



FÖRUNDERSÖKNINGSMETODERS VÄRDE OCH NYTTA UR PROGNOSSYNPUNKT VID TUNNELBYGGANDE

Per-Gunnar Alm

Peter Jonsson

Leif Bjelm

Omslagsbild: Genombrott Malmö Citytunnel 21/8 2007
Foto: Leif Bjelm

FÖRUNDERSÖKNINGSMETODERS VÄRDE OCH NYTTA UR PROGNOSSYNPUNKT VID TUNNELBYGGANDE

**Site investigations - Value and benefit from
a prognosis point of view at tunnel construction**

Per-Gunnar Alm, Lunds Tekniska Högskola
Peter Jonsson, Lunds Tekniska Högskola
Leif Bjelm, Lunds Tekniska Högskola

Förord

I samband med byggande av underjordsanläggningar använder vi oss av olika metoder för genomförande av förundersökningar för att få en uppfattning om hur jord- och bergmaterial ser ut och därigenom vilka förutsättningar vi har för planering och byggande. Idag finns det en bred uppsättning av olika metoder med direkta metoder som t ex borring och många olika typer av geofysiska metoder som vanligtvis behöver tolkas. Val av metod bestäms från projekt till projekt och är ett viktigt val eftersom det bestämmer redan i ett tidigt skede vilken typ och omfattning av information man får ut från förundersökningarna.

Arbetet med föreliggande rapport initierades för att utvärdera vilka förundersökningsmetoder som idag används i våra projekt och hur relevant och nyttig den information som inhämtas är för projekten. Rapporten kan i en förlängning tjäna som underlag för att optimera arbetet med förundersökningar och uppvisar också den bredd av undersökningar som står till branschens förfogande.

Utredningen har genomförts genom att studera hur några utvalda referensprojekt genomfört förundersökningar och dess erfarenheter. Dessutom har ett stort antal intervjuer av erfarna personer med olika roller i branschen genomförts. Med hjälp av ett stort antal enkätförfrågningar har underlaget breddats. Utredningen redovisar hur branschen ser på olika förundersökningsmetoder och grundar avslutningsvis sina rekommendationer på framtida möjligheter för att dra nytta av erfarenheter såväl som nya metoder.

Projektet som inleddes år 2009 har finansierats av BeFo och utförts av en grupp vid Lunds Tekniska Högskola bestående av Per-Gunnar Alm, Peter Jonsson och Leif Bjelm. En referensgrupp har till och från bidragit med stöd till projektet vilket vi tackar för. Gruppen bestod av Johan Brantmark (Trafikverket, f.d. Helsingborgs stad), Thomas Dalmalm (Trafikverket), Åke Hansson (Trafikverket), Jan Hartlen (Trafikverket, f.d. Hallandsåsprojektet), Bengt Ludvig (Petro Team Engineering), Kenneth Rosell (Trafikverket), Kjell Windelhed (ÅF, f.d. Trafikverket), Mikael Hellsten (BeFo t.o.m. 2011) och Per Tengborg (BeFo fr.o.m. 2012).

Stockholm i april 2013

Per Tengborg

Sammanfattning

Projektet, som finansieras av BeFo, inleddes under hösten 2009 som ett treårigt projekt med redovisning under utgången av 2012. Uppdragets fullständiga titel är Förundersökningars värde och nytta ur prognossynpunkt vid tunnelbyggnad.

Arbetet har omfattat studier av referensobjekt samt strukturerade intervjuer med företrädare för referensobjekten, samt en enkätundersökning riktad till de intervjuade personerna och till branschen som helhet, den senare i form av webbaserade frågeformulär.

Informationen från intervjuer och enkäter är tämligen omfattande, totalt har mer än 5.500 enskilda frågor besvarats, och ett av målen med redovisningen är att tydliggöra det inkomna materialets breda informationsvärde och i tillägg lämna en del kommentarer till vad resultaten visar. Det är vår förhoppning att den första målsättningen, där resultaten redovisas med enkla grafer, skall stimulera till kommentarer från de yrkeskategorier som arbetar med förundersökningar. Några förslag till fortsatt arbete grundat på slutsatserna i projektet ges nedan i kapitel 8.

Ett resultat, som framstår över andra, är att direkta metoder tillmäts störst värde och nytta samtidigt som de anses mindre/minst komplexa att arbeta med. Det vill säga metoder som genererar fysiska prover t.ex. kärnbörning, annan in-situinformation som Jb-sondering eller annan typ av börning. Provpumpning hör också till denna kategori i undersökningen. Man kan av detta dra slutsatsen att handfasta, in-siturerelaterade metoder som levererar en fysiskt användbar produkt är att föredra. För de flesta är detta säkerligen en bekräftelse av en uppfattning som varit förhärskande åtminstone de senaste 30 åren.

Därefter kommer de geofysiska metoderna refraktionsseismik och borrhålsloggning som också bedöms förhållandevis enkla att handha. Refraktionsseismik levererar data om kompressionsvågens utbredningshastighet vilket är direkt relevant information avseende mekaniska materialegenskaper. Detta kan förklara dess höga värdering i undersökningen. Borrhålsloggning ger en in-situinformation av flera olika slag vad gäller fysikaliska egenskaper vilket sannolikt bedöms som värdefullt. Den relativt höga värderingen är trots allt lite oväntad med tanke på att borrhålsloggning är en relativt ny företeelse vid förundersökningar i Sverige om man därmed avser klassisk geofysisk borrhålsloggning. Enligt vad vi känner till, har geofysisk borrhålsloggning använts i ganska få och stora infrastrukturprojekt, företrädesvis i södra Sverige. I det fall man inrymmer borrhålsmätningar som filmar, tar bilder etc. i borrhålen får man emellertid en bredare nationell representation.

Nästan lika högt som refraktionsseismik värderas resistivitetsprofilering och reflektionsseismik. Resistivitetsmetoden är idag väletablerad och levererar data med hög rumslig

täckning och har rimligtvis därför bedömts som värdefull för det tidiga skedet av en förundersökning. Metoden bedöms som relativt lätt att arbeta med. Vad gäller reflektionsseismik så är värdesättningen i sig rimlig men man måste tillägga att metoden inte tillämpats i särskilt många tunnelprojekt i vårt land ännu, främst Citytunneln och Helsingborgstunneln. Liksom för borrhålsloggning har vi igen troligtvis att göra med en ”geografisk effekt” i undersökningsmaterialet.

Frågan inställer sig då hur man skall se på ett resultat som så tydligt visar att direkta metoder värderas som mer värdefulla än indirekta metoder. I det fall man anser att en förundersökning måste verifieras med ett prov så är resultatet logiskt och relevant för i princip varje projekt. Med undantag för de seismiska metoderna erhålls med de flesta andra geofysiska metoder fysikaliska enheter som inte är direkt kompatibla med de vanliga geotekniska och bergmekaniska parametrarna vilka har någon form av mekanisk innebörd. En direkt översättning är inte möjlig men en tolkning kan göras eftersom t.ex. enheten resistivitet som i grunden har koppling till egenskaper som porositet, vattenkvot etc. Om man däremot ser till förmågan att producera kontinuerliga sektioner av undergrunden och fånga variationer och avvikelser av den geologiska uppbyggnaden så är resistivitetsprofilering och i lämpliga geologiska miljöer även georadarprofilering mycket värdefulla och förhållandevis enkla att använda. Det grafiska resultatet är lättbegripligt och lämpar sig väl för visualisering av förutsättningarna på plats.

Man bör se förundersökningen som en process där man arbetar efter principen Top - Down där en skalrelaterad arbetsordning kombinerar indirekta, profilerande/yttäckande geofysiska metoder med direkta in-situmetoder såsom t.ex. kärnbörning . De direkta metoderna utgör då slutfasen i processen och uppfattas därför kanske som mest värdefulla. Verifiering är ju ändå en konkretisering som är säkrare att hålla sig till, tills ny information finns för handen.

Summary

Interviews and web-questionnaires have been used in this project to investigate how 75 persons, active in tunnel engineering, look upon the value and usefulness of different field investigation methods, all as a part of the pre-investigation process. In all, over 5.500 individual questions have been answered and analyzed.

The amount of information gathered by the project is rather extensive and one aim is to make the information easy accessible and also give comments to what the information tells us about the pre-investigation process and the field methods incorporated in that process. The information will hopefully stimulate colleagues to comment the results and maybe also make use of the results.

One outcome is evident and stands out. Direct methods are considered as the most useful and valuable and less complex to work with. Those are; core drilling, core classification, soil-rock sounding, percussion drilling and sampling. In other words they are all in situ methods. Providing a physical sample and concrete in situ data is obviously fundamental. For most people working with rock tunneling projects this outcome is not surprising as that same concept has been valid for at least the last 30 years.

A group of geophysical methods have been considered more valuable and useful than other geophysical methods. Rather close to some of the direct methods. Those are refraction seismics and geophysical borehole logging. Seismic methods deliver information about for example the P-wave velocity, which is a fundamental physical unit, related to mechanical properties. This is probably the reason for its high ranking. The high ranking for geophysical borehole logging is a little unexpected for what is common in Sweden. However, a couple of major tunnel project in southern Sweden, where there is sedimentary bedrock, might have favoured logging applications in this study. If borehole optic methods have been what the respondents have related to, the ranking becomes more representative for Sweden as a whole. Resistivity profiling comes close to refraction seismic in ranking and is a well-established method today. It provides data with high spatial coverage and is fairly easy to work with. This makes it very useful in the early stages of the project planning. Reflection seismic also got a high ranking in spite of the fact that only few projects have used the method yet. Again, projects in sedimentary bedrock environments have influenced the results in a certain direction to some extent.

So; coring, drilling and sampling or if one so desire Direct methods are the most valuable, useful and fairly easy methods to work with. The need of a physical sample and in situ data makes the outcome of the investigation logic and is in practice valid for any rock-tunneling project. With the exception of refraction seismic, surface seismic and bore hole sonic data most other geophysical methods provide physical data not directly compatible with rock mechanic units. However for example the resistivity of a rock mass does provide information about porosity and water content which can be useful in

interpretation of weathering, faults etc. In particular resistivity profiling, and in adequate environments also ground penetrating radar, are very useful in providing continuous sections and spatial information of the subsurface geological conditions. Common for profiling methods is the potential to deliver data for visualization, which has become valuable today in a variety of occasions in a building process.

A pre-investigation is a process where it is likely that the work follows the principle, Top-Down. A work order where the progress is a continuous zooming into a more and more detailed and building object oriented concept. Data from the direct methods tends to come in late in the process and compose verifications of different kinds. One should assume that verifications based on solid samples and in situ measurements are to a significant extent risk reducing and safest until new information is available. That might explain the ranking.

Innehåll

1 Inledning	1
1.1 Problemställning och målsättning	1
1.2 Projektet	1
1.2.1 Projektets genomförande i korthet.....	2
1.2.2 Projektpersoner.....	3
1.2.3 Referensgruppen.....	3
2 Förundersökningar	5
2.1 Förundersökningar i Eurokoderna.....	7
2.1.1 Förundersökningsrapporter.....	8
2.1.2 Trafikverkets regelverk	8
2.2 Förundersökningsmetoder	9
3 Fältundersökningsmetoder	11
3.1 Resistivitetsmetoden.....	12
3.2 Elektromagnetiska metoder.....	13
3.3 Georadar	14
3.4 Geofysiska borrhålmätningar.....	16
3.5 Magnetometri	17
3.6 Gravimetriska metoder	18
3.7 Seismiska metoder.....	19
3.7.1 Aktiva metoder	19
3.7.2 Passiva metoder.....	21
3.8 Undersökningsborrning	22
3.8.1 Sonderingsmetoder	22
3.8.2 Provtagningsmetoder	23
3.8.3 Undersökningsborrning för hydrogeologiska ändamål	24

3.9	Hydrogeologiska tester och provpumpning	25
3.9.1	Spårämnesmätningar	26
4	Beskrivning av referensobjekt.....	27
4.1	Hallandsåstunneln	27
4.2	Citytunneln, Malmö	29
4.3	Ådalsbanan	30
4.4	Förbifart Stockholm	32
4.5	Skrea Backe.....	34
4.6	Tranebergstunneln	35
5	Intervjuer	37
5.1	Metodbeskrivning.....	37
5.1.1	Utvärdering av intervjuer	37
5.2	Resultat.....	38
5.2.1	Förundersökningarnas roll.....	38
5.2.2	Förundersökningarnas användbarhet och användning.....	39
5.2.3	Förundersökningarnas innehåll.....	40
5.2.4	Kommunikation i projekten.....	41
5.2.5	Informationsvärdesanalys.....	41
5.2.6	Erfarenhetsåterföring.....	41
5.2.7	Nationell skillnad i kunskap om metoder	42
5.2.8	Är kostnadsuppskattningarna för optimistiska?.....	43
5.2.9	Organisation	43
6	Enkätundersökning	45
6.1	Metodbeskrivning.....	45
6.1.1	Enkät till intervjupersoner	46
6.1.2	Webbenkät.....	46
6.2	Resultat, enkät	47
6.2.1	Respondenterna	47
6.2.2	Kännedom, värde och användbarhet	49
6.3	Användning av övrigt material.....	51
6.4	Kompetensutveckling.....	53

7	Analys och diskussion.....	57
7.1	Intervjupersonernas svar	57
7.2	Enkätundersökningens utfall	58
7.3	Intervjupersoner kontra webbresponenter	60
7.4	Fortbildning	65
7.5	Diskussion	65
8	Rekommendationer	69
8.1	Utbildning och information	69
8.2	Moderniserade rekommendationer	69
8.3	Ta tillvara erfarenhet	69
9	Erkännanden.....	71
10	Referenser.....	73
A.	Litteraturförteckning	81
B.	Referensgrupp.....	85
C.	Standarder för förundersökningar och liknande	87
D.	Standarder för för- och fältundersökningsmetoder	89
E.	Intervjuunderlag.....	91
F.	Svar på intervjufrågorna	93
G.	Enkätfrågor till intervjupersoner	105
H.	Enkätfrågor för webbenkäten	109
I.	Enkät svar från intervjupersoner	119
J.	Enkät svar från webbenkäten	129
K.	Enkät svar från samtliga.....	139

Figurer

Figur 1	Trafikverkets planeringsprocess (Trafikverket, 2012d).....	6
Figur 2	Förundersökningarnas placering i ett projekts tidslinje.....	6
Figur 3	Strategi för förundersökningar.....	7
Figur 4	Tunneldragningen genom Hallandsåsen (Trafikverket, 2012c).....	28
Figur 5	Kartskiss visande Citytunnelns sträckning genom Malmö (Wikipedia, 2009)	29
Figur 6	Ådalsbanans sträckning (Trafikverket, 2012a).....	31
Figur 7	Planerad sträckning av Förbifart Stockholm. (Trafikverket, 2012b).....	33
Figur 8	Tunnelsträckning under Traneberg, Stockholm, från (Ramböll, 2008)	35
Figur 9	Uppgivna yrkesgrupper för de som svarat på webbenkäten.....	48
Figur 10	Kännedom om olika undersökningsmetoder, samtliga respondenter.....	49
Figur 11	Angivet värde av olika undersökningsmetoder, samtliga respondenter.....	50
Figur 12	Angiven användbarhet, samtliga respondenter.....	51
Figur 13	Användning av SGU:s kartmaterial.....	52
Figur 14	Användning av övrigt material i förundersökningarna.....	53
Figur 15	Webbrespondenternas deltagande i kompetensutveckling, kortare tid än en vecka.	54
Figur 16	Webbrespondenterna om längre kompetensutveckling, mer än en vecka	55
Figur 17	Hur samtliga respondenter uppfattar värdet kontra användbarheten av olika undersökningsmetoder.....	59
Figur 18	Jämförelse mellan hur intervjupersoner (grupp A) och webbrespondenter (grupp B) angivit kännedom om olika undersökningsmetoder.....	60
Figur 19	Jämförelse mellan hur intervjupersoner (grupp A) och webbrespondenter (grupp B) angivit användbarheten av olika undersökningsmetoder.....	61
Figur 20	Jämförelse mellan hur intervjupersoner (grupp A) och webbrespondenter (grupp B) angivit värdet av olika undersökningsmetoder.....	62
Figur 21	Korsplott mellan användbarhet och värde, uppdelat på intervjuade (grupp A) och webbrespondenter (grupp B).....	63

Tabellförteckning

Tabell 1	Jämförelse mellan ISRM:s rekommenderade metoder och ASTM:s standarder samt i denna text behandlade metoder.	10
Tabell 2	Några exempel på borrhålmätningar.....	17
Tabell 3	Projektsammanfattning Hallandsåstunneln.	28
Tabell 4	Projektsammanfattning Citytunneln.	30
Tabell 5	Längder för de nybyggda tunnlarna längs Ådalsbanan	32
Tabell 6	Projektsammanfattning Ådalsbanan.	32
Tabell 7	Projektsammanfattning Förbifart Stockholm.....	34
Tabell 8	Projektsammanfattning Skrea Backe.	35
Tabell 9	Projektsammanfattning Tranebergstunneln.	36
Tabell 10	Sammanfattning av enkätundersökningen som den ställdes till intervjupersonerna.	46
Tabell 11	Sammanfattning av det webbaserade frågeformuläret.	47

1 Inledning

I samband med byggande i berg, vare sig det gäller bergrum, bergtunnlar för väg och järnvägstrafik eller tunnlar för andra ändamål sker någon typ av förundersökning innan projektet startar. Förundersökningarnas innehåll och omfattning i större infrastrukturprojekt har efter hand blivit allt bredare och komplexa till sin karaktär samtidigt som kraven på exakthet och korrekthet ökar.

Allt fler metoder används för att identifiera och belysa undergrundens heterogena uppbyggnad och egenskaper. Resultaten används för att bygga prognoser som ligger till grund för så väl tid- som kostnadskalkyler för ett projekts samtliga skeden, från förstudier till genomförande.

I dag utgör också miljökraven en särskild anledning till prognoser avseende temporär och permanent belastning på mark och vatten. I många av dagens projekt ser vi flera problem med den djungel av förundersökningsmetoder som förekommer.

1.1 Problemställning och målsättning

Syftet med arbetet är att utvärdera vilka förundersökningsmetoder som ger relevant och nyttig information i såväl planeringsfas som genomförandefas. Graden av tilltro till och användning av geologiska och bergtekniska prognoser kan ses som ett underliggande syfte.

Studien syftar till att ge ett underlag för att kunna optimera arbetet med förundersökningar. Vidare förväntas den ge en bättre förståelse för förundersökningarnas betydelse samt för värdet av ändamålsenliga prognoser. Detta kan leda till ökat förtroende för prognoser som stöd vid upphandling, byggande och drift.

Rapporten är uppdelad i två delar. Del ett innehåller sammanställda resultat, utvärderingar och analyser samt slutsatser, medan del två huvudsakligen innehåller bilagor i form av bakgrundsmaterial, intervjusvar, mellansteg i analysarbetet osv..

1.2 Projektet

Projektet, som finansieras av BeFo, inleddes under hösten 2009 som ett treårigt projekt med redovisning under utgången av 2012. Uppdragets fullständiga titel är *Förundersökningars värde och nytta ur prognossynpunkt vid tunnelbyggande*.

Arbetet har omfattat studier av referensobjekt samt strukturerade intervjuer med företrädare för referensobjekten, samt en enkätundersökning riktad till de intervjuade personerna och till branschen som helhet, den senare i form av webbaserade frågeformulär.

Sammanställning och utvärdering har pågått mellan 2011 och 2012. Arbetet har genomförts i steg och har efterhand funnit en form som styrts av referensobjektens karaktär,

tillgång till företrädare för referensobjekten, upplägg och innehåll av enkätaterialet samt i viss mån av tillgång till personer för referensgruppsarbetet.

Det har inte varit helt problemfritt att dels få fatt i representativa företrädare för projekten, dels hitta sådana som haft tid att ställa upp på intervjuer. Vad gäller i synnerhet webbenkätprojektet har det också dragit ut på tiden eftersom responsen inledningsvis var liten. Efter en uppmaning från BeFo erhöles till slut kraftig förbättring av antalet inkomna svar.

Det förtjänar också att påpekas att det ursprungliga projektförslaget, inlämnat till Banverket, hade titeln ”Förundersökningar, avvikelser och riskbedömning vid tunnelbyggande”.

Detta ändrades av anslagsgivaren till den aktuella titeln ”Förundersökningars värde och nytta ur prognossynpunkt vid tunnelbyggande”, vilket har vållat oss (och andra) en del huvudbry, då begreppen ”värde” och ”nytta” inte är entydigt definierade i sammanhanget. Vi är medvetna om att begreppen kan tolkas på olika sätt, men vi har valt följande definitioner:

- Värde – den påverkan resultaten från en viss metod har på projektet, relaterad till informationens kvalitet och precision.
- Nyttan – hur användbar en viss metod är, hur effektiv den är på att tillföra information, i någon mening resultatens tillgänglighet för användaren

I enkäter och intervjuer används begreppet användbarhet i stället för nytta, och variablerna har kvantifierats enligt följande

- Värde: *Har litet eller inget värde – Har visst värde – Kan ha avgörande betydelse*
- Användbarhet: *Lätt att arbeta med – Kan vara komplext, varierar – Alltid svårtillgängligt*

1.2.1 Projektets genomförande i korthet

Projektets olika faser kan i stort beskrivas som följer:

Inledningsvis formades projektgruppen, därefter vidtog allmän kunskapsinhämtning, upprättande av en referens- och litteratordatabas, preliminära val av referensobjekt, identifiering av lämpliga personer att intervjua för respektive projekt samt val av lämpliga referensgruppsmedlemmar.

Härefter vidtog detaljstudier av referensobjekt, besök vid vissa objekt och diskussioner på plats med företrädare för referensobjekten. I detta ingick också en preliminär bedömning av objektens relevans, inhämtande av synpunkter från referensgruppen avseende val av objekt, samt komplettering av objektlistan efter detta.

Den tredje fasen har ägnats åt datainsamling. I detta ingår utförandet av de personliga intervjuerna, underlag för enkäter samt upprättandet av webbformulär för enkäter och avstämning med referensgruppen.

Webbenkäten gick ut första gången i september månad 2011. Arbetet med att få in tillräckligt många svar på webbenkäten har varit en tidsödande process, och det har krävts påtryckning av olika karaktär för att få in dem. Till slut har 50 fullständiga enkätsvar lämnats in på detta vis, och ytterligare 12 som inte är fullständigt ifyllda, tillika 25 fullständiga enkäter som lämnats på pappersformulär.

De personliga intervjuerna och enkäterna för intervjupersonerna har genomförts under perioden februari 2011 till mars 2012. Sammantaget har 19 företrädare för referensobjekten och andra verksamheter intervjuats.

Den sista fasen, sammanställning och utvärdering, påbörjades under 2011 och har bedrivits som mest intensivt från andra hälften av 2011 och i praktiken hela 2012. De 19 intervjuerna som spelats in har transkriberats till text, och svaren har därefter bedömts och sammanställts.

1.2.2 Projektpersoner

Projektet har genomförts av Per-Gunnar Alm, Peter Jonsson och Leif Bjelm (projektansvarig), samtliga på Teknisk geologi, Lunds tekniska högskola.

Under projektets inledning och fram till början av 2011 ingick Berit Ensted Danielsen i projektgruppen som BeFo-doktorand. Danielsen disputerade i januari 2011, och avsikten var att hon skulle fortsätta i projektet som nyckelperson, men kunde tyvärr inte fullfölja sitt engagemang på grund av nya utmaningar på annan ort.

Av övriga som deltagit i projektet kan nämnas Peter Ulriksen som granskat Eurokoddokumentet.

1.2.3 Referensgruppen

Följande personer har utgjort referensgrupp. Av skilda skäl har det blivit så att merparten representerar beställarsidan, och några personer har bytt arbetsgivare under projektiden. Försök har gjorts att bredda gruppens sammansättning med t.ex. representanter från utförarsidan men detta har inte lyckats.

Representanter från pågående eller nyligen färdigställda stora infrastrukturprojekt med bergbyggande ingår i gruppen. Under projektiden har tre referensgruppsmöten anordnats i Lund.

I referensgruppen ingår

- Johan Brantmark, Trafikverket (f.d. Citytunnelkonsortiet, Helsingborgs Stad)
- Thomas Dalmalm, Trafikverket
- Åke Hansson, Trafikverket
- Jan Hartlén, Trafikverket (f.d. Citytunnelkonsortiet, Hallandsåsprojektet)
- Bengt Ludvig, Petro Team Engineering AB
- Kenneth Rosell, Trafikverket

- Kjell Windelhed, ÅF (f.d. Trafikverket)
- Peter Lundman, Trafikverket fram till hösten 2010

Samt som representant för BeFo

- Mikael Hellsten till och med 2011
- Per Tengborg från 2012

2 Förundersökningar

I byggprojekt gäller det att reducera risker. De risker som avses kan indelas i (Wong, 2010)

- Förutsedda risker
- Oförutsägbara risker
- Oförutsedda risker

De förstnämnda riskerna bör man ha hanterat redan vid projektets planering genom att använda de kunskaper och erfarenheter som finns tillgängliga och sedan vidtagit mått och steg så dessa inte kommer att störa projektets genomförande.

Den andra typen av risker är sådana som helt ligger utanför aktörernas kontroll, och kan hanteras kontraktsmässigt t.ex. med force majeure-klausuler.

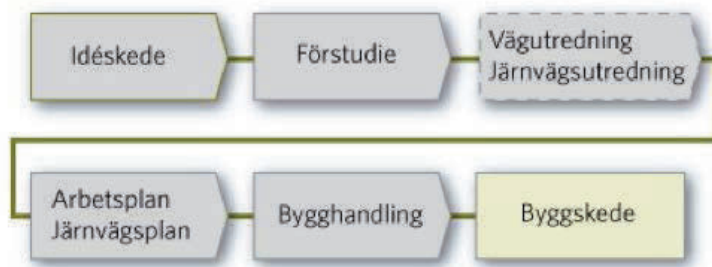
Den tredje gruppen av risker är sådana som borde ha kunnat förutsägas. Dessa risker är till exempel sådana som förundersökningarna skulle ha kunnat visa på, men som av en eller annan anledning missades. Storleken och omfattningen av denna typ av risker beror på en mängd olika parametrar såsom mängden och utformningen av förundersökningar, skicklighet hos inblandad personal, både vad gäller utförandet såväl som tolkandet, och inte minst på organisationens utformning (Van Baars, 2011).

Resultaten och tolkningarna från förundersökningarna är därför i högsta grad fundamentala för ett byggprojekt. Det är viktigt att förundersökningarna utförs i rätt omfattning med rätt metoder och att rätt parametrar analyseras. Förundersökningarnas innehåll och omfattning i större infrastrukturprojekt har blivit allt bredare och komplexa till sin karaktär vilket i sin tur kräver större förståelse och kunskap om undersökningsmetoderna av den eller de som skall fatta de avgörande besluten.

Förundersökningsprocesserna är välbeskrivna, och deras användning regleras ofta i standarder eller branschrekommendationer. Några exempel räknas upp i Bilaga C, utan anspråk på att vara en komplett lista. Då man utanför Sverige oftast inte har vår strikta indelning i geoteknik för jord respektive berg, relaterar texterna oftast till utförande av förundersökningar i både jord och berg, i en del fall med tonvikten lagd på jordmekaniska undersökningar men ändå med delar som är tillämpbara på byggande i berg.

Förundersökningarnas syfte är bland annat att skapa en geologisk modell (prognos) innehållande all relevant kunskap som (vid det aktuella tillfället) finns om berggrund, sprickighet, bergtäckning, grundvattenförhållande, överliggande jordlager mm.

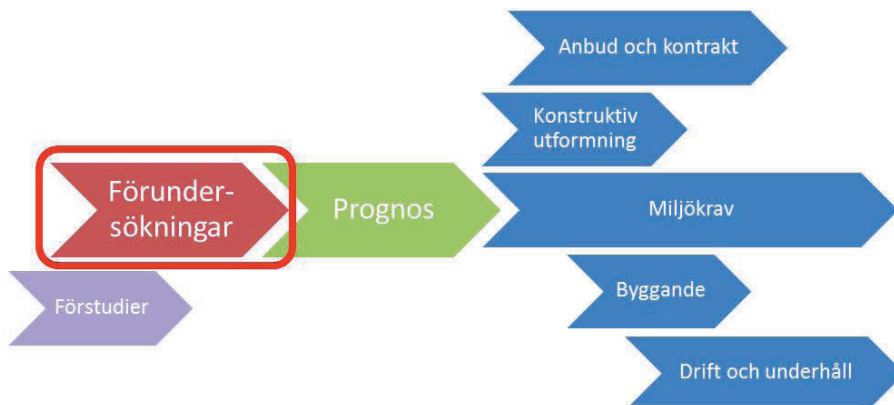
Arbetet med större infrastrukturprojekt är en process som pågår under lång tid. Från idéskedet tills dess att en tunnel eller bergrum når driftskedet är det flera olika faser som skall passeras, se Figur 1. Förundersökningarna kommer in i denna kedja i ett mycket tidigt skede, för att ge information om det berg och den miljö som projektet skall utföras i.



Figur 1 Trafikverkets planeringsprocess (Trafikverket, 2012d).
The planning process of the Swedish Transport Administration Trafikverket.

Uttryckt på annat vis är förundersökningarnas uppgift att ge svar på ett antal olika frågor som måste beaktas innan projektet kan fortsätta. I de fall en tunnelborrmaskin skall användas i projektet är det till exempel viktigt för tillverkaren att erhålla tillräcklig information om bergets egenskaper för att kunna designa maskinen på ett optimalt sätt för de rådande förhållandena, vid konventionell tunneldrivning (borra-spräng) gäller motsvarande för dimensionering och planering av framdriften.

Resultaten från förundersökningarna används dock inte bara vid planeringen, utan under hela projektets livstid, alltså även i drift- och underhållsfasen och bildar ofta baslinje för övervakning av olika parametrar, inte minst miljörelaterade. Jämför Figur 2.

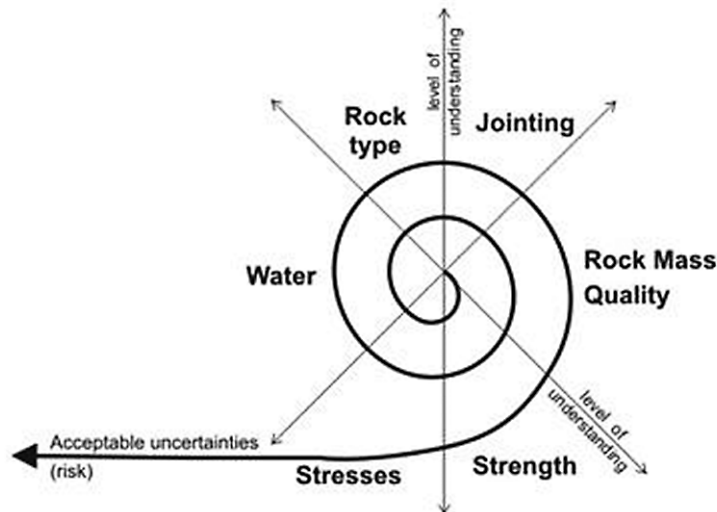


Figur 2 Förundersökningarnas placering i ett projekts tidslinje.
The position of the pre-investigations on a project timeline.

Enligt (Stille, 2011) kan förundersökningsprocessen beskrivas som visas i Figur 3. Här illustreras det iterativa förfarande som är utmärkande för förundersökningsarbetet, där man börjar med en liten informationsmängd som sedan genom olika slags undersökningar och studier successivt utökas tills tillräcklig information insamlats för att projektet skall kunna sättas igång med minimalt risktagande.

Förundersökningarna spelar alltså en viktig och central roll i ett projekts genomförande.

Investigation strategy



Figur från (Stille, 2011)

Figur 3 Strategi för förundersökningar.
Pre-investigation strategy (for pre-investigations).

2.1 Förundersökningar i Eurokoderna

Sverige har 2011 infört regelverket i de EU-gemensamma Eurokoderna, vilket också delvis reglerar förundersökningar. I sammanhang med bergbyggnad ligger Eurokod 7 närmast, i svensk standard benämnd SS-EN1997-1 (SIS, 1997).

Eftersom medlemsländernas bygglagstiftning inte är harmoniserad kan Eurokoden inte gå in i detalj på t.ex. säkerhetsnivåer eller liknande. Medlemsländerna är dock ålagda att anpassa sina regler så att Eurokoden kan användas, vilket sker med en nationell bilaga som innehåller de specifika föreskrifter som gäller i landet.

Den svenska Implementeringskommissionen för Europastandarder inom Geoteknik, IEG, var en ideell förening, under ingenjörsvetenskapsakademin, IVA, som upplöstes 2011 (IEG, 2012). IEG har tagit fram nationella tillämpningsföreskrifter för huvuddokumentet i Eurokoden (SIS, 1997) som finns publicerade i ett dokument (IEG, 2010) vad gäller marktekniska undersökningar. Den svenska tillämpningen på tunnlar och bergrum regleras i ett annat IEG-dokument (IEG, 2008).

Idag har delar av kommissionens arbete övertagits av Sveriges Geotekniska Förening SGF, där Knutpunkt Geostandarder behandlar de flesta standardfrågor som berör standardområdet SIS TK (Teknisk Kommitté) 183 Geoteknik och geokonstruktioner. I skrivande stund (2012) är det fortfarande oklart var berg- och tunnelfrågor kommer att hanteras. BeFo är en möjlig kandidat.

2.1.1 Förundersökningsrapporter

Eurokod 7 delar in förundersökningar i preliminära undersökningar och undersökningar för dimensionering.

Syftet med de preliminära undersökningarna är att utvärdera sträckning(ar), allmän lämplighet samt ge underlag för en planering av de följande undersökningarna för dimensioneringsarbetet, och torde huvudsakligen falla huvudsakligen inom Trafikverkets processteg Idéskede och Förstudie. Dimensioneringsundersökningarna, som skall ge ett bättre underlag för planering och utförande, riskbedömning o.s.v. hamnar då huvudsakligen inom stegen Järnvägsutredning, Arbets-/Järnvägsplan och Bygghandling.

I Eurokod ställs krav på att fältförsök ska dokumenteras dels i en så kallad Fältrapport, dels i en Försöksrapport/Fält. Slutlig redovisning av dessa görs i en Markteknisk undersökningsrapport. Nationella föreskrifter för innehåll och omfattning av respektive rapporttyp finns i IEG:s tillämpningsdokument för dokumenthantering (IEG, 2008). Detta tillämpningsdokument föreskriver en redovisning i fem delar:

- Underlagsrapporter
- Försöksrapporter
- Markteknisk undersökningsrapport MUR
- Projekterings-PM
- Förfrågningsunderlag/bygghandling

I de svenska tillämpningsföreskrifterna för bergtunnlar (IEG, 2008) sägs att den marktekniska förundersökningsrapporten MUR bör redovisas under namnet Förundersökningsrapport Berg.

Denna bör förutom undersökningsresultaten omfatta bland annat information om befintliga anläggningar, uppgifter om den planerade undermarksanläggningen, m.m.

De följande projekteringsrapporterna skall bland annat innehålla en ingenjörsgelogisk del med tolkningen av de berg- och grundvattenförhållanden som råder, tillsammans med beräkningar för dimensionering, detaljer angående utförande, kontroller och uppföljningar som krävs. Dessa är sedan underlag för upprättande av förfrågningsunderlag och bygghandlingar.

2.1.2 Trafikverkets regelverk

I Trafikverkets regelverk finns fyra nivåer av dokument. Dessa är myndighetsföreskrifter (TVFS), interna styrdokument och regler, kravdokument och kunskapsdokument.

Kravdokumenten är de krav som ska ställas vid upphandling, innehåller krav på utformning och dimensionering och åberopas i kontraktet. Tekniska råd är innehåller råd, för-

klaringar och ibland godtagna lösningar som bygger på aktuell och verifierad kunskap, och dess rubrikstruktur följer de tekniska kraven.

Trafikverkets krav TRVK Tunnel 11 (Trafikverket, 2011b) ska användas vid förundersökningar och projektering av tunnlar från och med den 1 februari 2012 och ersätter ATB Tunnel 2004. Till TRVK Tunnel finns även råd i TRVR Tunnel 11 (Trafikverket, 2011c). Även tillämpliga delar av AMA och andra delar av regelverket skall beaktas.

2.2 Förundersökningsmetoder

Förundersökningar är ett vitt begrepp och kan omfatta allt från rena fältundersökningar till modelleringsarbeten och arkivstudier. Även frågeställningarna varierar, och det är därför av vikt att ha tillgång till ett batteri av undersökningsmetoder som kan användas för att med tillräcklig precision bestämma de efterfrågade egenskaperna eller förhållandena.

I det tidigaste skedet av en förundersökning bör man genomföra en arkivstudie, där man samlar in befintlig information från tidigare undersökningar i området, topografiska och geologiska kartor, existerande databaser och liknande. Detta ligger till grund för planeringen av fältundersökningar och platsbesök. Arkivstudien och insamlandet av referensmaterial fortsätter sedan under större delen av projektiden.

En annan viktig del av förundersökningarna är de mer eller mindre omfattande undersökningar som utförs i fält, och som är direkt relaterade till projektet. Dessa fältundersökningar kan omfatta enklare fältbesök och rekognosceringar, provborrningar, provgropar och provpumpningar men också grundvattennivåstudier över längre tidsperioder, dragstagsförsök etc. Ofta gör man också geofysiska undersökningar, se kapitel 3 för en mer ingående beskrivning av några sådana fältmetoder.

I samband med förundersökningarna görs i allmänhet laboratorieförsök där analyser av berg-, jord- och vattenprover utförs med avseende på mekaniska, hydrogeologiska och ibland kemiska parametrar.

Även datormodellering räknas till förundersökningsarbetet. Modelleringsarbetet kan omfatta så skilda saker som bullerstörningar i samband med tunneldrivning och/eller transportarbete, grundvattenpåverkan under och efter byggskedet, sättningsberäkningar men också i allt större omfattning annan omgivningspåverkan t.ex. i samband med miljöprovningensarbetet.

I allt större omfattning används visualisering av projekt och anläggningar i datorer, dels som hjälpmedel vid konstruktion och utformning (jämför BIM), dels eftersom behovet av att på ett tydligt sätt kunna förklara komplexa sammanhang för olika intressegrupper ökat.

Både i de preliminära undersökningarna och i dimensioneringsundersökningarna finns alltså ett behov av undersökningsmetoder. Det finns ett antal väletablerade och standardiserade metoder, bland annat har ISRM (International Society of Rock Mechanics) i sin s.k. ”Blue Book” (ISRM, 2006) föreslagit ett antal standardmetoder för karakterisering av bergmassa, laboratorieförsök, fältförsök, övervakning m.m. Några av de metoder som rekommenderas av ISRM finns även som standarder från ASTM (American Society for Testing and Materials), se Tabell 1, där också de metoder som behandlas i denna undersökning visas.

Vid arbeten inom EU får idag Eurokoderna samt de nationella tillämpningsföreskrifterna styra utförandet av förundersökningarna (se avsnitt 2.1), tillsammans med tillämpliga europeiska standarder från SIS/CEN. Några exempel räknas, upp i Bilaga D, utan anspråk på att vara komplett.

Tabell 1 Jämförelse mellan ISRM:s rekommenderade metoder och ASTM:s standarder samt i denna text behandlade metoder.

Comparison between the ISRM recommended methods, the ASTM standards and the methods treated in this text.

Metod	ISRM	ASTM	Rapportavsnitt
Borrhålmätning, allmänt		D 5753	3.4
Borrhålmätning, resistivitet	REK		
Borrhålmätning, självpotential	REK		
Borrhålmätning, gamma	REK	D 6274	
Borrhålmätning, neutron	REK	D 6727	
Borrhålmätning, gamma-gamma	REK		
Borrhålmätning, induktion (EM)		D 6726	
Borrhålmätning, sonic	REK		
Borrhålmätning, caliper	REK	D 6167	
Borrhålmätning, temperatur	REK		
Borrhålmätning, seismik	REK		
Refraktionsseismik	REK	D 5777	3.7.1.1
Reflektionsseismik	REK	D 7128	3.7.1.2
Aktiv ytvågsseismik			3.7.1.3
DC-resistivitet	REK	D 6431	3.1
Elektromagnetiska metoder	REK	D 6820 D 6639 D 7046	3.2
Georadar	REK	D 6432	3.3
Gravimetri	REK	D 6430	3.6
Radiometri	REK		
Tunnelfrontsseismik	REK		
Kärnbörning	REK	D 2113 m.fl.	3.8
Hammarbörning för undersökningsändamål		D 6286 m.fl.	3.8
Magnetometri			3.5
Spårämnesundersökningar			3.9.1

3 Fältundersökningsmetoder

Fältundersökningar är mycket påtagliga exempel på förundersökningar, eftersom de i allmänhet är direkt kopplade till projektet och dess problemställningar. Förundersökningar i berg har behandlats i flera sammanhang. För svenska förhållanden torde rekommendationerna som blev resultatet av arbeten som utfördes på uppdrag av BeFo mellan ca 1975 och 1986 fortfarande vara relevanta, se t.ex. (Bergman and Carlsson, 1986) samt de grundläggande resultaten i (Helfrich et al., 1979) eller ett ännu tidigare BFR-projekt, redovisat i (Morfeldt et al., 1973).

Rekommendationerna från 1986 delar in förundersökningsmetoderna i detaljerade och översiktliga sådana. De direkta, detaljerade, metoderna har än idag stor spridning och är välkända, till dessa hör kärnborrning, in-situundersökningar, borrhålmätningar med flera.

Även några geofysiska metoder beskrivs och rekommenderas. Bland dessa finns klassisk refraktionsseismik som i (Sjögren, 1984), de elektromagnetiska metoderna VLF och slingram, elektriska motståndsmätningar (kallas idag resistivitetsmätningar), IP-mätningar och magnetometri (Parasnis, 1986) och geotermiska (värmeflödes-) mätningar. Även reflektionsseismik nämns helt kort, men bedöms som olämplig, i vart fall i kristallin berggrund.

Sedan 1980-talets mitt har emellertid geofysiska metoder och framför allt mätinstrument utvecklas kraftigt. Mätningar som då var förbehållna mycket stora projekt (t.ex. reflektionsseismik) kan idag utföras med betydligt mindre insatser, och detaljeringsgraden i den information som erhålls är högre. Instrumenten för den även då vanliga refraktionsseismiken har förändrats i hög grad, likaså utvärderingsmetoderna.

Det finns även helt nya tillvägagångssätt, ett exempel är de datorkontrollerade resistivitetsmätningar som fått allt större betydelse sedan omkring 1990 när kommersiella system började lanseras, se t.ex. (Griffiths et al., 1990) eller (Dahlin, 1993), liksom införandet av georadartekniken i Sverige i 1980-talets början, där fördelen med kontinuerlig profilering av georummet tidigt demonstrerades (Bjelm et al., 1982).

Flygfotografering (traditionellt använt som stereofotogrammetri eller som ortofoto) kompletteras idag med flygburen laserskanning för topografimätningar, vilket kan användas för t.ex. lineamentstudier eller topografisk modellering.

Det är därför motiverat att ge en kort introduktion till de moderna geofysiska metoderna, samt ett par mer direkta. I det följande presenterar vi några av de fältundersökningsmetoder som ingått i undersökningen. För en allmän introduktion till moderna geofysiska metoder, se t.ex. (Reynolds, 2011) eller den kortare (McCann et al., 2002). Även en text på svenska med speciell inriktning på bergbyggnad förtjänar att nämnas, (Stanfors et al., 2001).

Såväl traditionell tryckluftsbaserad borrhälsborrning som kärnborrning har utvecklats och effektiviserats i hög grad. Ökad kapacitet, mindre vikt, bränslesnålare och miljöanpass-

ning är några av framstegen. I tillägg har datorbaserade insamlingssystem för borrarparametrar blivit vanligare, vilket medfört att även annan borrhning än kärnborrhning ger mer information.

Även andra förundersökningsmetoder finns. Till dessa hör spårämnesundersökningar för studier av grundvattenflöde och radiometriska mätningar som kan användas för att bedöma radonavgång hos bergmassor, vilket kan styra deras användning som fyllnads-material. Svensk Kärnbränslehantering SKB har också arbetat med radiometrisk åldersbestämning av bergmaterial för att studera historiska bergrörelser med relevans för slutförvaringen av utbränt kärnbränsle.

3.1 Resistivitetmetoden

Resistiviteten (inversen till den elektriska ledningsförmågan, konduktiviteten) är en materialparameter som varierar med materialtyp, porositet, vattenmättnad, kemisk sammansättning och temperatur. Genom att bestämma resistivitetsfördelningen i marken kan man dra slutsatser om geometri, lagergränser och annat.

Markens resistans kan mätas genom att skicka korta pulser av likström (DC) mellan ett par elektroder, och mäta uppkomna elektriska spänningar mellan två andra elektroder. Markens (skenbara) resistivitet kan sedan beräknas med en geometrisk faktor som beror på hur elektroderna placerats ut. Genom att variera avståndet mellan elektroderna kan man erhålla olika djupnedträngning (sondering) och därmed kartlägga hur resistiviteten varierar mot djupet. Genom att också flytta mätuppställningen längs en linje gör man en profilering.

Om man samtidigt varierar elektrodavstånden och flyttar uppställningen längs en linje eller över en yta kan man kartlägga hur resistiviteten varierar i ett tvärsnitt (2D) eller en volym (3D). Den verkliga fördelningen av resistivitet i marken uppskattas utifrån uppmätta (skenbara) resistiviteter med hjälp av modelltolkning, ofta i form av invers numerisk modellering (inversion) som skapar en finita elementmodell (FEM) av resistivitetsfördelning i marken.

Resistivitetsmätningar är en av ISRM:s föreslagna metoder för geofysiska undersökningar, (ISRM, 2006), se också Tabell 1.

Moderna mätsystem använder ett stort antal elektroder som placeras ut längs en mätlinje. Datorstyrda reläväxlar används sedan för att kombinera elektroderna på olika sätt, så att man efter avslutad mätning har erhållit både sondering och profilering i mätlinjen. Detta förfarande brukar kallas CVES – Continuous Vertical Electrical Sounding eller ibland ERT – Electrical Resistivity Tomography. Ett vanligt system är svensktillverkat (ABEM Terrameter), men det finns flera andra på marknaden.

Resultatet av en CVES-mätning är en bestämning av resistiviteten som funktion av djupet längs mätlinjen. Ofta motsvarar förändringar i resistiviteten skillnader i geologin;

beroende på avstånd mellan elektroderna och mätlinjernas längd kan man erhålla relativt god upplösning, som dock minskar med nedträngningsdjupet.

I samband med förundersökningar för tunnlar har metoden de senaste tiotal åren framgångsrikt tillämpats vid flera tillfällen. I exempelvis Hallandsåsprojektet har man haft stor nytta av resistivitetsmätningar för att producera geologiska prognoser (Dahlin et al., 1999), liksom inför Viggjatunneln i Norge, där resultaten från metoden med fördelaktigt utfall jämförts med en elektromagnetisk metod (VLF) och refraktionsseismik (Ganerød et al., 2006).

