under återhämtningen på 0,57 l/min.

Pumpningen visade ingen respons i någon av observationspunkterna, se Figur 51.



Figur 51. Nivåförändring i samtliga observationspunkter samt flöde i pumpbrunnen.

Nivå- och flödesdata från pumpbrunnen analyserades även med Dougherty-Babus lösningsmetod vilket gav en transmissivitet på $6E-7$ m²/s och en magasinskoefficient på $3E-5$. Utifrån det linjära återhämtningsförloppet fram till sista metern, bedöms det vara den översta metern av den vattenmättade delen av borrhålet som står för huvuddelen av vattenföringen.

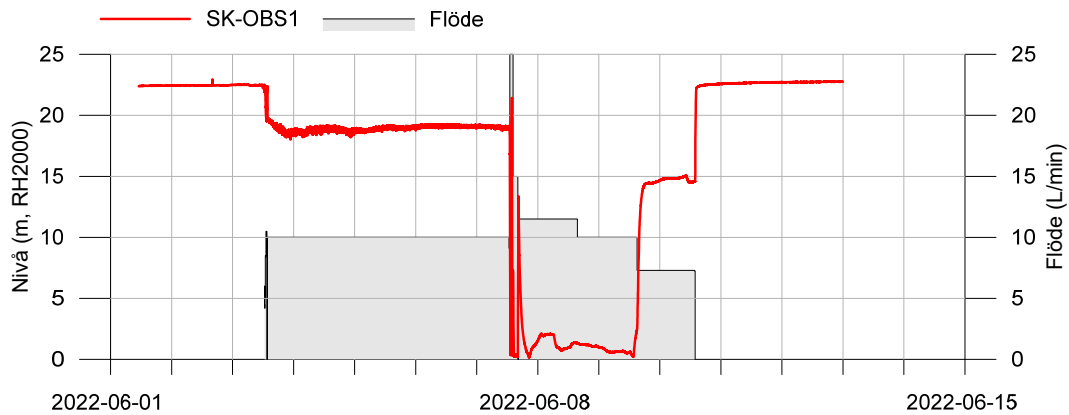
Data från SK-PP2 mellan 20 maj och 14 juni 2022 visar på att hålet inte påverkas alls av nederbörd, utan håller en helt jämn grundvattennivå ca 1 m under markytan. Det faktum att hålet inte har några nivåfluktuationer men fortfarande återhämtar sig efter pumpning, tyder på att det har viss hydraulisk kontakt med omgivningen i den ytliga delen av borrhålet, samt att det finns ett dränerande lager 1 m under markytan som gör att nivån ej kan stiga.

2.6.4.2 Provpumpning SK-OBS1

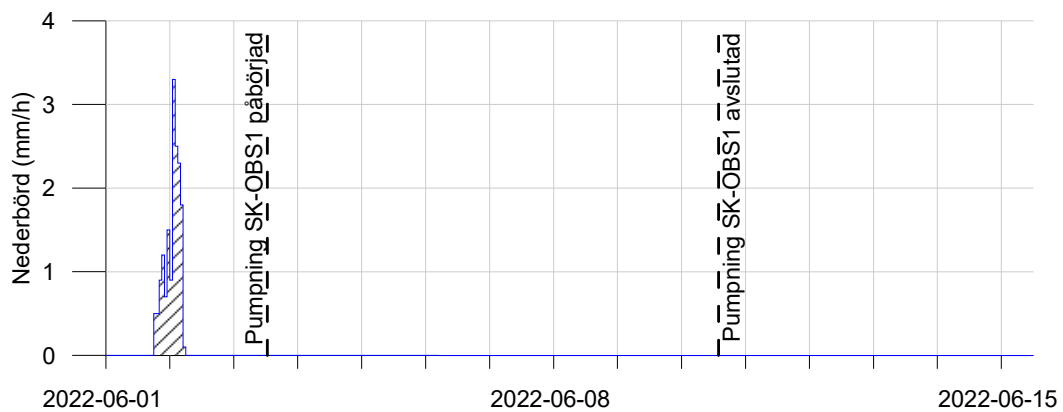
Provpumpningen i SK-OBS1 pågick mellan den 3 juni 2022 och den 10 juni 2022. Under pumpningen mättes nivå i brunn och observationspunkter manuellt med ljuslod samt automatiskt med tryckgivare. Två dagar före teststart föll ca 16 mm regn över täkten, därefter kom ingen nederbörd under hela pump- och återhämtningsperioden, se Figur 53.

Pumpningen startades med ett flöde på ca 4,5 l/min men detta höjdes successivt till ca 10 l/min. Efter ca fyra dygn reglerades flödet upp till ca 25 l/min för att öka avsänkningen men fick direkt sänkas då avsänkningen gick alldeles för snabbt. Efter ytterligare två dygn sänktes flödet till 7,5 l/min för att undvika att torrlägga brunnen igen. Efter totalt sju dygns pumpning avslutades testet. För visualisering av flöde och nivåavsänkning i pumpbrunnen, se Figur 52.

I pumpbrunnen SK-OBS1 låg grundvattennivån före pumpstart ca 3,5 m under markytan, på nivå +22,5 m. Ingen tydlig trend observerades i pumpbrunnen före teststart, däremot visade magasinet i stort på varierande trender, se Figur 54. Med anledning av borrhålens varierande beteenden och snabba förändringar före teststart har ingen nivåkorrigering gjorts med hänsyn till bakomliggande trender.

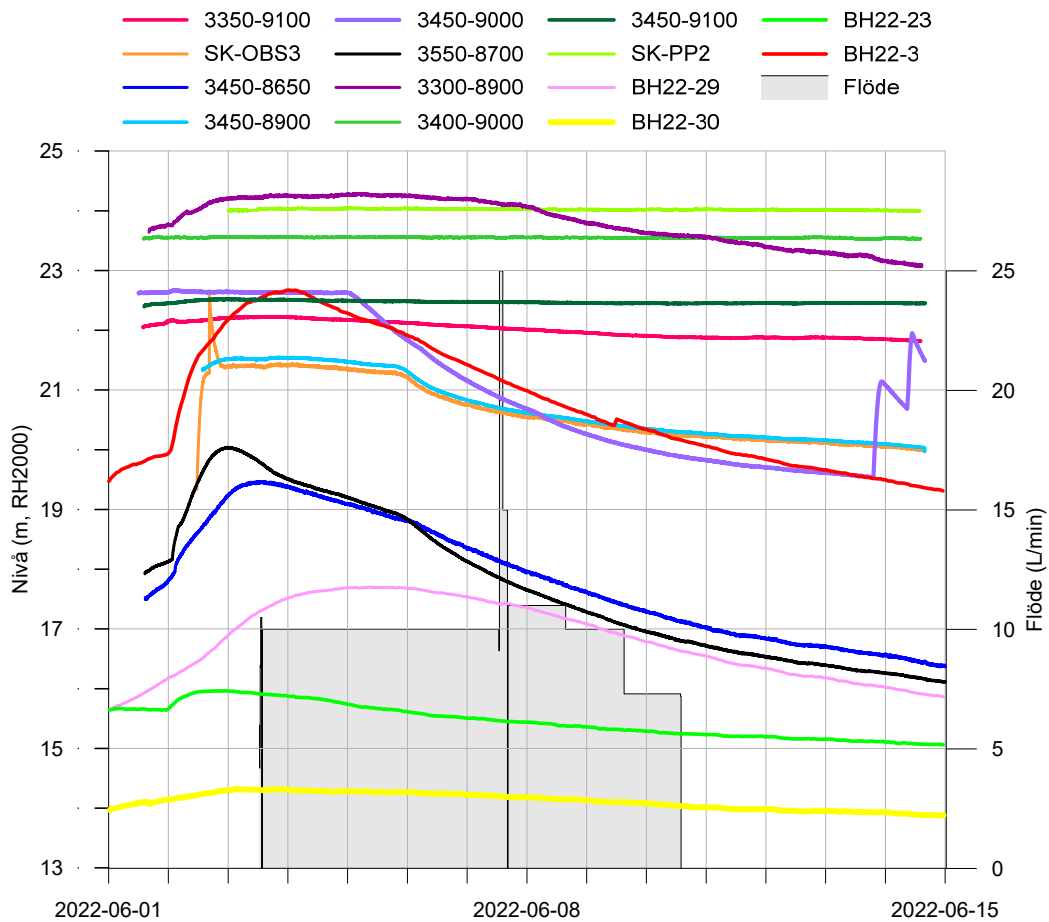


Figur 52. Nivå samt pumpflöde i SK-OBS1.



Figur 53. Nederbörd från SMHIs mätstation Fårösund Ar.

Avsänkning och pumpflöden i pumpbrunnen har analyserats i AQTESOLV. Analysen visar ett beteende som indikerar ett slutet, läckande magasin. Läckaget leder till att avsänkningen snabbt stannade av och la sig på en stabil nivå under första halvan av testet. Efter att nivån i brunnen sänkts av kraftigt i samband med flödesreglering fyra dagar efter pumpstart, erhålls en lägre nivå i brunnen trots motsvarande flöde som under de första dagarna. Det här tyder på ett tillflöde till brunnen som är konstant oavsett brunns trycknivå. Nivåförändringarna i samtliga observationsrör redovisas i Figur 54.



Figur 54. Nivå i samtliga observationsbrunnar, flöde i pumpbrunnen samt två referensrör utanför tätten.

Provpumpningen visade inga avsänkningar i observationsborrhålen orsakade av pumpning, däremot observerades plötsliga nivåavsänkningar efter 1,5 till 2,5 dygns pumpning i SK-OBS3, 3450-8900, 3450-9000 samt 3550-8700. Denna nivåförändring syns även i referensborrhål BH22-24 ca 2,2 km norr om pumpbrunnen under samma tidsperiod. Då nivåerna i nämnda borrhål fortsätter fluktuera utan förändring av trend efter pumpstopp bedöms dessa avsänkningar ej ha med pumpning att göra. Liknande nivåförändringar som ej härrör från pumpning beskrivs i kapitel 2.4 i PM Hydrogeologi Klinthagen expansion III.

För placering av pumpbrunn och observationspunkter, se Figur 55.



Figur 55. Placering pumpbrunn och observationspunkter vid provpumpningen i SK-OBS1.

Eftersom pumpbrunnens beteende varierar kraftigt under testets gång så finns det inte någon metod som ger en optimal passning för hela testet. Pumpkurvan passas därför till data 30 min från pumpstart tills den stora flödesjusteringen görs, samt till återhämtningsdata vid de två pumpstoppen. Den stora avsänkningen vid flödesförändringen i brunnen efter ca fyra dygns pumpning tas ingen hänsyn till. Hantush-Jacobs lösningsmetod för läckande slutna akvifärer har gett bäst passning.

Transmissiviteten i brunnen ligger med ovan beskrivna metod på ca $1E-6$ m²/s och magasinskoefficienten, som är mycket osäker, på ca $2E-7$, se Tabell 28.

Tabell 28. Transmissivitet och magasinskoefficient i den pumpade brunnen SK-OBS1.

Tranmissivitet (m ² /s)	Magasinskoefficient (-)
1E-6	2E-7

2.6.5 Hydrauliska korttidstest

I området har hydrauliska korttidstest utförts i form av pulstester samt sektionerade pulstester, se Tabell 29. I två av pulstesten genomfördes sektionerade pulstest för att kunna bedöma bergets egenskaper på olika nivåer. Sektioneringen genomfördes med uppblåsbara manschetter som placerades i mitten av borrhålen, på nivå +8 till +9 m.

Tabell 29. Borrhål med utförda hydrauliska korttidstest i området Södra Klinthagen.

Borrhål	Hydrauliska korttidstest	År för utförande av test
3750-8600	Sektionerat pulstest	2021
3750-8800	Sektionerat pulstest	2021
3850-9000	Pulstest	2021
SK-PP2	Pulstest	2022
SK-OBS1	Pulstest	2022
SK-OBS3	Pulstest	2022
PP6-2021	Pulstest	2021

Hydraulisk konduktivitet har utvärderats med metod enligt Cooper et. al (1967) samt enligt Hvorslev (1951) och redovisas i Tabell 30. Samtliga erhållna resultat enligt metod Cooper et. al (1967) beskrivs nedan och är sammanställda i Figur 56.

I 3750-8600 utfördes ett sektionerat pulstest. Återhämtningen av puls gick relativt snabbt både över och under manschett. Under manschett utvärderades den hydrauliska konduktiviteten till ca $2E-6$ till $3E-6$ m/s och ovan manschett till $1E-5$ m/s, vilket alltså motsvarar ett mycket genomsläppligt ytberg och ett något mindre genomsläppligt djupare berg.

Även i 3750-8800 utfördes ett sektionerat pulstest. Testet visade på liknande genomsläpplighet i hela borrhålet men en något högre hydraulisk konduktivitet i den övre delen. Den hydrauliska konduktiviteten utvärderades till mellan $3E-6$ till $8E-6$ m/s.

I 3850-9000 utfördes pulstest utan manschett. Utvärderingen visar på ett relativt tätt borrhål med en hydraulisk konduktivitet kring $1E-7$ m/s.

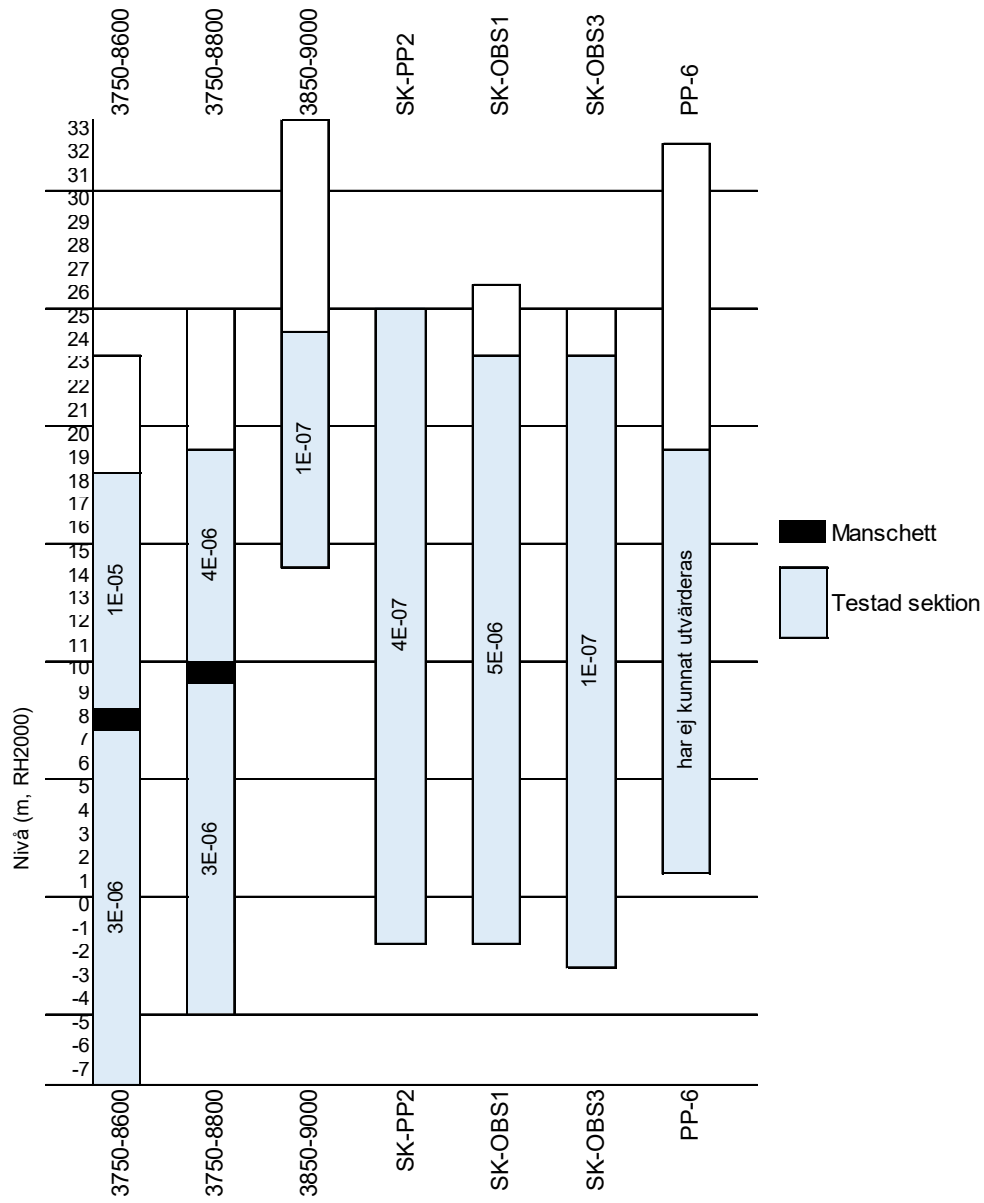
I SK-PP2 utfördes utöver en provpumpning, även ett pulstest utan manschett. Utvärdering av pulstestet visar att den hydraulisk konduktivitet i borrhålet är ca $4E-7$ m/s.

I SK-OBS1 utfördes pulstest utan manschett. Utvärderingen visar på ett relativt genomsläppligt borrhål med en hydraulisk konduktivitet kring $4-$ till $5E-6$ m/s.

I SK-OBS3 utfördes pulstest utan manschett. Utvärderingen visar på ett relativt tätt borrhål med en hydraulisk konduktivitet kring $6E-8$ till $1E-7$ m/s.

Tabell 30. Hydraulisk konduktivitet (m/s) i testade borrhål i området Södra Klinthagen.

Borrhål	Typ av test	Testad sektion (m, RH2000)	Hvorslev (1951)	Cooper et al. (1967)
3750-8600	Sektionerat pulstest	+8,5 till +17,5	1E-5	1E-5
		-7 till +7,5	2E-6	3E-6
3750-8800	Sektionerat pulstest	+9,5 till +19	8E-6	4E-6
		-5 till +8,5	3E-6	3E-6
3850-9000	Pulstest	+14 till +23,5	1E-7	1E-7
SK-PP2	Pulstest	-2 till +24,5	4E-7	4E-7
SK-OBS1	Pulstest	-1,5 till +23,3	4E-6	5E-6
SK-OBS3	Pulstest	-3 till +22,5	6E-8	1E-7
PP-6	Pulstest	+1 till +18,5	Långsam återhämtning, ej möjlig att utvärdera. Bedöms som mycket tät.	



Figur 56. Hydraulisk konduktivitet (m/s) utvärderat enligt Cooper et.al (1967). Figur redovisar borrhålsdjup, testade sektioner och var manschetten är placerad.

3 Sammanfattning hydraulisk konduktivitet

I Tabell 31 har erhållen hydraulisk konduktivitet från de utförda hydrauliska testerna sammanställts områdesvis. Med hänsyn tagen till magasinets mäktighet har en grov uppskattning av hydraulisk konduktivitet ingått i utvärderingarna av provpumpningarna.

Tabell 31. Sammanfattning av hydraulisk konduktivitet från tester (provpumpningar och pulstester).