Metoden är förhållandevis robust med avseende på störningar, och det är t.ex. ofta inget problem att mäta nära kraftledningar. Jordade elektriskt ledande konstruktioner, som t.ex. spönter eller gjutjärnsledningar, påverkar emellertid och kan ge vilseledande resultat varför metoden måste användas med urskiljning i urbana miljöer. En begränsning för metoden är att den kräver god galvanisk kontakt med marken vilket ibland kan vara ett problem.

Försök har gjorts att med resistivitetsmätningar i tunnelnivå prediktera förstärkningsbehov (Lee et al., 2010).

3.2 Elektromagnetiska metoder

Elektromagnetiska metoder (EM) har sedan mycket länge använts för undersökningar i samband med malmprospektering. Svensken Karl Sundberg utvecklade redan efter första världskriget metoder för malmprospektering (Slingram), en annan pionjär var Erik Hedström som utvecklade Turam-metoden.

Det finns idag ett stort antal metoder som använder (induktiva) elektromagnetiska (EM) tekniker, ibland med olika namn för samma principiella metod.

EM-metoder finns bland ISRM:s föreslagna metoder för geofysiska undersökningar, (ISRM, 2006), se också Tabell 1.

En ofta använd indelning är i aktiva och passiva metoder, där de aktiva använder en egen källa medan de passiva använder (naturligt) förekommande fält. Beroende på hur data representeras kan man också dela in metoderna i tidsdomänmetoder och frekvensdomänmetoder och/eller i närfälts- och fjärrfältsmetoder. Ingen etablerad klassificering av metoderna finns. Principer och ett stort antal metoder diskuteras utförligt i t.ex. (Zhdanov, 2009) eller (Nabighian, 2008).

Gemensamt för dem är att den frekvens som används påverkar resultatet genom de kopplade parametrarna djupnedträngning och upplösning: en lägre frekvens ger större djupnedträngning, men samtidigt lägre upplösning. Djupnedträngningen påverkas av materialets konduktivitet på så sätt att en högre konduktivitet ger sämre nedträngning. Mätningarna påverkas vidare av elledningar och andra källor till elektromagnetiska störningar, och lämpar sig därför sällan för användning i tätbebyggda områden.

Resultatet av en EM-mätning är en bestämning av konduktiviteten (eller dess invers resistiviteten) som funktion av djupet längs mätlinjen, men resultaten kan vara svårtolkade. Jämfört med DC-resistivitet kan EM-metoder (beroende på vald teknik) ge högre djupnedträngning och vara snabbare, men har i allmänhet sämre upplösning.

EM-metoder används i många sammanhang, förutom för mineralprospektering också för prospektering efter andra resurser (grundvatten, geotermi), för kartering av förorenad mark och deponier och mycket annat.

Instrumentens storlek varierar från lätta, portabla system som hanteras av en person till flygburna (AEM – Airborne EM) eller fordonsbundna tyngre system. Upplösningen i de flygburna systemen är i normalfallet sämre (Steuer et al., 2009). Även karteringshastigheten varierar, från mycket snabba (flygburna) till sådana där endast ett fåtal mätpunkter per dag kan inhämtas – härvid varierar naturligtvis informationsinnehållet i varje mätpunkt. Detta gör självklart också att kostnaden för mätningar med EM kan variera, beroende på metod och frågeställning.

Några exempel på när EM-metoder använts i förundersöknings-sammanhang är för att hitta sprickzoner (Okazaki et al., 2011), kartera lervittrade zoner med skredrisk (Pfaffhuber et al., 2010), svaghetszoner (Kwon et al., 2006) och vattenförande zoner (Beard and Lutro, 1998), hålrum i form av karstvittring (Benson) men också för allmän geologisk kartering (Jorgensen et al., 2005) och grundvatteninventeringar (Auken et al., 2003) och t.ex. lokalisering av underjordiska konstruktioner (Rogers et al., 2000), m.m.

Man har också försökt använda elektromagnetiska metoder inne i tunnlar för att få en förvarning om konduktiva zoner, vilket kan tolkas som zoner med högre vatten- och/eller lerhalt (Sun et al., 2011), (Wenbo et al., 2009)

3.3 Georadar

Georadar (eller ibland markradar respektive GPR – Ground Penetrating Radar) är en ickeförstörande, i grunden elektromagnetisk, metod som efter några tidiga försök under 1950-talet utvecklades kraftigt under 1960- och 1970-talen. Vid mätningar används oftast utsända elektromagnetiska impulser, i normalfallet mellan 1 MHz och 1 GHz, som reflekteras på grund av förändringar i undergrundens fysikaliska egenskaper. Mätningen visualiseras i ett radargram, som visar en sektion av struktur och stratigrafi, så som den avbildas med hjälp av de successivt utsända radarpulserna.

De fundamentala storheterna är tiden från det impulsens sänds tills den tas emot, samt pulsens amplitud. Tiden beror på gånghastigheten för den elektromagnetiska vågen, som i sin tur beror på materialets relativa dielektriska permittivitet. Amplituden är en funktion av utrustningens egenskaper, avståndet till reflektorn samt av dämpningen i geomaterialet (Leucci, 2008). Den senare beror huvudsakligen på materialets elektriska konduktivitet. Högt vattenhalt innebär inte i sig att radarmetoden är oanvändbar.

Metoden är snabb, lättetablerad och därmed relativt billig, men användningen begränsas om materialen är högkonduktiva, vilket gäller exempelvis leror eller lerrika moräner i motsats till sandiga material, urberg eller torv. Tidiga tillämpningar för jord- och bergundersökningar i Sverige beskrivs i bl.a. BFR-rapporten (Bjelm et al., 1982)

Idag är metoden väletablerad inom flera områden, t.ex. för detektion av ledningar och andra undermarksobjekt, väg- och broundersökningar, snö- och istjockleksmätningar, arkeologiska undersökningar, torvkartering, minröjning, men även för geostratigrafiska studier i såväl jord som berg. Tillämpningar inom det anläggningstekniska området finns beskrivna i (Ulriksen, 1982) En relativt omfattande antologi där olika tillämpningar av georadar presenteras är (Jol, 2009), en annan sådan är (Daniels, 2004). En kortare översikt med en historisk exposé över utvecklingen återfinns i (Annan, 2002). Georadar är en av ISRM:s föreslagna metoder för geofysiska undersökningar, (ISRM, 2006) och Tabell 1, och har tillämpats i många bergtekniska sammanhang.

Förundersökningar med georadar är ej lämpliga i finkornigt jordmaterial, t.ex. lermorän, leror, på grund av dämpningen i geomaterialen. I t.ex. grovkorniga jordmaterial, kristallint berg och organiska avlagringar som torv, gyttja, etc. har metoden visat sig vara ett bra alternativ. Metoden har använts för studier av lagring i sediment och sprickdetektion (Bristow and Jol, 2003), (Davis and Annan, 1989) men även för hydrogeologiska studier (Annan, 2005).

Genom att uppskatta sprickriktningar och fördelningen av svaghetszoner med hjälp av georadar, har det varit möjligt att designa optimerade sprängningar i ett bergbrott genom att anpassa pallhöjder och identifiera zoner som kräver särskilda insatser (Aldas et al., 2006).

Även bergmassan i tunnlar kan undersökas med georadar; i (Lehmann et al., 2010) beskrivs hur man med georadar i långa kontinuerliga profiler längs tunnelns olika begränsningsytor hittar indikationer på störningszoner. Dessa undersöktes med en högupplösande seismisk metod, som via seismisk gånghastighet gav en indikation på bergmassans egenskaper. En liknande ansats användes vid undersökningarna av den brandskadade Mont Blanc-tunneln (Abraham and Dérobert, 2003).

Metoden har sedan länge använts för att mäta tjocklek och tillstånd hos sprutbetong; ett par exempel är (Granda and Cambero, 1988) och (Li et al., 2011). I kombination med resistivitetsmätningar har man med radar detekterat vattenfyllda hålrum bakom en sprutbetonginklädnad (Holub and Dumitrescu, 1994). Det finns också exempel på stabilitetsbedömningar vid inspektion av äldre tunnlar i en insats med georadar och seismiska metoder (Orlando, 2003), (Cardarelli et al., 2003). I (Xie et al., 2007) beskrivs hur man kan mäta fördelningen av injekteringsbruk bakom prefabricerade betongelement i en fullortsborrad tunnel.

En speciell typ av radarmätningar görs i borrhål. I samband med Stripaprojektet under 1980-talet utvecklades en borrhålsradar RAMAC (Olsson et al., 1992); traditionen förvaltas idag av Malå Geoscience som har en modern variant av borrhålsradar men även sådana för markundersökningar på programmet.

3.4 Geofysiska borrhålsmätningar

Förutom den information som erhålls vid själva undersökningsborrningen (kärna, kax, borrhålsparametrar) kan bergmassan runt borrhålet undersökas med hjälp av sonder. Flera olika typer av borrhålsmätningar kan utföras, t.ex. avvikelsemätning (ibland kallad rakhetsmätning), seismiska mätningar (VSP), provtagning och spänningsmätningar.

De in-situmätningar som beskrivs nedan kallas med ett gemensamt namn för geofysiska borrhålsmätningar, ofta används dock den internationella termen ”logging” (egentligen ”wireline logging”) även på svenska. En introduktion till metoden finns t.ex. i (Rider, 1999).

I princip innebär mätningarna att en speciellt anpassad sond dras genom borrhålet i en jämn hastighet, medan mätvärdena registreras. Mätningarna kan göras i öppna borrhål och beroende på metod även i infodrade. De olika sonderingsmetoderna kan i princip delas in i kategorier enligt Tabell 2.

Borrhålsmätningarna kan utföras med sonda hängande i en vajer, oftast med möjlighet att strömförsörja och kommunicera med sonden för att få resultat i realtid, men det finns även autonoma sonder som förs ner i hålet (eller ibland inne i borrhålssträngen under pågående borrning) med en enkel stålvaajer.

Sonderna registrerar beroende på typ och utformning mekaniska och/eller geofysiska egenskaper, men kan också användas för avbildning, flödesmätningar och provtagning. De olika typerna av registreringar namnges oftast efter den egenskap de mäter, och nomenklaturen är nästan uteslutande engelsk, se Tabell 2.

Borrhålsmätning kan också utföras med instrument som monteras vid borrhuvudet, och i realtid ger mätdata via antingen kablar i borrhålssträngen eller genom att sända tryckpulser i borrhålsvätskan, s.k. LWD ”Logging While Drilling”. Resultatet av en borrhålsmätning är oftast en graf (”log”) med mätvärden som funktion av djupet. I de flesta fall registreras, förutom den eftersökta parameter, även den naturliga gammastrålningen och presenteras i loggen. Den naturliga gammastrålningen har en hög noggrannhet och ger en signatur som kan användas som korrelation mellan olika mätningar.

Även om borrhålsmätningar oftast används i samband med resursgeologi, finns många exempel på när metoden använts i anläggningsbyggande och i förundersökningar inför tunnelbyggande.

Vid Citytunnelprojektet i Malmö genomfördes resistivitets-, porositets-, densitets- och calipermätningar liksom flödesmätningar i borrhålen (SVEDAB VBB Viak, 1995), (Danish Geotechnical Institute, 1998) för att bestämma de vattenförande avsnitten i berget. I Hallandsåsprojektet har bland annat för olika ändamål utförts mätningar med caliper, optisk televiewer och olika typer av resistivitetsmätningar. Även i samband med förundersökningar utförda i Svensk Kärnbränslehanterings regi har ett stort antal borrhålsmätningar utförts, se t.ex. (Levén et al., 2006) eller (Gustafsson, 2010).

Tabell 2 Några exempel på borrhålsmätningar.
Selected well-logging methods.

Typ	Engelskt namn	Parameter som erhålls
Mekanisk mätning	<u>Caliper</u>	Borrhålsdiameter som funktion av djupet
Passiv geofysisk mätning	<u>Temperature</u>	Borrhålstemperatur (borrhålsvätskans temperatur)
	<u>SP (Self potential)</u>	Naturligt förekommande elektrisk potential
	<u>GR (Gamma ray)</u>	Naturligt förekommande gammastrålning
Aktiv geofysisk mätning	<u>Resistivity</u>	Resistivitet
	<u>Induction</u>	EM-log, konduktivitet/resistivitet
	<u>Sonic</u>	Kompressionsvågshastighet
	Photoelectric	Litologi
	<u>Gamma-gamma</u>	Densitet, mäts aktivt med gammastrålning preparat, t.ex. ¹³⁷ Cs
	<u>Neutron</u>	Porositet, Mäts aktivt med neutron, t.ex. ²⁴¹ Am-Be
	BH Radar	Borrhålsradar; elektrisk permittivitet, diskontinuiteter
Visualisering	Optical televiewer	Avbildar borrhålsväggen med optisk metod (BIPS)
	Acoustic televiewer	Avbildar borrhålsväggen akustiskt
	Video-log (TV-log)	Borrhålskamera, enkel videofilmning
Övrigt	Flowmeter	Flödet i borrhålet som funktion av djupet
	Samplers	Borrhålsvätska eller formation kan provtas
	Mätningar markerade med <u>understruken fetstil</u> är metoder som föreslås av ISRM bland "Suggested methods", (ISRM, 2006). Delvis efter (Rider, 1999).	

3.5 Magnetometri

Metoden använder uppmätta lokala variationer i Jordens magnetfält, som bland annat orsakas av skillnader i undergrundens magnetiska susceptibilitet. Denna beror i sin tur huvudsakligen på magnetit innehåll i bergarterna, som regel har vissa eruptivbergarter en högre susceptibilitet än de sedimentära. Genom att studera variationer i magnetfältet erhålls information (i kombination med verifieringsborrningar) om olika bergarters fördelning i ett område. Metoden kan också visa på gångbergarter, diskontinuiteter och associerade svaghetszoner.

Jordens magnetfält är inte är statistiskt utan varierar signifikant. Därför utförs mätningarna med en stationär basstation som mäter de temporala variationerna, och en rörlig station som dessutom mäter den spatials variationen. Genom att subtrahera basstationens värden från den rörligas, erhålls den mätsignal som beror på de spatials variationerna. De uppmätta värdena korrigeras sedan för storskaliga variationer genom att ett geomagnetiskt referensfält som består av modellerade värden subtraheras. De återstående variationerna tillskrivs lokala variationer. I enklare fall kan användningen av en dedikerad basstation ibland undvikas.

Trots användningen av basstation för bakgrundskorrekationer uppstår ofta problem vid användning i städer och nära kraftledningar och andra liknande installationer.

En variant är att endast mäta gradienten av det magnetiska fältet med en dubbelsensor, där elementen är separerade med 0,5 – 1 m. Detta är vanligt vid arkeologiska undersökningar då detaljupplösningen för ytnära objekt på detta sätt blir högre än vid den tidigare beskrivna totalfältsmätningen.

Magnetometriska mätningar används ofta i tunnelbyggnadssammanhang; exempel är Bolmentunneln (Stanfors, 1987) och Hallandsåsprojektet.

Magnetometriska mätningar kan utföras med markbaserade instrument, från fordon, fartyg eller flygburet. Sveriges Geologiska Undersökning SGU utför en flygkartering av landet som men undantag för ett område i fjällkedjan täcker hela landet. Mätningen utförs i huvudsak med en flyghöjd på 30 eller 60 meter och med 200-800 meters linjeavstånd (SGU, 2012).

3.6 Gravimetriska metoder

Metoden, som är en av ISRM:s föreslagna metoder för geofysiska undersökningar, (ISRM, 2006), bygger på att tyngdkraftfältet lokalt förändras beroende på densitetsskillnader i bergmassan. Man kan med instrument, som i princip är känsliga vågar, mäta upp skillnaderna i tyngdkraft, och på så sätt kartera dem. Innan de råa mätvärdena används, korrigeras de för kända variationer i tyngdkraftfältet som beror på jordrotationen, höjden över havet, tidvatten och tidjord, etc. De kvarvarande skillnaderna beror på lokala egenskaper.

Gravimetriska mätningar kan utföras med markbaserade instrument, från fordon, fartyg eller flygburet. Sveriges Geologiska Undersökning SGU utför en kartering av landet, framför allt längs vägar med bil och i områden med glest vägnät används snöskoter eller helikopter. Mätavståndet är cirka 1,5 km och SGU:s databas innehåller (2011) ca 309 000 mätpunkter med olika täthet (SGU, 2012).

Mikrogravimetri är en etablerad metod för att kartera densitetsanomalier i undergrunden med högre uppläsning än de nationella karteringarna. Mätningarna sker i en normalundersökning med ett stationsavstånd på 2-10 meter, och högst något enstaka hundratal stationer kan mätas per dag. En introduktion finns i (Gabriel, 2006). Metoden har fram-

gångsrikt använts framför allt för detektion och övervakning av hålrum eller gallerier, se t.ex. (Blecha and Mrlina, 2001), men även för andra undermarksstrukturer (Allen and Michel, 1996). Tillämpbarheten för svenska förhållanden är begränsad.

3.7 Seismiska metoder

De seismiska metoderna har det gemensamt att de använder mekaniska, elastiska vågor för att lokalisera diskontinuiteter i undergrunden. Seismiska metoder utvecklades, främst för petroleumindustrin, från 1930-talet och framåt. De seismiska metoderna kan vara aktiva eller passiva.

3.7.1 Aktiva metoder

Beroende på vilka utbredningsfenomen som används i utvärderingen, kan man dela in de aktiva metoderna i

- Refraktionsseismik, se 3.7.1.1
- Reflektionsseismik, se 3.7.1.2
- Ytvågsseismik, se 3.7.1.3
- Övriga, t.ex. tunnelfrontsseismik, borrhålsseismik eller akustiska metoder

Gemensamt för de aktiva metoderna är att de använder en kontrollerad källa för att skapa mätsignalen. Källan kan av vara av impulstyp, exempel är en slägga som slås mot en slagplatta på marken, eller olika typer av explosiva källor. Man kan också använda längre signaler som sänds ut med vibratorer, de mottagna signalerna korskorreleras då med de utsända innan de bearbetas vidare. Vilken typ av källa som används beror på typ av mätning, omgivningskrav och markens beskaffenhet.

Den utsända signalen tas emot av geofoner, som placeras i marken och via kablage ansluts till mätinstrumentet. I en del fall, t.ex. vid mätningar på vägar, kan geofonerna monteras på plattor. De kan också användas som släpbara s.k. ”streamers”, vilket snabbar upp mätningen betydligt. Vid mätningar i vatten kan geofonerna placeras på botten (speciellt vid refraktionsseismik), eller används hydrofoner.

En utförlig introduktion till seismiska metoder vid användning i olika typer av bergmekaniska undersökningar finns i (Barton, 2006), en mer översiktlig med exempel i (Frei, 2010).

3.7.1.1 Refraktionsseismik

I refraktionsseismik används den brytning av en vågfront som uppstår då den passerar gränsskiktet mellan två lager med olika utbredningshastighet. Refraktionen beskrivs av Snells lag. Om hastigheten i det undre lagret är högre än i det överliggande kan vid s.k. kritisk refraktion energi refrakteras i riktning upp mot markytan, där den kan registreras. Genom att analysera den först ankomna vågen (”head wave”, ”first breaks”) kan man

efter beräkningar bestämma lagermäktigheter för de olika lagren samt de seismiska gånghastigheterna i de olika lagren.

I normalfallet studeras kompressionsvågor (P), men med en annan källa och modifierade geofoner kan skjuvvågor (S) användas. Uppställningens längd brukar tumregel­mässigt anges till 3–5 gånger mätdjupet, det senare är i praktiken sällan över ca 30 meter. Ett klassiskt verk om refraktionsseismik är (Sjögren, 1984), men även moderna läroböcker som (Reynolds, 2011) täcker ämnet väl.

Refraktionsseismikmetoden utmärker sig genom att kräva förhållandevis små fältinsatser, men är känslig för brus t.ex. från trafik eller vind, och förutsätter att hastighetsprofilen är sådan att hastigheten ökar mot djupet. Ett lager med lägre hastighet kommer inte att synas, varvid en s.k. blindzon uppstår.

Resultaten från mätningar med kompressionsvågor används för att (beroende på rådande geologiska förhållanden) uppskatta jordlagertmäktighet (eller mäktighet på vittringszonen) och för att hitta låghastighetszoner i underliggande berg, ofta korrelerade till svaghetszoner (Ganerød et al., 2006), för att uppskatta grävbarhet (Caterpillar, 1998) samt för bergkvalitetsbestämningar, se t.ex. kapitel 5 i (Barton, 2006).

Refraktionsseismik är en av ISRM:s rekommenderade metoder.

3.7.1.2 Reflektionsseismik

I reflektionsseismik används de reflexer som uppstår då en vågfront träffar lager med olika egenskaper (hastigheter). Till skillnad från då refraktionsmetoden används (se nästa avsnitt) är metoden inte beroende av lagrens inbördes hastigheter, och den kan därför användas för att detektera låghastighetszoner. Mätningarna följs av ett omfattande processeringsarbete. Som resultat erhålls ett förhållandevis lättförståeligt diagram (sektion) vilket underlättar tolkningen av data.

I princip skiljer sig inte utrustning för refraktions- och reflektionsseismik åt, men i praktiken behövs många fler geofoner (oftast flera geofoner per station), kraftigare källor (oftast av vibratortyp) och större personalinsatser. Uppställningens längd i förhållande till nedträngningsdjupet är kortare, men då nedträngningsdjupet i normalfallet är större än för refraktionsseismiska mätningar, blir uppställningarna ändå i praktiken längre, ofta hundratals meter.

Metoden är i normalfallet inte effektiv på att avbilda strukturer på små djup (<15-30 m) på grund av att reflexerna från små djup anländer till geofonerna ungefär samtidigt som ytvågor och luftvågen från källan, och kan därför inte urskiljas.

Tillämpningsområdet för reflektionsseismik är huvudsakligen prospektering inom petroleumindustrin, men metoden har i Sverige bland annat använts vid undersökningar inför Citytunneln i Malmö, (City Tunnel Consultants, 1999) och vid undersökningar inför tunnelprojekt i Helsingborg. I dessa fall användes en metod med släpade geofoner och vibrator, vilket möjliggör mätningar på hårdgjorda ytor, dels snabbar upp mätningarna betydligt jämfört med traditionell teknik.

Reflektionsseismik ger information om lagermaktigheter, sprickzoner och kompressionsvågshastigheter. Är en av ISRM:s rekommenderade metoder.

3.7.1.3 Ytvågsseismik

Ytvågsseismik är ytterligare en seismisk metod, som varit praktiskt användbar sedan 1990-talet. Denna förekommer i två varianter, dels som en passiv sådan där omgivningsbrus används, dels som en aktiv (Park et al., 1999).

Uppställningen för mätningar med aktiv ytvågsseismik påminner om de för refraktionsseismikmätningar (dock ofta med geofoner som är mer känsliga för lägre frekvenser), men de bakomliggande principerna är annorlunda. Istället för att studera ankomsttiden för reflektioner eller refrakterade vågor, utnyttjar man det faktum att en skiktad jord resulterar i att ytvågorna blir dispersiva. Det innebär att deras hastighet varierar med frekvensen.

En längre våglängd (svarar mot lägre frekvens) resulterar också i att en större volym av markprofilen exciteras; genom att studera vågor vid olika frekvenser kan man därigenom få information om olika djup. Metoden är inte så känslig för omgivningsbuller som de ovanstående, och lämpar sig därför för användning i urban miljö.

Utvärderingen ger skjuvvågshastigheten som funktion av djupet. Skjuvvågshastigheten har en starkare koppling till materialets styvhet än kompressionsvågshastigheten, och lämpar sig därför väl för geotekniska frågeställningar. Nedträngningsdjupet är dock begränsat, som tumregel till 10-15 meter.

3.7.2 Passiva metoder

De passiva seismiska metoderna inkluderar seismologisk övervakning av jordbävningar och andra jordrörelser, och används även i kombination med andra undersökningsmetoder till s.k. seismisk zonerings, som ligger till grund för bedömningen av jordbävningsrisker, dimensioneringskriterier osv.

Hänsyn till jordbävningslaster är för övermarkskonstruktioner oftast inte aktuellt i Sverige, med vissa undantag. För geokonstruktioner på mark, broar etc., innehåller Eurokoden i och för sig föreskrifter för jordbävningslaster (Eurokod 8, EN1998), men i tillämpningsföreskrifterna (VVFS 2004:43 med ändringar) sägs att ”Verifiering av bärverk med hänsyn till påverkan på grund av jordbävning enligt SS-EN 1998 behöver inte genomföras”. Vad som gäller för tunnlar och bergrum är oklart, och en bedömning får göras från fall till fall.

Passiva seismiska metoder kan också under vissa förhållanden användas för att karaktärisera jord- och bergmassan, se t.ex. (Eisner et al., 2010) eller (Draganov et al., 2009). En tillämpning av dessa metoder är vid undersökningar i urbana områden, där buller och hög brusnivå försvårar för de aktiva seismiska metoderna.

3.8 Undersökningsborrning

Sondering, provtagning och borrning i jord- och berglager är fundamentala förundersökningsmetoder med syfte att verifiera djup till lagergränser, få in situ information om materialens sammansättning och egenskaper samt av bland annat grundvattenförhållanden. Data från borrningar utgör även referens för indirekta mätmetoder såsom t.ex de geofysiska metoderna. Med hjälp av information från borrningar skapas också en ytterst god förståelse av den geologiska miljön, dess bildning och uppbyggnad.

För att förenkla beskrivningen av den stora mängd av bormetoder som idag används vid olika former av förundersökningar kan man dela in metoderna i sonderande respektive provtagande metoder, undersökande borrning med hydrogeologiskt syfte eller som förborrning vid injektering.

Borrhålen utförs som vertikala, gradade (lutande) eller som horisontella borrhål. I synnerhet horisontella borrningar används vid förundersökningsborrning i tunnelprojekt, ibland kallade långhålsborrhål. Utrustning för ovanmarksborrning respektive undermarksborrning skiljer sig en del med avseende på storlek, men även med avseende på formen av drivkraft och säkerhet.

3.8.1 Sonderingsmetoder

Sonderingsmetoder innebär att ett sonderingsborrstål pressas/roteras/hamras/vibreras ned genom främst jordlagren. Syftet kan vara att registrera nedrivningsmotståndet i jordlagren för jordmekaniska ändamål eller att fastställa djup till berg. Idag benämns metoden vanligtvis Jord-Berg-sondering (Jb-sondering) och förekommer i högst varierande utföranden. För bergundersökningar är den slående/roterande metoden med registrerande och datainsamlade utrustning, MWD (Measurement While Drilling), den mest relevanta och använda.

Bland annat borrsjunktionshastighet, vridmotstånd och last på borkronan är vanliga parametrar som registreras. Genom att registreringen i hög grad beskriver motståndet vid neddrivningen får man en information som ganska väl beskriver de varierande lagringsförhållandena. Den kraft som finns tillgänglig hos Jb-utrustningarna idag gör att man med god säkerhet kan fastställa bergytans läge. Problemen inträffar vid blockiga jordlager och när bergytan är starkt uppsprucken.

I vissa utföranden erhålls ett borkax vid sonderingen och sonderingen kan utrustningsmässigt kombineras med annan typ av provtagning. Systemet är kompakt och i hög grad transportabelt. Borkronans diameter är vanligtvis 3 tum och djupkapaciteten minst 50 m.

En metodik som ligger i gränslandet mellan klassisk sondering och provtagning är s.k. *sonic drilling*. Metoden alstrar ljudenergi genom borkstången som på så vis penetrerar i första hand jordlager, men utrustning för vissa typer av berg finns numera också. I en del utföranden kan även prov tas med utrustningen. Metoden är ännu så länge ovanlig i Sverige men ett par operatörer finns, och sannolikt kommer metoden att få fler använ-

dare. Dimension 2-4 tum. Djupkapacitet, beroende på typ av geologisk formation, är 30-40 m för de mindre systemen.

3.8.2 Provtagningsmetoder

Provtagningsmetoder avser i princip två kategorier nämligen metoder för störd provtagning respektive ostörd provtagning. Med avseende på syftet med föreliggande rapport så berörs här enbart metoder för bergborrning.

Störd provtagning domineras av olika former av hammarborrning (tryckluftsdreven borrning), vanligast vad gäller störd provtagning, och provet utgörs av det borrkax som förs upp till markytan av expanderad tryckluft som bildas efter att ha passerat hammarborkronan i borrhålet. Både topphammar- och sänkhammarborrning används i dessa sammanhang. Borkronorna är tillverkade av legeringsstål, till dels av tungstenkarbid, och har därför en lång livslängd.

Vanligtvis tas ett kaxprov efter varje meter borring. Även vattenföringen vid borringen är en egenskap som registreras. Ett kort kapacitetstest, vanligtvis vid rörskarvning, ger mycket användbar information om bergmassans vattenföringsegenskaper. Kaxprovets representativitet styrs starkt av borrhörloppet och hur skicklig borrararen är på att genomföra borringen med så lite avbrott som möjligt samt genom att rensa borrhålet noga vid varje nytt borrhör.

Hammarborrning lämpar sig väl för t.ex. fastställande av djup till berg samt för att utföra brunnar för provpumpning. Annan luftdriven borring som ger information om bergmassan är i samband med förborring för injektering vid t.ex. tunneldrivning varvid både borrsjunkning, spolförluster etc. används för att klassificera bergmassan och bedöma injekteringsvolym. Hammarborkronornas diameter varierar så klart, men 6½ tum är idag en vanlig dimension. Djupkapacitet med ordinär borrhör och vid rödrivning (ODEX) ca 75 m. I övrigt vid användning av sänkborrhämmare (DTH), och med ordinär borrhör 100-200 m.

Ostörd provtagning är i sammanhanget för denna rapport liktydigt med kärnborring. Kärnborring innebär att en cylinder av bergmassan friborras med en s.k. kärnborkrona som är en tunnväggig borkrona, för att så mycket som möjligt av det utborende borrhålet skall bli just en borkärna. Avsikten är att erhålla en intakt del av bergmassan för i detta sammanhang detaljerad klassificering av bergartstyp, mineralogisk sammansättning, sprickighet, kemisk vittring samt för bergmekanisk provning. Kärnborring är enligt definitionen därmed en in-situ metod.

Utvecklingen av kärnborringstekniken har sin grund i gruvnäringen som sedan länge haft behov av detaljerad och ostörd information vid prospektering efter malmer och mineral. Sverige är i detta sammanhang ett föregångsland vad avser teknisk utveckling vilket också visas av de internationellt dominerande företagen Sandvik AB och Atlas Copco AB.

Det finns två huvudtyper av system/metoder för kärnborrning; dels wire-line metoden och konventionell kärnborrning. Den väsentliga skillnaden ligger i att vid wire-line-borrning hämtas borrhålet upp till markytan utan att borrhöret behöver tas upp. En vajer med en hämtare fästs ned inuti borrhöret till provtagningsröret, varvid ett innerrör med den utborrade kärnan frigörs och kan halas upp till markytan. På så vis förblir borrhålet inklätt av borrhöret under hela processen och man undviker ras i borrhålet mm. Kärnåtervinningen och kärn kvalitet anses av de flesta bli bättre med wire-line-borrningstekniken. Mycket tid sparas dessutom med denna metod eftersom vajer halas upp mycket snabbt jämfört med att ta upp hela borrhöret.

Vid den s.k. konventionella tekniken är merparten av utrustningen i praktiken densamma som vid wire-line-borrning, undantaget själva provtagaren som är en integrerad del av borrhöret och måste därför tas upp varje gång man vill ta upp kärnan till markytan. Risken finns då att borrhålet skadas och rasar in vilket kan göra det svårt och tidsödande att komma tillbaka till den nivå man slutade kärnborra vid. Samma typ av borrhöret och borrhöret används för bägge metoderna.

Kärnborrhöret är antingen impregnerade med finkorniga diamanter, eller utsatta med större enskilda diamanter. Hörets matrix utgörs i regel av olika typer av keramer och i en del fall av metallegeringar.

Djupkapaciteten vid kärnborrning varierar med typ av borrhöret men täcker förenklat sagt alla behov som kan vara aktuella vid tunnel- och bergbyggnad.

3.8.3 Undersökningsborrning för hydrogeologiska ändamål

Tunnelprojekt idag är starkt präglade av krav och restriktioner fastställda i bl.a. Miljöbalken och lokala miljöföreskrifter. Av dessa spelar förhållandet till grundvatten och till viss del även ytvattnet en mycket central roll och omfattande utredningsarbete är oftast att räkna med på grund av dessa krav. I samband därmed blir det ofta aktuellt att utföra brunnar för propumpning och borrhål/brunnar för observationsändamål.

Inom merparten av Sveriges yta dominerar jordlager på urberg och i de sammanhangen lämpar sig luftdrivna hammarborrningsmetoder för såväl rödrivning (t.ex. ODEX) som för borrning av så kallad öppen brunn, eller om man så vill icke infodrad bergbrunn (*open hole*).

Hammarborrning med luft är idag en mycket effektiv metod och kan producera ett stort antal brunnar på kort tid. Det bör noteras att den s.k. Wassara-metoden blir mer och mer vanlig. Wassara-metoden är också en slående borrhöret men istället för komprimerad luft som energikälla så används en pump som levererar vatten under högt tryck till hammaren. Verkningsgraden blir högre och är i vissa bergmiljöer mycket fördelaktig. Känslighet för finpartiklar i hydraulhammaren och stor vattenförbrukning är några av begränsningarna.

Vid underökning i områden med sedimentärt berg eller då jordlagren är mäktiga eller då målet för undersökningen är just grundvattenförhållandena i jordlagren så får man

ibland använda en annan borrar metodik. Metoden benämns lite olika på svenska men en vanlig beteckning är rotationsborrning med spolning. Borrkronan utgörs vanligtvis av en s.k. rullborrkrona och man använder en spolvätska som cirkulerar i ett slutet system mellan borrhålet och ett tanksystem på markytan.

Borrvätskan (eller spolvätskan), som görs tyngre än vanligt vatten, stabiliserar borrhålsväggen och spolförluster kan förhindras med tillsatser i vätskan. Borrprincipen är därför en så kallad överbalanserad borrar metod, vilket innebär att trycket i vätskekolumnen i borrhålet är högre än i omgivande formation. Detta i motsats till de luftborrande metoderna som därmed benämns underbalanserade borrar metoder, eftersom luftsättningen av borrhålet leder till ett lägre tryck i borrhålet än i omgivande formation. Följden blir att grundvatten från formationen strömmar in mot borrhålet vid luftborrning samtidigt som borrhålet effektivt rensas från borkax.

Vanliga dimensioner för rotationsborrning är 5 ¼ eller 6 ½ tum och djupkapaciteten för den typ av riggar som förekommer i Sverige är från 50 till 500 m.

3.9 Hydrogeologiska tester och provpumpning

Genom att ur en brunn pumpa bort vatten med konstant flöde (eller enligt ett känt flödesmönster), och samtidigt i observationsbrunnar registrera avsänkningen i förhållande till tiden, kan bergmassans hydrauliska egenskaper, t.ex. vattenföringsförmågan, utvärderas.

Ett annan hydrauliskt test är flödesloggning (jämför 3.4), som används för att identifiera inflödes- eller utflödessektioner längs ett borrhål vilket indikerar sprickzoner eller krosszoner.

Till hydrologiska tester kan även föras grundvattenövervakning, vars syfte kan vara att övervaka att ett projekts miljöpåverkan faller inom uppställda ramar, men också t.ex. för att bedöma sättningsrisker eller säkerheten vid schaktarbeten.

Ett ”slug-test” är en relativt snabb hydraulisk testmetod, som används för att analysera bergmassans hydrauliska konduktivitet. Slug-testet utförs genom att vattennivån i en brunn ändras momentant, och den påföljande återhämtningen av grundvattennivån tillbaka till den hydrostatiska nivån mäts och analyseras. Ett slug-test kan initieras genom att tillsätta eller ta ut en känd volym vatten eller att en solid kropp (”solid slug”) sänks ner under eller dras upp ovanför grundvattennivån i en brunn. Pneumatisk initiering är en annan vanlig metod, där komprimerad luft används för att förändra vattennivån i brunnen (Rosberg, 2010).

Manschettmätningar eller packer-tester används för att enskilt testa och utvärdera konduktiva zoner i ett borrhål. Testet utförs genom att en hydrauliskt intressant zon isoleras mellan två manschetter (”packers”), därefter genomförs en provpumpning eller ett injekteringstest och resultatet utvärderas för att bestämma zonens hydrauliska egenskaper.

3.9.1 Spårämnesmätningar

Spårämnesmätningar syftar till att bestämma uppehållstider, strömningsvägar och strömningshastigheter hos grundvattnet. Om magasinets effektiva porositet är känd, kan den hydrauliska konduktiviteten hos formationen bestämmas. Resultaten avspeglar de verkliga förhållandena, och är mer representativa än laboratorieförsök.

Vid mätningen tillsätts ett detekterbart ämne, ett spårämne, till vattnet. Spårämnet bör ha sådana egenskaper att det inte adsorberas eller fördröjs i grundvattenmagasinet, det skall inte heller reagera med grundvattnet eller de omgivande geomaterialen. Önskvärt är också att det är detekterbart i små koncentrationer, dels för att bibehålla grundvattnets kemiska och fysikaliska egenskaper, dels för att giftighet och miljöskador skall minimeras.

Som spårämnen kan salter användas, dock bör beaktas att katjoner adsorberas eller fördröjs i jordmaterialen. De vanligast använda salterna/jonslagen är klorid och bromid, vilka är stabila och relativt lätta att spåra i fält.

Även organiska färgämnen används, vilka med hjälp av en flourometer kan spåras i låga koncentrationer. De kan dock vara känsliga för adsorption och nedbrytning. Exempel på organiska färgämnen är rodamin och uranin.

Även radioaktiva ämnen, vanligen isotoper av jod, brom eller väte (tritium), kan användas. Vid användning av de potentiellt farliga radioaktiva spårämnen måste försiktighet iakttagas, och hanteringen är omgiven av restriktioner. Fördelen med de radioaktiva ämnena är att de kan detekteras i mycket låga koncentrationer.

4 Beskrivning av referensobjekt

Arbetet i denna rapport omfattar sex specifika referensprojekt (tunnelprojekt), nämligen:

- Hallandsåstunneln
- Citytunneln i Malmö
- Ådalsbanans
- Förbifart Stockholm
- Skrea Backe
- Tranebergstunneln

Vissa av projekten är slutförda, vissa pågår och vissa är i startfasen. Vad gäller Ådalsbanan, där flera olika tunnlar och entreprenader ingår, har endast delar av projektet studerats i detalj.

Projekten är välkända, men vi har ändå valt att nedan förmedla en kort introduktion till de olika projekten.

4.1 Hallandsåstunneln

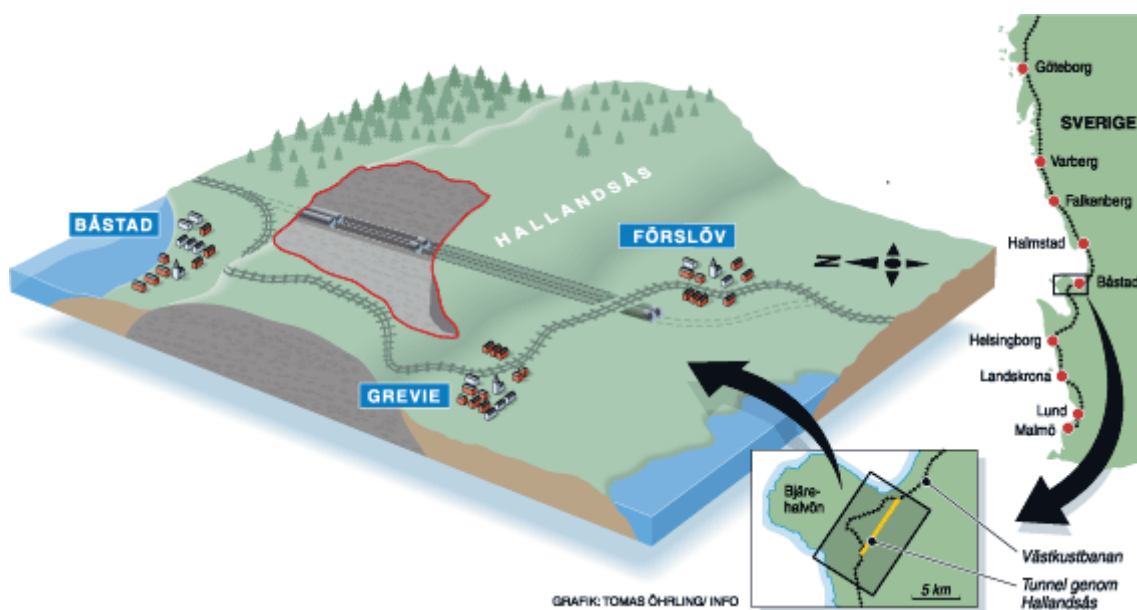
Projektet syftar till att bygga två järnvägstunnlar genom Hallandsåsen om vardera ca 8.6 km mellan Förslöv och Båstad i Skåne. I skrivande stund (november 2012) återstår cirka 1800 meter tunneldrivning. Under arbetets gång har även en arbetstunnel byggts vid det så kallade mellanpåslaget; denna tunnel kommer att återfyllas innan projektet avslutas. Mellan tunnelrören drivs även ett antal tvärtunnlar (evakueringstunnlar); i november 2012 återstår fem sådana (Trafikverket, 2012c).

Tunneldrivningen har i olika faser pågått sedan 1992; planeringen påbörjades mycket tidigare. Första ansatsen använde en öppen tunnelbormaskin som visade sig vara olämplig för ändamålet, och projektet fortsatte 1993 med konventionell borrar-sprängteknik. Efter byte av entreprenör 1995, övergavs även denna ansats efter problem med inläckande vattenmängder. Ett mycket stort antal (över 80) cementbaserade tätningssmedel testades, men gav inte tillräcklig effekt. Man beslöt då efter utvärdering att använda det polymeriserande tätningssmedlet Rhoca Gil. Detta visade sig ge oacceptabel påverkan på arbetsmiljö och omgivande naturmiljö genom att polymerisationen på grund av högt vattenflöde och vattentryck inte blev fullständig, och den i tätningssmedlet ingående giftiga akrylamiden därför spreds i omgivningen. Byggprocessen avbröts åter 1997.

Efter betydande utredningsinsatser återupptogs tunneldrivningen 2005, denna gång som fullortsborring med en sköldad tunnelbormaskin. I augusti 2010 gjordes genombrottet i det östra tunnelröret, och borringen fortskrider när detta skrivs genom det västra. Planerad driftsättning är 2015.

Tabell 3 Projektsammanfattning Hallandsåstunneln.
Key data for the Hallandsåsen tunnel project.

Namn	Hallandsåstunneln
Typ	Dubbelspårig järnvägstunnel
Längd	8710 (öst) + 8722 (väst)
Beställare	Trafikverket (Banverket)
Entreprenörer (bygg)	Kraftbyggarna, Skanska, Skanska-Vinci
Typ	Fullortsborrad med eftermonterad betonginfodring 63 %, borra-spräng 37 %
Area	33 m ² (TBM -borrad 2005-)
Bergtäckning	150 m
Byggstart	1992 (osköldad TBM), 1993 (borra-spräng), sköldad TBM (2005)
Projektering	1975–
Kostnad	10,5 miljarder SEK (2008 års penningvärde)
Geologi, nyckelord	Urbergshorst, vittringszoner, grundvatten
Förundersökningar	Omfattande, i olika skeden av projektet. Geofysik (märk speciellt resistivitetsundersökningar), hydrogeologi, kärn- och brunnborrningar m.m.
Kommentarer	Betydande problem under byggtiden

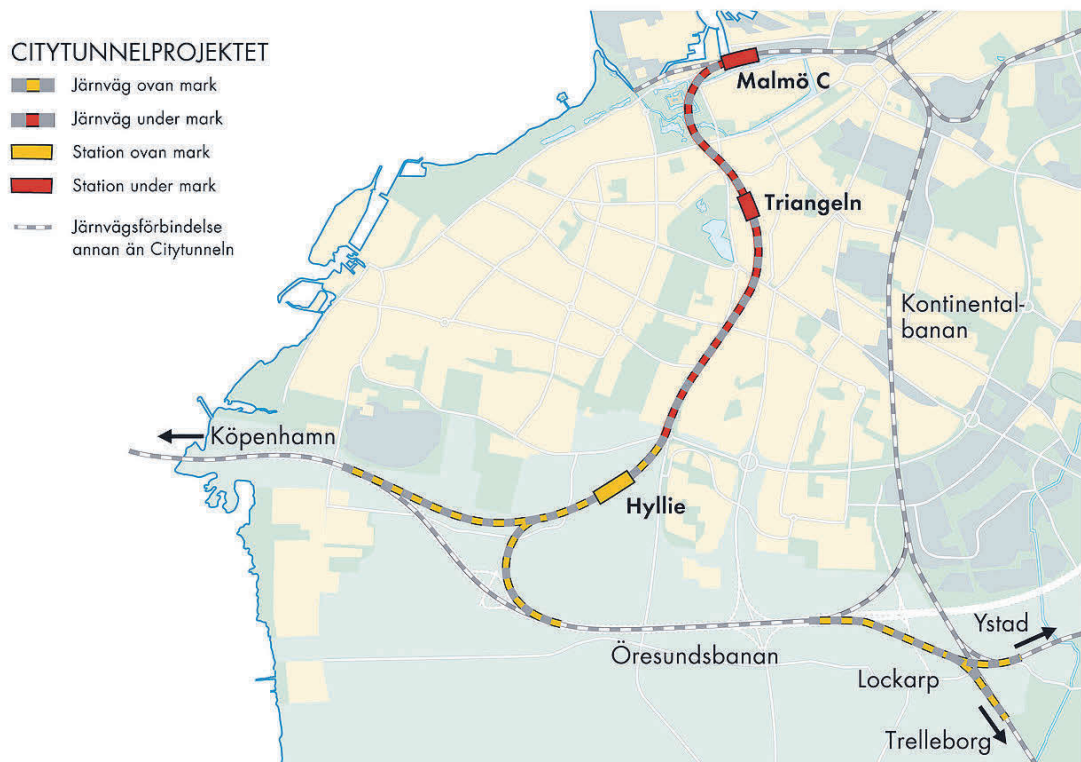


Figur 4 Tunneldragningen genom Hallandsåsen (Trafikverket, 2012c).
The Hallandsåsen tunnel situation.

4.2 Citytunneln, Malmö

Citytunneln i Malmö är en 2010 driftsatt järnvägssträckning som består av två parallella tunnlar vardera cirka 6 km långa. I projektet ingår dessutom anslutningsbanor om drygt 11 km järnväg ovan mark. Sträckningen är från Malmö Centralstation till Hyllie i södra Malmö, med en underjordisk station vid Triangeln. Borrprojektet påbörjades 2005 (Hartlén et al., 2011).

Delar av tunneln är utförda i cut-and-coverteknik (i norra delen vid Malmö C, samt ramp och station i södra delen, Hyllie), medan huvuddelen (2 x 4,6 km) utförts som fullortsborrade tunnlar med eftermonterad infodring. Två tunnelborrmaskiner användes parallellt; 13 tvärtunnlar har dessutom tagits ut liksom fyra tryckutjämningschakt.