Område	Hydraulisk konduktivitet (m/s)
Nordvästra Klinthagen	1E-9 till 1E-5 m/s, medianvärde i storleksordning 8E-8 m/s från pulstester. För det ytliga magasinet är kalkstenen mycket tät, i storleksordningen 5E-9 m/s eller lägre. För det djupa magasinet är medianvärdet i storleksordning 4E-7 m/s. Provpumpning indikerar hydraulisk konduktivitet i storleksordning 3E-6 m/s för det djupare magasinet.
Nordkross	1E-9 till 1E-4 m/s, medianvärde i storleksordning 1E-6 m/s från pulstester. Provpumpning indikerar hydraulisk konduktivitet i spannet 2E-7 till 1E-5 m/s, med ett mest sannolikt värde i storleksordning 3E-6 m/s.
Norra Klinthagen	1E-9 till 3E-5 m/s, medianvärde i storleksordning 3E-7 m/s från pulstester. Provpumpning indikerar hydraulisk konduktivitet i storleksordning 8E-7 m/s.
Centrala Klinthagen	1E-9 till 1E-4 m/s, medianvärde i storleksordning 2E-7 m/s från pulstester. Provpumpning indikerar hydraulisk konduktivitet i storleksordning 2E-7 m/s.
Takstens	1E-9 till 4E-6 m/s, medianvärde i storleksordning 8E-8 m/s från pulstester. Provpumpning indikerar hydraulisk konduktivitet i storleksordning 2E-7 m/s.
Södra Klinthagen	1E-9 till 1E-5 m/s, medianvärde i storleksordning 5E-7 m/s från pulstester. Provpumpning indikerar hydraulisk konduktivitet i storleksordning 2E-8 m/s för två av brunnarna och 3E-9 m/s i en av brunnarna.

4 Referenser

Bergab (2017). *PM Hydrogeologi Klinthagen. Bergtäkt på Stora Vikers 1:94, Klinthagentäkten*. Uppdragsnummer UG17111. 2018-02-13

Bergab (2018). *PM Hydrogeologi Nordkross. Kompletterande hydrogeologisk utredning Nordkross, Klinthagen*. Uppdragsnummer UG18080. 2018-06-04

Cooper, Broedehoeft och Papadopoulos (1967). *Response of a finite-diameter well to an instantaneous charge of water*. Water Resources Research, vol. 3, no. 1.

Dougherty & Babu (1984). *Flow to a partially penetrating well in a double-porosity reservoir*. Water Resources Research, vol. 20, no. 8.

Hantush, M.S. & Jacob C.E. (1955). *Non-steady radial flow in an infinite leaky aquifer*. Am. Geophys. Union Trans., vol. 36, pp. 95-100.

Hvorslev (1951). *Time Lag and Soil Permeability in Ground-Water Observations*. Bull. No. 36, Waterways Exper. Sta. Corps of Engrs, U.S. Army, Vicksburg, Mississippi.

Papadopoulos, I.S. och Cooper, H.H. (1967). *Drawdown in a well of large diameter*. Water Resources Research, vol. 3, no. 1.

Theis (1935). *The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage*. Am. Geophys. Union Trans., vol. 16.

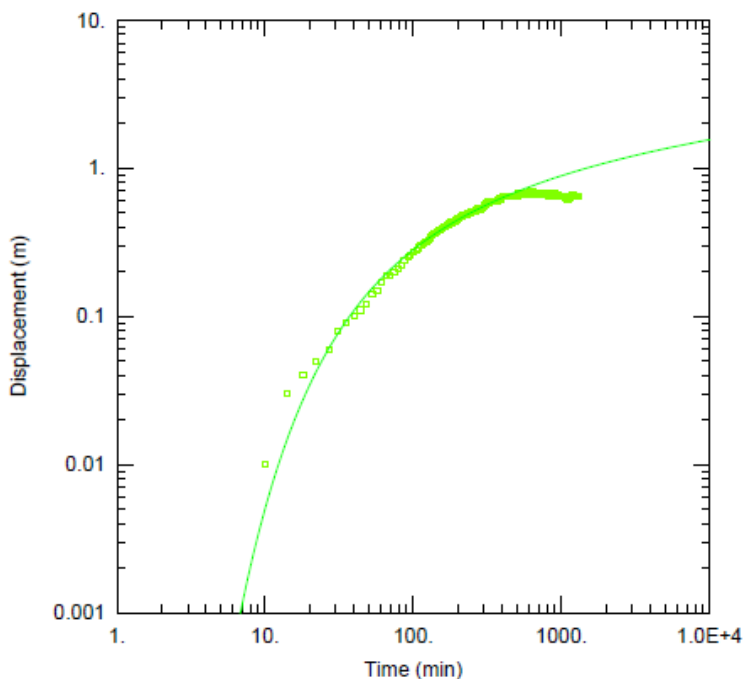
Bilaga 2.1

Utvärdering provpumpning AQTESOLV

INNEHÅLL

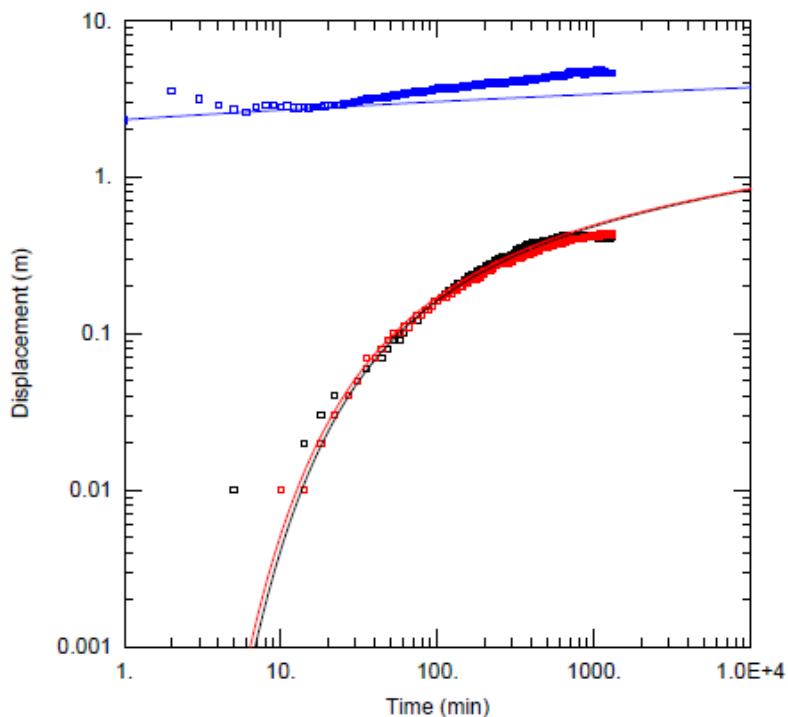
1 Område Nordvästra Klinthagen	1
2 Område Norra Klinthagen	3
3 Område Centrala Klinthagen	11
4 Område Takstens	12
5 Område Södra Klinthagen	20

1 Område Nordvästra Klinthagen



WELL TEST ANALYSIS					
Data Set: L:\...utvärderingpp2_PP2o 5700-9800.aqt					
Date: 12/11/17			Time: 15:58:41		
PROJECT INFORMATION					
Company: Bergab					
Client: Nordkalk					
Project: UG17111					
Location: Lärbro					
Test Well: PP2					
Test Date: 2017-10-20					
WELL DATA					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PP2	6415926.7	1679546.9	5700-9800	6415699	1679797
SOLUTION					
Aquifer Model: Confined			Solution Method: Theis		
T = 4.289E-5 m ² /sec			S = 2.503E-6		
Kz/Kr = 1.			b = 18.2 m		

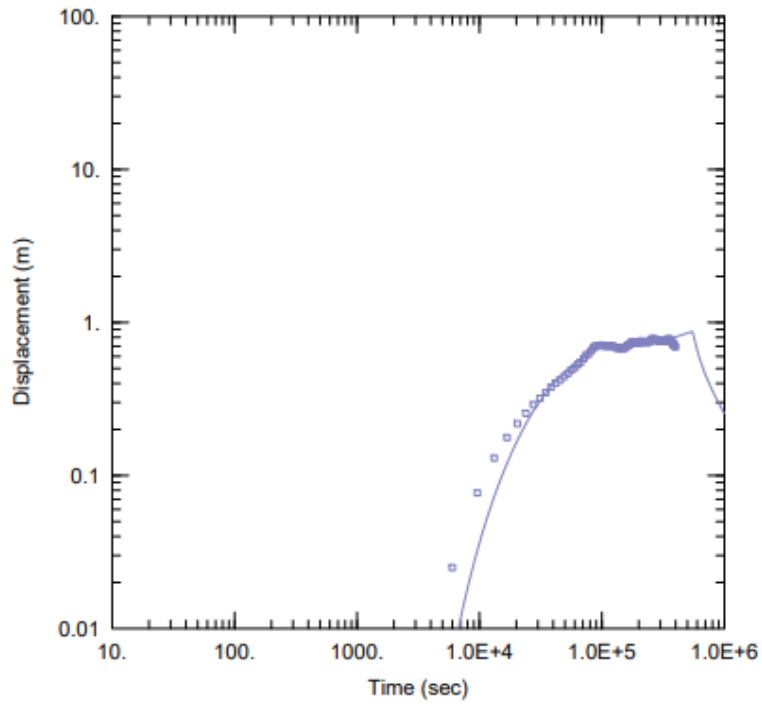
Figur 1. Utvärdering av 5700-9800 enligt Theis.