Figur 5 Kartskiss visande Citytunnelns sträckning genom Malmö (Wikipedia, 2009)
Map showing the Malmö Citytunnel alignment.

Tabell 4 Projektsammanfattning Citytunneln.
Key data for the Malmö Citytunnel project.

Namn	Malmö Citytunnel
Typ	Dubbelspårig järnvägstunnel
Längd	4,6 km (TBM) + 360 m cut-and-cover + 440 m ramp
Beställare	Trafikverket (Banverket), Malmö stad, region Skåne
Entreprenörer (bygg)	NCC, Malmö City Tunnel Group (konsortium)
Typ	sköldad TBM; station Triangeln fräsning
Area	58 m ² (TBM-sektioner)
Bergtäckning	Ca 10 m
Byggtid	2005–2010
Projektering	1998 (förstudier 1995)
Kostnad	8,56 miljarder SEK (2001 års penningvärde)
Geologi, nyckelord	Kalksten, flinhorisonter, grundvattenmagasin
Förundersökningar	Omfattande. Geofysik (märk speciellt reflektionsseismik), kärn- och brunnborringar, provpumpningar m.m.
Kommentarer	Budgeterad kostnad 9,45 mdr, större än slutkostnad

4.3 Ådalsbanan

Syftet med järnvägsprojektet Ådalsbanan är att till modern standard upprusta den befintliga järnvägen, som byggdes mellan 1890-1925, samt ansluta Sundsvall till Botniabanan norr om Nyland. Hela projektet omfattar ca 130 km spår, och består både av upprustning av befintliga järnvägssträckor samt nybyggnation av två sträckor (Trafikverket, 2012e).

De nya delarna är dels 21 km mellan Härnösand – Veda, dels 8 km Bollstabruk – Botniabanan anslutning. Av de nyanlagda 29 km är ca 14 km olika tunnlar, omfattande totalt 8 st., se Figur 6 och Tabell 5. Förutom huvudtunnlarna har ca 12 km servicetunnlar drivits.

I denna rapport har endast tunnlar mellan Härnösand – Veda studerats. Ingen uppdelning har gjorts vad gäller vilka förundersökningsmetoder som utförts i de olika tunnelavsnitten, utan projektet har studerats som helhet.



Figur 6 Ådalsbanans sträckning (Trafikverket, 2012a)
 The Ådalsbanan railroad alignment.

Tabell 5 Längder för de nybyggda tunnlarna längs Ådalsbanan
Lengths of the Ådalsbanan tunnels.

Tunnel	Längd
Kroksbergstunneln, Härnösand	4540 m
Bjässholmstunneln, Härnösand	3490 m
Snarabergstunneln, Kramfors	2400 m
Murbergstunneln, Härnösand	1600 m
Gårdbergstunneln, Härnösand	835 m
Hallbergstunneln, Kramfors	780 m
Utansjötunneln, Härnösand	230 m
Svedjebergstunneln, Härnösand	150 m

Tunnelnarna har drivits med konventionell borra-sprängmetod i urbergsdominerad geologi. Till största delen består berget av metagråvacka med ibland förekommande längre avsnitt med granit, i delar av Bjässholmstunneln och i Utansjötunneln består berget till största delen av pegmatit. De förundersökningar som genomförts är geologisk hållkartering, refraktionsseismik, magnetometri och slingramsundersökningar. Kärnborring har gjorts med efterföljande vattenförlustmätningar och kärnkartering. Prover av berget har också tagits från hållar och bergtäkter. Jb-sondering har gjorts för bestämning av läge av tunnelpåslag. Hammarborrhål har också gjorts för vattenförlustmätningar.

Tabell 6 Projektsammanfattning Ådalsbanan.
Key data for the Ådalsbanan tunnel project.

Namn	Ådalsbanan
Typ	Flera järnvägstunnlar
Längd	Se Tabell 5
Beställare	Trafikverket (Banverket)
Entreprenörer (bygg)	Oden (numera Strabag), Lemminkäinen
Typ	Borra-spräng
Area	Ingen information
Bergtäckning	Varierande
Byggtid	2005–2009
Projektering	2003 (förstudier 1994)
Kostnad	6,6 miljarder (2006 års penningvärde)
Geologi, nyckelord	Urberg, pegmatitgångar
Förundersökningar	Geofysik, Geotekniska, geohydrologiska, bergtekniska
Kommentarer	

4.4 Förbifart Stockholm

Diskussioner om en förbifart väster om Stockholm har pågått under många år och flertal alternativ har utretts. Vägverket förordade 2006 alternativet Förbifart Stockholm, vars

syfte är att sammanbinda E20/E4 vid Kungens Kurva med E4 vid Häggvik nordväst om Stockholm.

Sträckan som totalt omfattar 21 km kommer att bestå av två tunnlar om totalt 17 km, varav den längsta sträcker sig från Kungens Kurva i söder till Hjulsta i norr där en trafikplats kommer att anläggas. Byggtiden är beräknad till 8 – 10 år med en tidigaste byggstart 2013. Kostnad beräknad till ca 28 miljarder kr i 2009 års prislivå.



Figur 7 Planerad sträckning av Förbifart Stockholm. (Trafikverket, 2012b).

Planned alignment of the Förbifart Stockholm road/tunnel project.

Tunneln är avsedd att användas för vägtrafik. Vägen kommer att utföras med 3+3 körfält, och tunneldelen kommer att utföras som parallella tunnelrör utan mötande trafik. Den totala trafikintensiteten beräknas till ca 140 000 fordon/dygn år 2035 (Trafikverket, 2011a).

Tabell 7 Projektsammanfattning Förbifart Stockholm
Key data for the Förbifart Stockholm project.

Namn	Förbifart Stockholm
Typ	Vägtunnlar, 3+3 filer
Längd	Totalt 17 km
Beställare	Trafikverket
Entreprenörer (bygg)	Ej utsedda
Typ	Ingen information
Area	121 m ² (huvudtunnel, per tunnel)
Bergtäckning	Varierande
Byggtid	Entreprenad ej påbörjad (2012)
Projektering	2006 (förstudier tidigare)
Kostnad	27,6 miljarder (hela projektet, 2009 års penningvärde)
Geologi, nyckelord	Urbergsgeologi, delvis under Mälaren
Förundersökningar	Ytkartering, (styrd) kärnborrning, kärnkartering, BIPS, refraktionsseismik, borrhålsradar, vattenförlustmätning, hydrauliska tester, grundvattenkartering, Jb-sondering, m.m.
Kommentarer	

4.5 Skrea Backe

Järnvägstunneln genom Skrea Backe vid Falkenberg är en del av Västkustbanan. Tunneln invigdes 2008, dessförinnan genomfördes förundersökningar, till stor del inriktade mot grundvattenproblematiken eftersom en grundvattensänkning krävdes under byggskedet.

Berggrunden vid Skrea backe består i huvudsak av rödgrå granitisk gnejs. Jordlagermängdigheten varierar mellan 3 till 10 m.

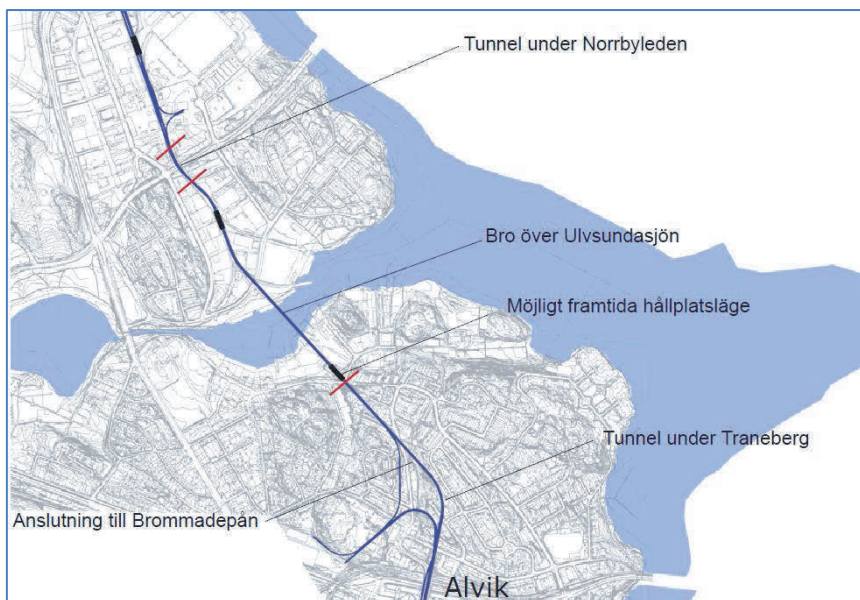
Drivningsmetoden var borra-spräng. Det skedde kontinuerlig förinjektering framför tunneln för att minimera vattenproblematik vid framdriften av tunneln (Ekberg, 2010).

Tabell 8 Projektsammanfattning Skrea Backe.
Key data for the Skrea Backe project.

Namn	Skrea Backe
Typ	Dubbelspårig järnvägstunnel
Längd	560 m
Beställare	Trafikverket
Entreprenörer (bygg)	Ue MIKA (Peab)
Typ	Borra-spräng
Area	120 m ²
Bergtäckning	2-15 m
Byggtid	2004-2006
Projektering	Ingen uppgift
Kostnad	Ingen uppgift
Geologi, nyckelord	Gnejs, granitisk
Förundersökningar	Karteringar, refraktionsseismik, kärnborring, kärnkartering, grundvattenobservationer, Jb-sondering m.m.
Kommentarer	Tunnellinjen flyttad, kompletterande undersökningar

4.6 Tranebergstunneln

Tranebergstunneln är en järnvägstunnel avsedd för spårvägstrafik utformad som en dubbelspårstunnel, och ingår som en del i utbyggnaden av Tvärbana Norr i Stockholm. Den ingår i den s.k. Solnagrenen, från Alvik till Solna, där spårvägen under stadsdelen Traneberg går genom en ca 800 m lång tunnel.



Figur 8 Tunnelsträckning under Traneberg, Stockholm, från (Ramböll, 2008)
Tunnel alignment under Traneberg, Stockholm.

Tabell 9 Projektsammanfattning Tranebergstunneln.
Key data for the Tranebergstunneln project.

Namn	Tranebergstunneln
Typ	Dubbelspårig järnvägstunnel (spårväg)
Längd	800 m
Beställare	Storstockholms Lokaltrafik
Entreprenörer (bygg)	Veidekke
Typ	Borra-spräng
Volym	85 000 m ³
Bergtäckning	15-35 m
Byggtid	Klar 2012
Projektering	2001-2007
Kostnad	Ingen uppgift
Geologi, nyckelord	Storblockig medelkornig granit med pegmatitinslag
Förundersökningar	Berggrundskartering, hammarborrhål, grundvattennivå, seismik.
Kommentarer	Ingen kärnborrning.

5 Intervjuer

Ett av projektets huvudsyften är att studera relevansen i förundersökningar så som de olika parterna i ett byggprojekt upplever det. Den metod som har valts för att studera detta är strukturerade intervjuer av ett antal personer i de utvalda referensobjekten (kapitel 4). I tillägg har ytterligare några personer med lång och stor erfarenhet men utan direkt inblandning i referensobjekten intervjuats.

I förberedelserna inför intervjuerna ingick att ta fram en referensbeskrivning av respektive projekt som den bakgrund mot vilken intervjuerna har genomförts och utvärderats. Härvid krävdes hjälp av någon/några personer med mycket god inblick i de aktuella projekten, och arbetet med att välja intervjuade personer och referensobjekt har därför i viss mån skett parallellt.

5.1 Metodbeskrivning

Intervjuerna har genomförts som strukturerade samtal, enligt en på förhand bestämd mall. Vid samtliga intervjuer användes en och samma mall, vilken finns återgiven i Bilaga E.

Så långt det varit möjligt har samma person genomfört intervjuerna med personer inom de olika referensprojekten. Beroende på personalomsättning inom referensprojekten har det emellertid varit mycket svårt att fånga upp personer i samtliga roller inom projekten.

Totalt har 19 personer intervjuats under perioden februari 2011 till mars 2012. De intervjuade är till största delen personer som varit eller fortfarande är verksamma inom de olika referensobjekten, men som nämnts ovan har även andra individer som har dokumenterat stor erfarenhet inom tunnel- och bergrumsarbeten intervjuats.

5.1.1 Utvärdering av intervjuer

Intervjuerna har (efter medgivande från den intervjuade) spelats in, och de resulterande ljudfilerna har transkriberats. De nedtecknade uppgifterna har sedan anonymt utvärderats mot frågeställningarna i intervjumallen.

En svårighet har varit att alla intervjuade personer inte har kommenterat alla frågeställningar. Eftersom inte heller alla roller varit representerade i alla referensprojekt har det varit omöjligt att i utvärderingen koppla svaren till ett visst projekt. Svaren betraktas därför utan projekttillhörighet.

I Bilaga F finns en anonymiserad och förkortad sammanställning av intervjupersonernas svar.

5.2 Resultat

Här redovisas en sammanställning av de svar som erhållits, med kommentarer. De svar som ligger till grund för sammanställningen redovisas i Bilaga F.

Inledningsvis handlade intervjuerna om förundersökningarnas roll för utformningen av det aktuella referensprojektet. Detta visade sig vara svårt att undersöka, då intervjupersonerna sällan hade varit med från projektets inledning och därmed inte kunnat påverka deras utformning. Svaren redovisas därför inte projektvis, utan en samlad bedömning utifrån intervjuvaren har gjorts.

En annan del handlar om hur projektet påverkats av förundersökningarnas resultat, i vilken grad de påverkat utförande och om kvaliteten på förundersökningarna varit tillräcklig.

Slutligen har ett antal frågor om erfarenhetsåterföring och resultatens tillgänglighet för andra än projektet diskuterats.

De tolkade och sammanställda intervjuresultaten följs nedan av en diskuterande kommentar, som inte är ett direkt referat av de intervjuades utsagor utan vår subjektiva analys.

5.2.1 Förundersökningarnas roll

I stort sett hela gruppen var överens om att förundersökningarnas viktigaste roll i allmänhet är att skapa en bra prognos som kan ligga till grund för planering, kostnadsanalys och arbetsplanering.

En av de intervjuade specificerade det önskvärda huvudinnehållet i prognosen. Den bör minst innehålla en prognos över sträckan vad avser bergkvalitet enligt ISRM:s rekommendationer, Q-faktor, permeabilitet, förstärknings- och injekteringsbehov.

En intervjuad påpekar vikten av att man redan innan förundersökningarna startar har en strategi för dem. Beställaren har oftast en vag uppfattning om vad förundersökningarna skall leda till, konsulterna som upphandlas gör ”vad de är bra på”. Man är för fokuserad på att mäta och undersöka ”utan att tänka geologiskt”. Alla utom en anger dock att man tagit erfarenheter från tidigare projekt och använt dem i planeringen av förundersökningar.

Det omvända – att erfarenheter från det aktuella projektet använts i nästa – är lika vanligt, men man framför reservationer som att ”varje projekt är en nystart” och ”varje projekt skall ses som unikt utan förutfattade meningar”.

Kommentar: Det verkar som om de erfarenheter som görs följer personerna och läggs till den enskildes yrkeserfarenhet. Systematisk erfarenhetsåterföring och kunskapsuppbyggnad framstår som sällsynt, speciellt på beställarsidan. Detta beror sannolikt på den

strikt projektorienterade organisationen, där projektorganisationen nedmonteras efter genomförandet.

5.2.2 Förundersökningarnas användbarhet och användning

I referensprojekten har förundersökningar använts i något olika omfattning. Flera intervjuade säger att man, baserat på förundersökningarna, lyckats hålla kostnadsramen väl och att de använts till riskbedömningar, för dimensioneringar och som underlag till miljöprövningsarbetet, medan några påpekar att tunnelns läge varit politiskt bestämt och att förundersökningarna inte kunna påverka dragningen.

De intervjuade som avgivit svar är också i stort överens om att förundersökningarna inför det aktuella projektet givit tillräcklig information för att kunna avgöra bästa linjeplacering och val av byggmetod. Resultatet av förundersökningarna motsvarar i detta fall med något undantag förväntningarna, och i något fall anges till och med att för mycket förundersökningar genomförts.

De prognoser som togs fram upplevs olika när de jämförs med det verkliga utfallet under byggtiden. I några fall anses bergmassan ha varit bättre än vad som prognostiserats, i några fall sämre. I flera fall sägs skillnaderna mellan prognos och utfall ha påverkat kostnader och tidplan. De avvikelser som beskrivs handlar i allmänhet om bergmassans hydrogeologiska egenskaper, som i några fall krävt kompletterande undersökningar.

På frågan om resultaten från förundersökningen använts fullt ut i beslutsprocessen är svaren varierande. Flera av de intervjuade påpekar att man inte tagit tillräcklig hänsyn till all information i förundersökningarna eller att volymen förundersökningar inte varit tillräcklig, medan andra tycker att förundersökningarna använts fullt ut.

Vad gäller kostnaden för förundersökningar är kunskapen bland de intervjuade generellt begränsad (se ovan, att intervjupersonerna sällan varit med från projektets inledning). I de fall kvantifierade svar erhållits anges de till mellan 0,5 och 1 % av totalkostnaden utom i ett fall, där kostnaderna anges till 4-5 %. Det senare fallet får dock betraktas som ett undantagsfall, då linjeföringen flyttades i ett relativt sent skede, och förundersökningarna fick göras om helt i vissa delar.

Frågan om hur den allmänna nyttan med förundersökningar upplevs besvarades ofta försiktigt positivt, eller som ett svar anger: ”Det är viktigt att komma ihåg att berget inte blir bättre för att det görs fler undersökningar. Det är lätt att göra undersökningar som man kan och känner till, snarare är att fundera på vad som behövs.” En annan säger att ”Vi har stor nytta av förundersökningar, det är ingen tvekan” och ytterligare någon har ingen särskild uppfattning, men ger kommentaren ”branschen är konservativ och har svårt att ta till sig nya metoder”.

Kommentar: Synen på förundersökningarna verkar vara att de anses räcka för tidig planering och fastställande av byggmetod, medan brister och viss skepsis finns vad gäller möjligheten att skapa en detaljprognos och användning i byggskedet, speciellt vad gäl-

ler de hydrogeologiska delarna. I några fall anses prognoserna ha stämt väl, i något fall har bergets kvalitet till och med varit bättre än prognosen.

Den bristande precisionen i prognoserna anses inte enbart bero på att mängden förundersökningar är för liten, utan kan också bero på att materialet inte använts fullt ut, att förundersökningen utformats mindre väl eller på att de metoder som använts inte löser uppgiften.

Detta kan jämföras med de intervjuades samstämmiga uppfattning att förundersökningarnas viktigaste roll är att skapa en bra prognos som kan ligga till grund för planering, kostnadsanalys och arbetsplanering.

Man kan se en diskrepans mellan svaren på frågan om ”förundersökningarnas omfattning varit tillräcklig” och om ”de har använts fullt ut”. Vi tolkar detta som att de som tyckt att omfattningen varit tillräcklig svarat på den första frågan och avstått från att utveckla den andra. Den grupp som menar att resultaten inte använts har istället svarat kort eller inte alls på den första frågan, medan de utvecklat sina synpunkter under den andra frågerubriken.

5.2.3 Förundersökningarnas innehåll

Några frågor i intervjuerna behandlade metodvalen i förundersökningarna. En av de intervjuade beskrev sin arbetsprocess för en optimal förundersökning med dessa steg:

- Kartera berg i dagen
- Utför seismik längs linjesträckningen
- Gör Jb-sondering som kontroll samt hammarborrning med registrering av parametrar,
- Skapa tredimensionell geomodell (geologi och geomekanik)
- Välj var kärnborrhål skall placeras
- Utför vattenförlustmätningar och propumpningar.
- Utvärdera modellen och förfina den

Geofysiska metoder ansågs allmänt vara till god hjälp, speciellt för tidig och översiktlig information och för större strukturer. En person anger resistivitetsmetoden som ”ovärderlig” i projektarbetet.

Vad gäller användningen av kärnborrning ställt mot hammarborrning är tilltron till kärnborrning stor, men ett svar kommenterar att hammarborrnings största nytta är i hydrogeologiska sammanhang. Andra påpekar att det är lätt att övertolka resultaten från en kärnborrning, och att en kärna bara är ett ”nålstick i bergmassa”, som måste kompletteras med andra metoder. En annan menar att resultaten från kärnborrning undervärderas, och att borrnig med registrering av borrarparametrar är en mycket värdefull metod.

Kommentar: Här befästs resultat från enkätsvaren, att kärnborrning är en metod som har mycket stort förtroende och den mest spridda användningen, kostnaderna till trots. De

flesta verkar anse att hammarborrningens största nytta finns i samband med hydrogeologiska tester. Vi anser att borrhning, även hammarborrning, med borrhparameterregistrering har stor potential i förundersökningarna men detta synsätt verkar inte vara allmänt spritt bland de intervjuade, endast en intervjuad pekar på denna metod.

Geofysiska metoder har i en del projekt använts i stor omfattning, medan andra ser geofysiska metoder som översiktliga och inte så användbara i byggfasen.

5.2.4 Kommunikation i projekten

Flertalet svar anger att kommunikationen internt i projekten fungerat bra eller mycket bra. Några avvikelser anges. Ett exempel är att en entreprenör inte ifrågasatt undersökningarna eller granskat dem kritiskt förrän det i byggskedet visat sig att bergkvaliteten var sämre än prognosen. I ett annat exempel beskrivs hur en konsult sent kom in i ett projekt. Efter att studerat handlingarna påpekar konsulten att prognosen borde uppdateras, men beställaren ger ingen tydlig respons, och svaret uppfattas som att beställaren är beredd att ta konsekvenserna senare.

Kommentar: Med några undantag uppges den interna kommunikationen i projekten fungera väl. Detta är positivt, då flera studier, t.ex. (Van Baars, 2011), (Baynes, 2010) eller (Parry and Hart, 2009), tyder på att projektorganisationen, kompetensprofilen och möjligheten för enskilda medarbetare att både få bidra och få möjlighet till att bli granskade, är väsentliga för ett projekts lyckade utgång.

5.2.5 Informationsvärdesanalys

De intervjuade är splittrade på sin syn på informationsvärdesanalys, alltså en systematisk utvärdering av det ekonomiska marginalvärdet av en undersökning (Danielsen, 2010). Om man tolkar svaren är det inte möjligt att avgöra om metoden använts i något av projekten, de tyder istället på motsatsen utom i ett fall som anger att metoden använts i delar av projektet. Flera svarande är dock positiva till konceptet.

Kommentar: Informationsvärdesanalys framstår som en visserligen känd, men ej använd metod för att analysera och dimensionera undersökningsinsatserna.

5.2.6 Erfarenhetsåterföring

I en tidigare fråga anger alla utom en svarande att man tagit erfarenheter från tidigare projekt och använt dem i planeringen av förundersökningarna, liksom att man normalt använder erfarenheter från ett projekt i nästa. Det verkar dock som att dessa erfarenheter finns på individnivå och att det på organisationsnivå är ovanligt med systematisk erfarenhetsåterföring och insamling av de lärdomar som gjorts.

En tänkbar lösning på detta vore att inrätta en nationell erfarenhetsdatabas; en av frågorna berörde de intervjuandes inställning till detta.

Svaren sprider sig något, med en övervikt för försiktigt positiva svar, med reservationer. Man framför att åtminstone Trafikverkets handlingar är offentliga, vilket underlättar

tillgängligheten, men betonar samtidigt vikten av att vara systematisk, arbeta med standardiserade uppgifter och att man skall vara nyttoinriktad. Som lämplig huvudansvarig anger samtliga utom en av de som svarat SGU; som alternativ anges en regional huvudman (länsstyrelse) eller en branschorganisation.

Några anger att de tycker den största nyttan skulle finnas på regional nivå, speciellt i storstadsområdena.

De som är tveksamma anger att varje projekt är unikt och måste börja från början, och att kostnaden sannolikt inte motsvarar nyttan.

En närliggande fråga gäller om man skall ha någon typ av standardisering vad gäller rapportering av förundersökningar. Endast två personer väljer att svara på detta, och deras svar skiljer sig. Det ena är positivt till standardisering och anger Banverket/Trafikverket som ett gott exempel, medan det andra förordar att ”inte rota i detta utan redovisa resultaten som tolkning”.

Kommentar: Det verkar som om tanken med en central databank avseende insamlad projektinformation som egenskaper hos bergmassa etc., inte är främmande för de flesta, och att i så fall en myndighet som SGU bör bli ansvariga. Det förefaller dock lämpligt att göra en noggrann analys av nyttan med att samla data i detta syfte, och av vad innehållet bör vara.

Vad gäller frågan om standardisering av rapporterna går det inte att dra några slutsatser.

5.2.7 Nationell skillnad i kunskap om metoder

Frågan lyder ”Hur ser du på den nationella spridningen av kunskap om olika förundersökningsmetoder?”

Svaren har huvudsakligen berört geografisk spridning av kunskap. En del tror att skillnaden inom landet är liten eller försumbar, medan andra menar att en skillnad verkligen existerar.

Förklaringen till att dessa skillnader tycks finnas varierar från att ”det är en geologisk förklaring till att olika metoder används olika i Sverige”, över ”vanans makt spelar in”, d.v.s. att konsulterna företrädesvis använder de metoder de själva kan och har kännedom om (två svar) till en jämförelse med Danmark, där åsikten är att man där har större kunskap och möjlighet inom företagen att välja förundersökningsmetoder, eftersom uppdragen ofta är av större omfattning.

En relaterad fråga handlar om synen på att anordna teknikseminarier, där olika förundersökningsmetoder demonstreras och diskuteras. Med reservation för att flera svarande tydligt menar att sådana seminarier måste vara praktiskt inriktade, bygga på erfarenhet och inte vara för ”forskningsinriktade” eller ägna sig åt ”detaljplöck”, råder enighet om att detta är en bra aktivitet som bör prioriteras.

En svarande anger att det är viktigt att överbrygga skillnaden mellan jord- och bergfrågor, och få information om ”hela paketet jord-berg-vatten-miljö”, någon påpekar att man bör eftersträva geografisk spridning av kursorterna (idag huvudsakligen Stockholm).

Kommentar: I stor utsträckning anser man att det finns en nationell skillnad i kunskapen om förundersökningsmetoder, och ett par svarande menar att denna skillnad står att söka i konsulternas skiftande erfarenheter. Detta är i linje med tidigare uttalanden om en konservativ och trögrörlig bransch (se avsnitt 6.2).

Viljan till förändring tycks dock vara stor, speciellt om man strävar efter att förmedla i första hand direkt praktiskt användbara kunskaper och erfarenheter.

Det verkar som individer erhåller skiljda erfarenheter, beroende på i vilken geologisk miljö projekten bedrivs (urberg, sedimentärt berg), och att detta påverkar synen på och kunskapen om olika förundersökningsmetoder.

5.2.8 Är kostnadsuppskattningarna för optimistiska?

Frågan handlar om huruvida man med de tidiga kostnadsuppskattningarna av projektet varit för optimistisk, och vad detta i så fall kan bero på.

Av svaren framgår i övervägande omfattning att man ofta underskattar kostnaderna, men förklaringarna varierar. I ett fall menar man att samordningen tagit längre tid än beräknat samt att man har en tendens att välja det lägsta priset om intervall anges.

En annan svarande menar att underskattningen medvetet görs för att komma vidare; man kan tolka det som att det görs av projekttaktiska skäl.

Ett par svar anger entreprenören som drivande i att hålla ner det uppskattade priset; ”det är entreprenörens uppgift att räkna så billigt som möjligt”, medan ett annat svar direkt motsäger detta ”det finns ingen medvetenhet att gå in med låga kostnader”.

Kommentar: Man verkar vara överens i sakfrågan, att kostnadsuppskattningar i tidiga skeden ofta är för låga, men det finns ingen entydig förklaring till detta. Ett svar anger uttalat att kostnadsuppskattningarna hålls nere för att ”komma vidare i projektet”. (Lundman, 2011) konstaterar att trots att tidiga kostnadsuppskattningar som regel är baserade på utfallet av tidigare projekt, saknas systematiska uppföljningar av dessa. Det finns ett behov av att ytterligare studera hur och på vilken grund kostnadsuppskattningar görs.

5.2.9 Organisation

Två frågor handlar om organisation och upphandlingsformens påverkan på förundersökningarna.

Den första gäller hur en projektorganisation skall byggas upp för att kunna optimera nyttan med förundersökningar. Nästan samtliga betonar tydlighet, samverkan och konti-

nitet i samarbetet mellan de olika parterna och särskilt vikten av beställarens kompetens.

Vad gäller entreprenadformen är man med ett par undantag eniga om att entreprenadformen i hög grad påverkar omfattning och utformning av förundersökningar. Någon pekar på samverkansprojekt som fördelaktiga, eftersom konsulterna får möjlighet att få erfarenheter även i byggskedet.

Flera intervjupersoner har också sidokommentarer till detta, t.ex. ”ju större ansvar man lägger på entreprenören desto mer behöver undersökas för att undvika diskussioner och tvister. Ju mer risk som läggs på beställaren desto mindre behöver förundersökas”. En annan kommentar är ”om man har en utförandeentreprenad så gäller det att man är säker på hur berget ser ut, om man däremot går med löpande räkning måste man vara medveten om vad detta kan innebära”.

Ett par intervjupersoner betonar att bergrisker vilar/bör vila på beställaren.

Kommentar: De intervjuade betonar vikten av en väl fungerande organisation, och oftast att förundersökningarnas utformning beror på vald entreprenadform. Tydligt är också att man i detta sammanhang kopplar samman förundersökningsbehovet med riskfördelningen mellan entreprenör och beställare, inte minst vad gäller beredskap för eventuella tvister.

6 Enkätundersökning

För att erhålla en mer allmän uppfattning om branschens inställning och erfarenheter av förundersökningsmetoder har en enkät riktad till yrkesverksamma i bergbyggarbranschen genomförts.

6.1 Metodbeskrivning

I enkäten ställs inledningsvis frågor som syftar till att undersöka kännedomen om vissa förundersökningsmetoder, hur ofta de används och attityden till dem, dvs. hur användbara och nyttiga resultaten anses vara. Härefter ställs frågor om hur man anser att resultaten påverkat genomförandet av respektive projekt, och slutligen om hur bakgrundsmaterial som geologiska kartor och forskningsresultat används.

Enkäten har ställts till de intervjuade personerna i referensobjekten samt några ytterligare personer; i tillägg till de enkäter som besvarats av de 19 intervjuade har ytterligare 6 enkäter besvarats av personer med motsvarande erfarenhetsnivå som de intervjuade, men som av olika skäl inte kunnat genomföra intervjun. Vidare har en undersökning i form av webbaserade frågeformulär genomförts, som av 62 personer besvarats anonymt under perioden december 2011 till augusti 2012; 12 av dessa har inte besvarats fullständigt. Webbenkäten har gjorts för att kunna få en uppfattning om det finns någon skillnad mellan attityder och de erfarenheter som gjorts i referensprojekten och branschen i allmänhet.

Enkäterna till de bägge kategorierna är i huvudsak lika men skiljer sig i detaljer (se nedan). De fullständiga enkätformulären finns i bilagorna G och H.

Vad gäller kännedom om förundersökningsmetoderna har respondenterna att ta ställning till hur väl de känner till en viss metod, graderat som

- Kännedom: *Känner ej till – Kan grunderna – har arbetat med resultat – har själv utfört/tolkat*

För begreppen värde och användbarhet/nytta har vi valt följande definitioner:

- Värde – den påverkan resultaten från en viss metod har på projektet, relaterad till informationens kvalitet och precision.
- Användbarhet/nytta – hur effektiv en viss metod är på att tillföra information, i någon mening resultatens tillämpbarhet, eller tillgänglighet för användaren

I enkäter och intervjuer har dessa två variabler kvantifierats enligt följande

- Värde: *Har litet eller inget värde – Har visst värde – Kan ha avgörande betydelse*
- Användbarhet: *Lätt att arbeta med – Kan vara komplext, varierar – Alltid svårtillgängligt*

Dessa förtydliganden har varit tillgängliga för de svarande.

För att kunna utvärdera de kategoriserade svaren har dessa sedan kodats numeriskt. Här har talet 0 använts för ”känner inte till”, ”har litet eller inget värde”, etc. medan utelivna svar uteslutits. I sammanställningen beräknas sedan statistiska mått (medelvärde, spridning) för dessa numeriska värden.

6.1.1 Enkät till intervjupersoner

Denna grupp av svarande benämns ”Grupp A” i bilagor och figurer. Totalt erhöles innehåller gruppen 25 svar. En sammanfattning av enkätens innehåll finns i Tabell 10.

Respondenterna i denna grupp ombads relatera sina erfarenheter till referensobjekten.

Tabell 10 Sammanfattning av enkätundersökningen som den ställdes till intervjupersonerna.
Summary of the questionnaire to the interviewees.

Avsnitt	Syfte med frågorna
Metodkännedom	Etablera kunskap om hur välkända olika metoder är (för intervjupersonen)
Metodernas användbarhet	Etablera kunskap om hur användbar och nyttig resultaten från en viss metod är (för referensprojektet)
Metodernas värde	Etablera kunskap om hur värdefulla resultaten från en viss metod är (för referensprojektets genomförande)
Användning av geologisk kartering	Etablera kunskap om i vilket utsträckning SGU:s geologiska kartor använts i referensprojektet.
Användning av visst annat material	Etablera kunskap om i vilken omfattning tidigare utredningar, forskningsresultat och annat använts i referensprojektet.

6.1.2 Webbenkät

Frågeformulären ansluter sig mycket nära till den enkät som intervjupersonerna svarat på och som beskrivits i föregående avsnitt, och skiljer sig egentligen endast åt i det att den svarande inledningsvis själv beskriver sin yrkesroll, erfarenhet osv., samt att vi frågar om vilka metoder respondenten använder, utgående från dennes senaste erfarenheter, se Bilaga H. Denna grupp av svarande benämns ”Grupp B” i bilagor och figurer.

Respondenterna ombads om tillämpligt relatera sina erfarenheter till det senaste projekt de deltagit i.

Tabell 11 Sammanfattning av det webbaserade frågeformuläret.
Summary of the web based questionnaire.

Avsnitt	Syfte med frågorna
Bakgrund	Etablera kunskap om respondenten, utbildning och erfarenhet, fortbildning
Metodkännedom	Etablera kunskap om hur välkända olika metoder är (för respondenten)
Metodernas användning	Etablera kunskap om hur ofta en viss metod använts utgående från respondentens senaste erfarenheter
Metodernas användbarhet	Etablera kunskap om hur användbar och nyttig resultaten från en viss metod är utgående från respondentens senaste erfarenheter
Metodernas värde	Etablera kunskap om hur värdefulla resultaten från en viss metod är utgående från respondentens senaste erfarenheter
Användning av geologisk kartering	Etablera kunskap om i vilket utsträckning SGU:s geologiska kartor används i respondentens nuvarande yrkesroll
Användning av visst annat material	Etablera kunskap om i vilken omfattning tidigare utredningar, forskningsresultat och annat används av respondenten

6.2 Resultat, enkät

Totalt erhöles 25 svar från de intervjuade och 62 svar på webbenkäten, varav 12 inte var fullständigt besvarade utan avbrutna innan de slutförts. Dessa 12 har inte medtagits i analysen, endast de 50 fullständigt ifyllda har beaktats.

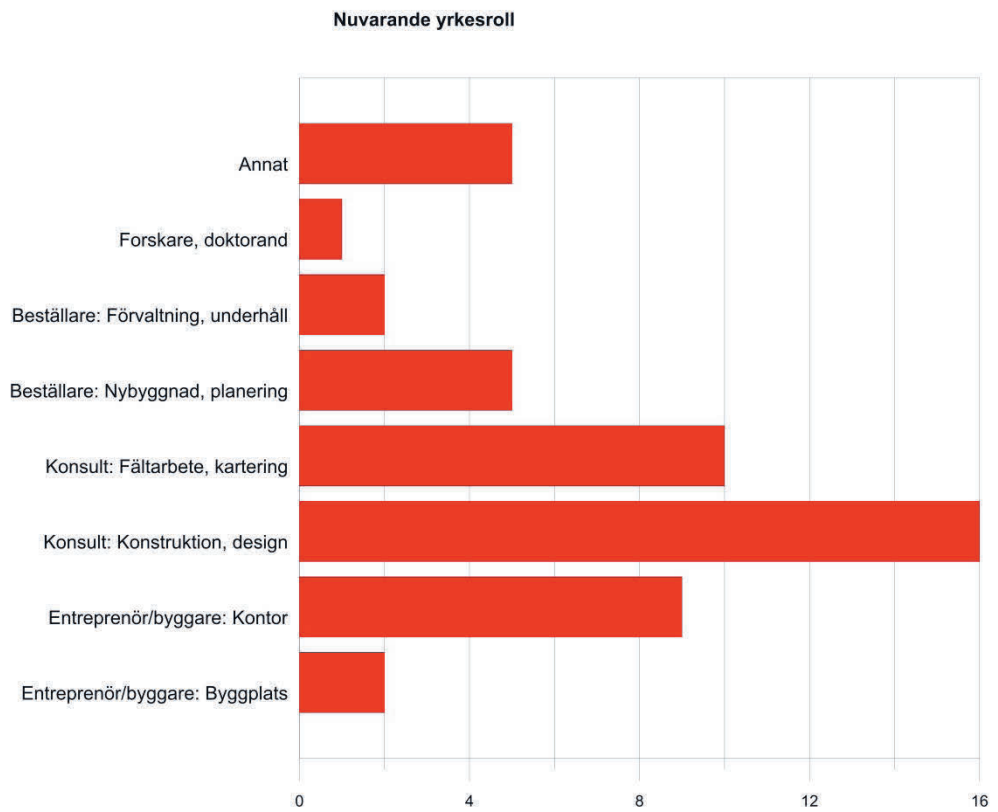
Här redovisas resultat som rör den sammanslagna mängden enkätsvar. Denna mängd, 75 st., kallas grupp A+B i figurer och tabeller. En uppdelning i de två kategorierna har gjorts, och är redovisad i diagramform i Bilaga I (intervjupersoner) och Bilaga J (webbenkät), och skillnaderna analyseras vidare i avsnitt 7.2.

6.2.1 Respondenterna

Grupp A anses som tidigare nämnts representera mycket erfarna personer. För att få en uppfattning om sammansättningen av grupp B, har dessa i enkäten ombetts karakterisera sig själva.

De yrkesroller som de svarande i grupp B ansåg sig inneha vid besvarandet av enkäten framgår av Figur 9. Vidare går det att utläsa att 80 % av de svarande i gruppen arbetade i företag med mer än 100 anställda. Mer än 66 % av de svarande ansåg att de under det senaste året sysslats med arbeten relaterade till tunnlar och bergrum.

Vidare hade 42 % mer än tio års erfarenhet av tunnel och bergrumsarbeten och 97 % ansåg att deras beslut i någon grad kunnat påverka det senaste tunnelprojekt de varit delaktiga i. 24 % anger att deras beslut varit avgörande för projektet.



Figur 9 Uppgivna yrkesgrupper för de som svarat på webbenkäten.
Stated professions for the web respondents.

6.2.2 Kännedom, värde och användbarhet

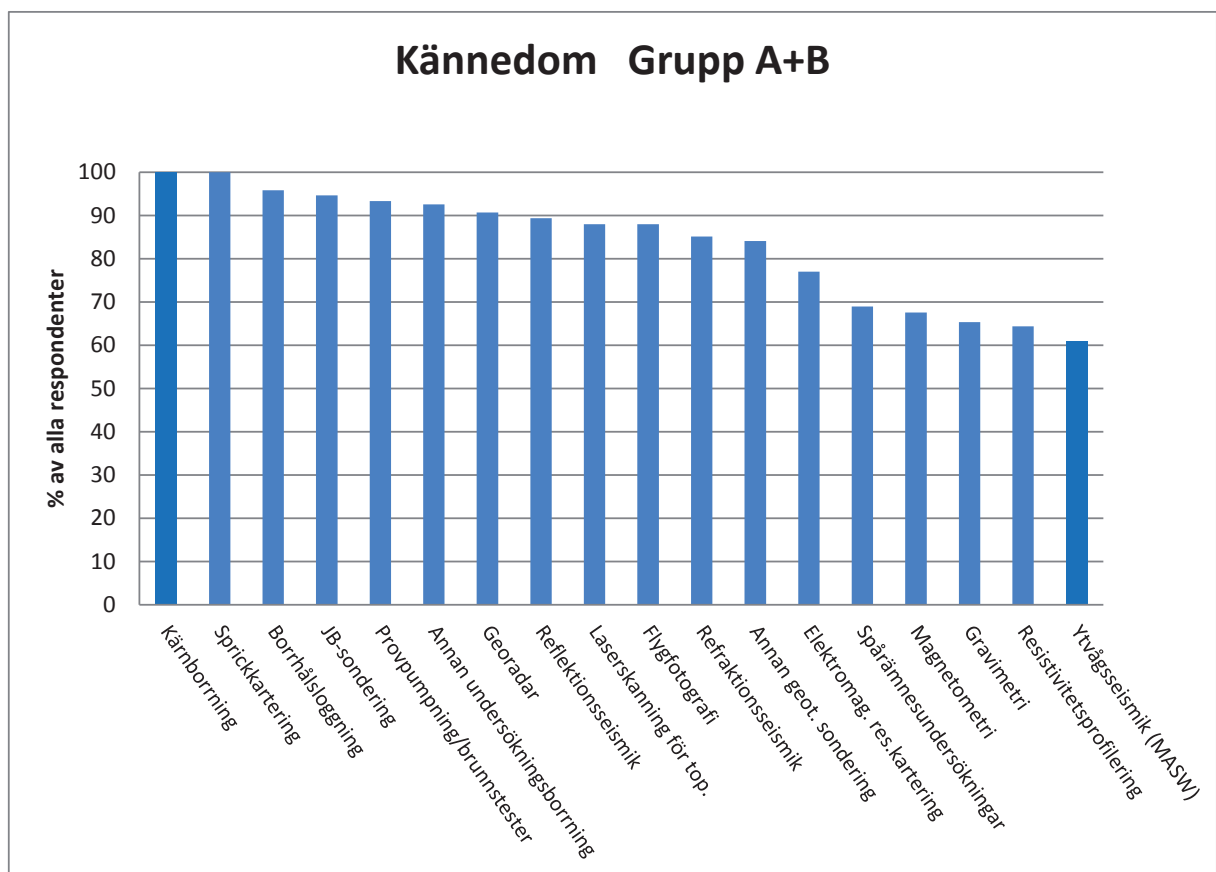
För begreppen kännedom, värde och användbarhet, se avsnitt 6.1.

6.2.2.1 Kännedom

Då det gäller kännedom om olika förundersökningsmetoder kan man konstatera att samtliga tillfrågade har kännedom om kärnborrning och sprickkartering, Figur 10. Borrhålsloggning, Jb-sondering, Provpumpning/brunnstester och annan undersökningsborrning liksom georadar finns i kategorin mycket välkända metoder; över 90 % av respondenterna uppger att de känner till dessa.

Det är anmärkningsvärt, med tanke på att metoden används relativt sällan i Sverige, att reflektionsseismik är mer känd än refraktionsseismik som är en standardmetod sedan decennier.

Kännedomen om metoderna ytvågsseismik (MASW), magnetometri och gravimetri är lägst.

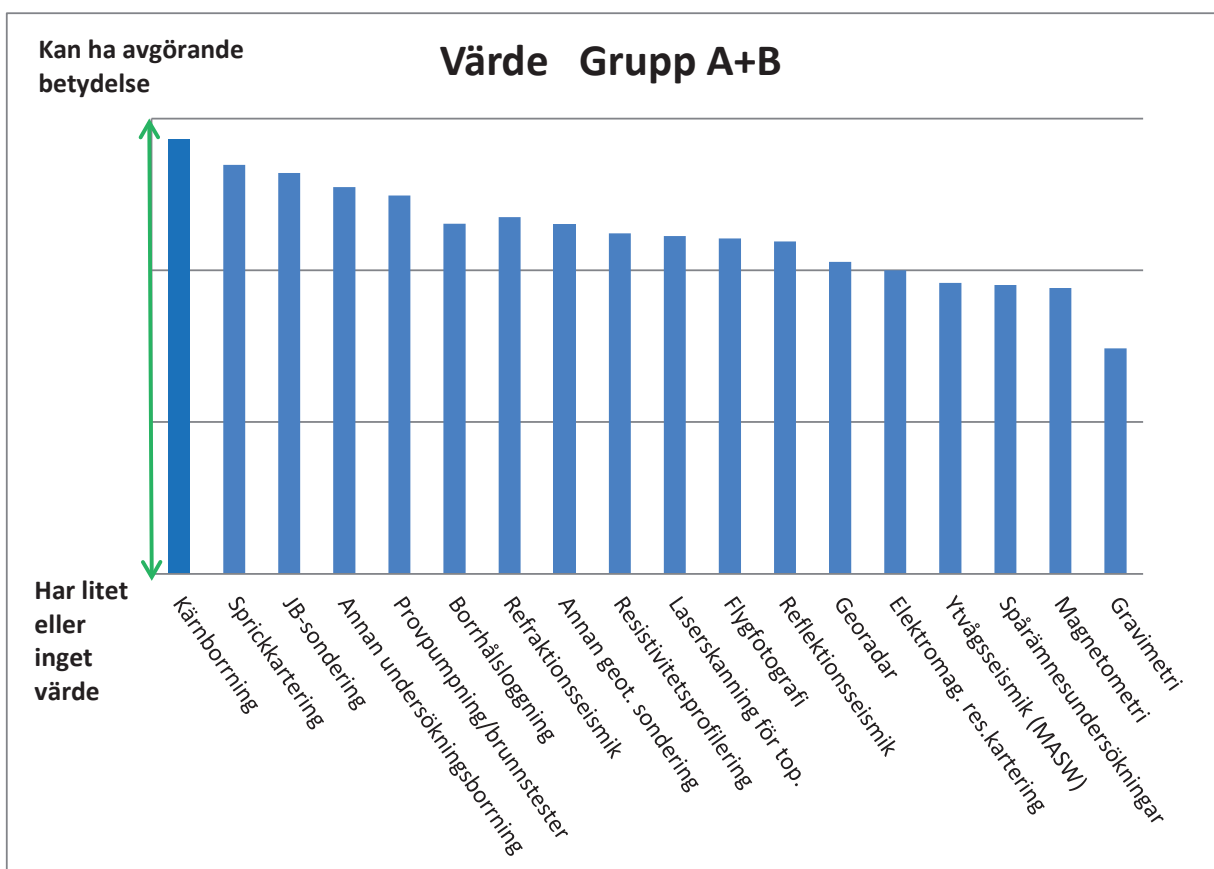


Figur 10 Kännedom om olika undersökningsmetoder, samtliga respondenter.
Perceived level of knowledge of the selected investigation methods, all respondents.

6.2.2.2 Värde

Svaren på hur respondenterna uppfattar värdet av respektive metoder redovisas i Figur 11. I diagrammet är y-axeln graderad med de två ytterlighetsfallen.

Den metod som uppfattas som mest värdefull, och som av samtliga bedöms ha avgörande betydelse för projekten är kärnborrning, följt av sprickkartering, Jb-sondering, annan undersökningsborrning och provpumpning/brunnstester, medan i andra änden potentialmetoden gravimetri värderas lägst som förundersökningsmetod för tunnel- och bergrumsarbeten.

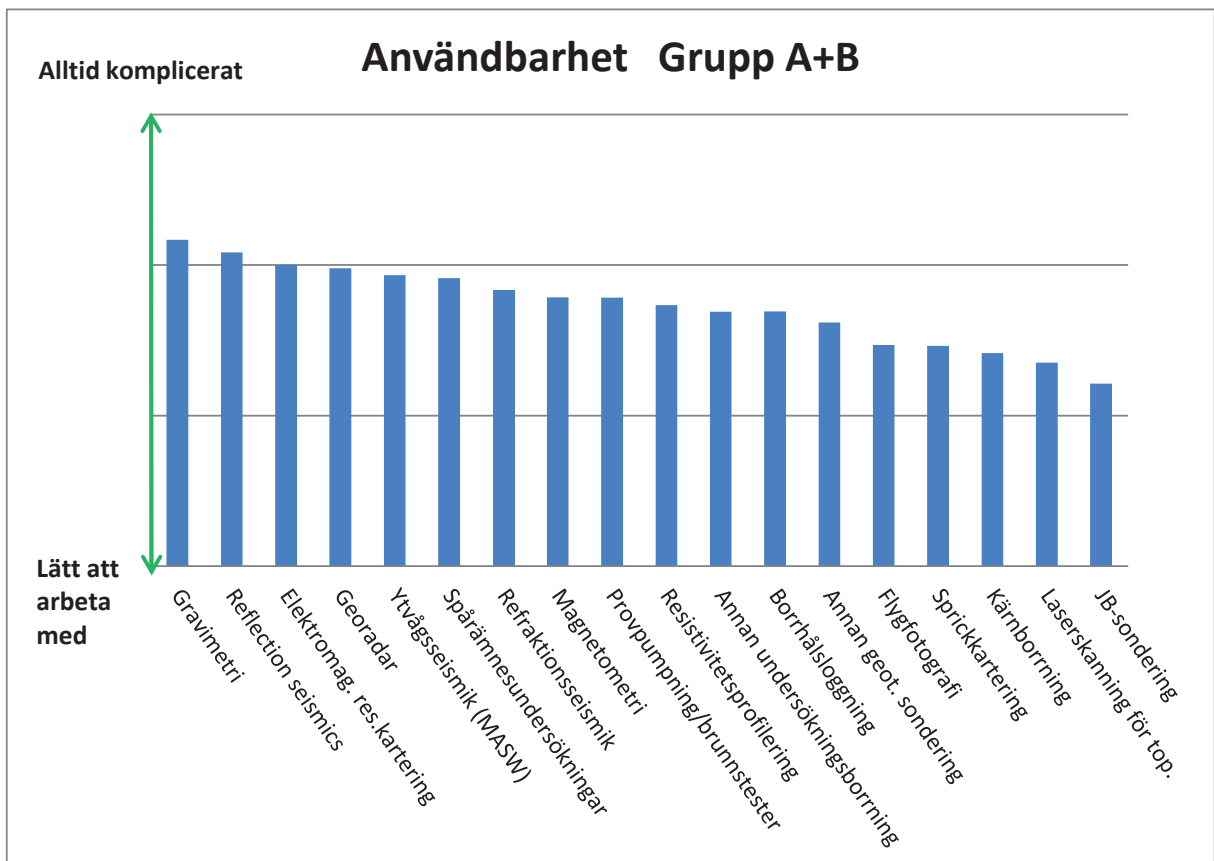


Figur 11 Angivet värde av olika undersökningsmetoder, samtliga respondenter.
Perceived value of the selected investigation methods, all respondents.

6.2.2.3 Användbarhet

Den upplevda användbarheten visas i Figur 12, där y-axeln graderats med de två ytterlighetsfallen. Notera att de metoder som anses mest lättanvända hamnar till höger i diagrammet.

Metoderna Jb-sondering och laserskanning för topografi (LIDAR), Kärnbörning och sprickkartering jämte flygfotografering upplevs som lättanvända, medan gravimetri tätt följd av reflektionsseismik är de metoder som upplevs som mest komplicerad att använda



Figur 12 Angiven användbarhet, samtliga respondenter. Notera att de metoder som anses mest lättanvända hamnar till höger i diagrammet

Perceived usefulness of the selected investigation methods, all respondents.

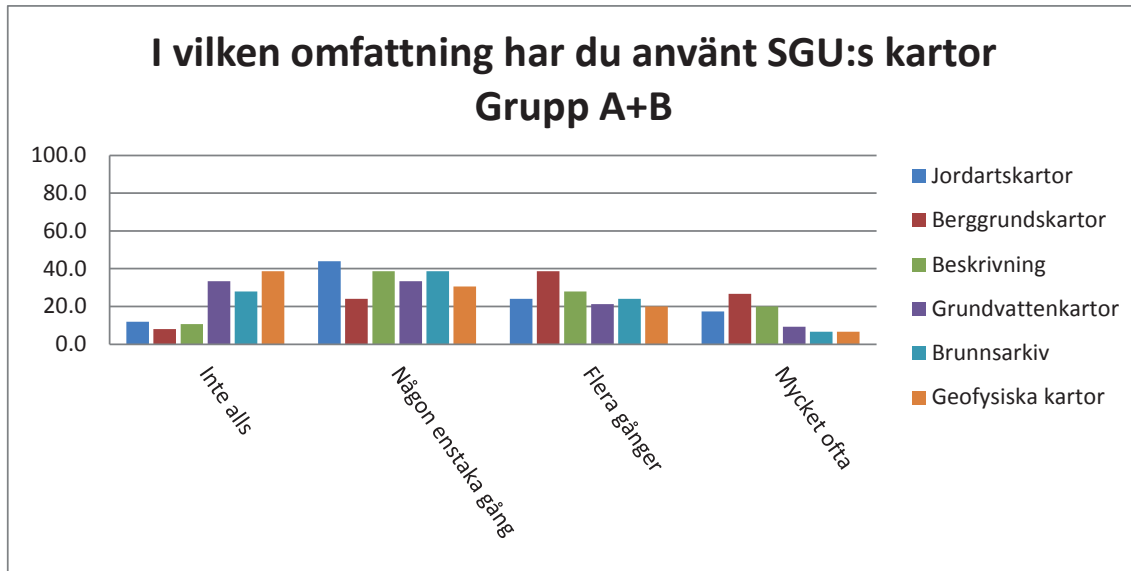
6.3 Användning av övrigt material

Enkäterna innehöll även ett antal frågor om hur SGU:s kartor, forskningsrapporter och annat material använts i olika projekt, resultaten kan ses i Figur 13.

Här kan konstateras att nästan 40 % av de tillfrågade aldrig har använt SGU:s geofysiska kartor i projekt som de deltagit i, och runt 30 % har inte använt grundvattenkartorna eller Brunnarkivet.

Jordartskartor och berggrundskartor är mer använda, där 46 % anger att de använder dem ofta eller mycket ofta.

En särskild fråga handlar om hur ofta de tillfrågade har haft direktkontakt med SGU; 40 % av de tillfrågade har haft sådana kontakter.

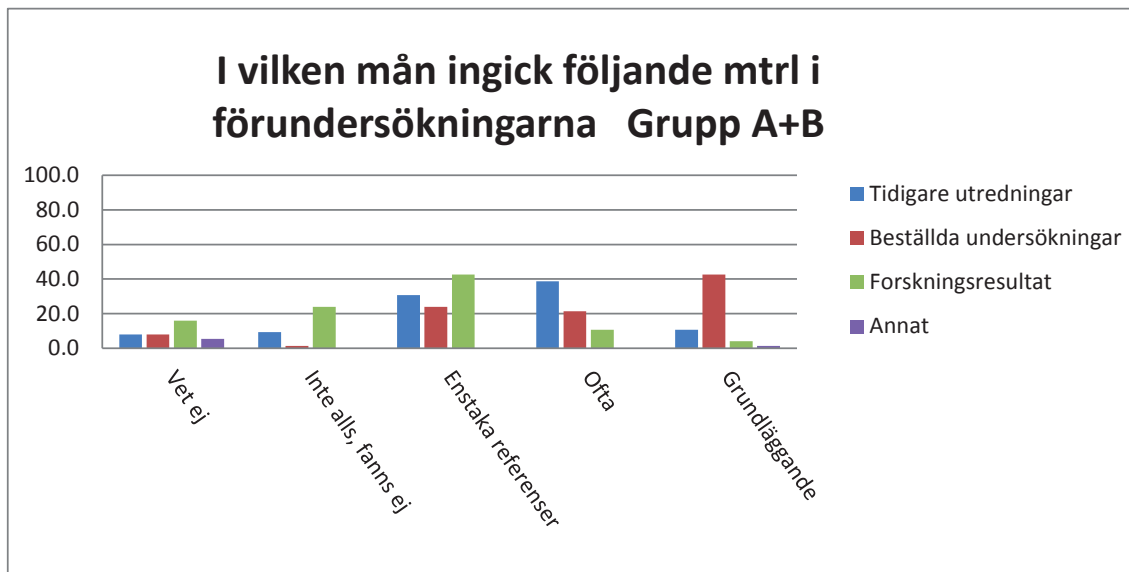


Figur 13 Användning av SGU:s kartmaterial.
Use of the Swedish Geological Survey material.

Forskningsresultat används enligt svaren i mycket begränsad omfattning, Figur 14. Över 60 % anger att endast enstaka referenser eller inga sådana resultat har använts, endast strax över 10 % anger att de används ofta eller är grundläggande.

För projektet beställda utredningar utgör basen i beslutsunderlagen, 60 % anger att dessa används ofta eller är grundläggande, varav 40 % anger att de är grundläggande. Inte någon har angett att beställda undersökningar saknas helt.

Tidigare utredningar betraktas som grundläggande av 10 %, och har använts ofta av nästan 40 %, medan 30 % anger att de använts som enstaka referenser och 10 % att de inte fanns eller inte har använts.

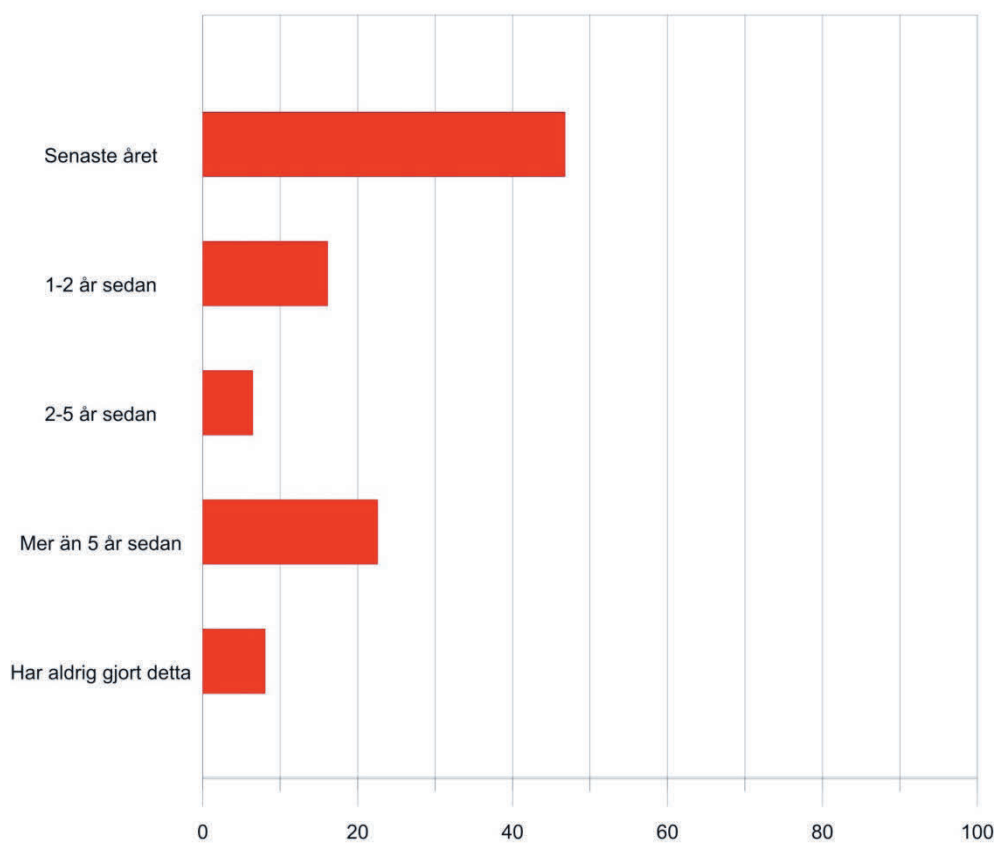


Figur 14 Användning av övrigt material i förundersökningarna.
Use of other material in the pre-investigations.

6.4 Kompetensutveckling

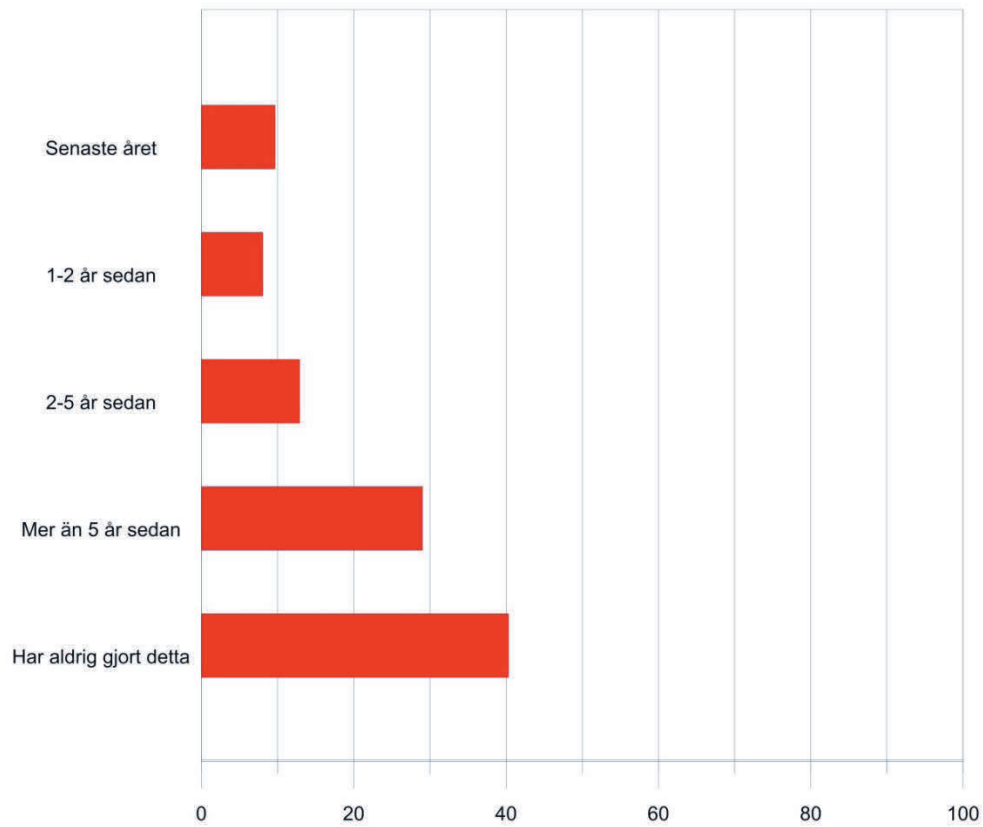
En fråga i webbenkäten gällde deltagande i kompetensutveckling, yrkesrelaterad fortbildning i organiserad form. Det framgår att utbildningar längre än en vecka inte är vanligt förekommande i branschen, medan kortare kompetenshöjande utvecklingar är betydligt vanligare, se Figur 15 och Figur 16. Vi misstänker att branschmöten och korta konferenser räknas in bland dessa kortare utbildningar.

Cirka 70 % av de svarande inte deltagit i någon kompetensutveckling längre än en vecka de senaste fem åren, och att 40 % har aldrig deltagit i någon sådan.

Kompetensutvecklande utbildning kortare än en vecka?

Figur 15 Webbrespondenternas deltagande i kompetensutveckling, kortare tid än en vecka.
Time since last activity <1 week within continuing professional development; web respondents.

Kompetensutvecklande utbildning längre än en vecka?



Figur 16 Webbrespondenterna om längre kompetensutveckling, mer än en vecka
Time since last activity >1 week within continuing professional development; web respondents.

7 Analys och diskussion

7.1 Intervjupersonernas svar

Svaren från de intervjuade har stor spridning, det är oftast inte så att det finns en generell samsyn på de olika frågorna. se kapitel 5. Detta kan bero på olika erfarenhet i de projekt intervjupersonerna deltagit i, eller att de roller de arbetat i ger olika syn på saken. Materialet gör det inte möjligt att svara entydigt på varför det är så. Vi har i denna analys försökt undvika subjektivitet, men en viss grad av bedömning av svaren finns ändå involverad.

Förundersökningarnas roll i processen är en av de frågor där de intervjuade i stort sett är överens, och det råder samsyn om att deras viktigaste roll är att skapa en bra prognos som kan ligga till grund för planering, kostnadsanalys och arbetsplanering.

De reservationer som görs handlar om hur man genomför förundersökningarna, och det framförs i några fall kommentarer som handlar om att man inte alltid har en tillräckligt långtgående strategi för vad de skall leverera, utan låter ett visst mått av slentrian styra innehåll och utförande.

De erfarenheter som görs i ett projekt används, speciellt på beställarsidan, inte systematiskt i organisationen, utan erfarenheter som görs följer personerna och läggs till den enskildes yrkeserfarenhet. Vår slutsats är att detta sannolikt beror på den i vanliga fall strikt projektorienterade organisationen, som splittras efter slutförda projekt.

Förundersökningarna anses i allmänhet räcka till för de tidiga skedena där linjeföring och byggmetod fastställs. De brister eller begränsningar som nämns finns vad gäller möjligheten att skapa en detaljprognos för användning i byggskedet, speciellt vad gäller de hydrogeologiska delarna. Den otillräckliga precisionen i prognoserna anses inte enbart bero på att mängden förundersökningar är för liten, utan kan också bero på att materialet inte nyttjats fullt ut, att förundersökningen utformats mindre väl eller på att de metoder som använts inte löser uppgiften.

Detta skall jämföras med de intervjuades samstämmiga uppfattning att förundersökningarnas viktigaste roll är att skapa en bra prognos som kan ligga till grund för planering och kostnadsanalys.

Det verkar alltså vara så att även om man inom ett projekt gör erfarenheter som säger att prognosen inte är tillräckligt god, så beaktas dessa erfarenheter inte vid planeringen av förundersökningarna inför nästa generations projekt. Kunskapen om bristerna finns hos individerna, men den lyckas inte tränga igenom gränser mellan och inom organisationerna.

Projektorganisationerna uppges annars vad avser den interna kommunikationen fungera väl i byggfasen, vilket tyder på att det är kommunikationen *mellan* olika organisationer som inte är optimal. De intervjuade betonar vikten av en väl fungerande organisation,

och oftast att förundersökningarnas utformning och omfång beror på vald entreprenadform. Återigen utgår man i sina resonemang från projektets behov, tydligt är att man i detta sammanhang kopplar samman förundersökningsbehovet i ett visst projekt med riskfördelningen mellan entreprenör och beställare, inte minst vad gäller beredskap för eventuella tvister.

På frågan om man skulle kunna systematisera erfarenhetsuppbyggnaden med en central databank avseende projekterfarenheter och data som egenskaper hos bergmassa etc., uppger de flesta att de inte är främmande för detta, och att i så fall SGU bör bli ansvariga. Det förefaller dock lämpligt att göra en noggrann analys av nyttan med att samla data i detta syfte, och av vad innehållet bör vara, och entusiasmen för projektet framstår inte som överdriven.

De metoder som används i förundersökningarna är till största delen de traditionella, direkta metoderna. Kärnboring är den metod som har det enskilt största förtroendet och den mest spridda användningen, kostnaderna till trots, tätt följd av annan borrhning och sondering samt hydrogeologiska tester.

Intressant är också att man stor utsträckning anser man att det finns en nationell skillnad i kunskapen om förundersökningsmetoder, och ett par svarande menar att denna skillnad står att söka i konsulternas skiftande erfarenheter. Man kan inte utesluta att de skiljda erfarenheter olika individer får beroende på i vilken geologisk miljö projekten bedrivs (urberg, sedimentärt berg) påverkar synen på och kunskapen om olika förundersökningsmetoder.

I de stora projekt som bedrivits i Skåne (i sedimentärt berg eller mycket dåligt urberg) har geofysiken synbarligen fått större tilltro, medan man i nordligare projekt stödjer sig mer uttalat på de direkta metoderna.

Det är anmärkningsvärt att man i stor utsträckning är överens om att kostnadsuppskattningarna i tidiga skeden ofta är för låga, men det finns ingen entydig förklaring till detta. Projekttaktiska skäl eller att man prissätter risker för lågt för att få ner anbudssumman skulle kunna vara tänkbara förklaringar till detta.

7.2 Enkätundersökningens utfall

I enkäten fick samtliga respondenter, intervjupersoner och webbrespondenter, svara på hur de upplever värdet och användbarheten (nyttan), jämför avsnitt 6.1. I Figur 17 redovisas hur angiven användbarhet förhåller sig till angivet för de olika metoderna. De metoder som hamnat långt upp i vänstra hörnet är de som har både hög tillgänglighet/stor nytta och stort värde, och skulle kunna klassas som de mest effektiva.

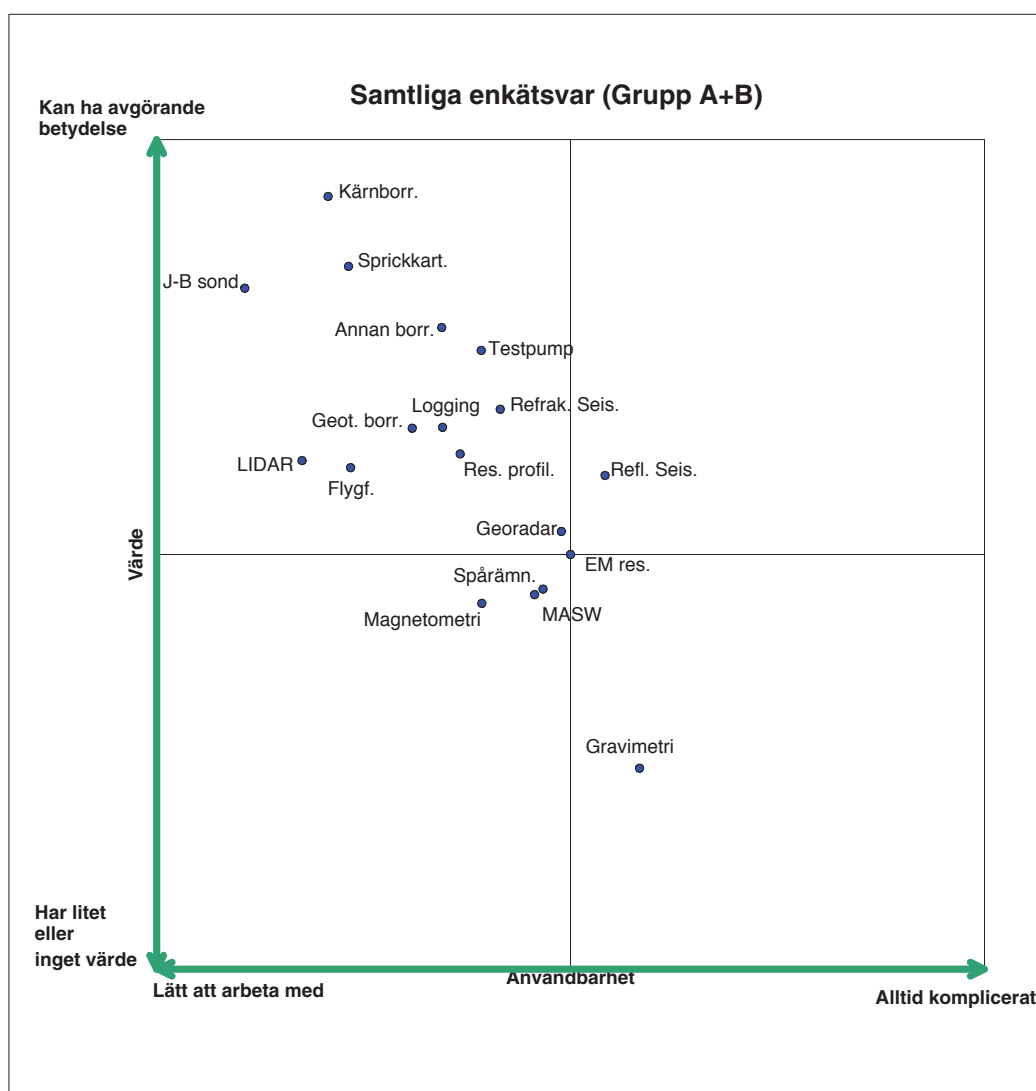
Här återfinns kärnboring, Jb-sondering, annan borrhning och sprickkartering.

Diagrammet visar tydligt att direkta metoder, dvs. de som ger direkt information om bergmassans mekaniska och hydrogeologiska egenskaper upplevs som mest värdefulla.

Till dessa metoder räknas kärnboring, Jb-sondering och annan borrhning samt sprickkartering.

Även hydrogeologiska tester, geoteknisk borrhning, och flygmätningar (laserskanning och flygfotografering) finns här, liksom borrhålsloggning.

Geofysiska metoder värderas i allmänhet inte lika högt, med undantag för refraktionsseismik och i någon mån resistivitetsprofilering. Gravimetri intar en särställning som den angivet minst användbara och minst tillgängliga metoden, vilket inte är förvånande då den svenska geologin gör att metoden inte är särskilt tillämpbar.



Endast uppfattningar från de respondenter som svarat att de känner till och har arbetat med metoderna ingår i diagrammet.

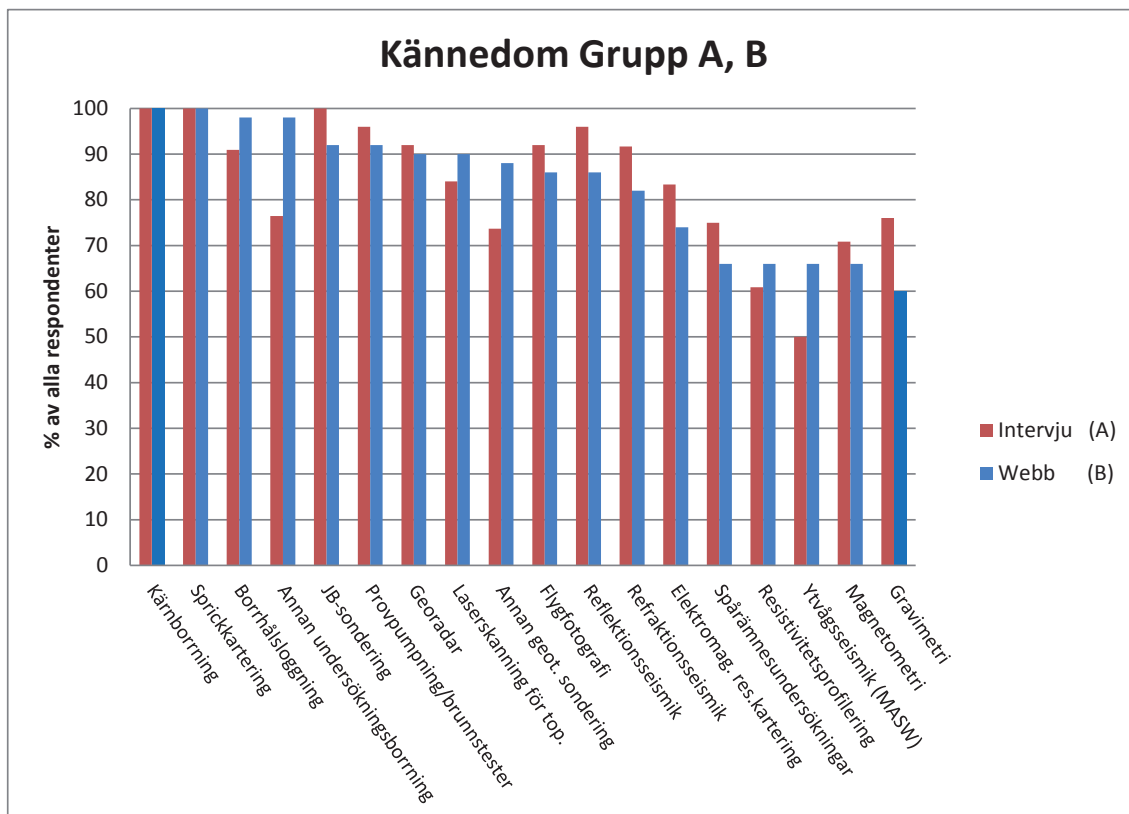
Figur 17 Hur samtliga respondenter uppfattar värdet kontra användbarheten av olika undersökningsmetoder
How the respondents look upon the perceived value versus the usefulness of the selected investigation methods

7.3 Intervjupersoner kontra webbresponder

Två distinkta grupper av enkätsvar har erhållits. Dels är det svaren från grupp A (de intervjuade som har längre erfarenhet och huvudsakligen arbetar i referensprojektet), dels svaren från webbformulären, grupp B, som vi menar bättre avspeglar hela branschens sammansättning.

För att få en uppfattning om det mellan grupperna råder någon skillnad i hur man uppfattar olika undersökningsmetoder har en jämförelse gjorts. Svaren, uppdelade på de bägge grupperna, redovisas i Figur 18, Figur 19 och Figur 20 på samma sätt som tidigare.

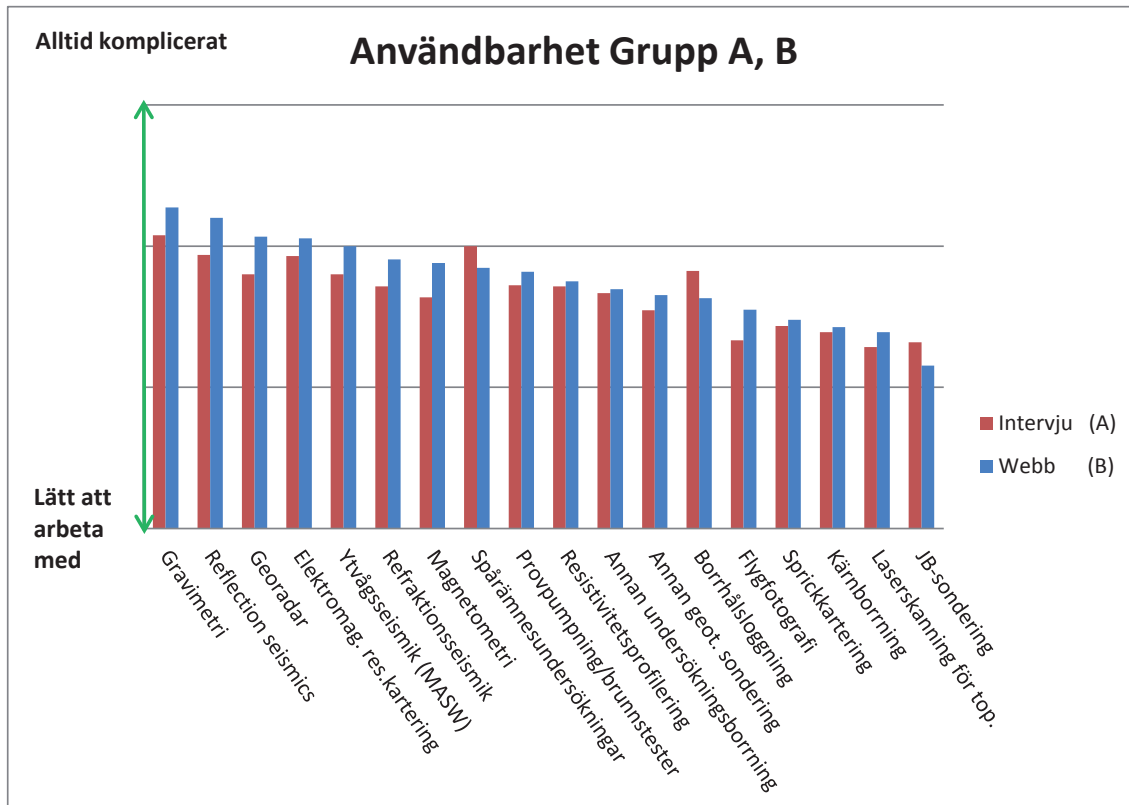
Då det gäller metodkännedom, Figur 18, kan inte någon signifikant skillnad ses, bortsett från kategorin ”Annan undersökningsborrning”, där grupp B verkar ha större kunskap om metoden än grupp A. Detta kan eventuellt förklaras med att svarspersonerna kan ha uppfattat begreppet undersökningsborrning olika, jämför ”Annan geoteknisk sondering”.



Figur 18 Jämförelse mellan hur intervjupersoner (grupp A) och webbresponder (grupp B) angivit kännedom om olika undersökningsmetoder.

Perceived knowledge of the selected investigation methods; comparison between interviewees (group A) and web respondents (group B).

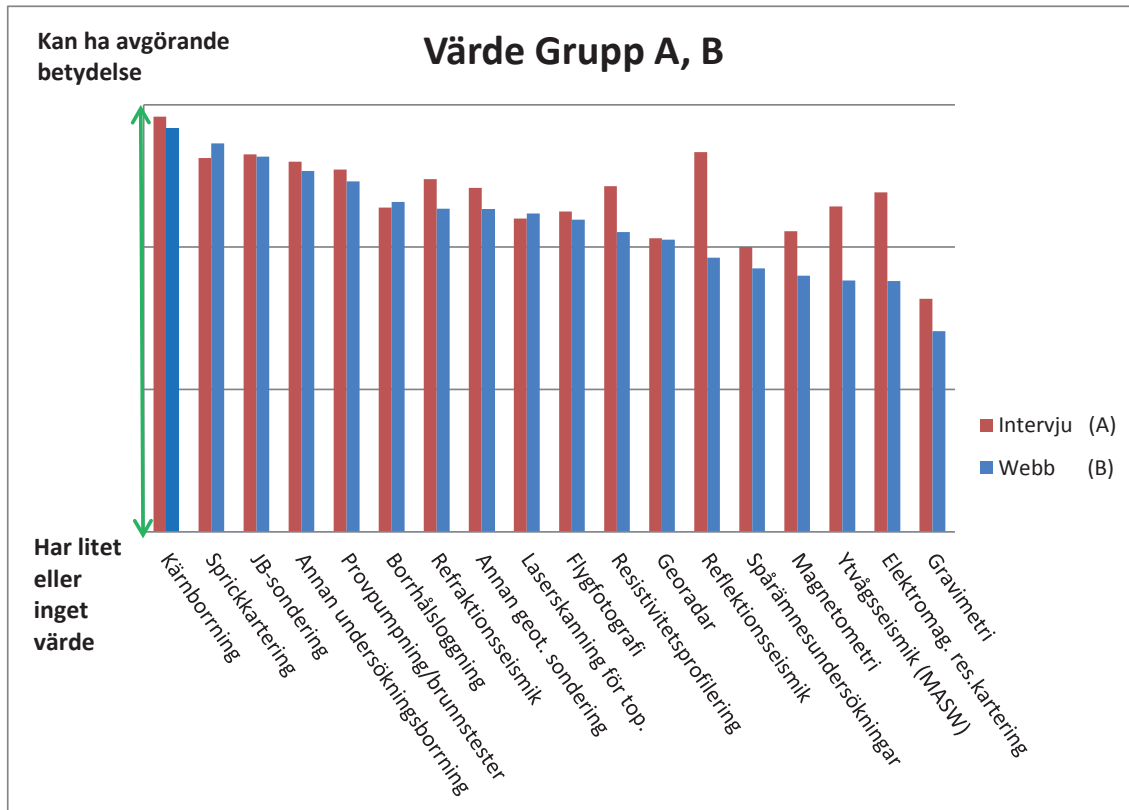
Det råder inte heller någon större skillnad i hur de två grupperna upplever användbarheten av de olika metoderna, Figur 19. Något fler i grupp B upplever metoderna som mer komplexa än de i grupp A utom för tre av metoderna, Spårämnesundersökningar, borrhålsloggning och Jb-sondering vilka grupp A ("intervjupersoner") upplever som mer komplicerade.



Figur 19 Jämförelse mellan hur intervjupersoner (grupp A) och webbrespondenter (grupp B) angivit användbarheten av olika undersökningsmetoder.

Perceived usefulness of the selected investigation methods; comparison between interviewees (group A) and web respondents (group B).

Vid jämförelse av det upplevda värdet, Figur 20, anger grupp A konsekvent ett högre värde än grupp B. Framförallt reflektionsseismik och elektromagnetisk resistivitets-kartering tillmäts ett större värde.



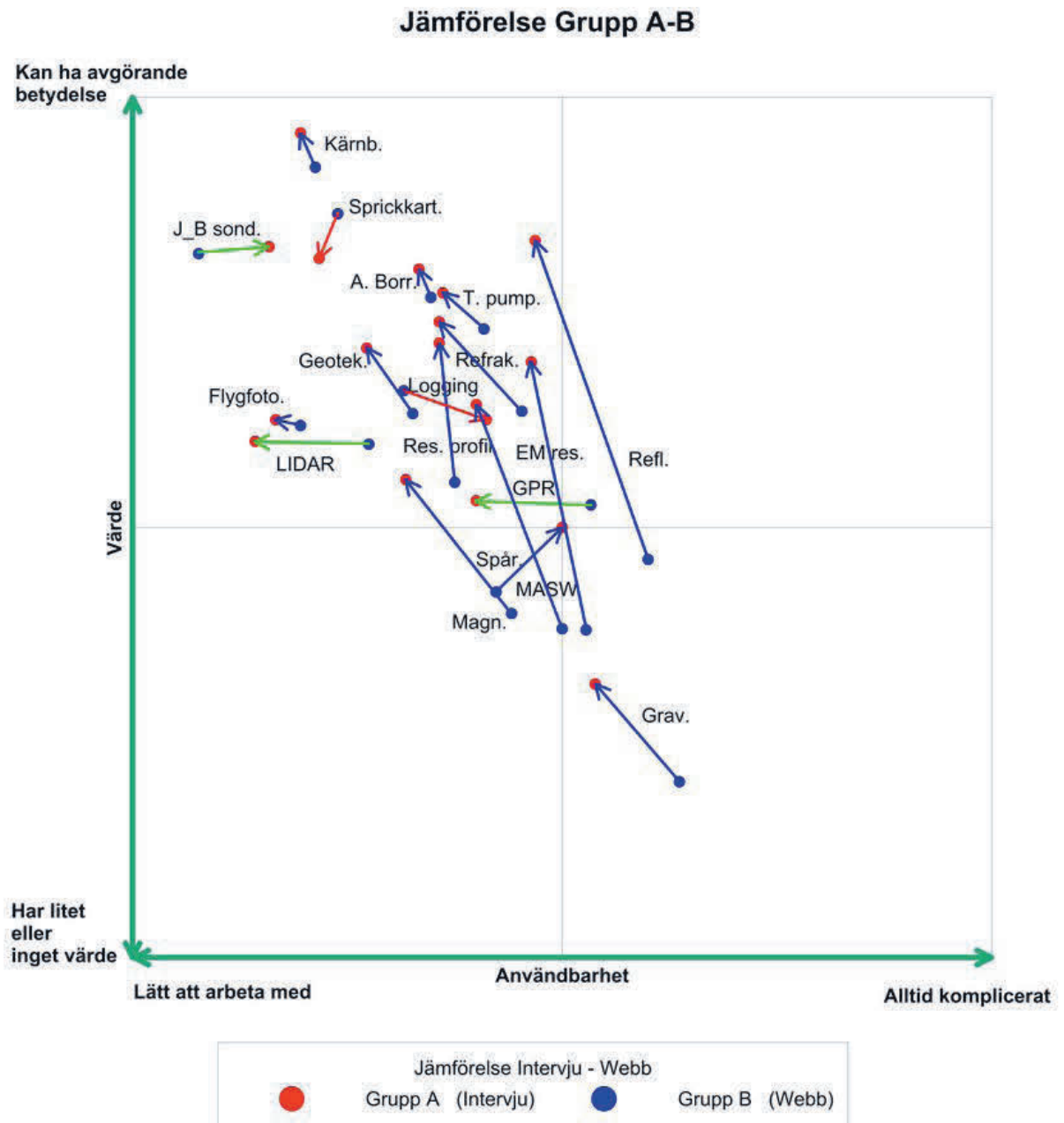
Figur 20 Jämförelse mellan hur intervjupersoner (grupp A) och webbrespondenter (grupp B) angivit värdet av olika undersökningsmetoder.

Perceived value of the selected investigation methods; comparison between interviewees (group A) and web respondents (group B).

För att lättare kunna se hur mycket grupp A, som generellt bör ha en större erfarenhet och tillbringat längre tid i centrala roller, skiljer sig från webbrespondenterna i grupp B, har ett diagram konstruerats. Här korsplottas gruppernas svar, och skillnaden i uppfattning för respektive metod visualiseras med pilar, se Figur 21.

I de fall då grupp A anser en metod mer värdefull, kommer deras markering att hamna högre upp och längre till vänster i diagrammet jämfört med webbsvaret; följaktligen kommer pilen att peka uppåt. Sådana pilar markeras med blått i Figur 21. Längden på pilarna motsvarar i någon mån skillnaden i hur positivt metoden upplevts.

I det omvända fallet, om grupp B anser metoden mer värdefull, visas pilen med rött. Metoder som uppfattas att ha ungefär samma värde ritas i grönt.



Endast uppfattningar från de respondenter som svarat att de känner till och har arbetat med metoderna ingår i diagrammet.

Figur 21 Korsplott mellan användbarhet och värde, uppdelat på intervjuade (grupp A) och webbrespondenter (grupp B)
Cross-plot of usefulness and value, divided between interviewees (group A) and web respondents (group B).

Av figuren framgår att de flesta metoder upplevs som mer värdefulla (blå pilar) av intervjupersonerna än av webbrespondenterna. Endast två metoder, nämligen sprickkartering och borrhålsloggning (röda pilar), upplevs som mer värdefulla av webbrespondenterna än av de intervjuade personerna i de studerade projekten.

Tre metoder plottas nästan horisontellt (gröna pilar) i Figur 21, för dessa metoder råder samstämmighet vad gäller värdet; Jb-sondering, laserskanning för topografi (LIDAR) och georadar. Däremot finns en skillnad i hur användbarheten uppfattas. De intervjuade upplever att georadar är lättare att använda än webbrespondenterna. Det omvända gäller för Jb-sondering.

Det som direkt kan utläsas är att de intervjuade personerna har större tilltro till vissa fältundersökningsmetoder än de som svarat på webbenkäten. Det mest signifikanta är att metoder som reflektionsseismik, elektromagnetisk resistivitetskartering samt ytvågsseismik värderas högre av intervjupersonerna än de övriga. De metoder som värderas mest lika är Jb-sondering och georadar.

I samtliga fall, utom för tre undersökningsmetoder, upplever grupp A att metoderna är lättare att använda (mindre komplexa) än de som svarat på webbenkäten. De metoder som intervjupersonerna upplever som mer komplicerade är borrhålsloggning, Jb-sondering och spårämnesundersökningar.

De metoder som det råder minst skillnad i uppfattning om användbarhet är annan undersökningsborrning, kärnborrning, resistivitetsprofilering och sprickkartering.

Anmärkningsvärt är skillnaden i uppfattning om reflektionsseismik som förundersökningsmetod. De intervjuade tillmäter metoden ett högt värde och uppfattar den som betydligt mindre komplicerad att använda jämfört med de som svarat på webbenkäten. En av orsakerna till detta kan vara att procentuellt fler av de intervjuade personerna själva har arbetat med eller utfört reflektionsseismik jämfört med de som svarat på webbenkäten.

Då det gäller de intervjuade personernas kännedom om metoderna, Bilaga G, så svarar ca 44 % att de har arbetat med eller själv använt reflektionsseismik medan motsvarande siffra för de som svarat på webbenkäten, Bilaga H, är ca 24 %.

I Figur 21 syns också att detta är den undersökningsmetod som det råder störst total skillnad i uppfattning om värde och användbarhet (pilens längd).

De tre förundersökningsmetoder som värderas högst och lättast att arbeta med är direkta och traditionella metoderna kärnborrning, Jb-sondering och sprickkartering, och det är en mindre skillnad i uppfattning av värdet och användbarheten mellan de svarande.

Lika klart är att gravimetri inte är en förundersökningsmetod som värderas högt inom tunnel- och bergrumsbyggande. Det är en metod som inte kommit till användning inom de olika referensprojekten, inte heller hos webbrespondenterna.

De geologiska förutsättningarna i de olika referensprojekten är olika, sedimentärt respektive kristallint berg, vilket också återspeglas i de förundersökningsmetoder som använts. I de sydligaste projekten med en sedimentär berggrund ingår ofta geoelektriska undersökningar i förundersökningen, vilket inte är lika vanligt i norr med kristallin berggrund. Geofysiska borrhålmätningar är också mindre vanligt i de norra projekt med ett undantag, optisk televiwer (BIPS), vilken ibland används i de utförda kärnborrhålen. I de fall geoelektriska undersökningar har genomförts har de oftast inte använts i de slutliga utvärderingarna.

7.4 Fortbildning

Det är anmärkningsvärt att ca 70 % av de svarande inte deltagit kompetensutveckling längre än en vecka de senaste fem åren, och att 40 % har aldrig deltagit i någon sådan, speciellt som nästan alla (97 %) anger att deras åsikter i någon grad kunnat påverka det senaste tunnelprojekt de varit delaktiga i.

Fem år kan tyckas vara lång tid för en bransch där det ständigt sker nyutveckling och förbättring. Branschen som sådan kan därmed uppfattas som konservativ och inte mottaglig för nya undersökningsmetoder, mot detta talar att majoriteten på en uttalad fråga är positiva till att ”utbildningsdagar” genomförs av t.ex. BeFo, vilket tyder på att en vilja till förändring finns åtminstone bland enskilda individer.

7.5 Diskussion

Mot bakgrund av att 75 enkätsvar inkommit samt att 19 intervjuer från etablerade och erfarna personer erhållits, är bedömningen att man ut materialet kan bilda sig en uppfattning om hur man ser på ”Förundersökningars värde och nytta ur prognossynpunkt” i Sverige.

Svaren vid de personliga intervjuerna är av naturliga skäl mer innehållsrika än de från enkätundersökningarna. De har också varit svårast att sammanfatta. Vid intervjuer ligger det i sakens natur att frågor besvaras på något olika sätt beroende på intervjuobjektens olika erfarenheter. Intervjuer ger också utrymme för diskussion vilket vidgar perspektiven.

Detta är en tillgång i analysmaterialet eftersom det kan beskriva problemställningens bredd och karaktär, men som följd inträffar vid tolkning av intervju svaren obevekligen ett mått av subjektiv bedömning eftersom problemen inte alltid är av entydig karaktär.