WELL TEST ANALYSIS					
Data Set: L:\...utvärderingpp2.aqt			Time: 15:55:58		
Date: 12/11/17					
PROJECT INFORMATION					
Company: Bergab					
Client: Nordkalk					
Project: UG17111					
Location: Lärbro					
Test Well: PP2					
Test Date: 2017-10-20					
WELL DATA					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PP2	6415926.7	1679546.9	PP2	6415926.7	1679546.9
			BH41	6415657	1679622
			5700-9400	6415700	1679400
SOLUTION					
Aquifer Model: Confined			Solution Method: Theis		
T = 8.235E-5 m ² /sec			S = 6.129E-6		
Kz/Kr = 1.			b = 18.2 m		

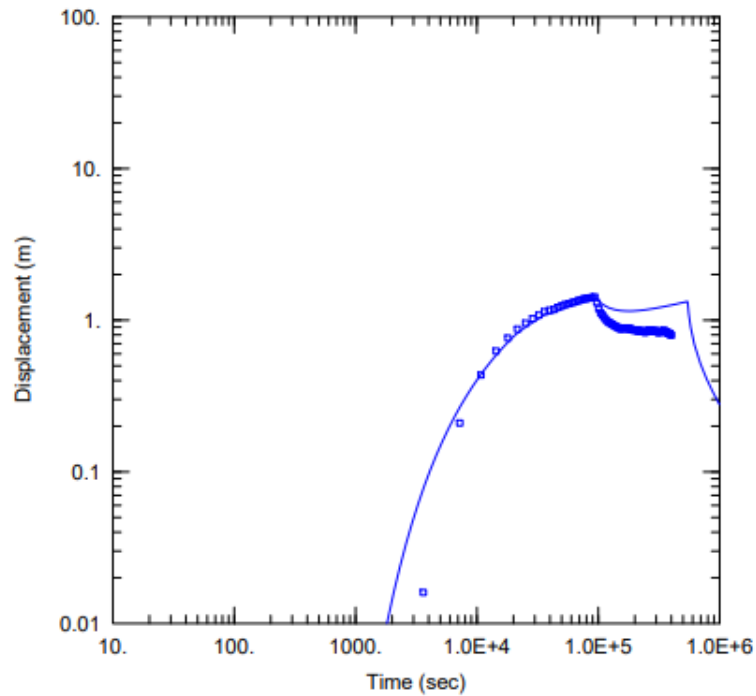
Figur 2. Integrerad utvärdering av PP2-2017, BH41 samt 5700-9400 enligt Theis.

2 Område Norra Klinthagen



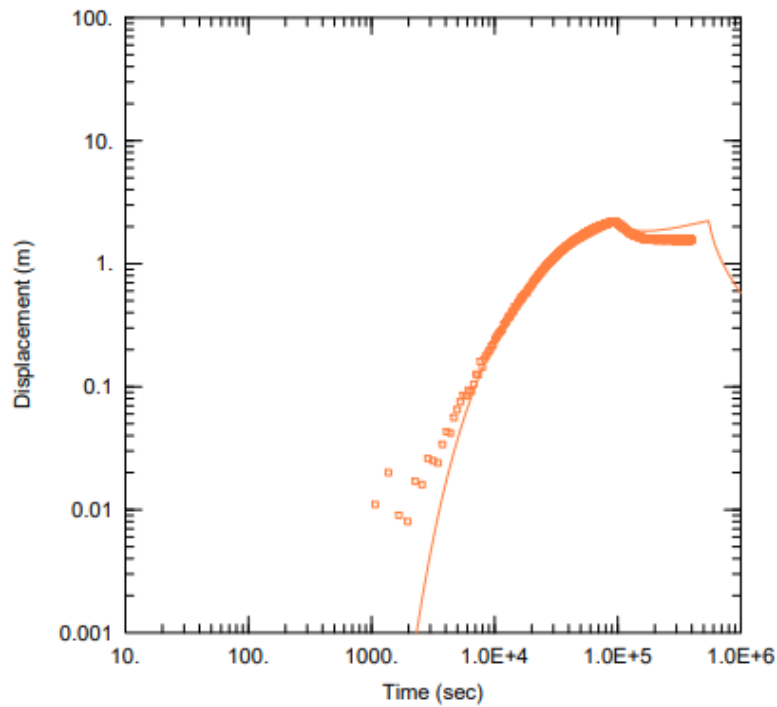
OMRÅDE 2					
Data Set: \...BH11_rapport.aqt			Time: 16:28:59		
Date: 01/09/23					
PROJECT INFORMATION					
Company: Nordkalk					
Project: UG21044A					
Location: Klinthagen					
Test Well: PP-3					
WELL DATA					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PP3-2021	727474.1	6415881.2	BH11	727833.7	6415991.6
SOLUTION					
Aquifer Model: Confined			Solution Method: Theis		
T = 2.692E-5 m ² /sec			S = 1.538E-5		
Kz/Kr = 1.			b = 17.5 m		

Figur 3. Utvärdering av BH11 enligt Theis.



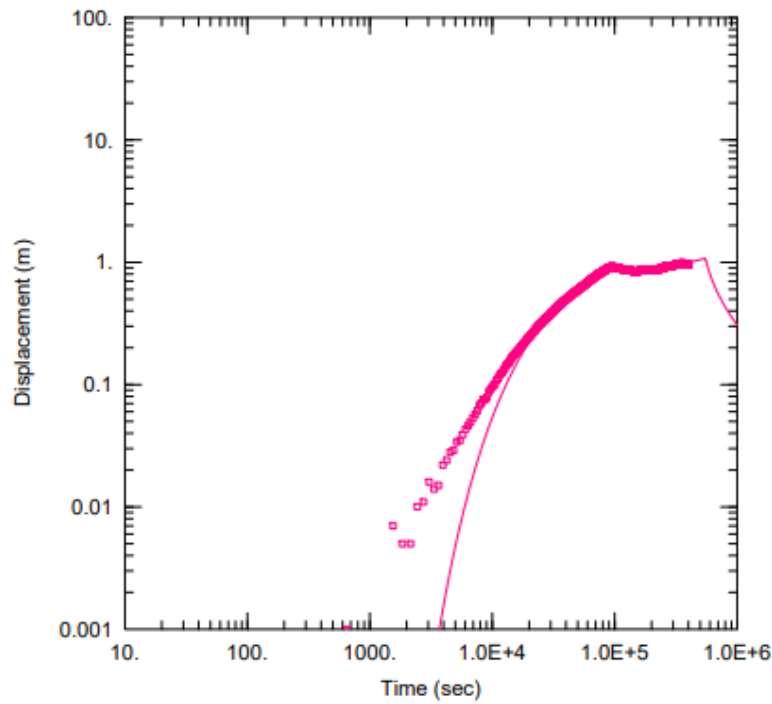
<u>OMRÅDE 2</u>					
Data Set: <u>\\...BH41_rapport.aqt</u>			Time: <u>16:38:35</u>		
<u>PROJECT INFORMATION</u>					
Company: <u>Nordkalk</u>					
Project: <u>UG21044A</u>					
Location: <u>Klinthagen</u>					
Test Well: <u>PP-3</u>					
<u>WELL DATA</u>					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PP3-2021	727474.1	6415881.2	■ BH41	727333.6	6416147
<u>SOLUTION</u>					
Aquifer Model: <u>Confined</u>			Solution Method: <u>Theis</u>		
T = <u>2.525E-5 m²/sec</u>			S = <u>6.217E-6</u>		
Kz/Kr = <u>1.</u>			b = <u>17.5 m</u>		

Figur 4. Utvärdering av BH41 enligt Theis.



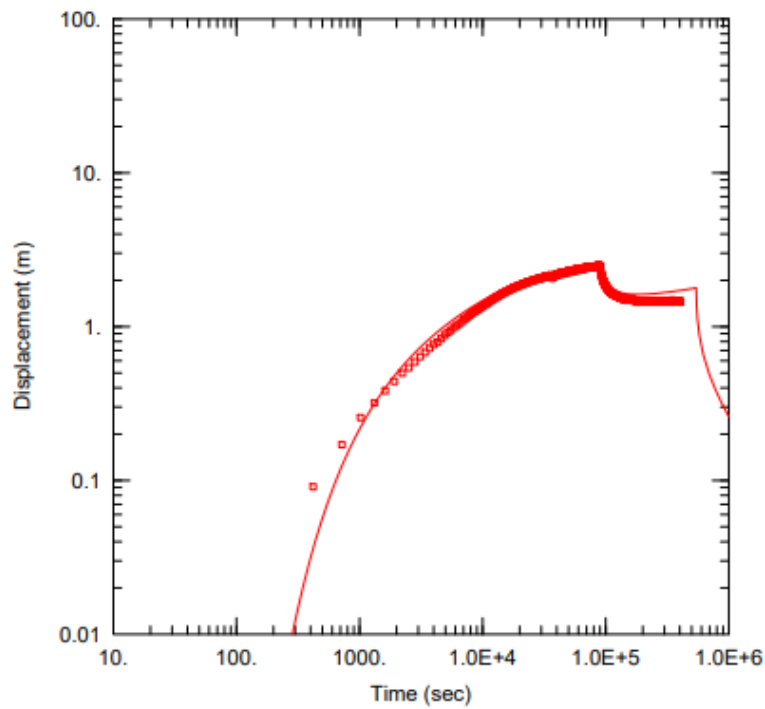
OMRÅDE 2					
Data Set: \...NK-2_rapport.aqt			Time: 15:38:56		
Date: 12/20/22					
PROJECT INFORMATION					
Company: Nordkalk					
Project: UG21044A					
Location: Klinthagen					
Test Well: PP-3					
WELL DATA					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PP3-2021	727474.1	6415881.2	NK-2	727609	6416002.7
SOLUTION					
Aquifer Model: Confined			Solution Method: Theis		
T = 1.202E-5 m ² /sec			S = 1.9E-5		
Kz/Kr = 1.			b = 17.5 m		

Figur 5. Utvärdering av NK-2 enligt Theis.