Till detta kommer även det faktum att intervjuaren/tolkaren har sin egen referensram att utgå ifrån samt att den mänskliga faktorn i hög grad spelar roll. Genom att i möjligaste mån låta samma person genomföra intervjuerna (P-G Alm) har vi dock försökt minimera denna bias.

Analysmaterialet, inhämtat från intervjuer och enkäter, är tämligen omfattande och ett av målen med redovisningen är att tydliggöra det inkomna materialets breda informat-

ionsvärde och i tillägg lämna en del kommentarer till vad resultaten visar. Det är vår förhoppning att den första målsättningen, som genomförs genom att redovisa resultaten med enkla grafer, skall stimulera till kommentarer från de yrkeskategorier som arbetar med förundersökningar.

Ett resultat, som framstår tydligare än andra, är att direkta metoder tillmäts störst värde och användbarhet, samtidigt som de anses mindre/minst komplexa att arbeta med. Dessa är metoder som genererar fysiska prover, t.ex. kärnbörning eller annan in-situinformation som Jb-sondering eller annan typ av börning. Provpumpning hör också till denna kategori i undersökningen. Man kan av detta dra slutsatsen att handfasta, in-situ relaterade metoder som levererar en fysiskt användbar produkt föredras av branschen.

Härefter, men inte med den utpräglade tydlighet som karakteriserar de tidigare, rankas de geofysiska metoderna refraktionsseismik och borrhålsloggning, som också bedöms förhållandevis enkla att hantera.

Refraktionsseismik levererar data om kompressionsvågens utbredningshastighet vilket är direkt relevant information avseende mekaniska materialegenskaper. Detta kan förklara dess höga värdering i undersökningen.

Borrhålsloggning ger en in-situinformation av flera olika slag vad gäller fysikaliska egenskaper vilket sannolikt bedöms som värdefullt. Den relativt höga värderingen är trots allt lite oväntad med tanke på att borrhålsloggning är en relativt ny företeelse vid förundersökningar i Sverige om man därmed avser klassisk geofysisk borrhålsloggning.

Enligt vad vi känner till, har geofysisk borrhålsloggning använts i ganska få, större infrastrukturprojekt, företrädesvis i södra Sverige; SKB:s undersökningar undantas härvid. I det fall man inrymmer videologgning i borrhålen får man emellertid en bredare representation.

Nästan lika högt som refraktionsseismik och borrhålsloggning värderas resistivitetsprofilering och reflektionsseismik. Resistivitetsmetoden är idag väletablerad och levererar data med stor rumslig täckning och har rimligtvis därför bedömts som värdefull för det tidiga skedet av en förundersökning. Metoden bedöms som relativt lätt att arbeta med.

Vad gäller reflektionsseismik så är värdesättningen i sig rimligt bedömd men man måste tillägga att metoden inte tillämpats i särskilt många tunnelprojekt i vårt land ännu, främst Citytunneln i Malmö och i Helsingborg. Liksom för borrhålsloggning har vi igen troligtvis att göra med en ”geografisk effekt” i undersökningsmaterialet.

Frågan inställer sig då hur man skall se på ett resultat som så tydligt visar att direkta metoder värderas som mer värdefulla än indirekta metoder. I det fall man anser att en förundersökning måste verifieras med ett prov så är resultatet logiskt och relevant i princip i varje projekt. Med undantag för de seismiska metoderna erhålls med de flesta andra geofysiska metoder fysikaliska enheter som inte är direkt kompatibla med de van-

liga geotekniska och bergmekaniska parametrarna som grundar sig på mekaniska och/eller hydrauliska egenskaper.

Någon form av översättning blir därför nödvändig av t.ex. storheten resistivitet till bergtekniska parametrar, och frågan är om detta låter sig göras. Om man däremot ser till förmågan att producera kontinuerliga sektioner av undergrundens geometri, och därigenom fånga variationer och avvikelser av den geologiska uppbyggnaden, så är resistivtetsprofilering och i lämpliga geologiska miljöer även georadarprofilering värdefulla och förhållandevis enkla att använda. Det grafiska resultatet är lättbegripligt och lämpar sig väl för visualisering av förutsättningarna på plats.

Man bör se förundersökningen som en process där man arbetar efter principen top-down, där en skalrelaterad arbetsordning kombinerar indirekta, profilerande och yt-täckande geofysiska metoder med direkta in-situmetoder såsom t.ex. kärnbörning. De direkta metoderna utgör då slutfasen i processen och uppfattas kanske just därför som mest värdefulla. Verifiering är ju ändå en konkretisering som är säkrare att hålla sig till, tills ny information finns för handen

Det utesluter inte att man med mer översiktliga geofysiska metoder eller med data som inte är direkt geomekaniskt relaterade kan effektivisera och vässa de traditionella mätmetoderna genom att t.ex. förbättra relevansen i proverna, ge underlag för en mer representativ placering och därigenom skapa en bättre förståelse för geologin och de rumsliga förhållandena.

Vår bedömning är att branschen håller sig till beprövade och välkända arbetssätt. I många fall har metoder och instrument utvecklats kraftigt, och det finns ett uppenbart utrymme för användning av andra metoder, som idag visserligen används i flera sammanhang, men inte alltid funnit bred acceptans. Bland dessa metoder kan framhållas resistivtetsprofilering, som i till exempel Hallandsåsprojektet visat på sin potential. Metoden klassificeras i äldre rekommendationer från 1980-talets mitt (Bergman and Carlsson, 1986) som översiktlig, men den moderna versionen förtjänar även att hamna bland de detaljerade på grund av den mångfalt ökade geometriska upplösning man idag erhåller.

Georadar används i många sammanhang, men finns inte med i de äldre rekommendationerna (dock i ISRM:s rekommendationer). Metoden har begränsad nedträngningsförmåga, men användningen i tunnelnivå borde kunna utnyttjas bättre, eventuellt i samband med viss instrumentutveckling.

Även ytvågsseismik kan tillföra viktig information både i förundersöknings-, bygg- och driftskedena, speciellt som det är en icke-förstörande metod som till skillnad från många andra geofysiska metoder levererar materialmekaniska data som resultat.

Även borrningstekniken har utvecklats. Intervjuundersökningen visar dock att hammarbörning huvudsakligen verkar användas i samband med hydrogeologiska tester. Vi anser att hammarbörning med borrarparameterregistrering har stor och oanvänd potential i förundersökningarna som borde tas tillvara bättre.

8 Rekommendationer

Grundat på resultaten av enkäter och intervjuer, menar vi att det finns utrymme att ytterligare kunna öka informationsinnehåll och detaljeringsgrad i förundersökningar, jämfört med hur de i allmänhet utförs.

8.1 Utbildning och information

Vi anser att det är välmotiverat med informations- och fortbildningsinsatser riktade till de yrkesverksamma i branschen för att öka användningen av modern metodik, modern instrumentering och datororienterade arbetsmetoder (jämför BIM, Building Information Management, som snabbt vinner terräng i byggbranschen). Enligt resultaten i denna undersökning har endast ett mindre antal svarande de senaste fem åren deltagit i någon kompetensutvecklande åtgärd längre än en vecka, trots att deras beslut påverkar projekten. Här finns uppenbarligen ett stort uppdämt behov.

8.2 Moderniserade rekommendationer

Det finns av naturliga skäl en ovilja att införa ny metodik i projekt som drivs på strikt kommersiella villkor, om man inte på förhand kan göra sannolikt att den nya metodiken tillför nytta ("är beprövad"). Detta gör att införandet av modern metodik fördröjs. Å andra sidan måste de moderna metoderna få användas under realistiska förhållanden för att bli beprövade.

Denna motsägelse leder till att det finns skäl att göra en fokuserad forsknings- och utvecklingsinsats för att under realistiska förhållanden demonstrera de idag tillgängliga metodernas tillämpbarhet för svenska bergbyggare. I detta ingår också att identifiera eventuella svagheter, och möjligen ytterligare anpassa metoderna för våra ändamål. Det finns här skäl att noggrant studera de landvinningar som gjorts i andra delar av världen. Baserat på resultatet av en sådan insats, bör de rekommendationer som finns revideras och uppdateras så att de avspeglar 2010-talets verklighet, inte minst mot bakgrund av kraven i Eurokoden.

8.3 Ta tillvara erfarenhet

Vad gäller pågående och kommande projekt kan man redan nu börja uppmuntra att systematiskt sammanfatta projekterfarenheter i skriftlig och tillgänglig form samt att sprida de förundersökningsresultat i form av mätningar och försök som görs, kanske i form av en databas med ett upplägg liknande SGU:s brunnarkiv.

Ett bra exempel på kunskapsåterföring är den rapport om grundvattenproblematiken i samband med byggandet av Citytunneln i Malmö som tagits fram av Dansk Geoteknisk Forening (Laursen et al., 2010) eller de liknande rapporter som ibland publiceras av BeFo. Det finns dock utrymme för att mer konsekvent framställa sådana dokument; om

man åtminstone i större projekt rutinmässigt kunde producera liknande erfarenhetsrapporter, kanske efter en på förhand given mall, vore mycket vunnit.

Tidigare i denna text har konstaterats att de erfarenheter som gjorts i mycket stor omfattning är personbundna. Branschen står mitt i ett generationsskifte, och en stor mängd kunskap och erfarenhet är på väg att försvinna ur organisationerna. Det finns därför mycket goda skäl att utan dröjsmål uppmuntra och underlätta en överföring av dessa erfarenheter i systematisk form. Hur detta skall gå till är en komplicerad fråga, men det är viktigt att konstatera att det bygger på personligt engagemang då många redan gått in i en ny fas av sitt yrkesliv, och andra står i begrepp att göra det.

Ett tänkbart scenario åtminstone för det närmaste decenniet är, att man låter seniora bergbyggare följa, studera och kommentera åtminstone utvalda större nybyggnadsprojekt och därigenom projicera sina erfarenheter på dem. Utvärderingarna bör presenteras dels i skriftlig form, dels i form av workshops på olika ställen i landet, där såväl brister som goda exempel lyfts fram och diskuteras.

9 Erkännanden

Först och främst ett tack till BeFo och till referensgruppen, bestående av Johan Brantmark, Thomas Dalmalm, Åke Hansson, Jan Hartlén, Kenneth Rosell, samtliga Trafikverket, Bengt Ludvig, Petro Team Engineering AB, Kjell Windelhed, ÅF och Peter Lundman fram till hösten 2010 samt som representanter för BeFo Mikael Hellsten till och med 2011, Per Tengborg från 2012.

Vi vill vidare tacka följande personer som bidragit med kunskande och erfarenhet i samband med intervjuerna: Riggert Andersson, Kristian Annertz, Johan Brantmark, Gösta Ericsson, Siri Hansén, Jan Hartlén, Rolf Jädersten, Per B Laursen, Niclas Lindqvist, Peter Lund, Bengt Ludvig, Olle Olofsson, Susanne Kalmar Pedersen, Kenneth Rosell, Håkan Stille, Robert Sturk, Arvid Taube, Per Tengborg och Kjell Windelhed.

På avdelningen för Teknisk geologi har Torleif Dahlin, Jan-Erik Rosberg, Nils Rydén och Peter Ulriksen bidragit med goda råd och kommentarer. Berit Ensted Danielsen deltog inledningsvis i projektet, och har även efter avslutad anställning hos oss givit kommentarer och synpunkter.

Vidare riktar vi ett stort tack till de som deltagit i och anonymt genomfört den enkät som publicerades på internet samt på andra vis besvarat enkäten.

På grund av projektets långa löptid har vi möjligen missat någon som borde tackas och detta ber vi i så fall om ursäkt för.

Lund i december 2012

Per-Gunnar Alm

Leif Bjelm
Projektansvarig

Peter Jonsson

10 Referenser

- ABRAHAM, O. & DÉROBERT, X. 2003. Non-destructive testing of fired tunnel walls: the Mont-Blanc Tunnel case study. *NDT & E International*, 36, 411-418.
- ALDAS, G. U., KADIOGLU, S. & ULUGERGERLI, E. 2006. The Usage of Ground Penetrating Radar (GPR) in Designing Blast Pattern. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 39, 281-290.
- ALLEN, D. M. & MICHEL, F. A. 1996. The Successful Use of Microgravity Profiling to Delineate Faults in Buried Bedrock Valleys. *Ground Water*, 34, 1132-1140.
- ANNAN, A. P. 2002. GPR—History, Trends, and Future Developments. *Subsurface Sensing Technologies and Applications*, 3, 253-270.
- ANNAN, A. P. 2005. GPR Methods for Hydrogeological Studies. In: RUBIN, Y. & HUBBARD, S. (eds.) *Hydrogeophysics*. Springer Netherlands.
- AUKEN, E., JORGENSEN, F. & SORENSEN, K. I. 2003. Large-scale TEM investigation for groundwater. *EXPLORATION GEOPHYSICS*, 34, 7.
- BARTON, N. 2006. *Rock Quality, Seismic Velocity, Attenuation and Anisotropy*, Leiden, Taylor & Francis.
- BEARD, L. P. & LUTRO, O. 1998. Airborne Geophysics Helps Determine Route of Proposed Railroad Tunnel. *Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*, 11, 883-891.
- BENSON, R. C. Methods used to carry out six roadway investigations of sinkholes. <http://www.geonics.com/pdfs/casestudies/a3134karstsinkhole.pdf> Technos, Inc.
- BERGMAN, S. G.-A. & CARLSSON, A. 1986. Förundersökningar i berg. Rekommendationer för förundersökningar, prognoser och utlåtanden.
- BJELM, L., FOLLIN, S. & SVENSSON, C. 1982. Georadar som grundundersökningsmetod, BFR/800141-9/. Lund: Teknisk geologi, Lunds tekniska Högskola.
- BLECHA, V. & MRLINA, J. 2001. Microgravity prospecting for the voids in an abandoned coal-working field. *7th meeting of the EEGS 2001*. Birmingham, UK.
- BRISTOW, C. S. & JOL, H. M. (eds.) 2003. *Ground penetrating radar in sediments*, London: Geological Society of London.
- CARDARELLI, E., MARRONE, C. & ORLANDO, L. 2003. Evaluation of tunnel stability using integrated geophysical methods. *Journal of Applied Geophysics*, 52, 93-102.
- CATERPILLAR 1998. *Caterpillar Performance Handbook*, Peoria, USA, Caterpillar Tractor Company.
- CITY TUNNEL CONSULTANTS 1999. Reflection Seismics Survey U97/7. Final report. Malmö.
- DAHLIN, T. 1993. *On the automation of 2D resistivity surveying for engineering and environmental applications*. Ph D, Lund university.
- DAHLIN, T., BJELM, L. & SVENSSON, C. 1999. Use of electrical imaging in site investigations for a railway tunnel through the Hallandsas Horst, Sweden. *QUARTERLY JOURNAL OF ENGINEERING GEOLOGY AND HYDROGEOLOGY*, 32, 163-172.

- DANIELS, D. (ed.) 2004. *Ground Penetrating Radar*, London: The Institution of Engineering and Technology.
- DANIELSEN, B. E. 2010. *The applicability of geoelectrical methods in pre-investigation for construction in rock*. Ph D, Lund university.
- DANISH GEOTECHNICAL INSTITUTE 1998. Malmö. Citytunneln. Boring Campaign 1996, Ground investigation report. Lyngby: Danish Geotechnical Institute.
- DAVIS, J. L. & ANNAN, A. P. 1989. GROUND-PENETRATING RADAR FOR HIGH-RESOLUTION MAPPING OF SOIL AND ROCK STRATIGRAPHY1. *Geophysical Prospecting*, 37, 531-551.
- DRAGANOV, D., CAMPMAN, X., THORBECKE, J., VERDEL, A. & WAPENAAR, K. 2009. Reflection images from ambient seismic noise. *Geophysics*, 74, A63-A67.
- EISNER, L., VESNAVER, A., GAUCHER, E. & CAMPMAN, X. 2010. Special Issue Passive Seismics. *Geophysical Prospecting*, 58.
- EKBERG, J. 2010. SKREA BACKE – Erfarenhetsåterföring och uppföljning av infrastrukturprojekt. Göteborg: Chalmers avd, geologi och geoteknik.
- FREI, W. 2010. Seismic surveying tools for the early detection of rock instability zones. In: ZHAO, L., DUDT & MATHIER (ed.) *Rock Mechanics in Civil and Environmental Engineering* Lausanne: Taylor & Francis.
- GABRIEL, G. 2006. Microgravimetry. In: KIRSCH, R. (ed.) *Groundwater Geophysics*. Springer Berlin Heidelberg.
- GANERØD, G., RØNNING, J., DALSEGG, E., ELVEBAKK, H., HOLMØY, K., NILSEN, B. & BRAATHEN, A. 2006. Comparison of geophysical methods for sub-surface mapping of faults and fracture zones in a section of the Viggja road tunnel, Norway. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 65, 231-243.
- GRANDA, A. & CAMBERO, J. C. 1988. Inspection of tunnel lining of the Madrid - Sevilla ave railway through georadar *Proc. IV Meeting of EEGS (European Section)*. EEGS.
- GRIFFITHS, D. H., TURNBULL, J. & OLAYINKA, A. I. 1990. Two-dimensional resistivity mapping with a computer-controlled array. *First Break*, 8, 8.
- GUSTAFSSON, C. 2010. Äspö hard rock laboratory BIPS logging in borehole KC0045F. Stockholm: Malå Geoscience AB.
- HARTLÉN, J., CHRISTENSEN, H. & JANSSON, S. 2011. Citytunneln, Malmö: geotechnical hazards and opportunities. *Proc. of the ICE – Geotechnical Engineering*, 165, 35-44.
- HELFRICH, H., BERGMAN, M., CARLSSON, A., FRANZÉN, T., GRANLUND, N., NORD, G., PALMQVIST, K. & STANFORS, R. 1979. Förundersökningars värde och omfattning. In: BEFO, S. B. F. (ed.). Stockholm.
- HOLUB, P. & DUMITRESCU, T. 1994. Détection des cavités à l'aide de mesures électriques et du géoradar dans une galerie d'amenée d'eau. *Journal of Applied Geophysics*, 31, 185-195.
- IEG 2008. Tillämpningsdokument Dokumenthantering. Stockholm: Implementeringskommission för Europastandarder inom Geoteknik.

- IEG 2010. Tillämpningsdokument EN 1997-2, Dimensionering av geokonstruktioner - Del 2: Marktekniska undersökningar. Stockholm: Implementeringskommission för Europastandarder inom Geoteknik.
- IEG. 2012. *IEG* [Online]. <http://www.ieg.nu/> Läst 2012-11-12.
- ISRM (ed.) 2006. *The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring:1974-2006*: ISRM International Society of Rock Mechanics.
- JOL, H. M. (ed.) 2009. *Ground Penetrating Radar Theory and Applications*, Oxford: Elsevier Science.
- JORGENSEN, F., SANDERSEN, P. B. E., AUKEN, E. & LYKKE-ANDERSEN, H. 2005. Contributions to the geological mapping of Mors, Denmark - A study based on a large-scale TEM survey. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 52, 53-75.
- KWON, H.-S., SONG, Y., YI, M.-J., CHUNG, H.-J. & KIM, K.-S. 2006. Case Histories of Electrical Resistivity and Controlled-Source Magnetotelluric Surveys for the Site Investigation of Tunnel Construction. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 11, 237-248.
- LAURSEN, P. B., PETERSEN, D. L. & VRANG, K. 2010. Malmö Citytunnel, Tunnels and Caverns. Groundwater Management. *dgf-bulletin*. Lyngby: Dansk Geoteknisk Forening.
- LEE, J. S., SAGONG, M., CHO, G. C. & CHOO, S. Y. 2010. Experimental estimation of the fallout size and reinforcement design of a tunnel under excavation. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 25, 518-525.
- LEHMANN, B., ORLOWSKY, D. & MISIEK, R. 2010. Exploration of Tunnel Alignment using Geophysical Methods to Increase Safety for Planning and Minimizing Risk. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 43, 105-116.
- LEUCCI, G. 2008. Ground Penetrating Radar: The Electromagnetic Signal Attenuation and Maximum Penetration Depth. *Scholarly Research Exchange*, 2008.
- LEVÉN, J., CARLBERG, T. & FOLLIN, S. 2006. Forsmark site investigation. Compilation and visualisation of cross discipline borehole data using WellCad. Boreholes KFM01A–KFM07A. Stockholm: Svensk Kärnbränslehantering AB.
- LI, C., LI, M.-J., ZHAO, Y.-G., LIU, H., WAN, Z., XU, J.-C., XU, X.-P., CHEN, Y. & WANG, B. 2011. Layer recognition and thickness evaluation of tunnel lining based on ground penetrating radar measurements. *Journal of Applied Geophysics*, 73, 45-48.
- LUNDMAN, P. 2011. Cost Management for Underground Infrastructure Projects. *BeFo-rapporter*. Stockholm: Stiftelsen Bergteknisk Forskning.
- MCCANN, D. M., CULSHAW, M. G. & FENNING, P. J. 2002. Geophysics as an investigative tool - Setting the standard for geophysical surveys in site investigation. *Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications*, 19, 23-35.
- MORFELDT, C.-O., BERGMAN, M. & LUNDSTRÖM, L. 1973. Bergundersökningar. Kvalitetsvärderingar av undersökningsmetoder. Stockholm.

- NABIGHIAN, M. N. (ed.) 2008. *Electromagnetic methods in applied geophysics*: Society of Exploration Geophysicists.
- OKAZAKI, K., MOGI, T., UTSUGI, M., ITO, Y., KUNISHIMA, H., YAMAZAKI, T., TAKAHASHI, Y., HASHIMOTO, T., YAMAMAYA, Y., ITO, H., KAIEDA, H., TSUKUDA, K., YUUKI, Y. & JOMORI, A. 2011. Airborne electromagnetic and magnetic surveys for long tunnel construction design. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 36, 1237-1246.
- OLSSON, O., FALK, L., FORSLUND, O., LUNDMARK, L. & SANDBERG, E. 1992. BOREHOLE RADAR APPLIED TO THE CHARACTERIZATION OF HYDRAULICALLY CONDUCTIVE FRACTURE ZONES IN CRYSTALLINE ROCK1. *Geophysical Prospecting*, 40, 109-142.
- ORLANDO, L. 2003. Semiquantitative evaluation of massive rock quality using ground penetrating radar. *Journal of Applied Geophysics*, 52, 1-9.
- PARASNIS, D. 1986. *Principles of applied geophysics*, London, Chapman and Hall.
- PARK, C., MILLER, R. & XIA, J. 1999. Multichannel analysis of surface waves. *GEOPHYSICS*, 64, 800-808.
- PFAFFHUBER, A. A., GRIMSTAD, E., DOMAAS, U., AUKEN, E., FOGED, N. & HALKJAER, M. 2010. Airborne EM mapping of rockslides and tunneling hazards. *The Leading Edge*, 29, 4.
- RAMBÖLL 2008. Storstockholms lokaltrafik: Miljökonsekvensbeskrivning för Järnvägsplan Tvärbana Norr delen Alvik-Solna station.
- REYNOLDS, J. M. 2011. *An introduction to applied and environmental geophysics*, Chichester, John Wiley and Sons.
- RIDER, M. H. 1999. *The geological interpretation of well logs*, Caithness, Scotland, Shittles Publishing service.
- ROGERS, N. T., SANDBERG, S. K., CORSO, W., NEWHART, G. & POWELL, G. 2000. Mapping of a hydrocarbon plume and the geometry of an abandoned petroleum storage reservoir. *SAGEEP 2000*. Washington DC: EEGS.
- ROSBERG, J.-E. 2010. *Well Testing, Methods and Applicability*. Ph D, Lund university. SGU, Sveriges geologiska undersökning. 2012. informationsblad om geofysik 2012. In: SGU, S. G. U. (ed.). Uppsala: Sveriges Geologiska Undersökning SGU.
- SIS 1997. Eurokod 7: Dimensionering av geokonstruktioner - Del 2: Marktekniska undersökningar. Stockholm: Swedish Standards Institute.
- SJÖGREN, B. 1984. *Shallow refraction seismics*, London, Chapman and Hall.
- STANFORS, R. 1987. The Bolmen tunnel project. Evaluation of geophysical site investigation methods. *SKB Technical Report*.
- STANFORS, R., TRIUMF, C.-A. & EMMELIN, A. 2001. *Geofysik för bergbyggare*, Stockholm, Stiftelsen Svensk Bergteknisk Forskning.
- STEUER, A., SIEMON, B. & AUKEN, E. 2009. A comparison of helicopter-borne electromagnetics in frequency- and time-domain at the Cuxhaven valley in Northern Germany. *Journal of Applied Geophysics*, 67, 194-205.
- STILLE, H. 2011. Rock Engineering and Tunnels - a Nordic approach. *ITA-AITES World Tunnel Congress*. Helsinki.

- SUN, H.-F., LI, S.-C., SU, M.-X., XUE, Y.-G., LI, X., QI, Z.-P., ZHANG, Y.-Y. & WU, Q. 2011. Practice of TEM tunnel prediction in Tsingtao subsea tunnel. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 30, 761-765.
- SVEDAB VBB VIAK 1995. Citytunneln i Malmö: Geologiska och hydrogeologiska förundersökningar - huvudrapport. Malmö.
- TRAFIKVERKET 2011a. E4 Förbifart Stockholm Arbetsplan Utställelsehandling. Trafikverket.
- TRAFIKVERKET 2011b. Trafikverkets Krav Tunnel, TRVK Tunnel. *TRV 2011:087*. SE: Trafikverket.
- TRAFIKVERKET 2011c. Trafikverkets tekniska råd Tunnel, TRVR Tunnel. *TRV 2011:088*. SE: Trafikverket.
- TRAFIKVERKET. 2012a. *Dokument för Ådalsbanan* [Online].
<http://www.trafikverket.se/Privat/Projekt/Vasternorrland/Adalsbanan/Dokument-for-Adalsbanan/> Läst 2012-11-19.
- TRAFIKVERKET 2012b. Förbifart Stockholm.
- TRAFIKVERKET. 2012c. *Hallandsås* [Online]. Trafikverket.
<http://www.trafikverket.se/Privat/Projekt/Skane/Hallandsas/> Läst 2012-11-10.
- TRAFIKVERKET. 2012d. *Så blir väg och järnväg till* [Online].
<http://www.trafikverket.se/Privat/Vagar-och-jarnvagar/Sa-blir-vag-och-jarnvag-till/> Läst 2012-11-12.
- TRAFIKVERKET. 2012e. *Ådalsbanan* [Online].
<http://www.trafikverket.se/Privat/Projekt/Vasternorrland/Adalsbanan/> Läst 2012-11-11.
- ULRIKSEN, P. 1982. *Application of impulse radar to civil engineering*. Ph D, Lund university.
- VAN BAARS, S. 2011. Causes of Major Geotechnical Disasters. In: VOGT, S., STRAUB & BRÄU (ed.) *3rd International Symposium on Geotechnical Risk and Safety ISGSR 2011*. München, DE: Bundesanstalt für Wasserbau.
- WENBO, G., GUOQIANG, X. & XIU, L. 2009. TEM S-inversion in Tunnel prediction. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 28, 859-863.
- WIKIPEDIA. 2009. *Citytunneln karta*.
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Citytunneln_karta_20090907.jpg
Wikipedia.
- WONG, J. 2010. Institution of Civil Engineers.
- XIE, X., LIU, Y., HUANG, H., DU, J., ZHANG, F. & LIU, L. 2007. Evaluation of grout behind the lining of shield tunnels using ground-penetrating radar in the Shanghai Metro Line, China. *Journal of Geophysics and Engineering*, 4, 253.
- ZHDANOV, M. S. (ed.) 2009. *Geophysical Electromagnetic Theory and Methods*: Elsevier Science.

Del 2 – Bilagor

A.	Litteraturförteckning	81
B.	Referensgrupp	85
C.	Standarder för förundersökningar och liknande	87
D.	Standarder för för- och fältundersökningsmetoder	89
E.	Intervjuunderlag	91
F.	Svar på intervjufrågorna	93
G.	Enkätfrågor till intervjupersoner	105
H.	Enkätfrågor för webbenkäten	109
I.	Enkät svar från intervjupersoner	119
J.	Enkät svar från webbenkäten	129
K.	Enkät svar från samtliga	139

A. Litteraturförteckning

Bland annat följande material har under projektiden använts som bakgrundsmaterial och som allmänna referenser, men finns inte direkt refererat i texten.

- ABRAHAMSSON, M., GUSTAVSSON, M. & SVENSSON, R. 1997. Utvärdering av Bryozokalkstenens byggbarhet invid Limhamns kalkbrott. Lund: Lunds universitet, Teknisk geologi.
- AFTES 1997. The design, sizing and construction of precast concrete segments installed at the rear of a tunnel Boring Machine (TBM). *In: 16, F. T. A.-W. (ed.)*.
- AFTES 1999. GLOSSAIRE relatif aux tunneliers.
- ANDERSSON, C. & SÖDERHÄLL, J. 2002. *Rock mechanical conditions at the Äspö HRL : a study of the correlation between geology, tunnel maintenance and tunnel shape*, Stockholm, SKB.
- ARTHUR, J. C. R., PHILLIPS, G. & MCCORMICK, C. R. 1997. High-definition seismic for Channel Tunnel marine route. *Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 12, 327-334*.
- BANVERKET Projekt Hallandsås, Tunnelbygge och miljöåtgärder för framtiden. Banverket.
- BANVERKET 2009. Projektering av bergtunnlar. Dimensionering av det bärande huvudsystemet.
- BEFO 2007. Observationsmetodens teoretiska grund och dess tillämpning på design av konstruktioner i berg. *Observationsmetodens teoretiska grund, version 2007-01 korrektur/ mh, hs 1(68)*.
- BEFO, S. B. F. 2009. *BeFo Online* [Online]. Stockholm, SE: Stiftelsen Bergteknisk Forskning BeFo. <http://www.befoonline.org> Läst 2009-10-07 2009.
- BERGMAN, M. 1975. Borrhålsundersökningar i berg. Tillförlitlighetsvärdering av metoder. *Bygghälsan*.
- BERGMAN, S. G.-A. & CARLSSON, A. 1986. Förundersökningar i berg. Rekommendationer för förundersökningar, prognoser och utlåtanden.
- BJELM, L. & ALM, P.-G. 2000. THE USE OF A GEOLOGICAL MODEL IN A CAVERN CONSTRUCTION IN LIMESTONE. *International Conference on Geotechnical and Geological Engineering Melbourne, Australia: International Society for Rock Mechanics*.
- BRANTBERGER, M. 2009. Förfrågningsunderlag för injekteringsarbeten i en utförandeentreprenad. *In: BEFO, S. B. F. (ed.) BeFo Rapport*. Stockholm.
- BSI & STANDARD, B. 1999. Code of practice for site investigations.
- CALDWELL, R. A. 1986. Recent Techniques in Geophysics with Special Applications to Engineering Geology. *Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 2, 157-162*.
- CARDARELLI, E., MARRONE, C. & ORLANDO, L. 2003. Evaluation of tunnel stability using integrated geophysical methods. *Journal of Applied Geophysics, 52, 93-102*.
- CITYTUNNELN 2003. Malmö C Nedre, Tunnel och ramp. Förfrågningsunderlag.
- COWI 2010. *Tunnel engineering*.
- COVIL, C. S. & JAMES, J. W. C. 1997. The use of geophysics at the new airport, Chek Lap Kok, Hong Kong. *Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 12, 223-233*.
- CULSHAW, M. G., JACKSON, P. D. & MCCANN, D. M. 1987. Geophysical mapping techniques in environmental planning. *Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 4, 171-177*.
- DANIELSEN, J. E. & DAHLIN, T. 2004. The Applicability of Geoelectrical Imaging as a Tool for Design and Construction in Rock. A pre-study.
- DENIS, A., MARACHE, A., OBELLIANNE, T. & BREYSSE, D. 2002. Electrical resistivity borehole measurements: application to an urban tunnel site. *Journal of Applied Geophysics, 50, 319-331*.
- EDDLESTON, M., MCCANN, D. M., CRIPPS, J. C. & JOHNSON, P. 2002. Geophysics as an investigative tool Modern geophysics in engineering geology: an overview. *Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 19, 23-35*.
- EDGERTON, W. W. 1998. Site Investigations: A Guide. *Civil Engineering*.
- ENGSTRÖM, A., PERSSON, K. & GUSTAFSSON, G. 2009. Nyttan av vattenförlustmätningar vid tätning av tunnlar. *In: BEFO, S. B. F. (ed.) BeFo Rapport*. Stockholm.
- ERICSSON, L. O. 2009. Förundersökningar för bergbyggnad. *SveBeFo seminarium 2009-01-27*.
- FALK, C. 1998. Pre-Investigation of the Subsoil Developments in Construction of the 4th Elbe Tunnel Tube.

- Tunneling and Underground Space Technology*, 13, 111-119.
- FOOKES, P. G. & SHILSTON, D. T. 2001. Building the geological model: case study of a rock tunnel in SW England. *Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications*, v. 18, 123-128.
- FÄLT, G. 2007. 10 år efter Rocha Gil. *Rallaren*.
- GRAAD, M., HEDLUND, A. & MALMBERG, A. 1996. Utvärdering av injekterbarheten i Danienkalksten. Lund: Lunds universitet, Teknisk geologi.
- GRIFFITHS, J. S. 2001. Development of a ground model for the UK Channel Tunnel portal. *Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications*, v. 18, 129-133.
- GUSTAFSON 2009. Grundvatten och undermarksanläggningar.
- HELFRICH, H., BERGMAN, M., CARLSSON, A., FRANZÉN, T., GRANLUND, N., NORD, G., PALMQVIST, K. & STANFORS, R. 1979. Förundersökningars värde och omfattning. *In: BEFO, S. B. F. (ed.)*. Stockholm.
- HELLEKANT, J. 2010. Citybanan hot mot kulturarv. *SVD*, 2010-04-13.
- HOLMBERG, M. & STILLE, H. 2009. Observationsmetoden och Deformationsmätningar vid tunnelbyggnad. *In: BEFO, S. B. F. (ed.) BeFo Rapport*. Stockholm.
- ITA-AITES, "RESEARCH", W., LECA, E. & NEW, B. 2007. Settlements induced by tunneling in Soft Ground. *Tunneling and Underground Space Technology*, 22, 119-149.
- KOLYMBAS, D. & SPRINGERLINK (ONLINE SERVICE) 2005. Tunnelling and Tunnel Mechanics A Rational Approach to Tunnelling. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- LEBLAIS, Y. & ET.AL. 1995. Settlements Induced by Tunneling. *In: AFTES, F. T. A.-W. (ed.)*.
- LINDBLOM, U. 2009. Bergunderhåll med livslängdsperspektiv. *Samhällsbyggaren*, 4, 6.
- LUNDMAN, P. 2011. *Cost Management for Underground Infrastructure Projects A case study on cost increase and its causes*.
- MALMTORP JANNE, LUNDMAN PETER. 2010. Förundersökningar vid undermarksprojekt. -Osäkerheter och deras hantering.
- MANDAL, S. K. & SINGH, M. M. 2009. Evaluating extent and causes of overbreak in tunnels. *Tunneling & Underground Space Technology*, 24, 22-37.
- MARGERISON, R. J., EASTAFF, D. J. & NORBURY, K. W. 1995. Role of the contractor's engineering geologist in the construction of the New Studley Tunnel. *Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications*, 10, 10.
- MCCANN, D. M., CULSHAW, M. G. & FENNING, P. J. 2002. Geophysics as an investigative tool Setting the standard for geophysical surveys in site investigation. *Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications*, 19, 23-35.
- MORFELDT, C.-O. 1967. Problem med vatten vid tunneldrivning i berg. *In: AB, H. (ed.)*.
- MORFELDT, C.-O. 1971. Några exempel på tunneldrivning vid ringa bergtäckning. *In: AB, H. (ed.) Some instances of Tunneling at Small Rock-Cover*.
- MORFELDT, C.-O. 1972. Geologisk rekognoscering för berganläggningar. *In: AB, H. (ed.) Geological reconnaissance for bedrock caverns*.
- MORFELDT, C.-O. 1987. Tunnelbyggnad i sedimentärt berg. Geologins Villkor. *In: BYGGFORSKNING, S. R. F. (ed.)*. Stockholm.
- MORFELDT, C.-O., BERGMAN, M. & LUNDSTRÖM, L. 1973. Bergundersökningar. Kvalitetsvärderingar av undersökningsmetoder. Stockholm.
- MUIR WOOD, A. M. 2000. *Tunnelling management by design*, London, New York.
- NGU 2003. Miljö- og samfunnstjenlige tunneler. Slutrapport delprosjekt A. Forundersökelse.
- NGU 2003. Tunnelprojektet. Geofysiske bakkemålinger og borehullslogging på Krokskogen, Hole og Ringrike kommuner, Buskerud.
- NILANDER, J. & GLUUCKERT, J. 2009. Söderströmstunneln - sänktunnel i centrala Stockholm. *Samhällsbyggaren*, 4, 6.
- OLOFSSON, B. 1991. Groundwater Conditions when Tunneling in Hard Crystalline Rocks. A study of water flow and water chemistry at Staverhult, the Bolmen tunnel, southern Sweden. *In: BEFO, S. B. F. (ed.)*.
- RANDALL, J. E. (ed.) 1997. *Geotechnical Baseline Reports for Underground Construction Guidelines and practices*, New York: American Society of Civil Engineers
- RANDALL, J. E. 1998. Geotechnical Baseline Reports for Underground Construction. *Structural Engineering*

- World Wide*. Elsevier Science Ltd.
- RIGBY, P. 1998. Identifying and managing ground risks. *Tunnels & Tunneling International*.
- ROGERS, J. D. Standards for Geotechnical and Engineering Geology Reports.
- SANDVIK & OY, M. A. C. 2008. Sandvik iSure revolutionerar professionell tunneldrivning SKANSKA-VINCI Tunneln genom Hallandsås - så bygger vi den.
- STANFORS, R. 1987. The Bolmen tunnel project. Evaluation of geophysical site investigation methods. *SKB Technical Report*.
- STARR, D. C. & MULRONEY, A. A. 1991. Ground investigation, design and construction monitoring of a full-face tunnel drive in layered Quaternary deposits. *Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications*, 7, 431-440.
- STEINER, W. 2000. TBM Tunnelling - Geotechnics influencing mechanics. *Felsbau*, 18, 7.
- STILLE, H. 1986. Experiences of Design of Large Caverns in Sweden. *Large Rock Caverns*. Pergamon Press.
- STURK, R., AHLSTRÖM, S. & AURELL, O. 2009. En resa genom berg och is. *Samhällsbyggaren*, 4, 3.
- SVENSSON, E., HANSEN, A. & KAMMER MORTENSEN, J. Special Investigations in the Pre-Tender Phase.
- WATZLAW, W., SCHULZ, G., FISCHER, R. & TROGISCH, V. 1996. Use of geophysics for the exploration of tunnels. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanics Abstracts*, 33, 166A-166A.
- WON, G. W. & RAPER, R. W. J. 1997. Downhole geophysical investigations for a proposed deep highway cutting adjacent to a rail tunnel at Murrurundi, NSW, Australia. *Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications*, 12, 283-291.
- WSP & ERIKSSON, B. 2009. Förslag till MILJÖKONSEKVENSBESKRIVNING för utpekande av området med Bolmentunneln som riksintresse för vattenförsörjning. WSP.
- WÄNSTEDT, S. & SUNDIN, N.-O. 1994. Geofysisk borrhålsloggning vid berganlägggen. Geophysical borehole logging in tunneling. *In: SVEBEFO* (ed.).

B. Referensgrupp

Referensgruppen till detta projekt har bestått av följande personer:

Johan Brantmark, Trafikverket
Thomas Dalmalm, Trafikverket
Åke Hansson, Trafikverket
Jan Hartlén, Trafikverket
Kenneth Rosell, Trafikverket
Bengt Ludvig, Petro Team Engineering AB
Kjell Windelhed, ÅF

Som representanter för BeFo

Mikael Hellsten till och med 2011
Per Tengborg från 2012

C. Standarder för förundersökningar och liknande

Standard (UK) BS5930 + A2:2010	Code of Practice for Site Investigations	1999/ 2010	British Standards Institution (UK)
Branschrekommendation (UK)	Code of Conduct for Site Investigation	2008	Assoc. of geotechnical and geoenvironmental specialists (UK)
Standard (DE) DIN 4020	Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2	2010	Deutschen Institut für Normung
Branschrekommendation (Int.)	Recommendations on site investigation techniques	1975	International society for rock mechanics
Standard (CN, Hong Kong)	Geoguide 2. Guide to site investigation	1983	Geotech. Eng. Office Civil Engineering Dept. The Gov:t of the Hong Kong Special Administrative Region
Branschrekommendation SIA 199 Standard (CH) SN 531199	199 Erfassen des Gebirges im Untertagbau (Jf. SIA 197 Projektierung Tunnel – Grundlagen, 197/1 Projektierung Tunnel – Bahntunnel, 197 Projektierung Tunnel – Strassentunnel, alla 2004)	1998	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Standard (US/Int.) ASTM D420-98(2003)	Standard Guide to Site Characterization for Engineering Design and Construction Purposes	2003 Indragen 2012	
AS 1726	Geotechnical Site Investigations	1993	Standards Australia
Standard (SE/EU) SS-EN 1997-2:2007/AC:2010	Eurokod 7: Dimensionering av geokonstruktioner - Del	2007	Swedish Standards Institute SIS (Comité Européen de Normalisation

	2: Marktekniska undersökn.		CEN)
Standard (SE) IEG 5:2010	Tillämpningsdokument Bergtunnel och Bergrum	2010	Implementerings- kommission för Euro- pastandarder inom Geo- teknik
Branschrekommendation ISRM "Blue Book"	Rock characterization, test- ing and monitoring, ISRM suggested methods	1980	International Society of Rock Mechanics
Standard (US/Int.) ASTM D653	Standard Terminology Re- lating to Soil, Rock, and Contained Fluids	2011	ASTM
Standard (RU) GOST R 8.737	State system for ensuring the uniformity of measure- ments. Geophysical well logging and petrophysical study of rock, fluids and gas samples. Units of measured quantities	2011	Euro-Asian Council for Standardization, Metrol- ogy and Certification
Standard (RU) GOST R 8.738	State system for ensuring the uniformity of measure- ments. Field geophysical survey. Units of measured quantities	2011	Euro-Asian Council for Standardization, Metrol- ogy and Certification
Standard (RU) GOST R 54361	Subjects of standardization in geological exploration of the entrails of the Earth	2011	Euro-Asian Council for Standardization, Metrol- ogy and Certification
Standard (RU) GOST R 54363	Field geophysical survey. Terms and definitions	2011	Euro-Asian Council for Standardization, Metrol- ogy and Certification

Tabell över vissa standarder och rekommendationer för utförandet av för- och fältundersökningar.

D. Standarder för för- och fältundersökningsmetoder

Standard (US/Int.) ASTM D 2113	Standard Practice for Rock Core Drilling and Sampling of Rock for Site Investigation	2008	American Society for Testing and Materials
Standard (US/Int.) ASTM D 5781	Standard Practice for Rock Core Drilling and Sampling of Rock for Site Investigation	2008	
Standard (US/Int.) ASTM D 6286	Standard Guide for Selection of Drilling Methods for Environmental Site Characterization	1995	
Standard (US/Int.) ASTM D 6429	Standard Guide for Selecting Geophysical Methods	1999	
Standard (US/Int.) ASTM D 6167	Standard Guide for Planning and Conducting Borehole Geophysical Logging	2005	
Standard (US/Int.) ASTM D 6726	Standard Guide for Conducting Borehole Geophysical Logging-Electromagnetic Induction	2001	
Standard (US/Int.) ASTM D 6726	Standard Guide for Conducting Borehole Geophysical Logging-Electromagnetic Induction	2001	
Standard (US/Int.) ASTM D 6167	Standard Guide for Conducting Borehole Geophysical Logging: Mechanical Caliper	2011	
Standard (US/Int.) ASTM D 6274	Standard Guide for Conducting Borehole Geophysical Logging-Gamma	2010	
Standard (US/Int.) ASTM D 5777	Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation	2000	
Standard (US/Int.) ASTM D 6430	Standard Guide for Using the Gravity Method for Subsurface Investigation	1999	
Standard (US/Int.) ASTM	Standard Guide for Using the Direct Current Resistivity	1999	

D 6431	Method for Subsurface Investigation		
Standard (US/Int.) ASTM D 6432	Standard Guide for Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation	2011	
Standard (US/Int.) ASTM D 6727	Standard Guide for Conducting Borehole Geophysical Logging-Neutron	2001	
Standard (US/Int.) ASTM D 6820	Standard Guide for Use of the Time Domain Electromagnetic Method for Subsurface Investigation	2002	
Standard (US/Int.) ASTM D 6639	Standard Guide for Using the Frequency Domain Electromagnetic Method for Subsurface Investigations	2001	
Standard (US/Int.) ASTM D 7046	Standard Guide for Use of the Metal Detection Method for Subsurface Exploration	2011	
Standard (US/Int.) ASTM D 7128	Standard Guide for Using the Seismic-Reflection Method for Shallow Subsurface Investigation	2005	
Branschrekommendation (DE) DVGW W 110	Geophysikalische Untersuchungen in Bohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen - Zusammenstellung von Methoden und Anwendungen	2005	
Standard (RU) GOST 22609	Geophysical exploration in wells. Terms, definitions and letter symbols	2011	

Tabell över vissa standarder och rekommendationer för metoder vid för- och fältundersökningar.

E. Intervjuunderlag

Nedanstående text visar strukturen i de intervjuer som arbetsgruppen utfört under mötet med de utvalda intervjupersonerna i referensobjekten.

- Om intervjupersonen
 - I vilket/vilka skeden av projektet arbetade du?
 - Vilken roll/vilka roller hade du?
 - Hur länge arbetade du i din roll/dina roller?
 - Erfarenhet i andra projekt innan och efter det aktuella?
- Vad och vem bestämde huvudsakligen förundersökningarnas omfattning och innehåll?
- Vilka frågor anser du bör besvaras med hjälp av resultaten från förundersökningarna?
- Vilka förundersökningsmetoder anser du (idealiskt) behövs för att kunna svara på dessa?
- I vilken omfattning och i vilket syfte användes resultat från förundersökningarna i
 - Analys av alternativa lägen
 - Kostnadsbedömningar
 - Teknisk utformning
 - Riskbedömningar inkl. miljöpåverkan
 - Beslut angående slutlig placering och alternativprövning
 - Annat
- Kunde de utförda förundersökningsmetoderna ge tillfredsställande svar på frågor angående
 - Slutlig placering
 - Teknisk utformning
 - Byggmetod
 - Förstärkningsbehov
 - Tättningsbehov
 - Underlag för tillståndsprocessen
 - (MKB för miljödomstolsprövning och andra tillståndsprövningar, Miljö och natur, grund- och ytvatten, skogs- och jordbruk, friluftsliv etc.)
 - Budget och utförandekostnad
 - Byggtid
 - Drifttagandetidpunkt
 - Driftkostnad
- Motsvarade resultatet av förundersökningarna dina förväntningar i det aktuella projektet?

- Avvek prognosen från utfallet? I så fall hur? Vilka konsekvenser fick avvikelserna?
- Menar du att resultat från förundersökningarna använts fullt ut i beslutsprocessen?
- Fanns det delar av förundersökningen som du känner till, som av någon anledning inte användes eller kunde användas – i så fall: varför?
- Har du aktivt använt resultat och/eller erfarenheter från andra projekt du deltagit i för att förändra förundersökningsprocessen i det aktuella projektet?
- Har du använt resultat och/eller erfarenheter från projektet för att förändra förundersökningsprocessen i andra projekt?
- Projektrelaterat: Hur stor del av den totala kostnaden har legat på förundersökningar?
- Hur fungerade kommunikationen mellan de olika parterna i projektet?
- Vad anser du om nyttan och värdet med geofysik i förundersökningarna?
- Vad anser du allmänt om nyttan och värdet av förundersökningar?
- Hur ser du på nyttan av kärnbörningar kontra hammarbörningar med kompletterande undersökningar i borrhålen?
- Hur ser du på nyttan av ”informationsvärdesanalys”?
- Hur ser du på möjligheten/lämpligheten att upprätta någon typ av nationell databas? Skall den vara av nationell eller regional karaktär? Vem skall var huvudansvarig?
- Hur ser du på den nationella spridningen av kunskap om olika förundersökningsmetoder?
- Hur ser du på iden om att under BeFo:s regi anordna ”workshops” (endagars) där olika förundersökningsmetoder beskrivs och demonstreras. Genomförandet sker via institutioner från universitet/högskolor.
- Är projekten oftast för optimistiska vad gäller den totala kostnaden? Om så hur är din uppfattning om vilka delar i ett projekt som det sparas in på?
- Vad är dina synpunkter angående någon typ av standardisering av förundersökningsmetodernas rapportering?
- Hur uppfattar du entreprenadformens betydelse för förundersökningarnas utformning?
- Hur skall en projektorganisation byggas upp för att optimera förundersökningar?

F. Svar på intervjufrågorna

Här följer en sammanställning av de intervju svar som erhöles för de olika frågeställningarna. Här sker ingen presentation av svaren projektvis beroende på att det inte varit möjligt att intervjua personer med motsvarande roller i projekten. Om svaren redovisats projektvis uppfattar vi att det skulle bli svårare att göra en samlad bedömning av svaren.

Vad och vem bestämde huvudsakligen förundersökningarnas omfattning och innehåll?

Många av intervju personerna kom in i ett skede av projektet då undersökningarna redan var utförda och hade ingen kunskap om hur det bestämdes. I de fall projekten pågick var det beställare tillsammans med konsult. Det påpekades att det var viktigt att kunskap och förståelse för metoder finns i den grupp som beslutar om vad som skall göras, d.v.s. beställaren skall ha tillräcklig kompetens men att alltid bör förekomma en dialog med konsulten.

Vilka frågor anser du bör besvaras med hjälp av resultaten från förundersökningarna? Vilka förundersökningsmetoder anser du (idealiskt) behövs för att kunna svara på dessa?

- Man skall kunna göra en ingenjörsprogno som kan användas för att göra en kostnadsanalys. Hitta svaghetszoner d.v.s. riskområden. Styra utformningen av tunneln, ev. flytta tunneln.
- Bergtäckning, zoner med nedsatt bergkvalitet samt hitta påslagpunkterna. Få en vettig bergprognos, J-B sondering vid påslagpunkterna Kartering håll och skärning, dra nytta av omgivande berganläggningar
- Undvika att gå in i problemområde, d.v.s. undvika oförutsedda problem och kostnader. Anläggningen skall ju vara lönsam. Logistik och framdrift. Klara de uppsatta kraven. Bergkvalitet och hur den påverkar tunneldrivningen både ekonomiskt och tidsmässigt
- Det viktigaste är kanske att göra en strategi innan förundersökningarna startar för att bestämma vilken metod som skall användas och när. Beställaren har en vag uppfattning om vad de vill. De handlar upp och sedan ligger besluten mer hos konsulterna och de gör vad de är bra på. Man är kanske för fokuserad på att mäta och undersöka utan att tänka geologiskt.
- Bergkvalitet och vattenföringen längs tunnelsträckningen. Hur mycket borrningar som skall göras bör avgöras i steg.
- Mängd finmaterial för val av TBM, vattenföringen, bergrummens stabilitet mängd förkislrat berg och flinta, strukturen på berget. Detta ger ”reference condition”.
- Prognos över sträckan vad avser bergkvalitet enl ISRM:s rekommendationer, Q faktorn, permeabilitet, förstärknings- och injekteringsbehov. Arbetsmetod: Kartera berg i dagen, utför seismik längs linjesträckningen, gör Jb-sondering som kontroll,

hammarborrning med registrering av parametrar, skapa 3D-modell och välj var kärnborrhål skall placeras, därefter vattenförlustmätningar och provpumpningar.

I vilken omfattning och i vilket syfte användes resultat från förundersökningarna?

- Lyckats hålla kostnadsramen väl.
- De låg till grund för att bedöma byggbarheten med konventionell metod
- Tunnelsträckningen var politiskt bestämd
- Ingen analys av läge. Kostnadsbedömningar, utformning samt underlag till miljödomstolen.
- Riskbedömning.

Kunde de utförda förundersökningsmetoderna ge tillfredsställande svar på frågor angående slutlig placering mm?

- Förundersökningen indikerade på kraftig vattenföring vilket påverkade injekteringsarbetet och mängd.
- Byggtiden har reviderats
- Färdigt tidigare
- Ja
- Karteringen har fått påverkan på byggtiden eftersom bergkarteringen visade på sämre berg.
- Byggmetoden framför allt i svaghetszoner, tid och kostnad påverkades av bergprognosen
- En plats skippades eftersom det visade sig att berget var så dåligt att det inte gick att bygga där
- Bommade lite på hydrologi. Hammarborrningar tillsammans med flowlog gav bättre resultat än kärnborrning.
- Ja.

Motsvarade resultatet av förundersökningarna dina förväntningar i det aktuella projektet?

- Både konsult och entreprenör var överens om att det endast hade tillfört marginella upplysningar med fler undersökningar
- Har stämt bra budgeten hölls.
- Nej der krävdes mer förstärkning än planerat Konsult och beställare i stort sett nöjd
- Utnyttjats fullt ut eventuellt kommer fler hammarborrhål att utföras. Resultaten analyseras kontinuerligt och kan resultera i nya undersökningar.

- Förundersökningarna efter 1996 stämde väl. Borrningar längs tunneln gav mycket information. De hydrologiska modellerna fungerade, inte så inom det området gjordes för lite.
- Ja, men kände att allt av det som gjorts inte använts.

Avvek prognosen från utfallet? I så fall hur? Vilka konsekvenser fick avvikelserna?

- Berget visade det sig var bättre än prognostiserat. Detta fick till följd att mindre förstärkningsarbete behövdes med tidsvinst och kostnadsbesparing som följd.
- Berget var betydligt sämre än prognostiserat och betydligt fler bergförstärkningar fick genomföras vilket medförde förseningar och merkostnader.
- Omfattningen av de stora vittrade zonerna och även diskussioner om gränsen mellan diabas och gnejs. Det borde gjorts mer förundersökningar, propumpningar med tanke på att vattnet är det stora problemet.
- Missade en stor vattenförande zon. Problemet löstes under projektets gång ingen tidsförlust.
- Linjesträckningen flyttades bl.a. på grund av att den seismiska undersökningen, vad gällde bergtäckningen, gav annorlunda resultat än Jb-sondering och det gick inte att utreda varför

Menar du att resultat från förundersökningarna använts fullt ut i beslutsprocessen?

- Ja, men upplever ibland att det generellt görs för få undersökningar beroende på t.ex. tidsbrist, pengar och dylikt.
- Det gjordes för lite förundersökningar bl.a. flyttades tunnellen till ett annat läge där berget var betydligt mindre undersökt och känt.
- Även om seismiken var svårtolkad så den information som erhöles visade på att bergmassan var komplex men man tog inte hänsyn till detta utan valde inte metod utifrån det utan Kraftbyggarna valde sin egen metod.
- Ja absolut.

Fanns det delar av förundersökningen som du känner till, som av någon anledning inte användes eller kunde användas – i så fall: varför?

- Vet ej.
- Resistivitetsundersökningar ej använda. Nej det som gjorts användes men linjen flyttades och då fanns inte alltid förundersökningsresultat.
- VLF har inte använts men var billig att göra Seismiken svårtolkad och inte utnyttjad. Allt är kopplat till besluten om vilken information som önskas.
- Nej eventuellt användes inte triaxdata. På den hydrauliska delen var det en modell som fick modifieras och ommodelleras.

- I och med att linjen fick flyttas fick det göras nya och kompletterande undersökningar.

Har du aktivt använt resultat och/eller erfarenheter från andra projekt du deltagit i för att förändra förundersökningsprocessen i det aktuella projektet?

- Ja, har varit verksam som entreprenör i liknande tunnelprojekt. Vidare utnyttjades erfarenheter från konsultarbetsgruppen.
- Som projektledare är det viktigt att man kan vara verksam under hela processen.
- Nej.
- Kompetens från tidigare projekt är viktig och används givetvis. Jämförelse har gjorts med andra projekt både internationellt och nationellt.
- Andra tunnlar och bergrumsarbeten i kalkbrottet användes som referens.
- Varje projekt skall värderas för sig men det är givet att man tar med sig erfarenheter

Har du använt resultat och/eller erfarenheter från projektet för att förändra förundersökningsprocessen i andra projekt?

- Har fått nya erfarenheter för att tolka seismik genom diskussioner med de som genomförde den. Varje projekt ger ny erfarenhet.
- Nyfikenheten är en drivkraft att stämma av och det blir vanligare att sammanställa erfarenheterna från genomförda projekt.
- Erfarenheter från projektet kommer att införas i relationshandlingarna men annars inte.
- Nej inte tekniskt kunnig men tagit med erfarenheter om organisation. Positivt att komma från annan bransch.
- Är mer uppmärksam på hur konsulter beskriver karteringar. Ifrågasätter mer.
- Återkopplingen mellan gamla och nya projekt försvåras av att ofta skrotar man projektorganisationen när ett projekt närmar sig slutet. Detta gör att det är svårt att föra med sig erfarenheten till nya projekt. Trafikverket jobbar mycket med detta problem.
- Det är personrelaterat.
- Varje projekt skall ses som unikt utan förutfattade meningar.
- Det är ett stort problem att samla all kunskap från ett stort projekt i företaget eftersom folk ändrar arbetsuppgifter och försvinner till andra projekt
- Upplever att varje projekt är en nystart och att det är lättare med kunskapsöverföring inom konsult och entreprenörer. Tror att det blir bättre och bättre på beställarsidan.
- Ja det ligger djupt i erfarenhetsbasen.

Projektrelaterat: Hur stor del av den totala kostnaden har legat på förundersökningar?

- Vet ej.
- Vet ej.
- Vet ej.
- Rent allmänt är det inte stora summor som läggs på förundersökningarna i ett projekt 1 % eller 0,5 % av hela projektet.
- Mindre än 1 %.
- 4-5 % pga. att det fick göras kompletterande undersökningar till följd av linjeflytten. Detta gör att värdet är extremt högt.

Hur fungerade kommunikationen mellan de olika parterna i projektet?

- Fungerade bra med regelbundna möten.
- Fungerade bra.
- Entreprenören hade inte ifrågasatt undersökningarna, detta skedde först då det visade sig att berget var sämre än angivit.
- Då de som konsult kom in i projektet och fick se handlingarna påpekade de för beställaren att det skulle komma att bli merkostnader och att prognosen borde uppdateras men det togs det ingen hänsyn till utan konsulten uppfattade det som att beställaren var beredd att ta en eventuell extra kostnad senare.
- Mycket bra.
- Fungerade bra, beställaren styrde konsulterna helt.
- Mycket bra.
- Fungerade bra.

Vad anser du om nyttan och värdet med geofysik i förundersökningarna?

- Ingen åsikt.
- Har jobbat mest med ytnära trafik tunnlar och tycker man får bra resultat med geofysik. Seismik är det man känner till och det tycker man är bra.
- Allmänt så är det bra. Det är viktigt att i ett tidigt skede få information om bergets kvalitet så att det kan ingå i bygghandlingarna.
- Ovärderligt. Resistivitetsundersökningarna gav mest.
- Utmärkt till att finna stora strukturer.
- Heltäckande undersökningar är bra.
- Bra men man bör funderas på vad man eftersöker eftersom ingen metod löser alla problemen utan metoderna behöver samverka.

- Vad anser du allmänt om nyttan och värdet av förundersökningar?
- Jätteviktigt med en riktig modell.
- Djupare liggande tunnlar med mer än 100 m bergtäckning ger dyra kärnborrhål.
- Ingen uppfattning. Branschen är konservativ och har svårt att ta till sig nya metoder.
- Visst har vi stor nytta av förundersökningar det är ingen tvekan
- Det är viktigt att komma ihåg är att berget inte blir bättre för att det görs fler undersökningar, berget är vad det är. Det är lätt att göra undersökningar som man kan och känner till snarare än att fundera på vad som behövs.
- Den är extremt stor, talar t.ex. om var kärnborrhålen bör placeras.

Hur ser du på nyttan av kärnbörningar kontra hammarbörningar med kompletterande undersökningar i borrhålen?

- Kärnborrhål verkar bättre men som entreprenör är det bara slutresultatet som räknas. De analyserar ingen kärna inför en kalkyl.
- Medveten om att det är kostsamt med kärnborrhål men svårt att ge ett generellt svar. Det beror på projekt I de fall berget inte syns är kärnbörning bra eftersom kärnan ger information om berget. I ett annat projekt som pågår kommer vi att göra kärnborrhål och därefter BIPS-mätningar.
- Kärnbörningar var redan bestämt.
- Har ingen erfarenhet av hammarborrhål. Kärnbörning måste kompletteras med andra undersökningar eftersom det bara är ett nålstick i bergmassan. Förordar kärnborrhål eftersom jag ser mest nytta av hammarborrhål i hydrologisammanhang. Har ej utnyttjat logging men anser det vara en dyr metod.
- Det är lätt att övertolka ett kärnborrhål Om det förekommer kärnbortfall är det lätt att tolka som om berget var dåligt och tvärt om.
- Hammarbörjade hål för hydrotester. Kärnbörning av värde för sprickorientering och plan samt då man vill titta på bergmassan. Tillsammans med Optisk Televiwer erhålles intressanta resultat.
- Kärnbörning är primärt av geotekniskt intresse. Då det gäller hydrologi spelar det mindre roll om det är hammar- eller kärnborrhål Hammarborrhål är bättre då det gäller propumpningar. Flödesloggning är mycket viktig.
- Branschen undervärderar den information man kan få från borrhålen. Har ingen stor erfarenhet av geofysik i borrhål, men stor vän av registrering av borrhållparametrar under börning.

Hur ser du på nyttan av ”informationsvärdesanalys”?

- Diskussioner har förekommit men ingen direkt värdesanalys. Ser nyttan av det i stora projekt

- Det är viktigt att hitta det dåliga berget.
- Tycker att det verkar intressant men att det också är en osäkerhetsanalys. Nyttan med nya undersökningar måste visas i pengar innan beställaren tar beslut.
- Ingen direkt nytta. Inte direkt använt, men i delar av projektet har det använts.
- Ser nyttan av det så inga undersökningar görs till stor kostnad utan att tillföra ny information.
- Någonstans längs vägen kommer mer förundersökning inte att ge ny information.
- Absolut värdefull. Tror att oftast läggs det för mycket krut på detaljer istället för att se helheten.
- Det går bara att undersöka till en viss nivå eftersom det inte går att undersöka allt.

Hur ser du på möjligheten/lämpligheten att upprätta någon typ av nationell databas? Skall den vara av nationell eller regional karaktär? Vem skall var huvudansvarig?

- Det vore intressant men det går ju att få ut relationshandlingar.
- Saknar riktlinjer om vad som skall samlas in från olika projekt. Vore bra med central instans där delar kan hämtas Bör vara nationell karaktär och SGU lämplig som huvudansvarig.
- Möjligen men tveksam.
- Måste standardiseras. Det blir en kostnadsfråga. Huvudansvarig får inte vara någon som tjänar pengar på det.
- Tanken är god. Kärnor sparas i Malå under garanti tiden SGU lämplis som huvudman.
- Banverket sparar egna dokument och data är därför allmänt tillgängliga. Konsult skall lämna in allt material, men görs det?
- Det vore intressant Det är öppna handlingar så det borde inte vara något problem att samla in data. Har ingen åsikt om huvudansvarig.
- Osäker på om en databas skulle göra nytta eftersom varje projekt är unikt.
- Beror på innehållet. SGU lämplig som huvudansvarig.
- På konsult sidan är erfarenhetsåterföringen lättare men oftast är de ju bara med i en liten del av projektet så de som skulle ha störst möjlighet till erfarenhetsåterföring för hela projektet är beställaren.
- Vet ej.
- Slöseri med pengar att inte göra det, men svårt med finansiering. Liknande projekt pågår hos SGI. Beställaren äger all information Administreras på statlig nivå t.ex. SGU
- I storstadsområdena finns mycket information och kunde man göra den tillgänglig vore det bra, alltså databas på regional nivå.

- Vore bra. Är inte vän av användarbaserade databaser utan de skall vara tillgängliga för alla. Danmark bra exempel. De bör vara regionala och administreras av branschorgan eller länsstyrelse.
- Bra med databaser men hellre lokala baser. Huvudman statlig myndighet.
- Med dagens datateknik borde det vara möjligt. Databasen skall vara nationell men det krävs att en kontinuitet både vad det gäller nationell och kommunal nivå. Om detta blir et resultat av detta projekt är det hedervärt.

Hur ser du på den nationella spridningen av kunskap om olika förundersökningsmetoder?

- Svår fråga men det är ju samma undersökningsmetoder man talar om. Det är en geologisk förklaring till att metoder används olika i Sverige.
- Tror att det är en ojämn spridning. Konsulter föreslår de metoder och instrument de har och kan. Vanans makt spelar in. Tycker att de traditionella metoderna är väl kända men eftersöker mer information om t.ex. geoelektrik. Ser emellertid svårighet att få någon att stå för kostnaden att testa nya metoder i projekten.
- Vet ej men tror inte att det är någon skillnad.
- Man får förutsätta att konsulten har erfarenhet annars har man valt fel konsult
- Svårt att uttala sig om. Tror inte att kunskapen är jämnt spridd tror att konsulterna använder det de har och tar inte in andra företag att göra extra undersökningar.
- I Danmark är kunskapen oftast större i de stora företagen eftersom de är inblandade i stora projekt.
- Kunskapen är liten utanför den inre kretsen ("branschen"). Inom branschen är det bra kunskap och ingen regional skillnad.

Hur ser du på iden om att under BeFo:s regi anordna "workshops" (endagars) där olika förundersökningsmetoder beskrivs och demonstreras. Genomförandet sker via institutioner från universitet/högskolor?

- Tror det är positivt bara det inte blir för forskningsinriktat, det skall gå att applicera i verkligheten.
- Ja det är viktigt att information sprids.
- Positivt inställd. En positiv sak att uppdatera branschen, men max 2 dagar.
- Idén är bra men de som arbetar på fältet skall vara drivande.
- Positivt, högskolor och universitet bör föra ut och informera när ny teknik tas fram. Ett genomgående problem i branschen är att nätverkens spridning är olika bra.
- Tror absolut att det är ett bra sätt att sprida kunskap.
- Det kan vara värdefullt för projektledare men får inte vara detaljplock. Konsulter lär sig i projekten. Svårt att uttala sig om men vore bra med regelbundet återkommande info

- Det hade varit bra. Det är viktigt att få så bra information som möjligt om för och nackdelar med olika metoder.
- Det finns ett gap mellan SGF och BeFo. Skulle vilja se en uppluckring mellan dem och därför få information om hela paketet jord-berg-vatten-miljö.
- Det är bra. I Danmark har de liknande kurser via olika föreningar.
- Väldigt positivt. Problemet är att kurser oftast hamnar i Stockholm. Norska bergsambundet har kurser på olika platser runt om i Norge. Absolut inte mer än 1-2 dagar.

Är projekten oftast för optimistiska vad gäller den totala kostnaden? Om så hur är din uppfattning om vilka delar i ett projekt som det sparas in på?

- Tror att något som man förbiser är att samordning tar längre tid än beräknat. Ju större projekt desto större tröghet. Pris sätts ofta baserat på bästa värden.
- Tror att underskattningen av kostnaden efter förundersökningsfasen är för att komma vidare. Tror att man är optimistisk. Får vara medveten om att det alltid är en risk att bygga i berg. Entreprenören försöker alltid att utnyttja de fall då prognosen inte stämmer. Det gäller att fördela riskerna mellan de olika parterna.
- Det finns en mängd olika skäl, marknadssituation, förändringar i projektet men det finns ingen medvetenhet att gå in med låga kostnader.
- Det är entreprenörens uppgift att räkna så billigt som möjligt. Förundersökningar hålls ned för att hålla kostnaderna nere d.v.s. en suboptimering av varje del i projektet.
- Projektet har fått en preliminär budget för att göra förstudie och den slutliga budgeten är inte gjord.
- Man handlar alltid upp det billigaste.

Vad är dina synpunkter angående någon typ av standardisering av förundersökningsmetodernas rapportering?

- Metoderna är standardiserade men även rapporteringen borde standardiseras. Tycker att Banverket har bra specificering hur rapporteringen skall ske (TK-tunnel)
- Tveksam till att det går. Förordar att inte rota i detta utan redovisa resultaten utan tolkning.
- Följer ISRM och gör 3D-modell.

Hur uppfattar du entreprenadformens betydelse för förundersökningarnas utformning?

- Om man har en utförandeentreprenad så gäller att man är säker på hur berget ser ut om man däremot går med löpande räkning måste man vara medveten om de kostnader det kan innebära.

- Tror att det även spelar roll då det gäller riskbedömningen. Det görs mer förundersökningar i en generalentreprenad än i en totalentreprenad där man försöker spara mer. Tror att en generalentreprenad är att föredra då det byggs i berg och beställaren har en möjlighet att gå in under projektet och påverka.
- De kontraktuella formerna har betydelse för förundersökningarnas utformning.
- Den har betydelse men undersökningsmängden är den samma
- Svårt att svara på. Det borde vara så att ju större ansvar man lägger på entreprenören desto mer behöver undersökas för att minimera diskussioner och tvister. Ju mer risk som läggs på beställare desto mindre behöver förundersökas.
- Entreprenadformen kommer att betyda mycket för samarbetet
- Då det gäller bergtunnlar anser många att en utförandeentreprenad är bäst men det borde gå lika bra med en totalentreprenad.
- Beställarens ansvar är undermarksbiten.
- Det är jätteviktigt. Utvecklingen går mot totalentreprenad

Hur skall en projektorganisation byggas upp för att optimera förundersökningar?

- Samverkansprojekt
- Det viktigaste är att man har respekt för de olika parternas kunskap och att man har ett bra diskussionsklimat. Det viktigaste är att det finns en kompetens hos beställaren.
- Generellt en beställare med egen hög kompetens, alla risker hamnar hos beställaren. Tydliga roller och beställarnärvaro under hela projektet. Projektör tar fram bygghandlingar och skall vara med under byggskedet. Bra kommunikation. Viktigt med kontinuitet.
- Beställaren måste vara kompetent så den vet vad som skall beställas. Konsulterna måste vara kompetenta och intresserade att ta åt sig ny teknik.
- En viktig fråga är hur mycket beställaren är med i besluten om vad som förundersökningen skall innehålla.
- Det är viktigt att alla vet vem som gör vad, vilka som tar beslut osv. Vem är riskansvarig, beställare, entreprenör eller hur skall risker hanteras. Detta får inte vara oklart. En grad av riskvärdering i förundersökningarna är viktig.
- Samverkansprojekt verkar bra. Ur erfarenhetssynpunkt är det bra för konsulten eftersom de även får se byggskedet. Underentreprenörerna har det svårare men det beror mycket på bygglidarens kompetens då det gäller informationsspridning.

Övriga allmänna synpunkter som framkom under intervjuerna

- För entreprenören har det varit värdefullt med samverkansprojekt men vet inte om konsulten tycker det samma eftersom de får en person låst under projekttiden. Viktigt hur kontraktet utformas.

- Tveksam till geoelektrik, den är svårtolkad.
- Förundersökningarna är en del av förarbetet inför planeringen I avtalen gäller det att täcka de risker som finns. I avtalen skall riskerna täckas så att beställare och entreprenör arbetar mot samma mål. Bergets risk ligger alltid hos beställaren.
- Om problem uppstår kan vara brist på information eller fel på modellerna och är det fel på modellerna så spelar det ingen roll hur mycket data det finns. Det stora problemen i de svenska tunnelprojekten är främst vatten problematiken och kunde vi med hjälp av förundersökningar kunna hitta och lösa dessa vore det bra.
- Vi måste göra seismik för att förstå att här fungerar inte seismik.
- Det krävs en kunnig beställare så att han får det han vill ha och inte det som konsulterna har hemma. Att göra de rätta prognoserna utifrån de utförda undersökningarna är det svåra.
- De bästa metoderna att bedöma bergkvalitet och vattenproblem är för berg resistivitetsundersökningar och då det gäller vatten är det flowlog och provpumpningar
- När man undersökt så mycket så att man kan göra sin budget är man i princip färdig. I sedimentär berggrund är hydrologin och vad som händer i produktionen det som är problemen.
- I ett tidigt skede av ett projekt skall en riskanalys genomföras av erfarna personer.
- För byggaren är det oförutsedda vatteninläckaget det som oftast gör att det blir avbrott i arbetskedjan och omförhandlingar med miljödomstolen och inte så mycket kunnandet att hantera problemet.
- Förundersökningar sker kanske ofta slentrianmässigt.
- Något man kan förbättra under förundersökningarna är det strategiska tänkandet, d.v.s. riskmanagement. Hur skall vi hitta riskzonerna? Förundersökningsresultatet inte tolkningen skall ligga i en databas som är tillgänglig för alla i projektet under hela projekttiden.
- En fördel i citytunnelprojektet var att de i teknikgruppen fick arbeta ifred att lösa problemen när de uppstod istället för att det blev diskussioner om vad som var fel.
- ”Om man utför ett extra borrhål som visar att berget är bra så kan det av projektledaren uppfattas som om det var ett onödigt borrhål men det är viktigt att komma ihåg att det gav information om bergets kvalitet.”
- Tiden är en stor kostnadsdrivande faktor.
- ”Om man varit med om att genomföra geofysik och detta inte fungerade kommer detta att följa med.”

G. Enkätfrågor till intervjupersoner

Förutom de frågor som diskuterades under intervjun (se bilaga E) ombads de olika intervjupersonerna att besvara nedanstående frågeformulär.

Vilka av följande förundersökningsmetoder känner du till (praktiskt eller teoretiskt)? Du kan markera högst två alternativ per metod.

0 – Känner ej till

1 – Kan grunderna, vet vad det handlar om

2 – Har arbetat med tolkade resultat

3 – Har själv utfört och/eller tolkat

0 1 2 3

Kärnbörning

Annan undersökningsbörning

Specificera: _____

Jb-sondering

Annan geoteknisk sondering. t.ex. CPT

Specificera: _____

Provpumpning/brunnstester

Borrhålsloggning

Specificera: _____

Sprickkartering

Refraktionsseismik

Reflektionsseismik

Ytvågsseismik (MASW)

Elektromagnetisk resistivitetskartering

Specificera: _____

Resistivetsprofilering

Gravimetri

Magnetometri

Georadar

Spårämnesundersökningar

Specificera: _____

Laserskanning för topografi

Flygfotoqrammetri

Annat (specificera)

Specificera: _____

**På den nivå du arbetat med respektive metod: Hur lätt är det att använda resultaten i projektet?
Du kan markera högst två alternativ per metod.**

- 0 – Har ej arbetat med detta/har ingen åsikt
1 – Lätt att arbeta med, lätt att använda resultat
2 – Kan vara komplext, varierar från fall till fall
3 – Alltid komplicerat och svårtillgängligt

	0	1	2	3
Kärnbörning	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Annan undersökningsbörning	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Specificera: _____				
Jb-sondering	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Annan geoteknisk sondering. t.ex. CPT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Specificera: _____				
Provpumpning/brunnstester	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Borrhålslogning	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Specificera: _____				
Sprickkartering	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Refraktionsseismik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reflektionsseismik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ytvågsseismik (MASW)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektromagnetisk resistivitetskartering	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Specificera: _____				
Resistivetsprofilering	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gravimetri	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Magnetometri	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Georadar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spårämnesundersökningar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Specificera: _____				
Laserskanning för topografi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Flygfotoqrammetri	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Annat (specificera)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Specificera: _____				

Hur bedömer du värdet av följande förundersökningsmetoder?

- 0 – Har ej arbetat med detta/har ingen åsikt
 1 – Har litet eller inget värde
 2 – Har visst värde
 3 – Kan ha avgörande betydelse

	0	1	2	3
Kärnbörning	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Annan undersökningsbörning	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Specificera: _____				
Jb-sondering	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Annan geoteknisk sondering. t.ex. CPT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Specificera: _____				
Provpumpning/brunnstester	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Borrhålsloggning	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Specificera: _____				
Sprickkartering	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Refraktionsseismik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reflektionsseismik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ytvågsseismik (MASW)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektromagnetisk resistivitetskartering	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Specificera: _____				
Resistivetsprofilering	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gravimetri	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Magnetometri	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Georadar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spårämnesundersökningar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Specificera: _____				
Laserskanning för topografi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Flygfotoqrammetri	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Annat (specificera)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Specificera: _____				

I vilken omfattning har du använt SGU:s kartor (papperskartor eller digitala) samt övrigt material

0 – Inte alls

1 – Någon enstaka gång

2 – Flera gånger, periodvis

3 – Mycket ofta

	0	1	2	3
Jordartskartor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Berggrundskartor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beskrivningar till ovanstående	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Grundvattenkartor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Brunnsarkiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Geofysiska kartor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Har du i samband varit i kontakt med personal från SGU för att få information om specifika frågeställningar	<input type="checkbox"/>	Ja	<input type="checkbox"/>	Nej

I vilken mån ingick följande material i förundersökningarna?

0 – Vet ej

1 – Inte alls, fanns ej

2 – Enstaka referenser

3 – Ofta, återkommande referenser

4 – Grundläggande, större delen baserad på detta

	0	1	2	3	4
Tidigare utredningar i/för andra projekt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
För projektet beställda undersökningar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Forskningsresultat (publicerade)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Annat:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Specifika:					

H. Enkätfrågor för webbenkäten

Webbenkäten hade följande utformning. 62 svar inkom, 50 personer svarade på hela enkäten.

Om undersökningen

Undersökningen är uppdelad i sex sektioner samt en inledande del där vi vill veta lite om dej och din yrkesroll. Inga resultat varken i denna sektion eller de andra kan kopplas till din identitet, svaren är helt anonyma.

De första fyra sektionerna efter inledningen handlar om hur väl du tycker dig känna till några olika förundersökningsmetoder och vad du anser om dem. Därefter följer två mycket korta sektioner som handlar om hur du använder övrigt material och SGU:s kartor.

Efter varje sektion skickar du in svaren till databasen genom att klicka på knappen "Skicka" nederst på sidan. Alla frågor ska besvaras, har du glömt någon fråga får du en påminnelse innan du kan gå vidare till nästa sektion.

Det hela bör ta omkring 12-15 minuter. Tack för att du medverkar!

Om dej

1. Hur skulle du bäst beskriva din nuvarande yrkesroll? *

- 1 Entreprenör/byggare: Byggplats
- 2 Entreprenör/byggare: Kontor
- 3 Konsult: Ekonomi, kalkyl
- 4 Konsult: Konstruktion, design
- 5 Konsult: Fältarbete, kartering
- 6 Beställare: Nybyggnad, planering
- 7 Beställare: Förvaltning, underhåll
- 8 Myndighet: Tillståndsgivare, kontrollant
- 9 Forskare, doktorand
- 10 Annat

2. Hur stor del av din arbetstid har du i genomsnitt lagt på arbeten relaterade till tunnlar och berg- rum det senaste året? *

- 1 mellan 0-10 %
- 2 mellan 10-50 %
- 3 mellan 50-75 %
- 4 mellan 75-99 %
- 5 mellan 100 %

3. Vilka roller har du tidigare arbetat i längre än ett år? Du kan markera flera alternativ. *

- 1 Entreprenör/byggare: Byggplats
- 2 Entreprenör/byggare: Kontor
- 3 Konsult: Ekonomi, kalkyl
- 4 Konsult: Konstruktion, design
- 5 Konsult: Fältarbete, kartering
- 6 Beställare: Nybyggnad, planering

- 7 Beställare: Förvaltning, underhåll
- 8 Myndighet: Tillståndsgivare, kontrollant
- 9 Forskare, doktorand
- 10 Annat
- 11 Har ej arbetat i andra roller än min nuvarande

4. Hur skulle du beskriva vikten av din roll i det senaste tunnelprojekt du deltog i? *

- 1 Mina beslut kunde vara avgörande för projektet
- 2 Mina beslut kunde tydligt påverka projektet
- 3 Mina beslut kunde i någon grad påverka projektet
- 4 Mina beslut hade ingen påverkan på projektet

5. Hur lång yrkeserfarenhet har du i din nuvarande roll? *

- 1 mindre än 5 år
- 2 mellan 5-10 år
- 3 mellan 10-15 år
- 4 mellan 15-20 år
- 5 mer än 20 år

6. Hur lång yrkeserfarenhet har du totalt i branschen? *

- 1 mindre än 5 år
- 2 mellan 5-10 år
- 3 mellan 10-15 år
- 4 mellan 15-20 år
- 5 mer än 20 år

7. Vilken är din högsta utbildningsnivå? *

- 1 Grundskola/motsvarande
- 2 Gymnasium/motsvarande
- 3 Grundexamen på universitet/högskola
- 4 Forskarutbildning
- 5 Annat

8. I vilket land genomförde du din högsta utbildning? *

- 1 Sverige
- 2 Annat nordiskt land än Sverige
- 3 Annat EU-land än de nordiska länderna
- 4 Annat land utanför EU. Frivilligt att ange vilket:

9. Hur gammal är du? *

- 1 under 25 år
- 2 mellan 25-35 år
- 3 mellan 35-45 år
- 4 mellan 45-55 år
- 5 mellan 55-65 år
- 6 mer än 65 år

10. Hur många arbetar i ditt företag (om koncern, ange koncernens antal anställda)? *

- 1 mellan 1-5
- 2 mellan 5-10
- 3 mellan 10-50
- 4 mellan 50-100
- 5 mellan 100-500
- 6 mer än 500

11. När deltog du senast i en branschrelaterad kompetensutvecklande utbildning kortare än en vecka? Grundutbildning som i fråga 7 räknas inte, ej heller utbildning inom t.ex. administrativa system, personalfrågor etc. *

- 1 Senaste året
- 2 mellan 1-2 år sedan
- 3 mellan 2-5 år sedan
- 4 Mer än 5 år sedan
- 5 Har aldrig gjort detta

12. När deltog du senast i en branschrelaterad kompetensutvecklande utbildning längre än en vecka? Grundutbildning som i fråga 7 räknas inte, ej heller utbildning inom t.ex. administrativa system, personalfrågor etc. *

- 1 Senaste året
- 2 mellan 1-2 år sedan
- 3 mellan 2-5 år sedan
- 4 Mer än 5 år sedan
- 5 Har aldrig gjort detta

Nästa sektion handlar om vilka förundersökningsmetoder du känner till.

Vilka av följande förundersökningsmetoder känner du till (praktiskt eller teoretiskt)? Du kan markera högst två alternativ per metod.

0 – Känner ej till

1 – Kan grunderna, vet vad det handlar om

2 – Har arbetat med tolkade resultat

3 – Har själv utfört och/eller tolkat

0 1 2 3

Kärnbörning

Annan undersökningsbörning

Specificera: _____

Jb-sondering

Annan geoteknisk sondering. t.ex. CPT

Specificera: _____

Provpumpning/brunnstester

Borrhålslogning

Specificera: _____

Sprickkartering

Refraktionsseismik

Reflektionsseismik

Ytvågsseismik (MASW)

Elektromagnetisk resistivitetskartering

Specificera: _____

Resistivetsprofilering

Gravimetri

Magnetometri

Georadar

Spårämnesundersökningar

Specificera: _____

Laserskanning för topografi

Flygfotoqrammetri

Annat (specificera)

Specificera: _____

**På den nivå du arbetat med respektive metod: Hur lätt är det att använda resultaten i projektet?
Du kan markera högst två alternativ per metod.**

- 0 – Har ej arbetat med detta/har ingen åsikt
1 – Lätt att arbeta med, lätt att använda resultat
2 – Kan vara komplext, varierar från fall till fall
3 – Alltid komplicerat och svårtillgängligt

	0	1	2	3
Kärnbörning	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Annan undersökningsbörning	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Specificera: _____				
Jb-sondering	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Annan geoteknisk sondering. t.ex. CPT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Specificera: _____				
Provpumpning/brunnstester	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Borrhålslogning	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Specificera: _____				
Sprickkartering	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Refraktionsseismik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reflektionsseismik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ytvågsseismik (MASW)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektromagnetisk resistivitetskartering	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Specificera: _____				
Resistivetsprofilering	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gravimetri	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Magnetometri	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Georadar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spårämnesundersökningar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Specificera: _____				
Laserskanning för topografi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Flygfotoqrammetri	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Annat (specificera)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Specificera: _____				

Hur bedömer du värdet av följande förundersökningsmetoder?

0 – Har ej arbetat med detta/har ingen åsikt

1 – Har litet eller inget värde

2 – Har visst värde

3 – Kan ha avgörande betydelse

	0	1	2	3
Kärnbörning	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Annan undersökningsbörning	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Specificera: _____				
Jb-sondering	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Annan geoteknisk sondering. t.ex. CPT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Specificera: _____				
Provpumpning/brunnstester	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Borrhålsloggning	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Specificera: _____				
Sprickkartering	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Refraktionsseismik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reflektionsseismik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ytvågsseismik (MASW)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektromagnetisk resistivitetskartering	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Specificera: _____				
Resistivetsprofilering	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gravimetri	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Magnetometri	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Georadar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spårämnesundersökningar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Specificera: _____				
Laserskanning för topografi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Flygfotoqrammetri	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Annat (specificera)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Specificera: _____				

I vilken omfattning har du använt SGU:s kartor (papperskartor eller digitala) samt övrigt material

0 – Inte alls

1 – Någon enstaka gång

2 – Flera gånger, periodvis

3 – Mycket ofta

0 1 2 3

Jordartskartor

Berggrundskartor

Beskrivningar till ovanstående

Grundvattenkartor

Brunnsarkiv

Geofysiska kartor

Har du i samband varit i kontakt med personal från SGU för att få information om specifika frågeställningar

 Ja Nej**I vilken mån ingick följande material i förundersökningarna?**

0 – Vet ej

1 – Inte alls, fanns ej

2 – Enstaka referenser

3 – Ofta, återkommande referenser

4 – Grundläggande, större delen baserad på detta

0 1 2 3 4

Tidigare utredningar i/för andra projekt

För projektet beställda undersökningar

Forskningsresultat (publicerade)

Annat:

Specifi-

cera:

Användning av vissa förundersökningsmetoder

Här vill vi veta hur ofta du använder resultat från olika förundersökningsmetoder. Utgå från din nuvarande situation. Om du själv utför undersökningarna, men inte direkt använder resultaten, svara som om du skulle vara en användare.

1. Hur ofta använder du resultat från kärnborrning i ditt nuvarande arbete? *

- 0 - Har aldrig arbetat med detta
- 1 - Sällan, vid enstaka tillfällen
- 2 - Ibland, inte ovanligt
- 3 - Ofta, rutinmässigt

2. Hur ofta använder du resultat från annan undersökningsborrning än kärnborrning i ditt nuvarande arbete? *

- 0 - Har aldrig arbetat med detta
- 1 - Sällan, vid enstaka tillfällen
- 2 - Ibland, inte ovanligt
- 3 - Ofta, rutinmässigt

3. Hur ofta använder du resultat från Jb-sondering i ditt nuvarande arbete? *

- 0 - Har aldrig arbetat med detta
- 1 - Sällan, vid enstaka tillfällen
- 2 - Ibland, inte ovanligt
- 3 - Ofta, rutinmässigt

4. Hur ofta använder du resultat från annan geoteknisk sondering än Jb-sondering (t.ex. CPT) i ditt nuvarande arbete? *

- 0 - Har aldrig arbetat med detta
- 1 - Sällan, vid enstaka tillfällen
- 2 - Ibland, inte ovanligt
- 3 - Ofta, rutinmässigt

5. Hur ofta använder du resultat från provpumpning/brunnstester i ditt nuvarande arbete? *

- 0 - Har aldrig arbetat med detta
- 1 - Sällan, vid enstaka tillfällen
- 2 - Ibland, inte ovanligt
- 3 - Ofta, rutinmässigt

6. Hur ofta använder du resultat från borrhålsloggning i ditt nuvarande arbete? *

- 0 - Har aldrig arbetat med detta
- 1 - Sällan, vid enstaka tillfällen
- 2 - Ibland, inte ovanligt
- 3 - Ofta, rutinmässigt

7. Hur ofta använder du resultat från sprickkartering i ditt nuvarande arbete? *

- 0 - Har aldrig arbetat med detta
- 1 - Sällan, vid enstaka tillfällen

- 2 - Ibland, inte ovanligt
- 3 - Ofta, rutinmässigt

8. Hur ofta använder du resultat från refraktionsseismik i ditt nuvarande arbete? *

- 0 - Har aldrig arbetat med detta
- 1 - Sällan, vid enstaka tillfällen
- 2 - Ibland, inte ovanligt
- 3 - Ofta, rutinmässigt

9. Hur ofta använder du resultat från reflektionsseismik i ditt nuvarande arbete? *

- 0 - Har aldrig arbetat med detta
- 1 - Sällan, vid enstaka tillfällen
- 2 - Ibland, inte ovanligt
- 3 - Ofta, rutinmässigt

10. Hur ofta använder du resultat från elektromagnetisk resistivitetskartering i ditt nuvarande arbete? *

- 0 - Har aldrig arbetat med detta
- 1 - Sällan, vid enstaka tillfällen
- 2 - Ibland, inte ovanligt
- 3 - Ofta, rutinmässigt

11. Hur ofta använder du resultat från resistivetsprofilering (DC) i ditt nuvarande arbete? *

- 0 - Har aldrig arbetat med detta
- 1 - Sällan, vid enstaka tillfällen
- 2 - Ibland, inte ovanligt
- 3 - Ofta, rutinmässigt

12. Hur ofta använder du resultat från gravimetri i ditt nuvarande arbete? *

- 0 - Har aldrig arbetat med detta
- 1 - Sällan, vid enstaka tillfällen
- 2 - Ibland, inte ovanligt
- 3 - Ofta, rutinmässigt

13. Hur ofta använder du resultat från magnetometri i ditt nuvarande arbete? *

- 0 - Har aldrig arbetat med detta
- 1 - Sällan, vid enstaka tillfällen
- 2 - Ibland, inte ovanligt
- 3 - Ofta, rutinmässigt

14. Hur ofta använder du resultat från ytvågsseismik (MASW) i ditt nuvarande arbete? *

- 0 - Har aldrig arbetat med detta
- 1 - Sällan, vid enstaka tillfällen
- 2 - Ibland, inte ovanligt
- 3 - Ofta, rutinmässigt

15. Hur ofta använder du resultat från georadar/markradar i ditt nuvarande arbete? *

- 0 - Har aldrig arbetat med detta
- 1 - Sällan, vid enstaka tillfällen
- 2 - Ibland, inte ovanligt
- 3 - Ofta, rutinmässigt

16. Hur ofta använder du resultat från spårämnesundersökningar i ditt nuvarande arbete? *

- 0 - Har aldrig arbetat med detta
- 1 - Sällan, vid enstaka tillfällen
- 2 - Ibland, inte ovanligt
- 3 - Ofta, rutinmässigt

17. Hur ofta använder du resultat från flygburen laserskanning för topografi i ditt nuvarande arbete? *

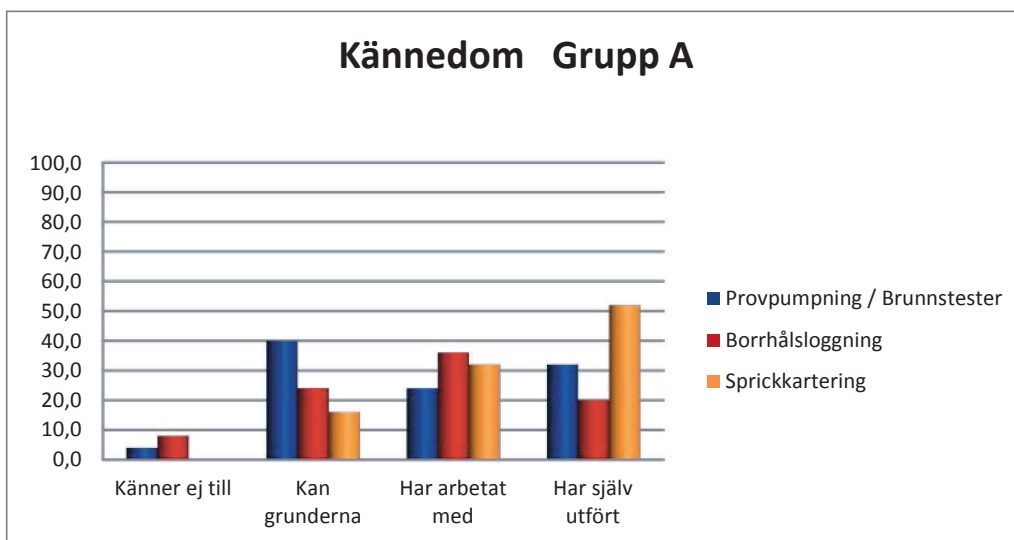
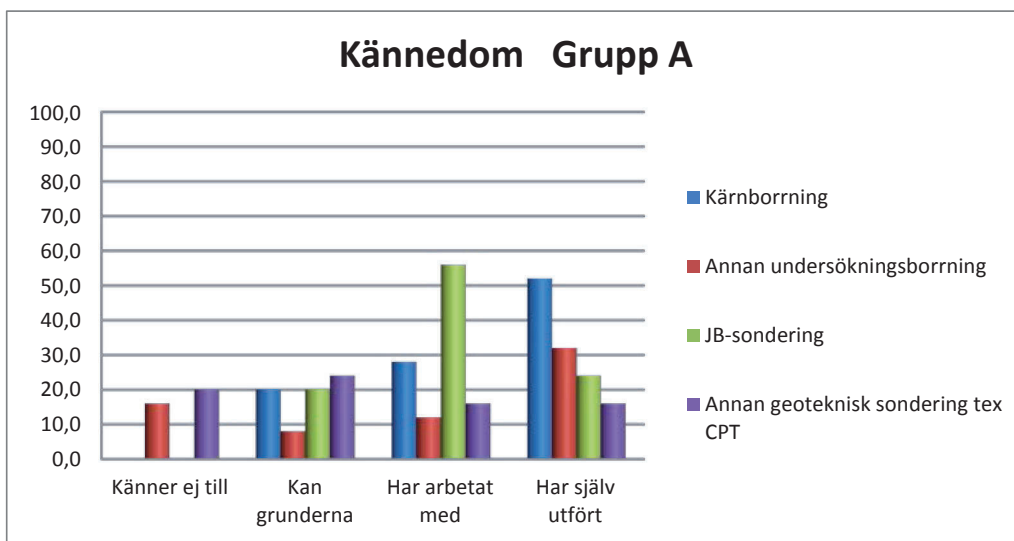
- 0 - Har aldrig arbetat med detta
- 1 - Sällan, vid enstaka tillfällen
- 2 - Ibland, inte ovanligt
- 3 - Ofta, rutinmässigt