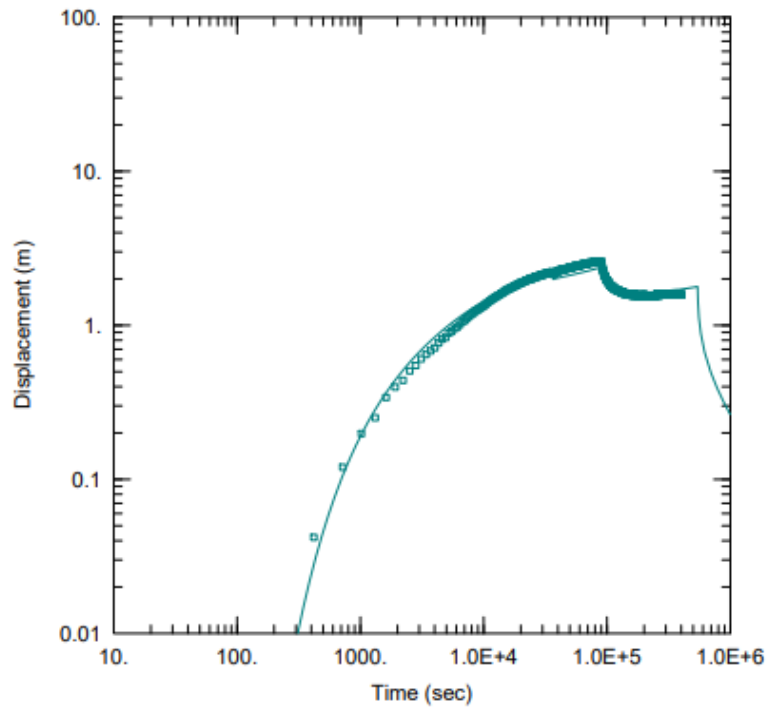
<u>OMRåDE 2</u>					
Data Set: <u>\\...NK-3_rapport.aqt</u>			Time: <u>16:12:33</u>		
<u>PROJECT INFORMATION</u>					
Company: <u>Nordkalk</u>					
Project: <u>UG21044A</u>					
Location: <u>Klinthagen</u>					
Test Well: <u>PP-3</u>					
<u>WELL DATA</u>					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PP3-2021	727474.1	6415881.2	■ NK-3	727438.4	6415634.7
<u>SOLUTION</u>					
Aquifer Model: <u>Confined</u>			Solution Method: <u>Theis</u>		
T = <u>2.239E-5</u> m ² /sec			S = <u>2.701E-5</u>		
Kz/Kr = <u>1.</u>			b = <u>17.5</u> m		

Figur 6. Utvärdering av NK-3 enligt Theis.



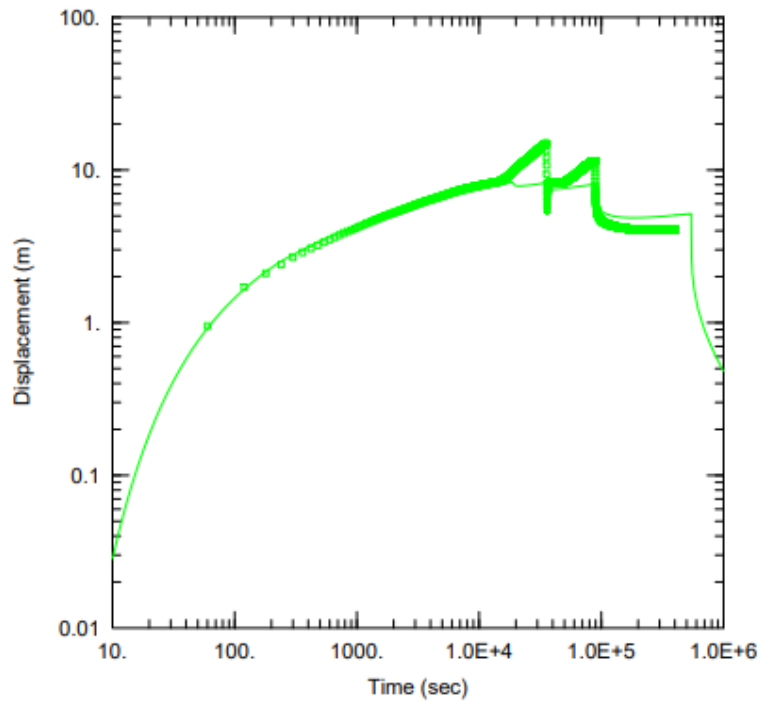
<u>OMRÅDE 2</u>					
Data Set: <u>\\.\PP1-2021_rapport.aqt</u>			Time: <u>14:14:39</u>		
<u>PROJECT INFORMATION</u>					
Company: <u>Nordkalk</u>					
Project: <u>UG21044A</u>					
Location: <u>Klinthagen</u>					
Test Well: <u>PP-3</u>					
<u>WELL DATA</u>					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PP3-2021	727474.1	6415881.2	PP1-2021	727443.1	6415993.1
<u>SOLUTION</u>					
Aquifer Model: <u>Confined</u>			Solution Method: <u>Theis</u>		
T = <u>2.709E-5</u> m ² /sec			S = <u>6.924E-6</u>		
Kz/Kr = <u>1.</u>			b = <u>17.5</u> m		

Figur 7. Utvärdering av PP1-2021 enligt Theis.



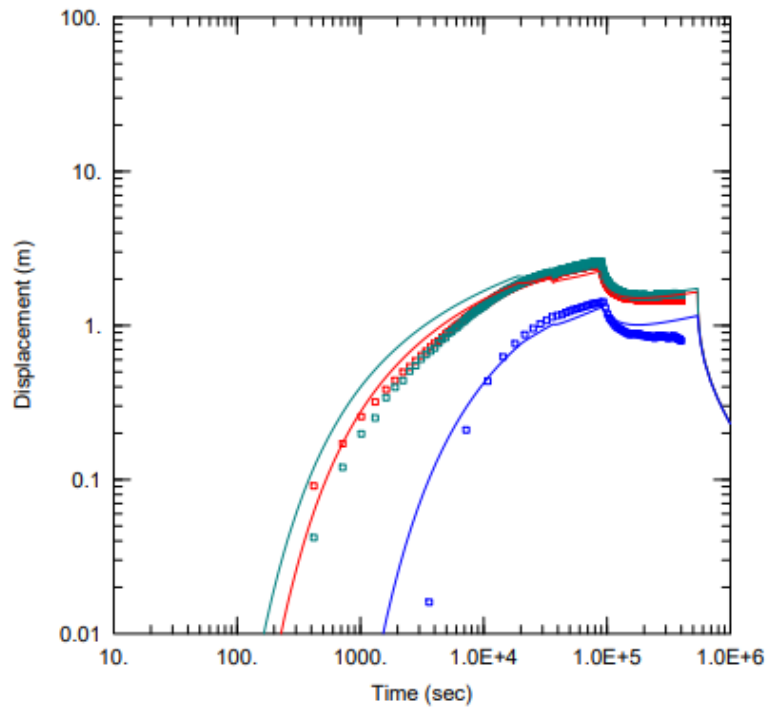
<u>OMRåDE 2</u>					
Data Set: <u>\\...PP2-2021_rapport.aqt</u>			Time: <u>14:40:51</u>		
<u>PROJECT INFORMATION</u>					
Company: <u>Nordkalk</u>					
Project: <u>UG21044A</u>					
Location: <u>Klinthagen</u>					
Test Well: <u>PP-3</u>					
<u>WELL DATA</u>					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PP3-2021	727474.1	6415881.2	PP2-2021	727380.6	6415913.7
<u>SOLUTION</u>					
Aquifer Model: <u>Confined</u>			Solution Method: <u>Theis</u>		
T = <u>2.673E-5</u> m ² /sec			S = <u>1.028E-5</u>		
Kz/Kr = <u>1.</u>			b = <u>17.5</u> m		

Figur 8. Utvärdering av PP2-2021 enligt Theis.



OMRÅDE 2					
Data Set: \...ny start kapat slut PP1-2-3.aqt			Time: 14:48:11		
Date: 12/20/22					
PROJECT INFORMATION					
Company: Nordkalk					
Project: UG21044A					
Location: Klinthagen					
Test Well: PP-3					
WELL DATA					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PP3-2021	727474.1	6415881.2	PP3-2021	727474.1	6415881.2
SOLUTION					
Aquifer Model: Confined			Solution Method: Theis		
T = 1.467E-5 m ² /sec			S = 0.4774		
Kz/Kr = 1.			b = 17.5 m		

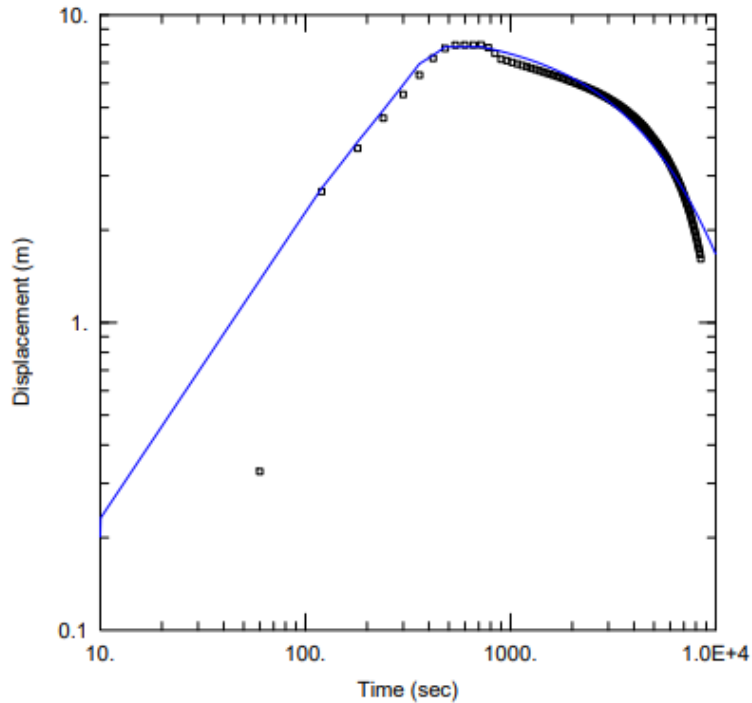
Figur 9. Utvärdering av PP3-2021 enligt Theis.