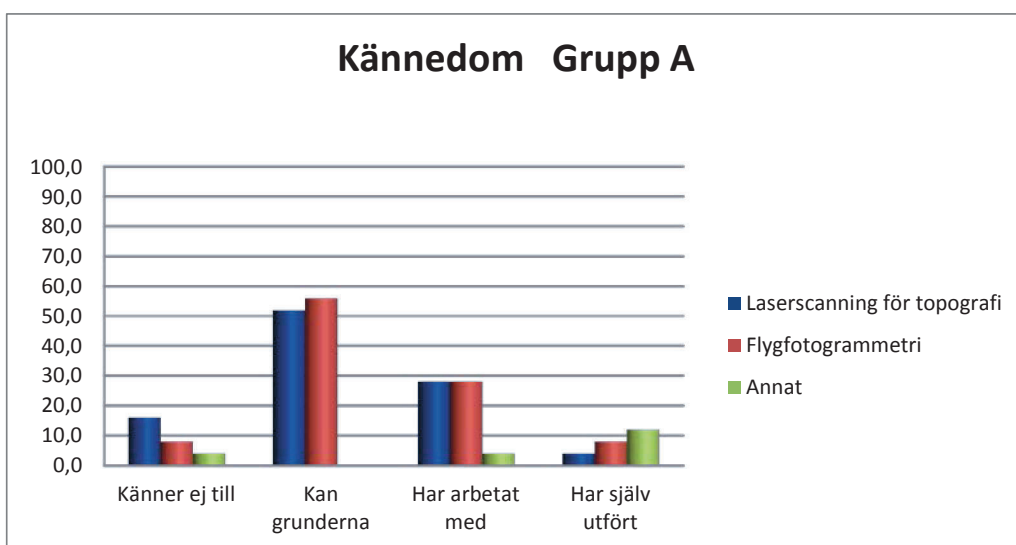
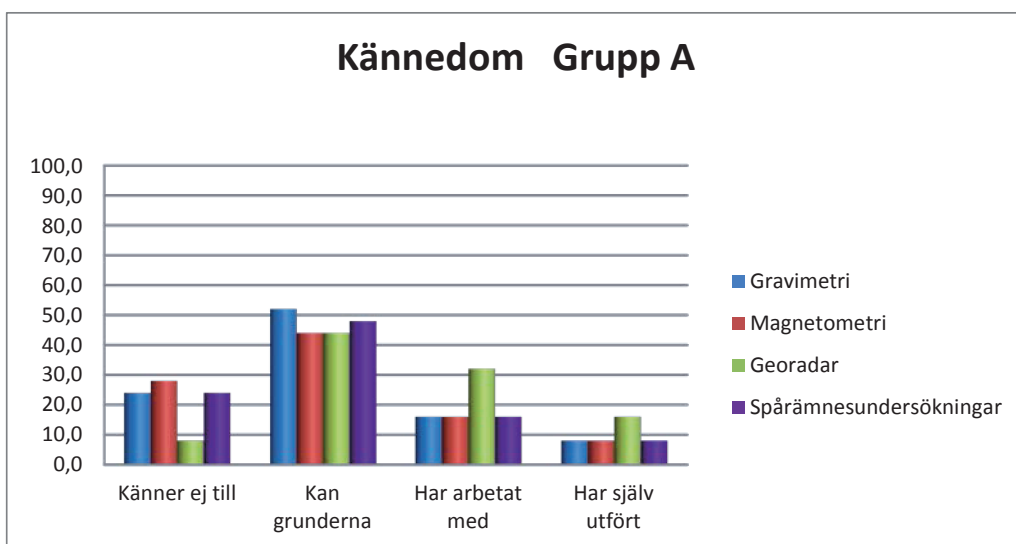
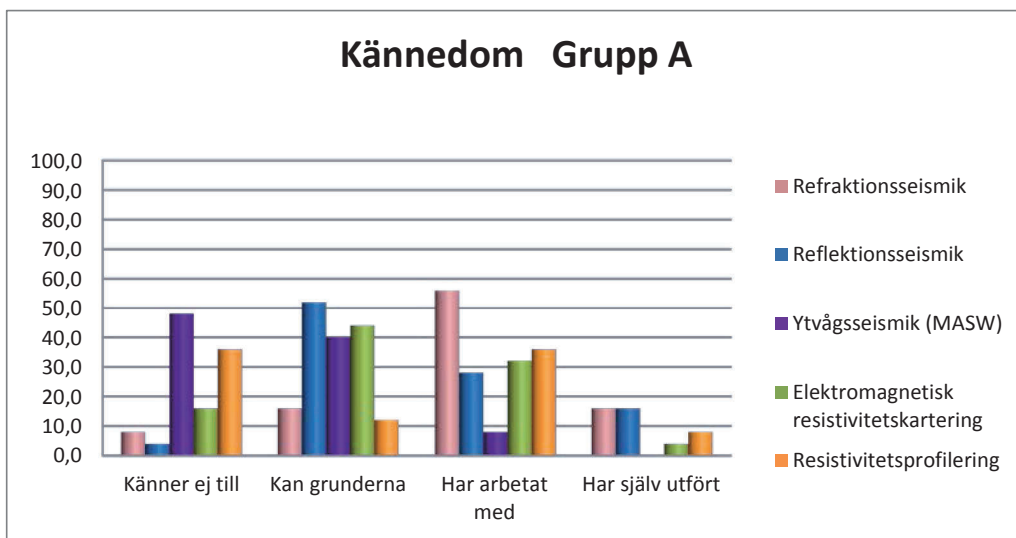
18. Hur ofta använder du resultat från flygfotogrammetri i ditt nuvarande arbete? *

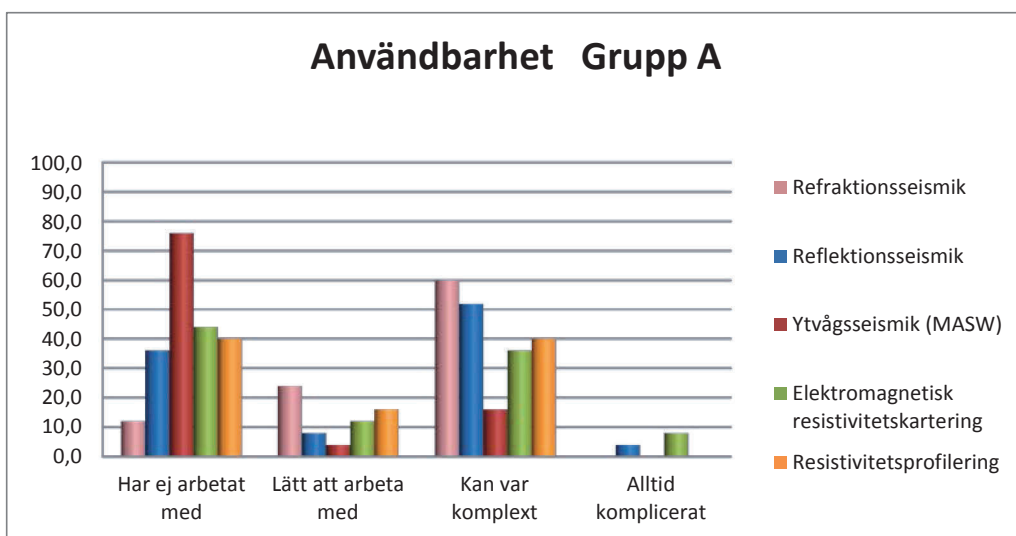
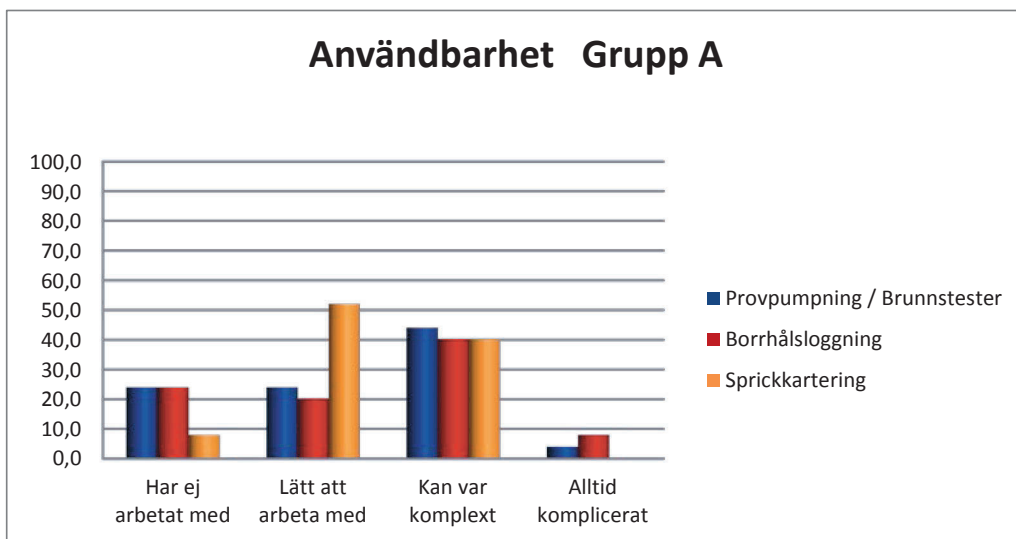
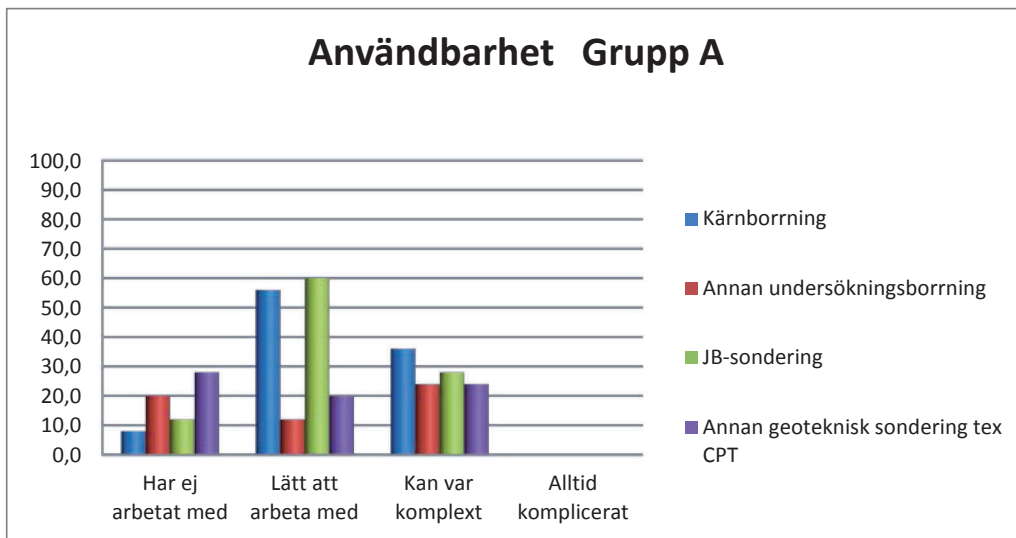
- 0 - Har aldrig arbetat med detta
- 1 - Sällan, vid enstaka tillfällen
- 2 - Ibland, inte ovanligt
- 3 - Ofta, rutinmässigt

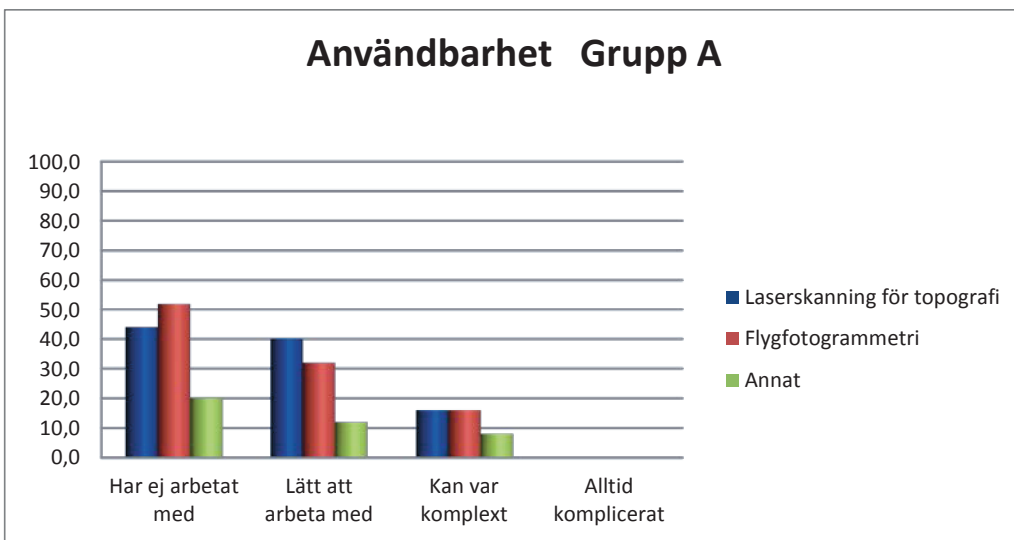
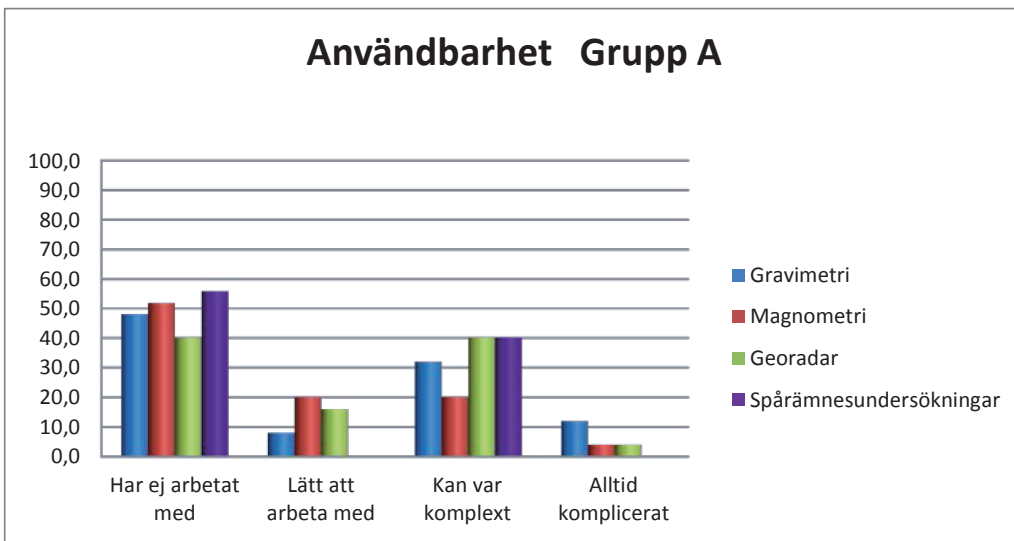
I. Enkät svar från intervju personer

Här redovisas i diagramform svaren från de intervjuade samt ytterligare några med motsvarande erfarenhet; gruppen kallas Grupp A. Skalan på y-axeln är procent av svaren. Antal svar är 25.

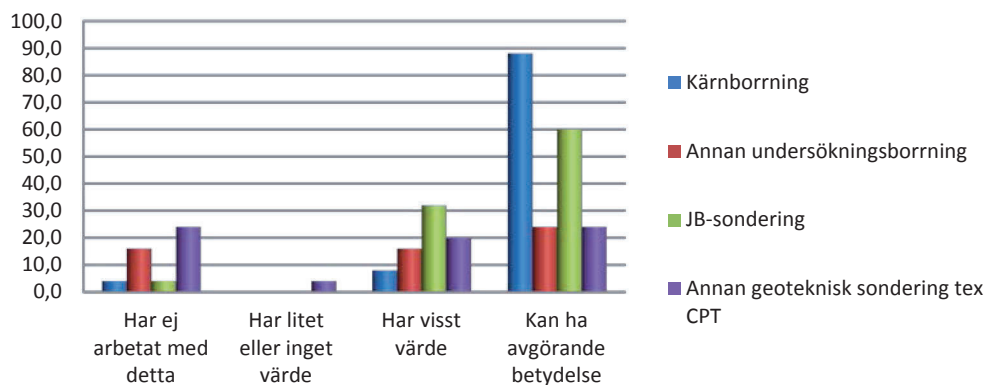




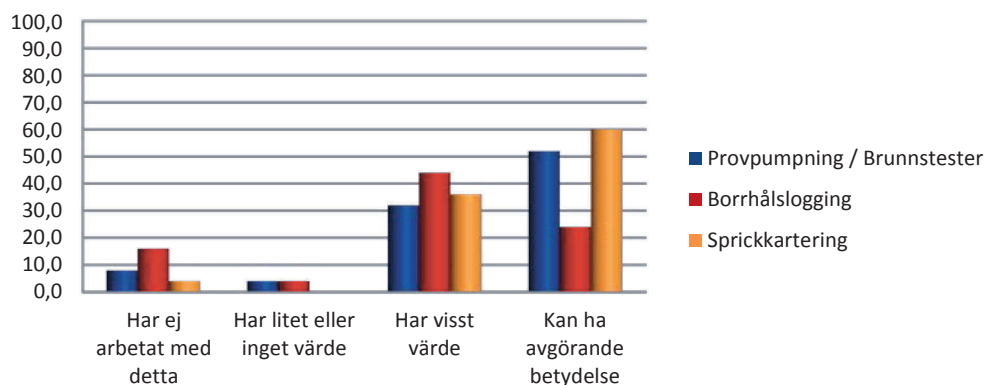




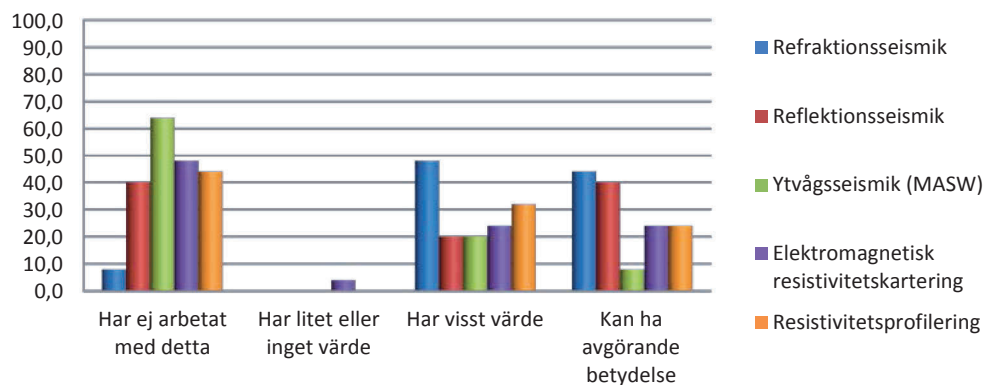
Värdet Grupp A

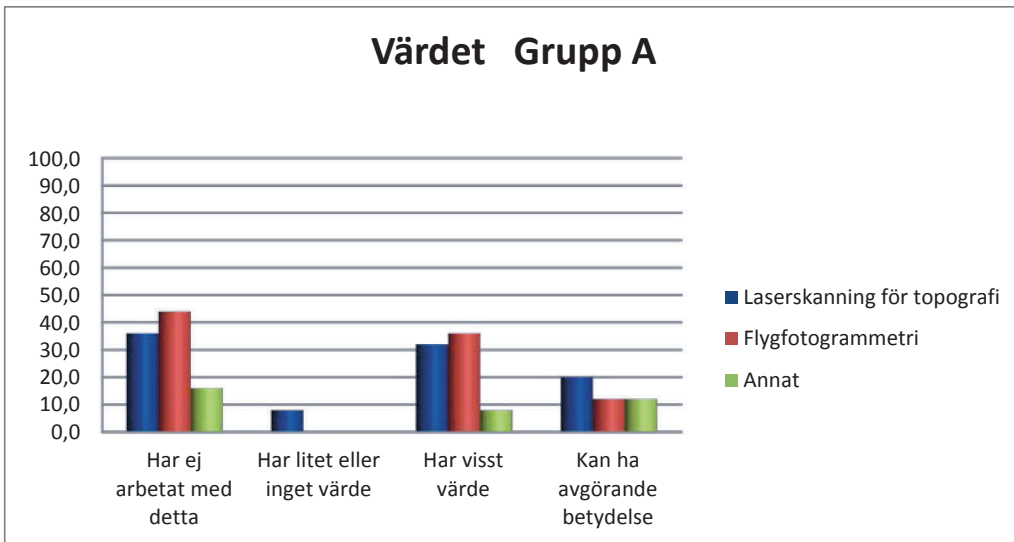
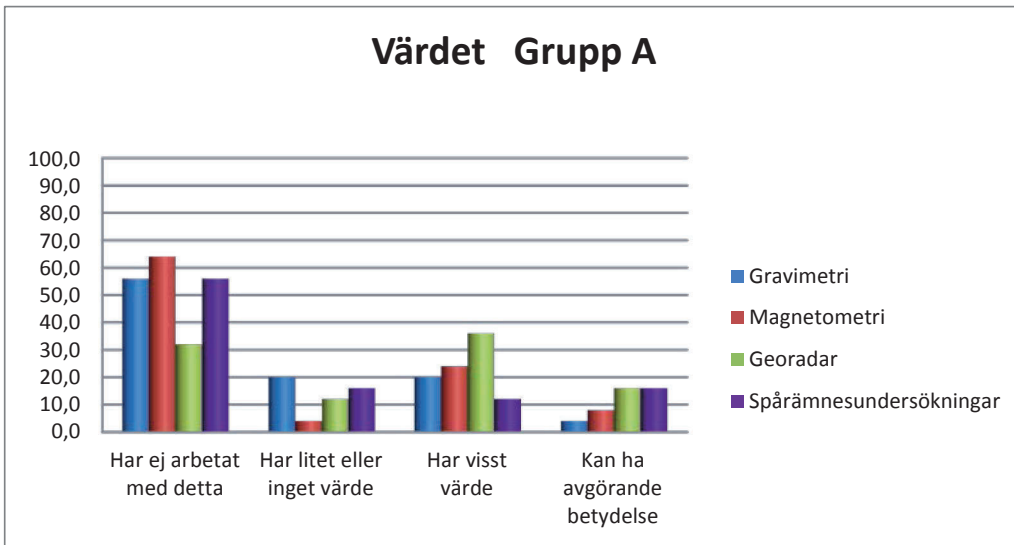


Värdet Grupp A

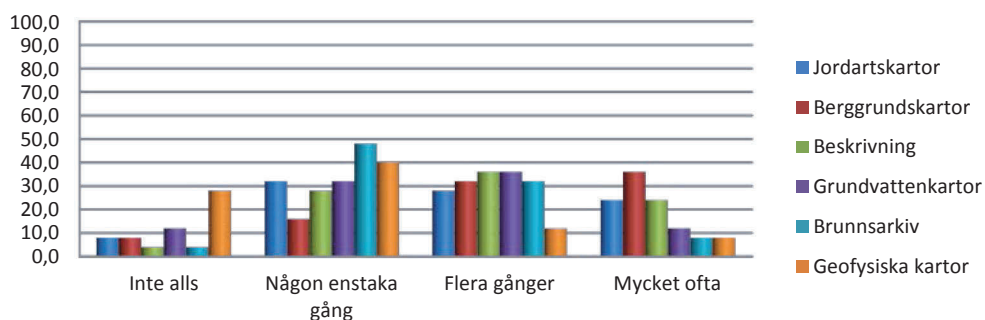


Värdet Grupp A

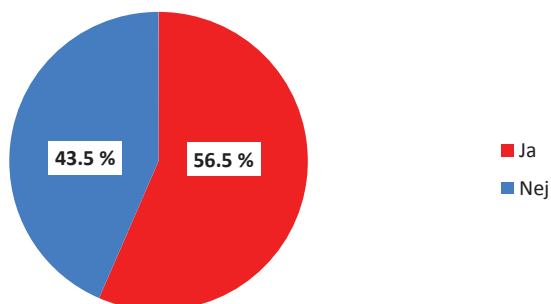




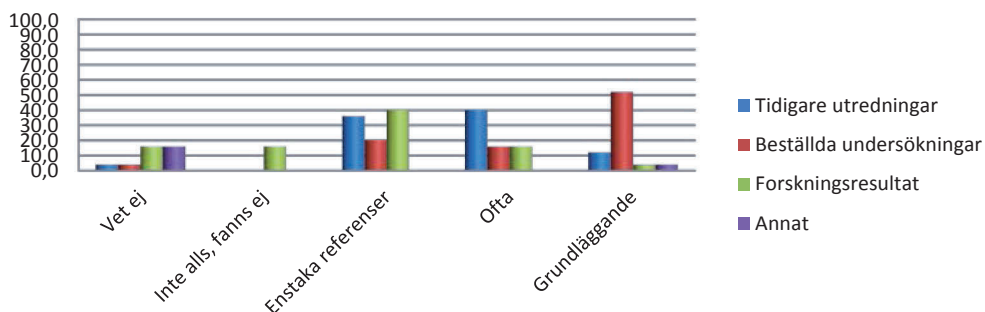
I vilken omfattning har du använt SGU:s kartor Grupp A



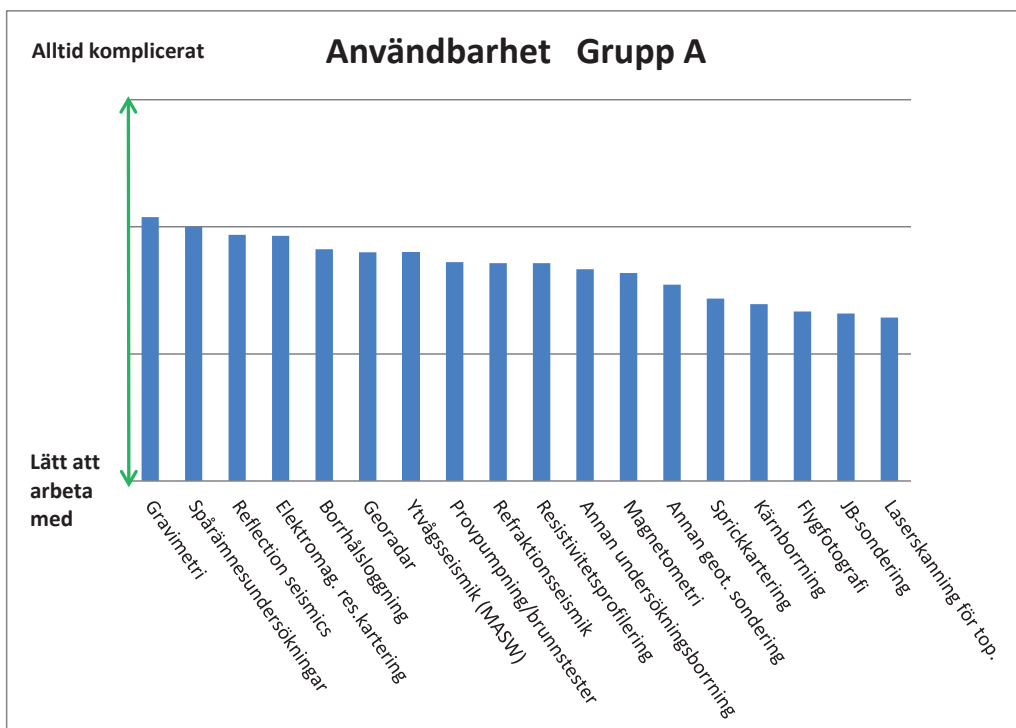
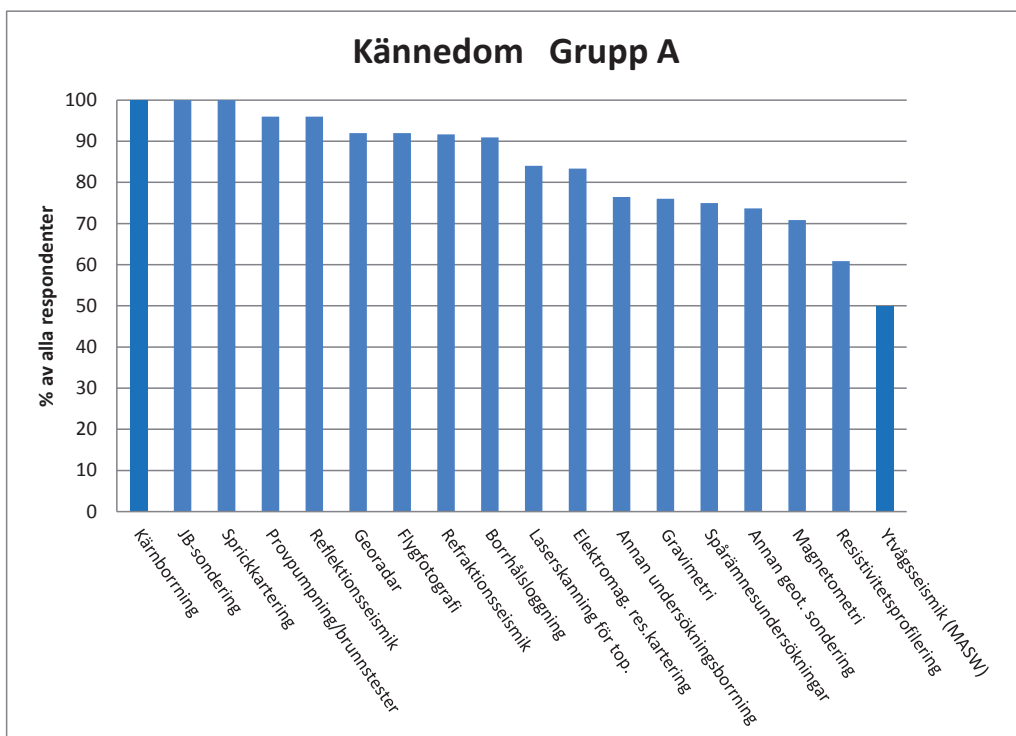
Har du varit i kontakt med personal på SGU (Grupp A)

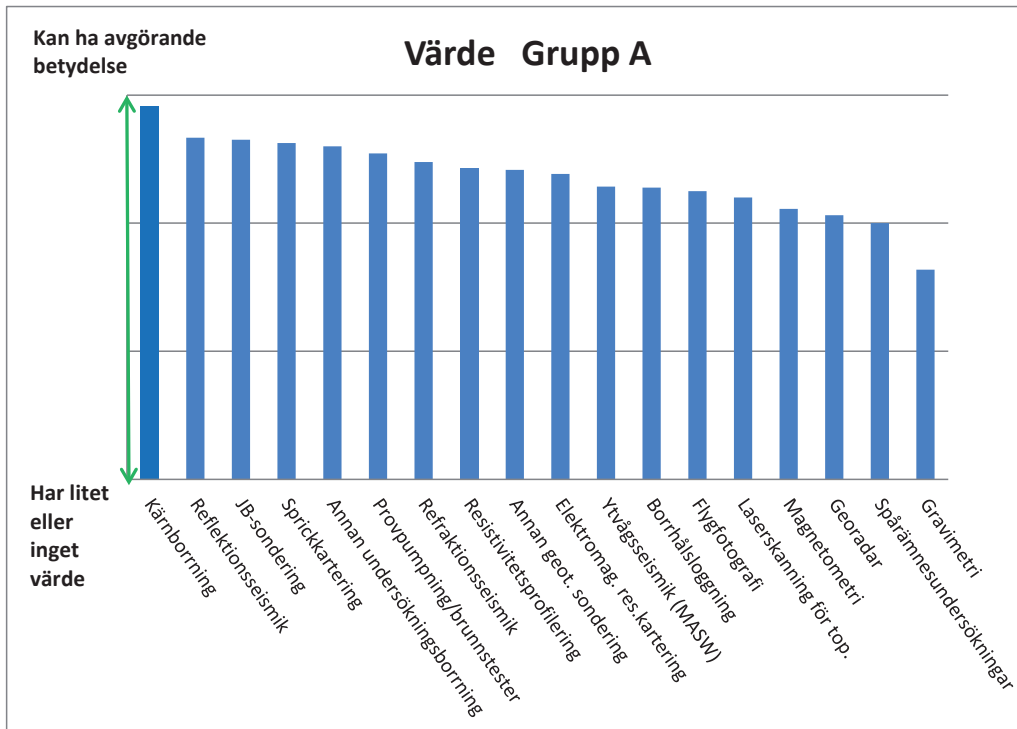


I vilken mån ingick följande mtrl i förundersökningarna Grupp A



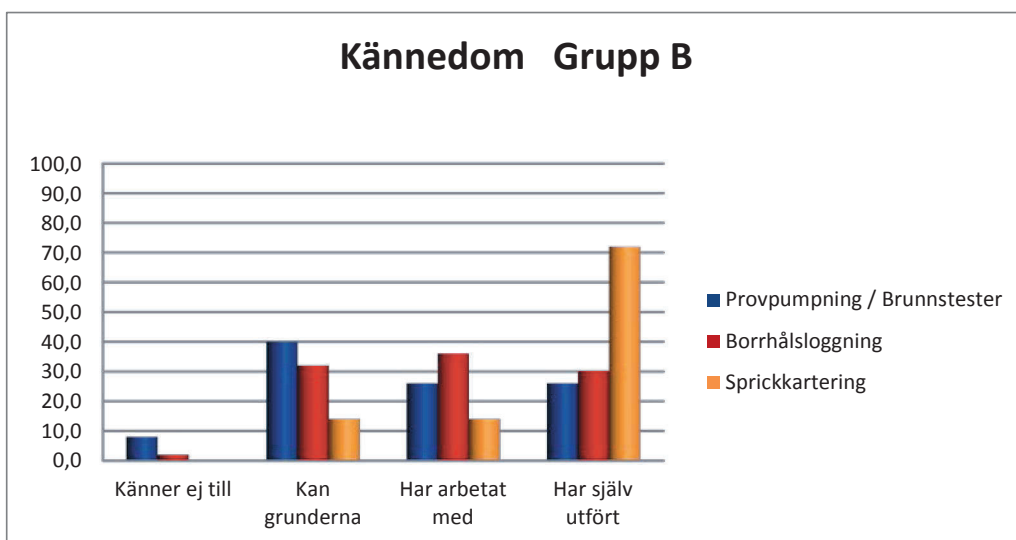
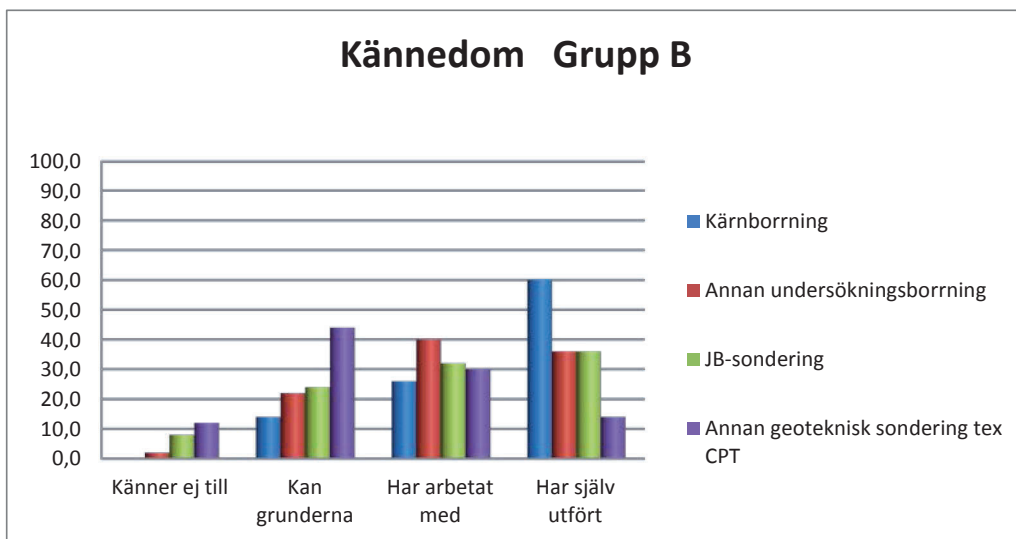
I de följande diagrammen har endast de som har angivit att de känner till respektive metod tagits med.

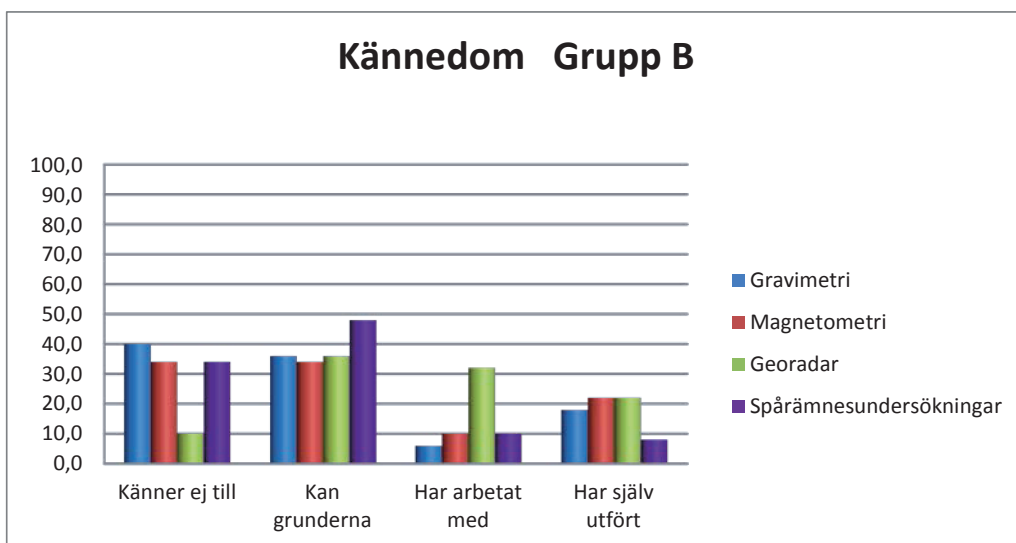
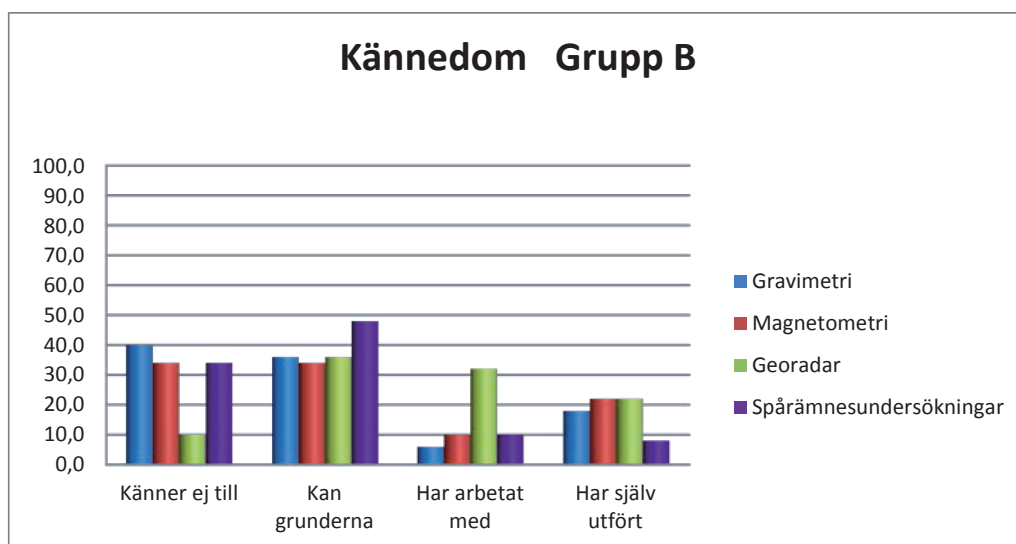
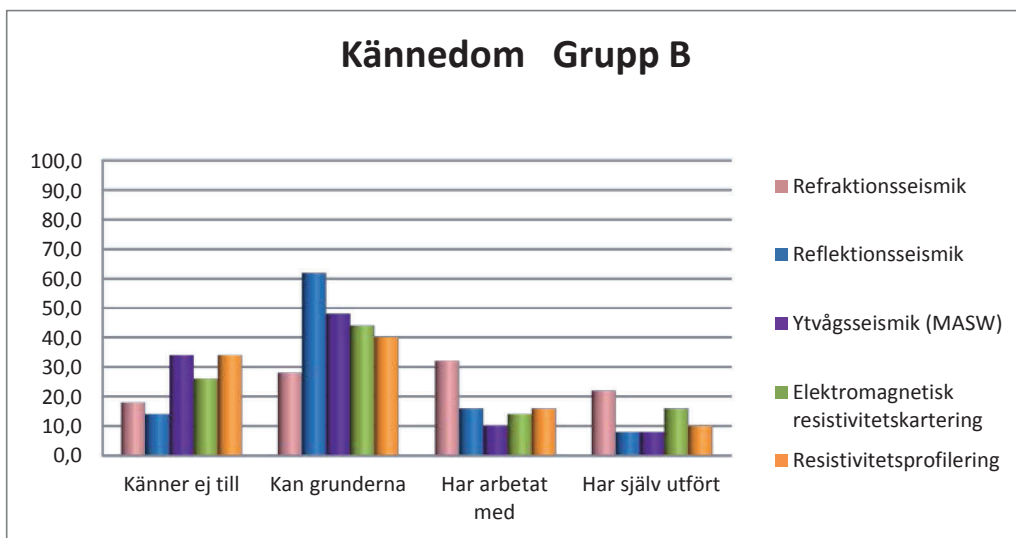


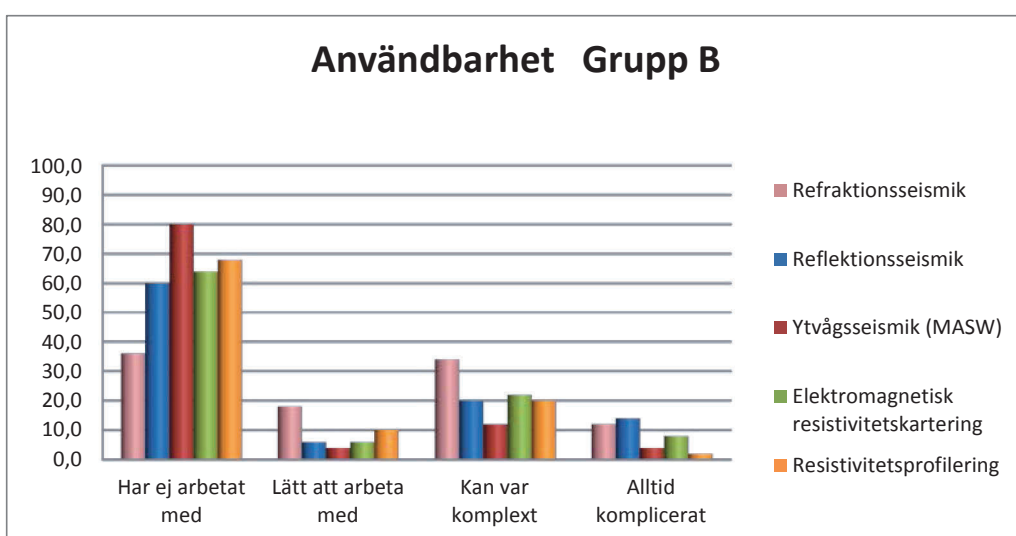
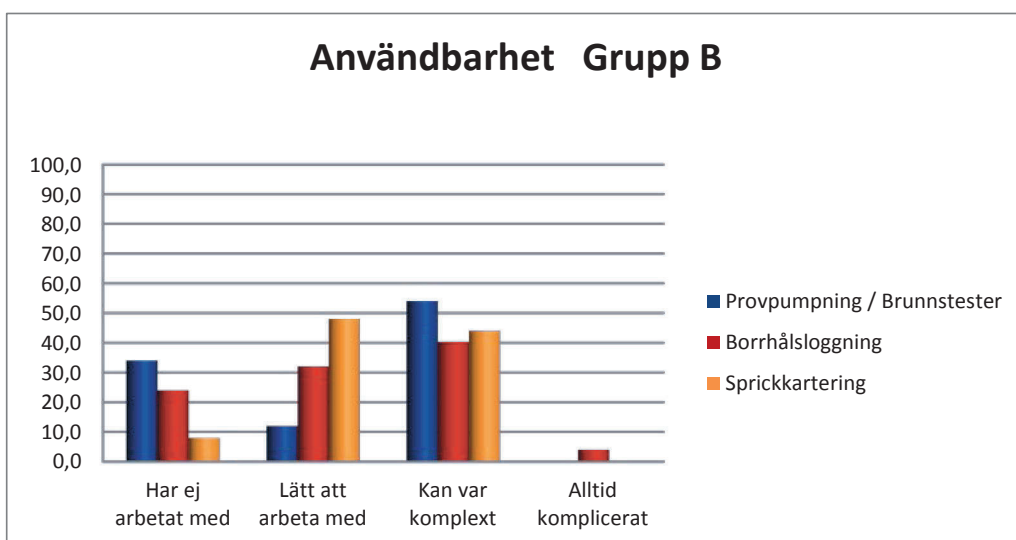
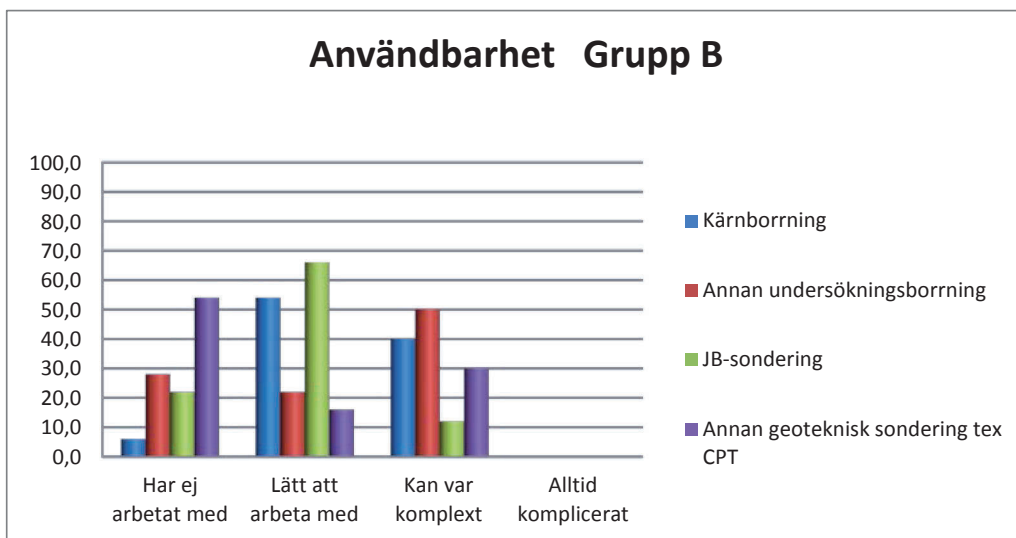


J. Enkät svar från webbenkäten

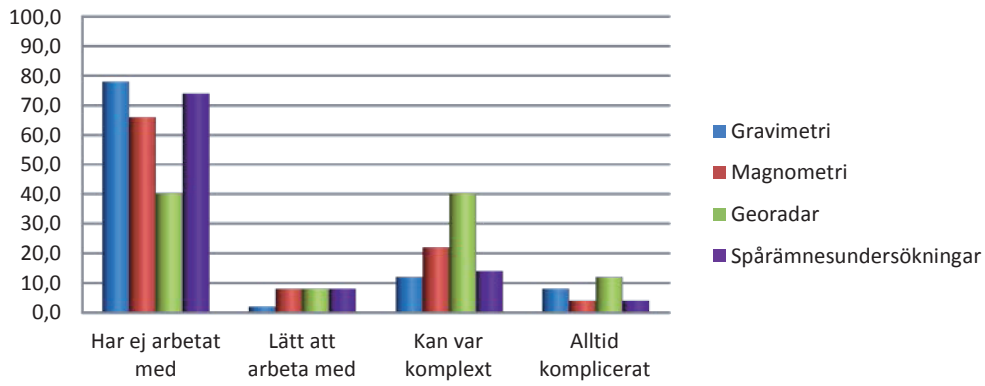
Här redovisas i diagramform svaren från webbenkäten, Grupp B. Skalan på y-axeln är procent av svaren. Antal svar är 50.