OMRåDE 2					
Data Set: \...PP1-PP2-2021_BH41_rapport.aqt			Time: 17:12:04		
Date: 01/09/23					
PROJECT INFORMATION					
Company: Nordkalk					
Project: UG21044A					
Location: Klinthagen					
Test Well: PP-3					
WELL DATA					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
PP3-2021	727474.1	6415881.2	PP1-2021	727443.1	6415993.1
			PP2-2021	727380.6	6415913.7
			BH41	727333.6	6416147
SOLUTION					
Aquifer Model: Confined			Solution Method: Theis		
T = 3.046E-5 m ² /sec			S = 6.024E-6		
Kz/Kr = 1.			b = 17.5 m		

Figur 10. Integrerad utvärdering av PP1-2021, PP2-2021 samt BH41.

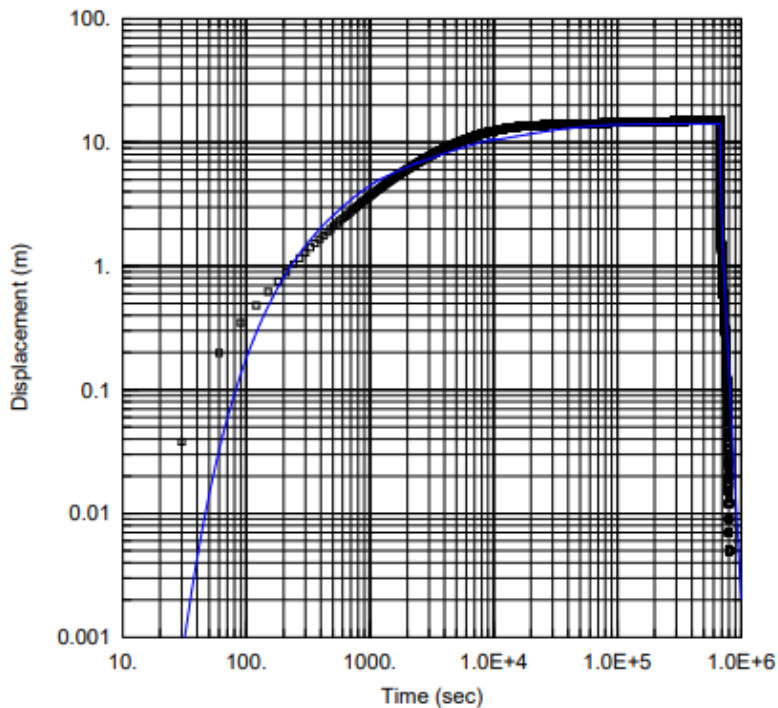
3 Område Centrala Klinthagen



WELL TEST ANALYSIS					
Data Set: <u>\\...CK-10 fram till första omstart RAPPORT.aqt</u>					
Date: <u>02/15/23</u>			Time: <u>14:36:26</u>		
PROJECT INFORMATION					
Company: <u>Nordkalk</u>					
Project: <u>UG21044C</u>					
Location: <u>Klinthagen</u>					
Test Well: <u>CK-10</u>					
Test Date: <u>2021-05-21</u>					
AQUIFER DATA					
Saturated Thickness: <u>9. m</u>			Anisotropy Ratio (Kz/Kr): <u>1.</u>		
WELL DATA					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
CK-10	0	0	CK-10	0	0
SOLUTION					
Aquifer Model: <u>Confined</u>			Solution Method: <u>Papadopoulos-Cooper</u>		
T = <u>1.916E-6 m²/sec</u>			S = <u>8.285E-11</u>		
r(w) = <u>0.0445 m</u>			r(c) = <u>0.0445 m</u>		

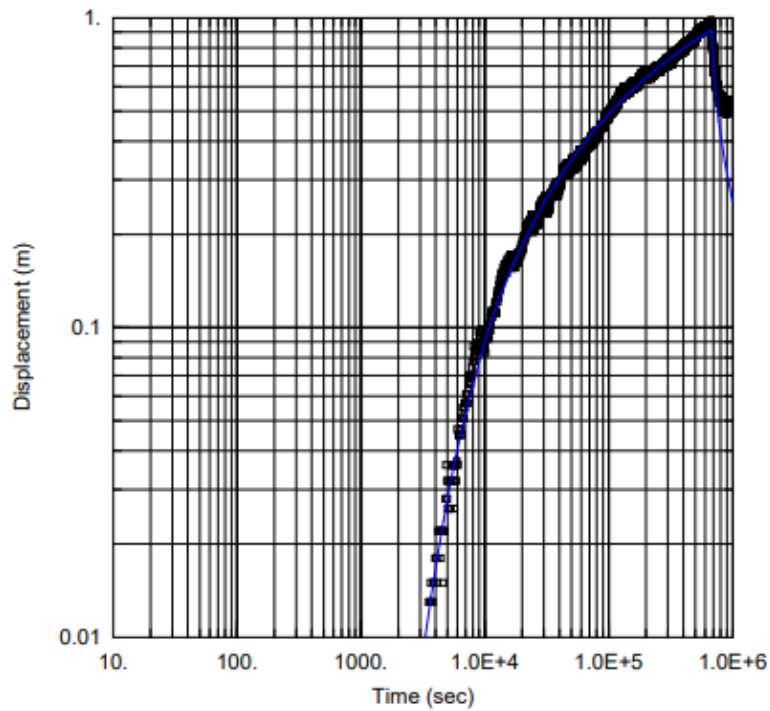
Figur 11. Utvärdering av brunn CK-10 enligt Papadopoulos-Cooper.

4 Område Takstens



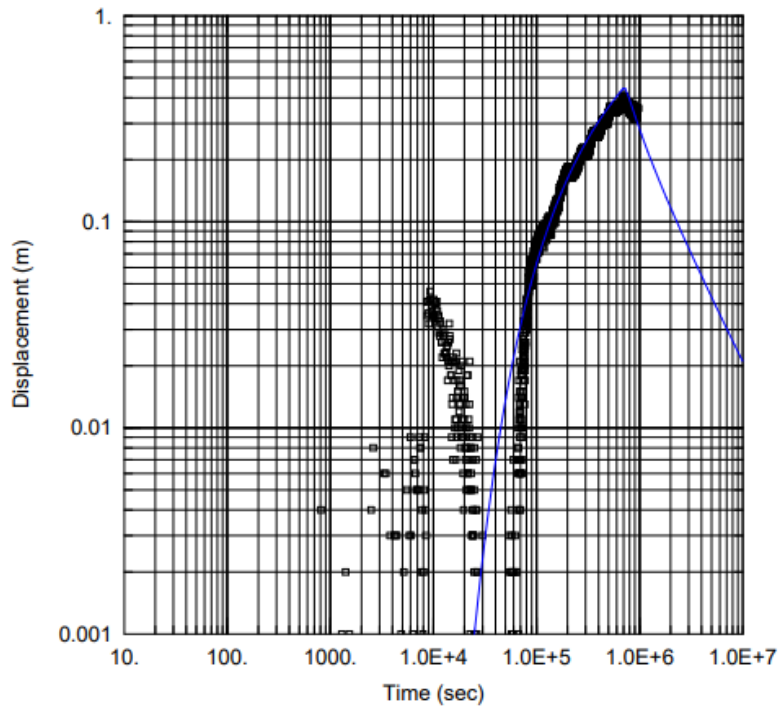
WELL TEST ANALYSIS					
Data Set: \...\TA-PP1 Pumpbrunn Hela tidsserie Hantush-Jacob.aqt					
Date: 02/02/23			Time: 16:40:52		
PROJECT INFORMATION					
Company: Bergab					
Client: Nordkalk AB					
Project: UG21044					
Location: Gotland					
WELL DATA					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
TA-PP1	6414049.526	727674.11	TA-PP1	6414049.526	727674.11
SOLUTION					
Aquifer Model: Leaky			Solution Method: Hantush-Jacob		
T	= 1.288E-6 m ² /sec		S	= 0.3079	
r/B	= 0.1155		Kz/Kr	= 1.	
b	= 28. m				

Figur 12. Utvärdering av pumpbrunn TA-PP1 enligt Hantush-Jacob.



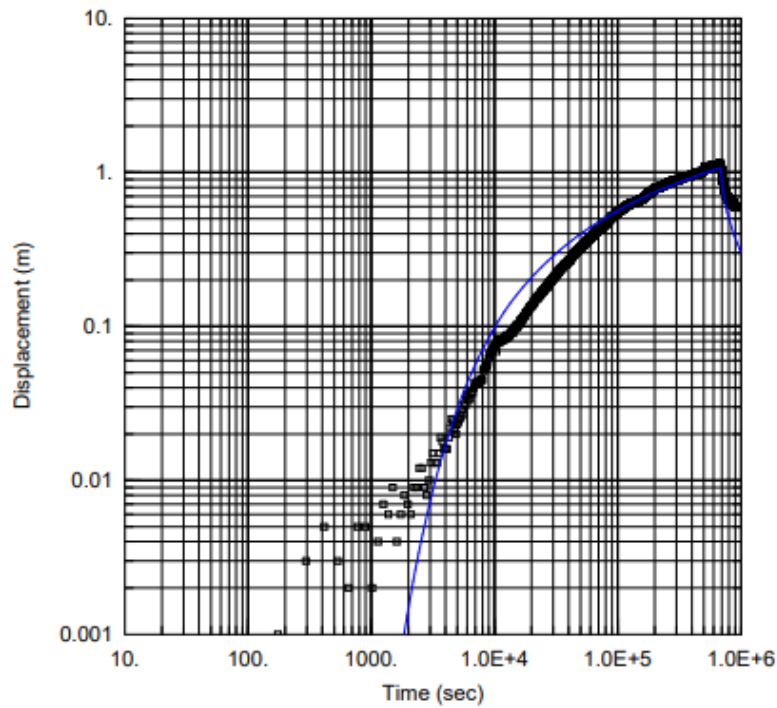
<u>WELL TEST ANALYSIS</u>					
Data Set: <u>\\...13450-9870 Hela tidsserie Leaky.aqt</u>					
Date: <u>02/02/23</u>			Time: <u>16:44:34</u>		
<u>PROJECT INFORMATION</u>					
Company: <u>Bergab</u>					
Client: <u>Nordkalk AB</u>					
Project: <u>UG21044</u>					
Location: <u>Gotland</u>					
<u>WELL DATA</u>					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
TA-PP1	6414049.526	727674.11	3450-9870	6413948.1	727644.8
<u>SOLUTION</u>					
Aquifer Model: <u>Leaky</u>			Solution Method: <u>Hantush-Jacob</u>		
T	= <u>1.731E-5 m²/sec</u>		S	= <u>4.5E-5</u>	
r/B	= <u>1.0E-5</u>		Kz/Kr	= <u>1.</u>	
b	= <u>28. m</u>				

Figur 13. Utvärdering av 3450-9870 enligt Hantush-Jacob.



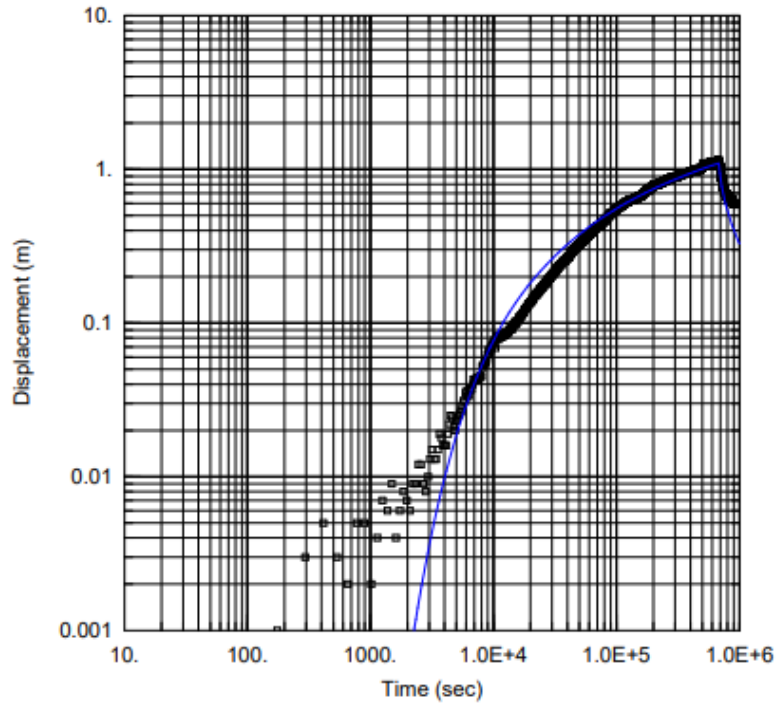
<u>WELL TEST ANALYSIS</u>					
Data Set: \...\3530-9820 UM Hela tidsserie Leaky.aqt					
Date: <u>02/02/23</u>			Time: <u>16:43:44</u>		
<u>PROJECT INFORMATION</u>					
Company: <u>Bergab</u>					
Client: <u>Nordkalk AB</u>					
Project: <u>UG21044</u>					
Location: <u>Gotland</u>					
<u>WELL DATA</u>					
<u>Pumping Wells</u>			<u>Observation Wells</u>		
<u>Well Name</u>	<u>X (m)</u>	<u>Y (m)</u>	<u>Well Name</u>	<u>X (m)</u>	<u>Y (m)</u>
TA-PP1	6414049.526727674.111		3530-9820 UM	6414022	727552.3
<u>SOLUTION</u>					
Aquifer Model: <u>Leaky</u>			Solution Method: <u>Hantush-Jacob</u>		
T = <u>1.311E-5 m²/sec</u>			S = <u>0.0003512</u>		
r/B = <u>1.0E-5</u>			Kz/Kr = <u>1.</u>		
b = <u>28. m</u>					

Figur 14. Utvärdering av 3530-9820 under manschett enligt Hantush-Jacob.



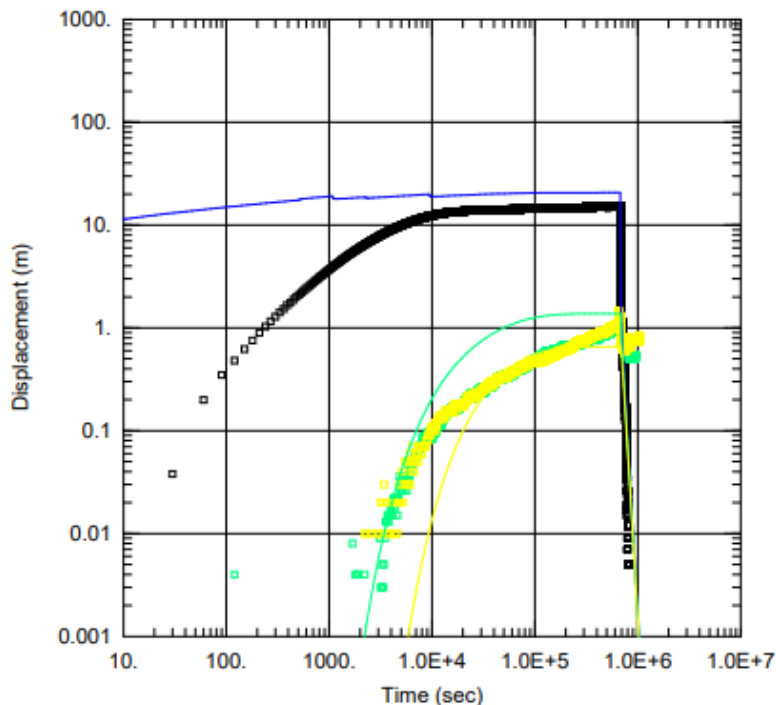
WELL TEST ANALYSIS					
Data Set: \...\BH22-35 UM Hela tidsserie Leaky.aqt					
Date: 02/02/23			Time: 16:39:24		
PROJECT INFORMATION					
Company: Bergab					
Client: Nordkalk AB					
Project: UG21044					
Location: Gotland					
WELL DATA					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
TA-PP1	727674.1116	414049.526	BH22-35 UM	727667.6476	413959.177
SOLUTION					
Aquifer Model: Leaky			Solution Method: Hantush-Jacob		
T	= 1.456E-5 m ² /sec		S	= 5.456E-5	
r/B	= 1.0E-5		Kz/Kr	= 1.	
b	= 28. m				

Figur 15. Utvärdering av BH22-35 under manschett enligt Hantush-Jacob.



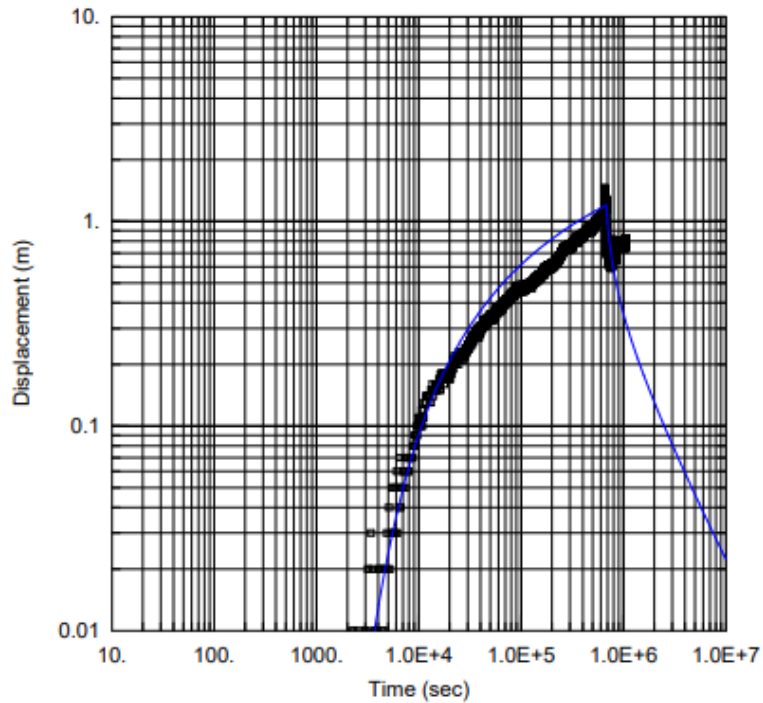
WELL TEST ANALYSIS					
Data Set: \...\BH22-35 ÖM Hela tidsserie Leaky.aqt					
Date: 02/02/23			Time: 16:40:04		
PROJECT INFORMATION					
Company: Bergab					
Client: Nordkalk AB					
Project: UG21044					
Location: Gotland					
WELL DATA					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
TA-PP1	727674.1116414049.526		BH22-35 ÖM	727667.6476413959.177	
SOLUTION					
Aquifer Model: Leaky			Solution Method: Hantush-Jacob		
T	= 1.343E-5 m ² /sec		S	= 6.264E-5	
r/B	= 1.0E-5		Kz/Kr	= 1.	
b	= 28. m				

Figur 16. Utvärdering av BH22-35 över manschett enligt Hantush-Jacob.



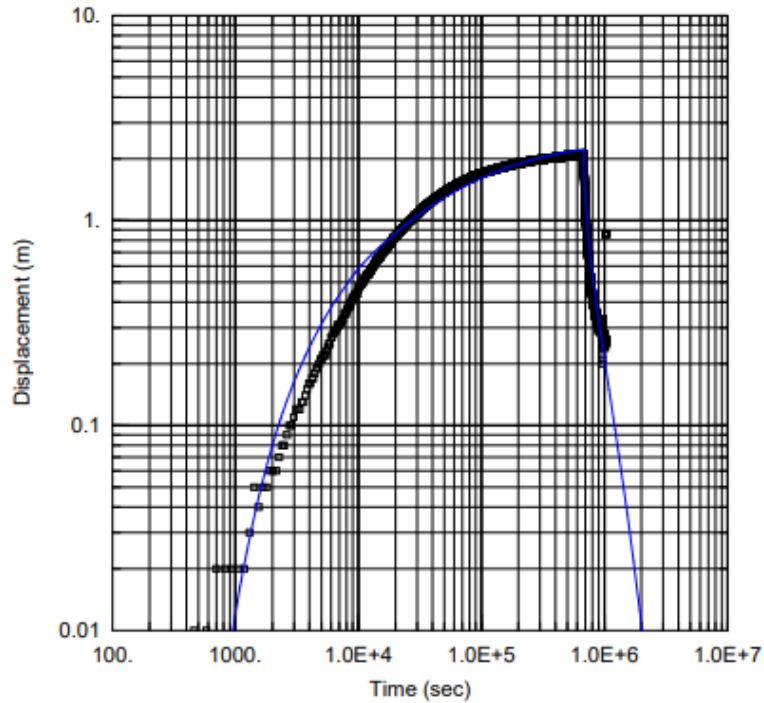
WELL TEST ANALYSIS					
Data Set: \...\ITA-PP2 och 1450-9870 +PB.aqt			Time: 16:42:33		
Date: 02/02/23					
PROJECT INFORMATION					
Company: Bergab					
Client: Nordkalk AB					
Project: UG21044					
Location: Gotland					
WELL DATA					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
TA-PP1	727674.1116	6414049.526	TA-PP1	727674.1116	6414049.526
			3450-9870	727644.8	6413948.1
			TA-PP2 UM	727771.3576	6414190.77
SOLUTION					
Aquifer Model: Leaky			Solution Method: Hantush-Jacob		
T	= 3.0E-6 m ² /sec		S	= 1.3E-5	
1/B	= 0.008121 m ⁻¹		Kz/Kr	= 1	
b	= 28 m				

Figur 17. Integrerad utvärdering av 3450-9870, TA-PP1 samt TA-PP2 under manschett enligt Hantush-Jacob.



WELL TEST ANALYSIS					
Data Set: \...TA-PP2 UM Hela tidsserie Leaky.aqt					
Date: 02/02/23			Time: 16:41:30		
PROJECT INFORMATION					
Company: Bergab					
Client: Nordkalk AB					
Project: UG21044					
Location: Gotland					
WELL DATA					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
TA-PP1	6414049.526	727674.11	TA-PP2 UM	6414190.77	727771.35
SOLUTION					
Aquifer Model: Leaky			Solution Method: Hantush-Jacob		
T	= 1.246E-5 m ² /sec		S	= 1.524E-5	
r/B	= 1.0E-5		Kz/Kr	= 1.	
b	= 28. m				

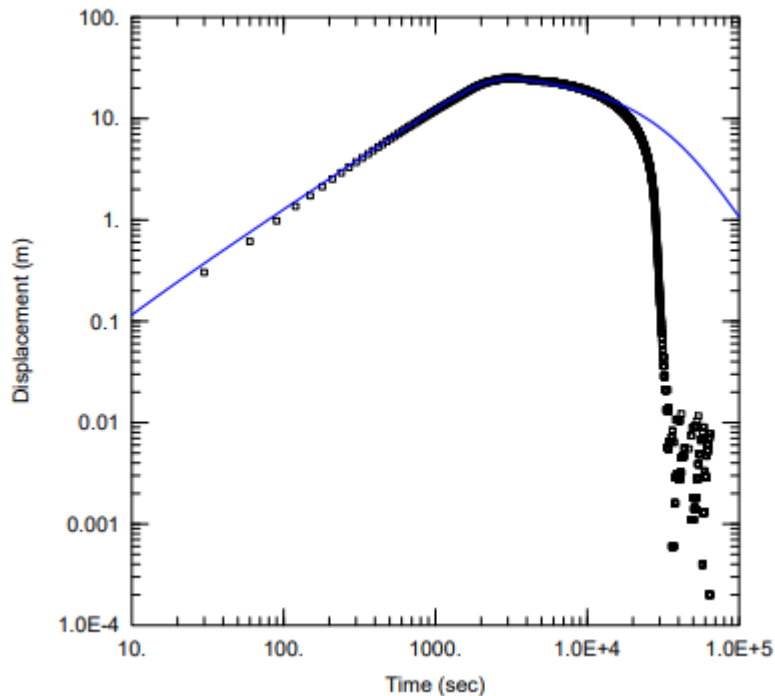
Figur 18. Utvärdering av TA-PP2 under manschett enligt Hantush-Jacob.



WELL TEST ANALYSIS					
Data Set: \...TA-PP3 UM Hela tidsserie leaky.aqt					
Date: 02/02/23			Time: 16:41:58		
PROJECT INFORMATION					
Company: Bergab					
Client: Nordkalk AB					
Project: UG21044					
Location: Gotland					
WELL DATA					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
TA-PP1	727674.1116	414049.526	TA-PP3 UM	727484.8996	413847.051
SOLUTION					
Aquifer Model: Leaky			Solution Method: Hantush-Jacob		
T	= 7.157E-6 m ² /sec		S	= 1.012E-6	
r/B	= 0.1441		Kz/Kr	= 1.	
b	= 28. m				

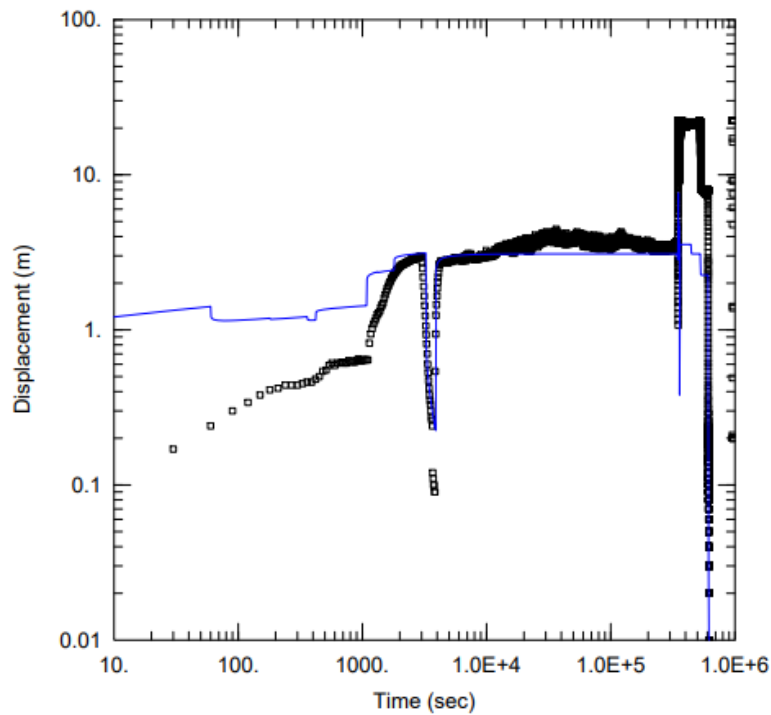
Figur 19. Utvärdering av TA-PP3 under manschett enligt Hantush-Jacob.

5 Område Södra Klinthagen



WELL TEST ANALYSIS					
Data Set: \..ISK-PP2_babu.aqt			Time: 12:54:52		
Date: 01/10/23					
PROJECT INFORMATION					
Company: Nordkalk					
Project: UG21044C					
Location: Klinthagen					
Test Well: SK-PP2					
Test Date: 2022-06-03					
AQUIFER DATA					
Saturated Thickness: 26. m			Anisotropy Ratio (Kz/Kr): 1.		
WELL DATA					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
SK-PP2	0	0	SK-PP2	0	0
SOLUTION					
Aquifer Model: Confined			Solution Method: Dougherty-Babu		
T = 5.838E-7 m ² /sec			S = 2.789E-5		
Kz/Kr = 1.			Sw = 2.		
r(w) = 0.0575 m			r(c) = 0.0575 m		

Figur 20. Utvärdering av pumpbrunnen SK-PP2 enligt Dougherty-Babu.



WELL TEST ANALYSIS					
Data Set: \...\SK-OBS1 första delen till rapport.aqt					
Date: 03/02/23			Time: 15:40:36		
PROJECT INFORMATION					
Company: Nordkalk					
Project: UG21044C					
Location: Klinthagen					
Test Well: SK-OBS1					
Test Date: 2022-06-03					
WELL DATA					
Pumping Wells			Observation Wells		
Well Name	X (m)	Y (m)	Well Name	X (m)	Y (m)
SK-OBS1	726606	6413659	SK-OBS1	726606	6413659
SOLUTION					
Aquifer Model: Leaky			Solution Method: Hantush-Jacob		
T	= 1.161E-6 m ² /sec		S	= 1.972E-7	
r/B	= 0.0003376		Kz/Kr	= 1.	
b	= 27.5 m				

Figur 21. Utvärdering av pumpbrunnen SK-OBS1 enligt Hantush-Jacob. Passning anpassad efter perioden efter ca 2000 s samt återhämtning.