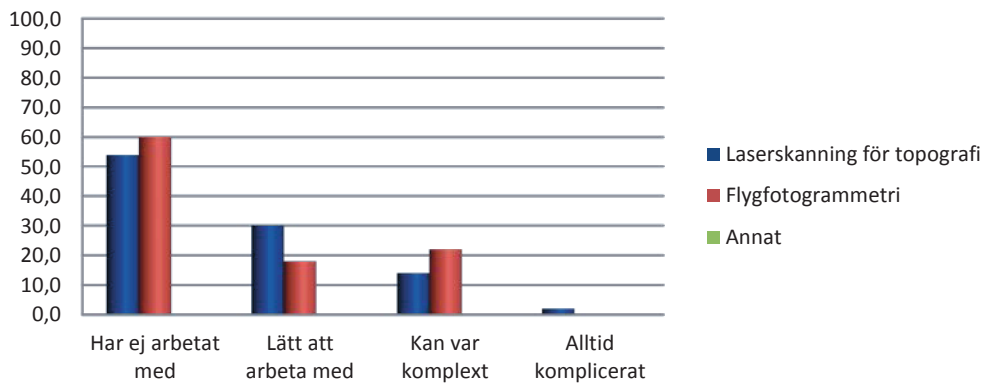


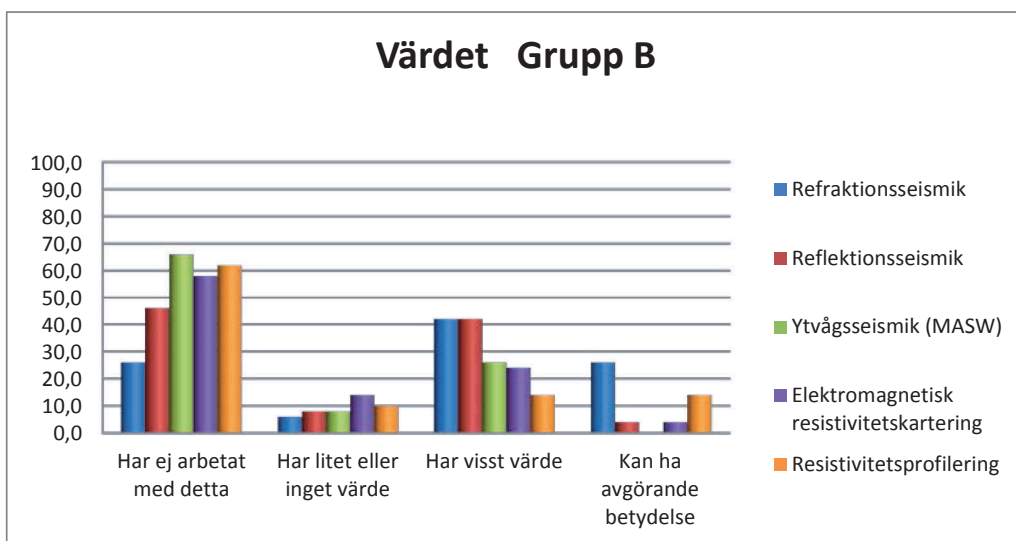
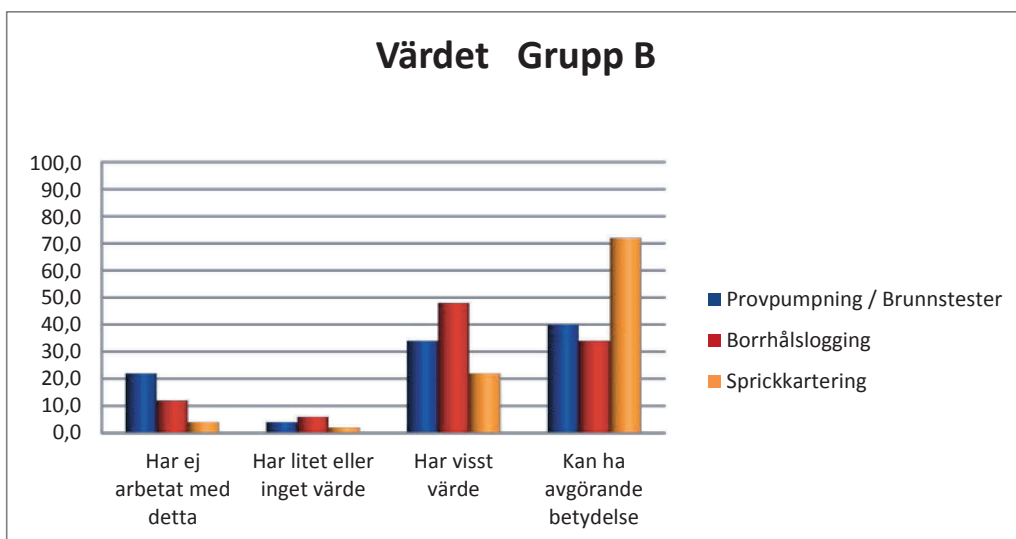
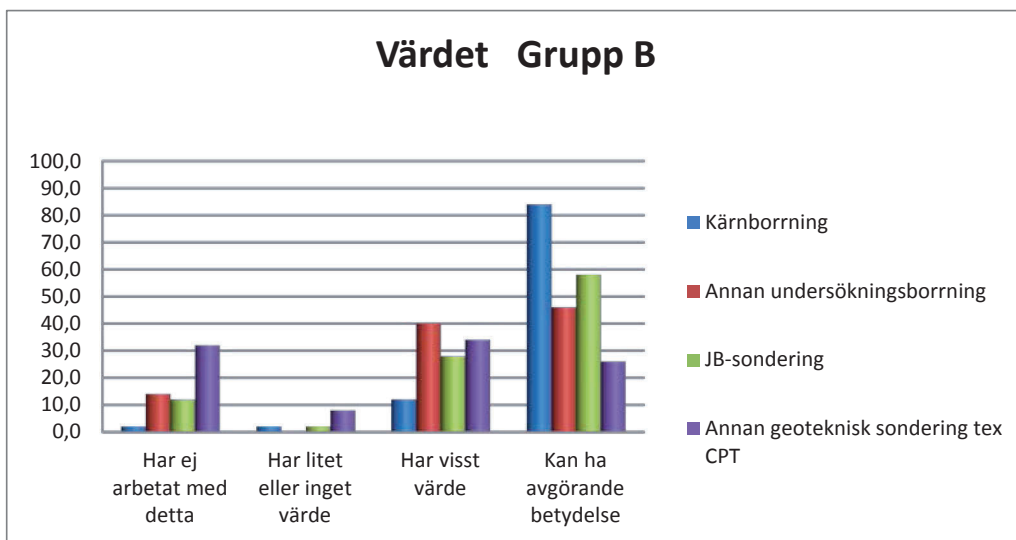


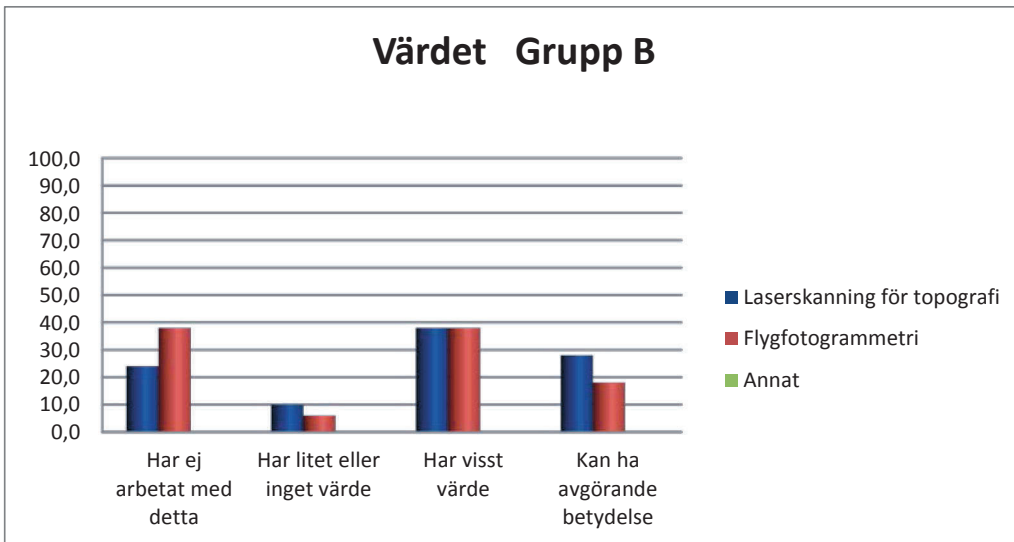
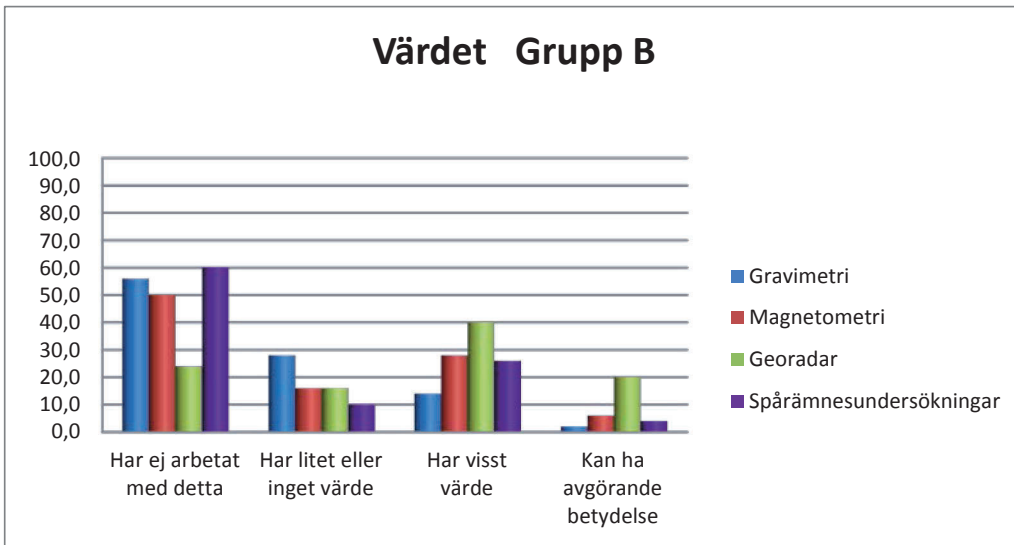
Användbarhet Grupp B



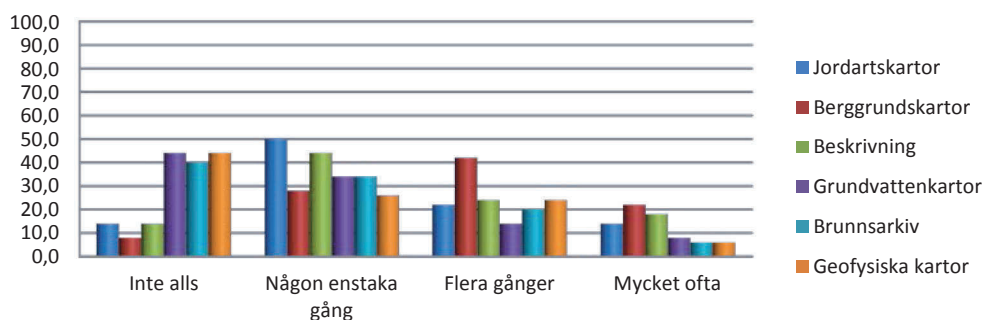
Användbarhet Grupp B



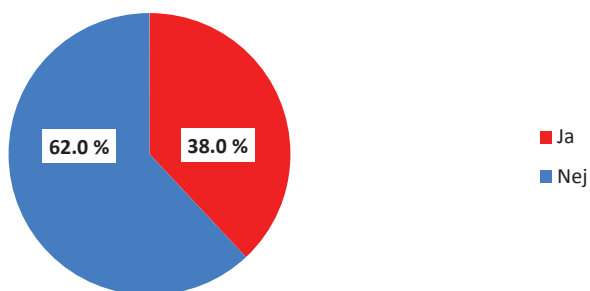




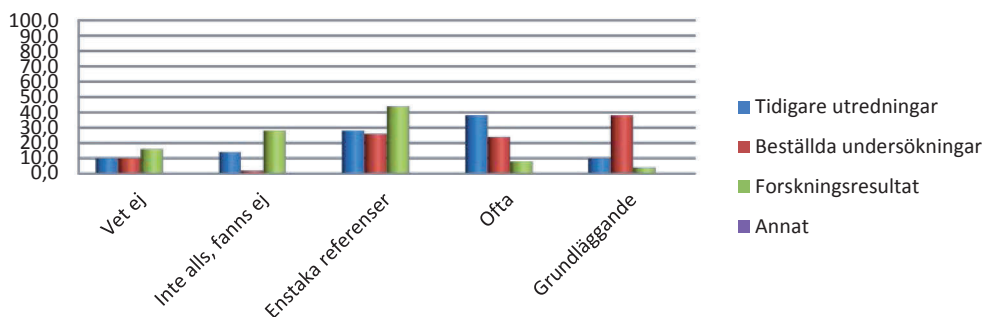
I vilken omfattning har du använt SGU:s kartor Grupp B



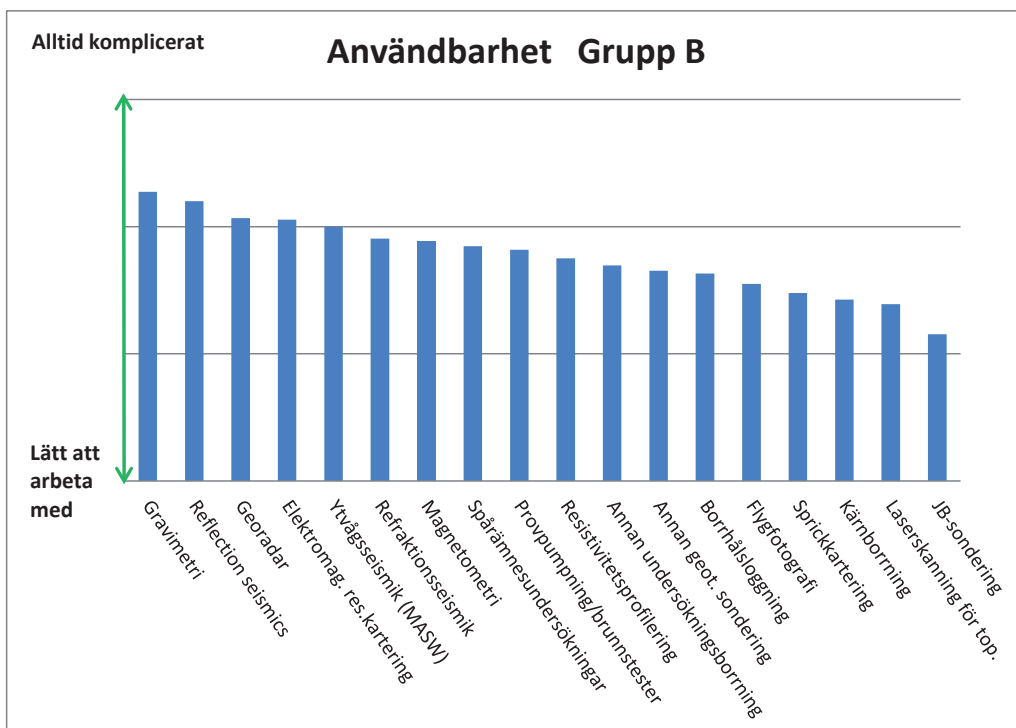
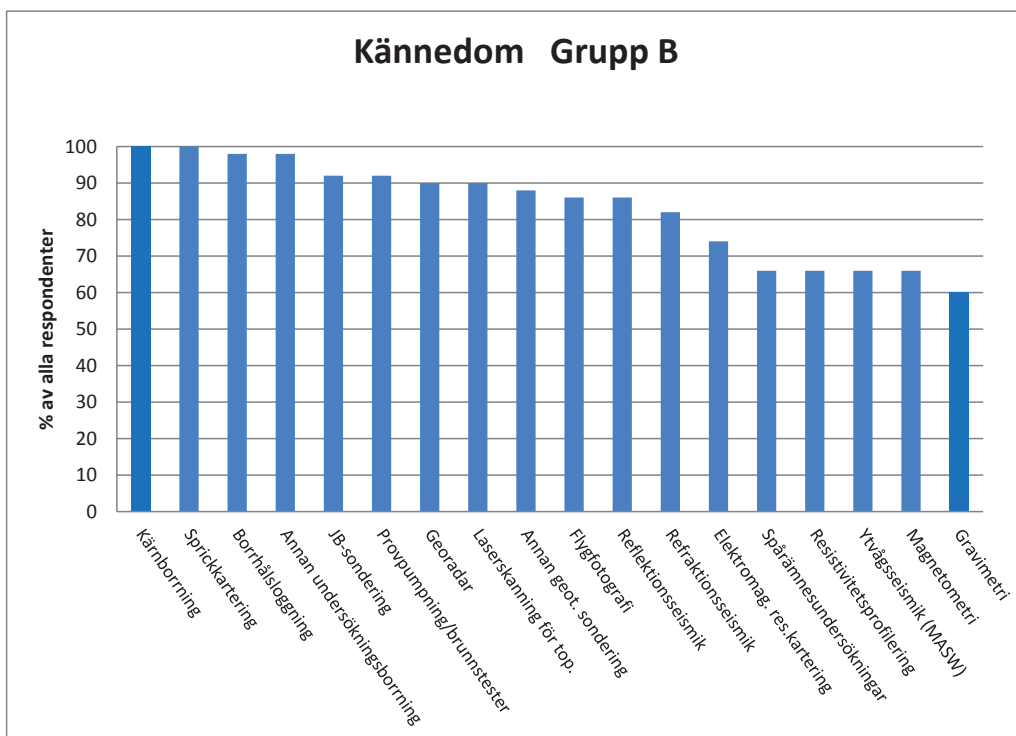
Har du varit i kontakt med personal på SGU (Grupp B)

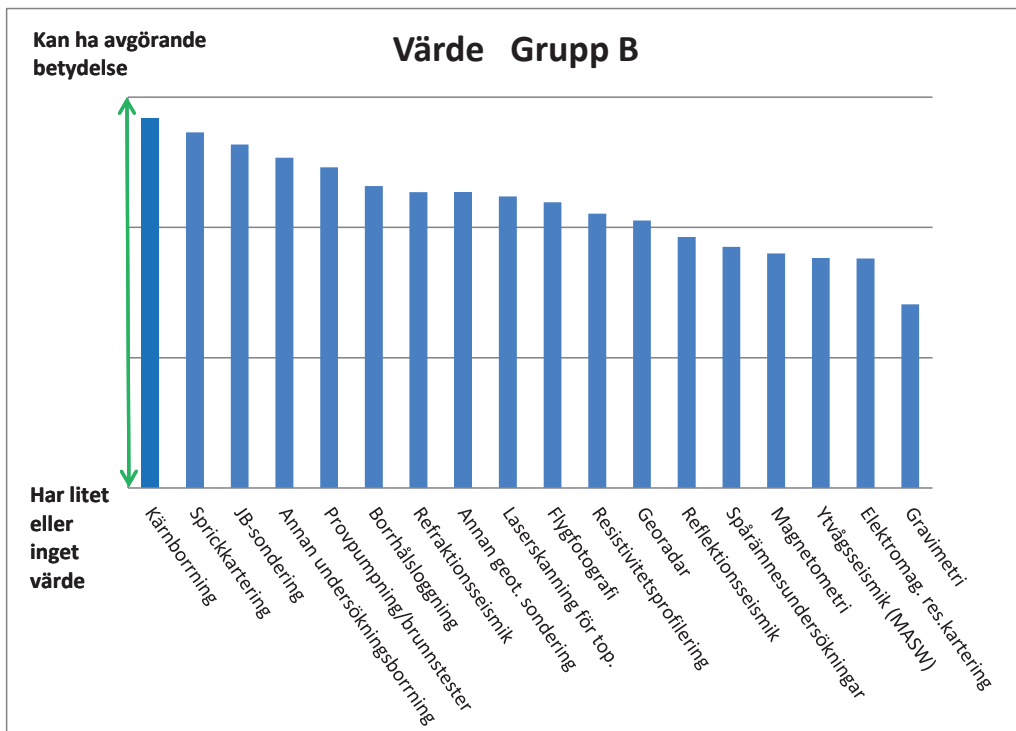


I vilken mån ingick följande mtrl i förundersökningarna Grupp B



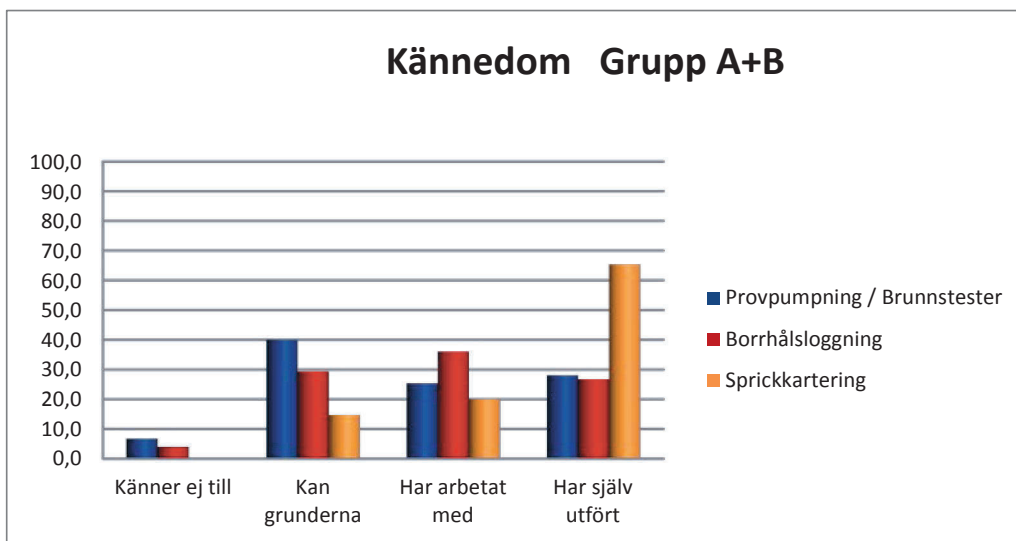
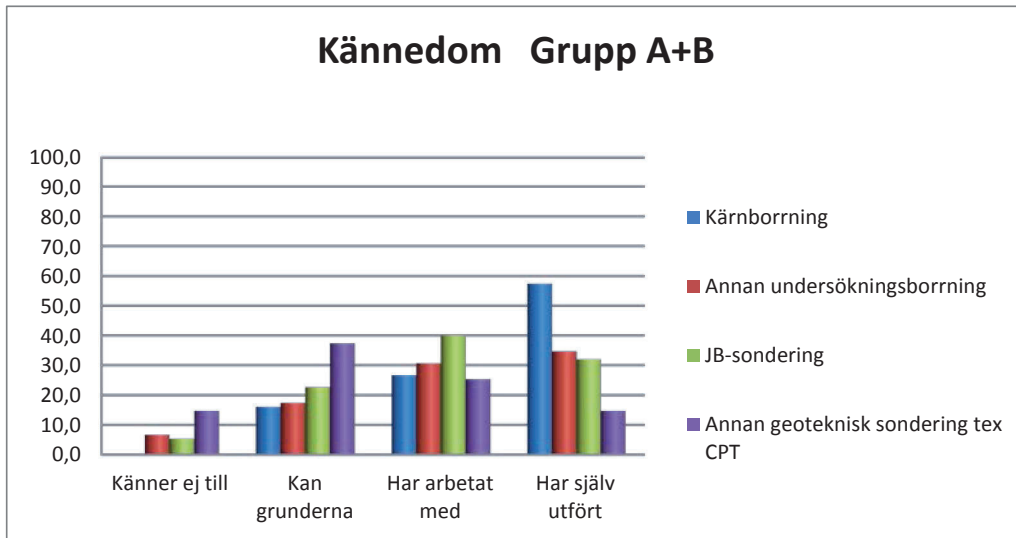
I de följande diagrammen har endast de som har angivit att de känner till respektive metod tagits med.

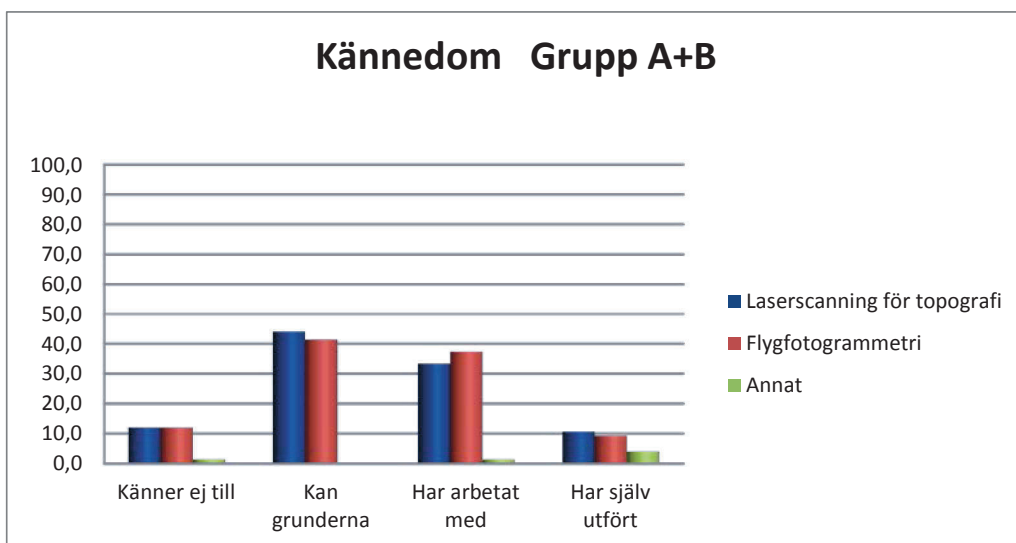
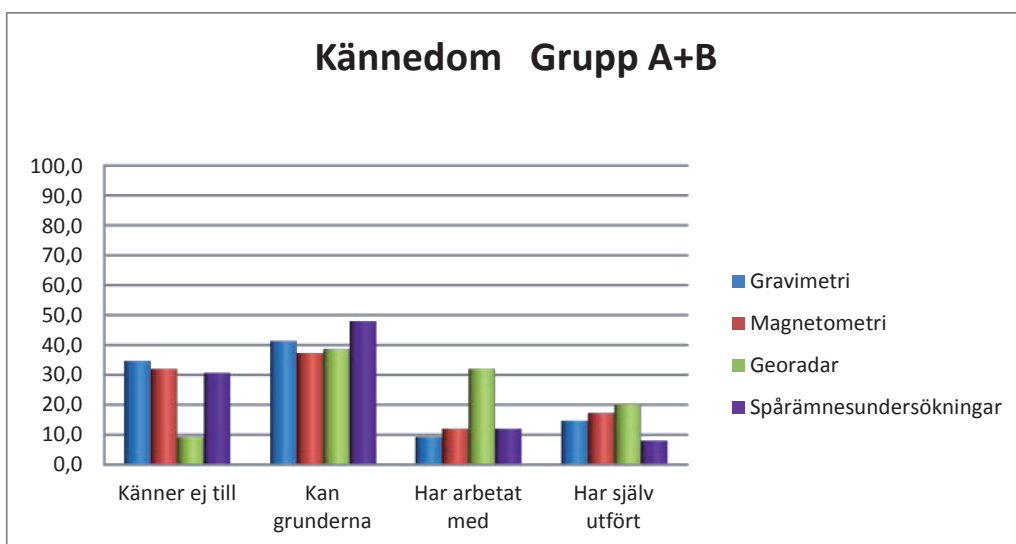
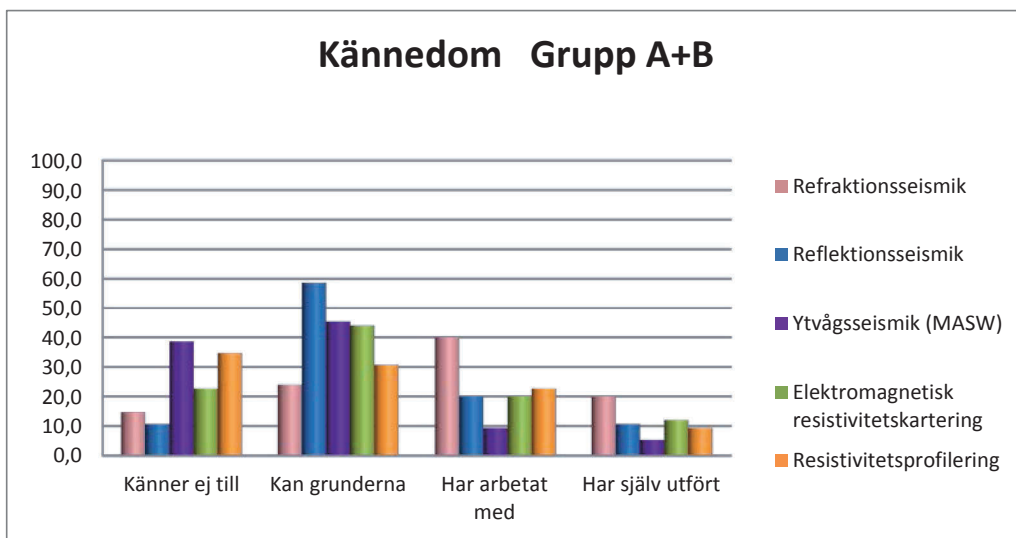


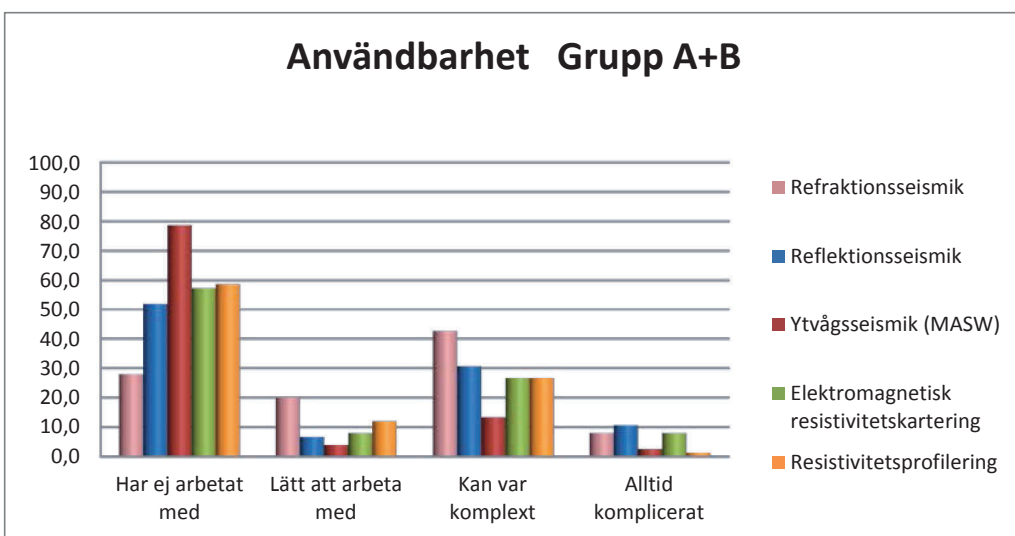
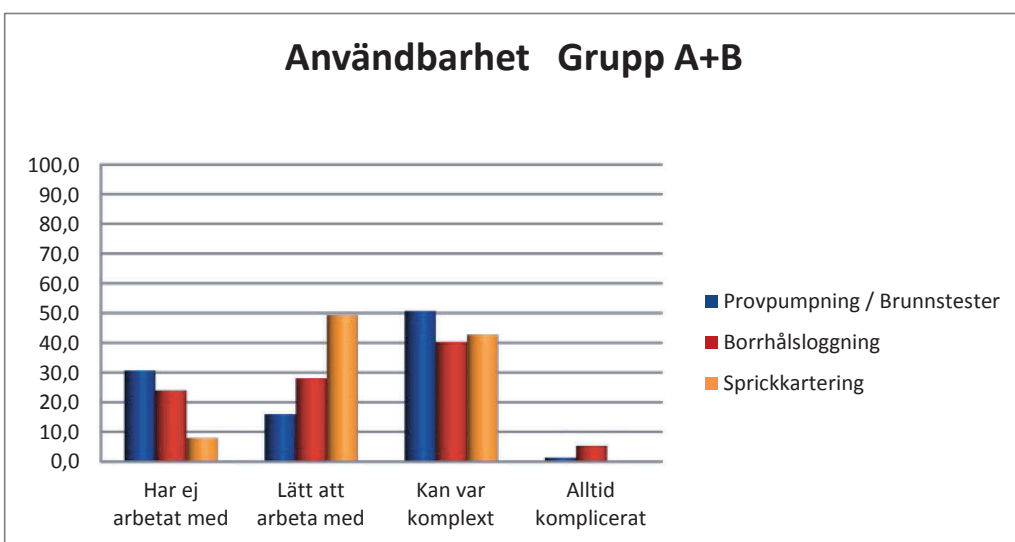
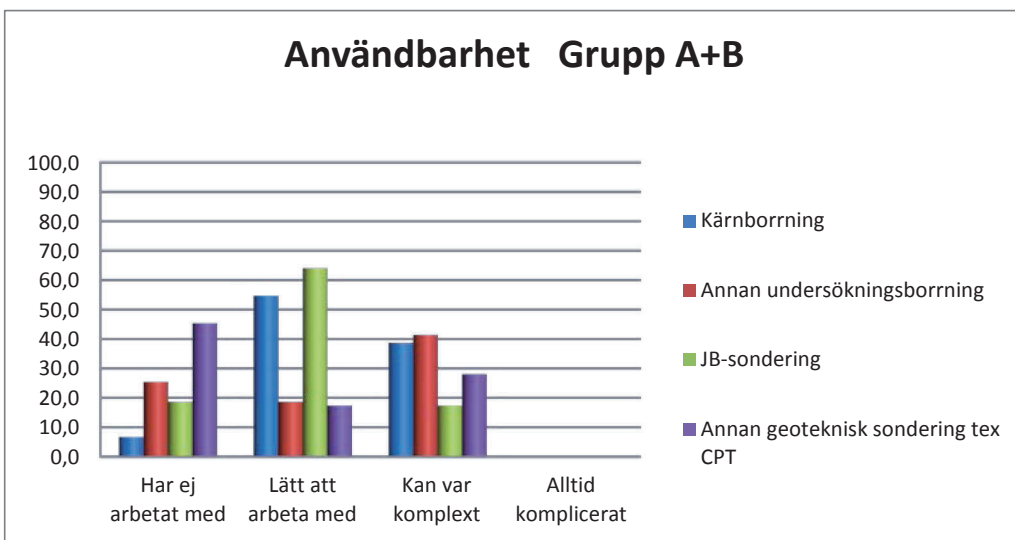


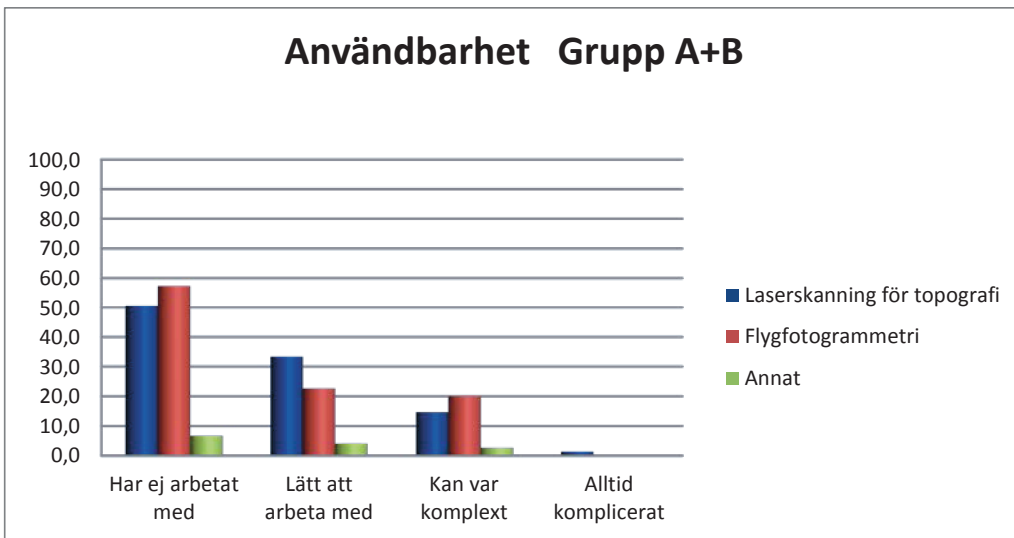
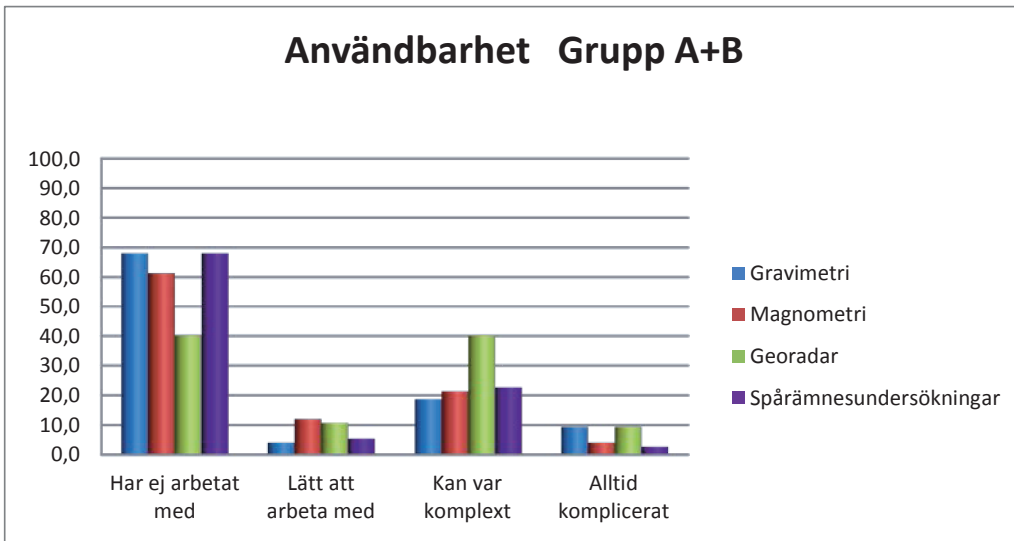
K. Enkät svar från samtliga

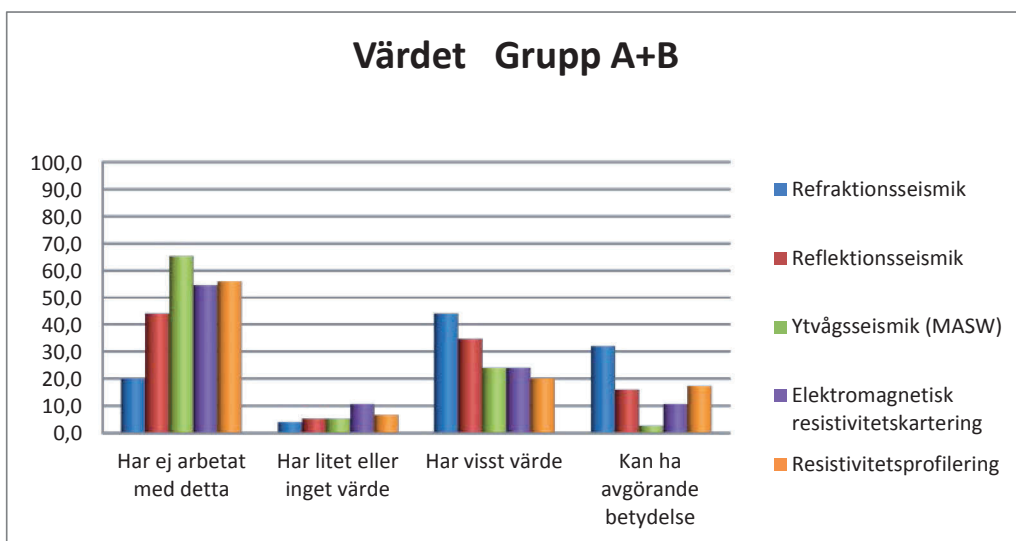
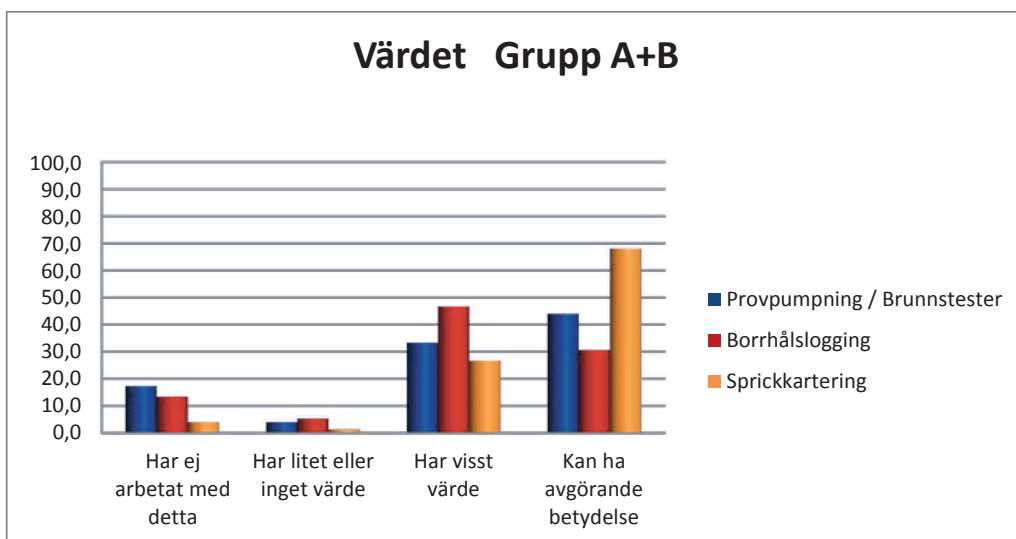
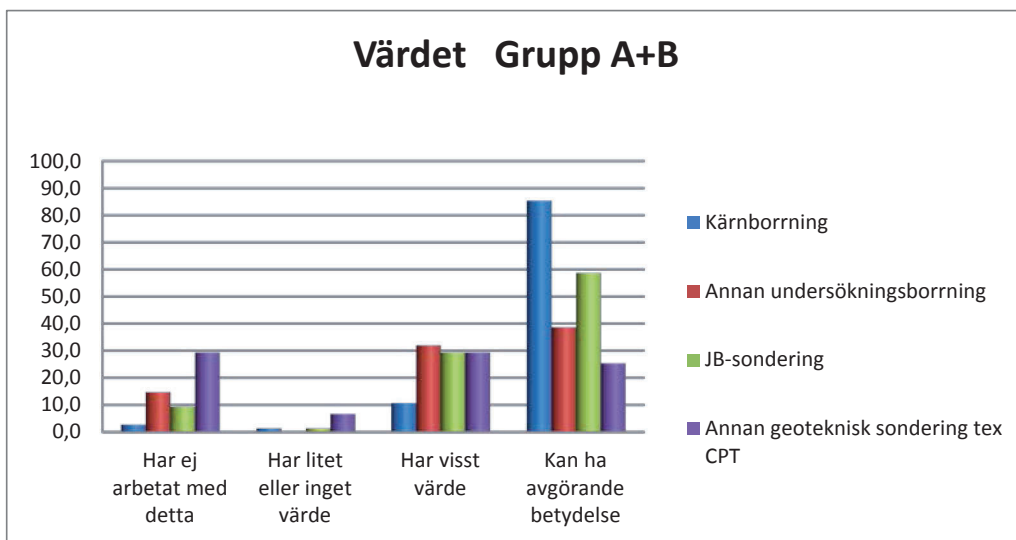
Här redovisas i diagramform svaren från samtliga svarande, Grupp A+B. Skalan på y-axeln är procent av svaren. Antal svar är 75.

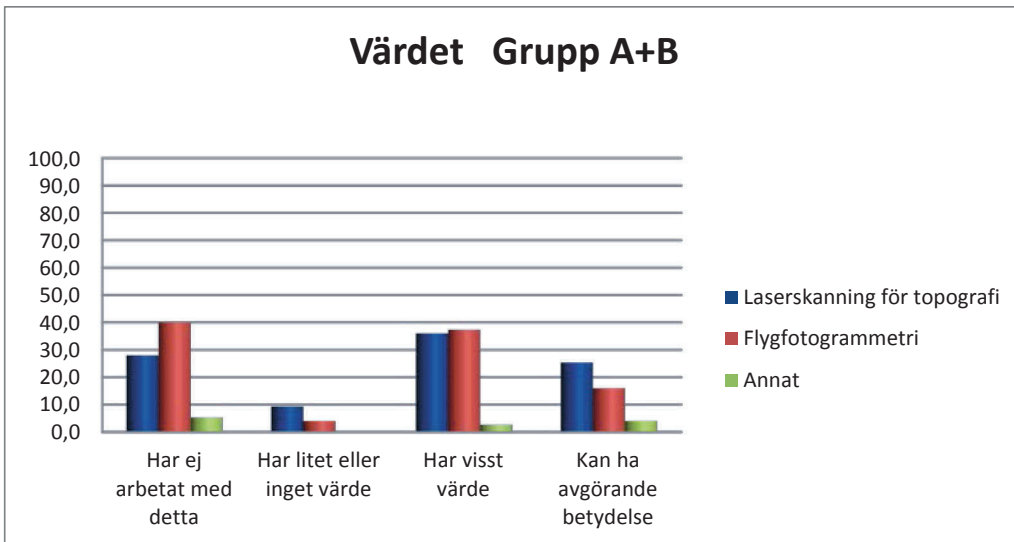
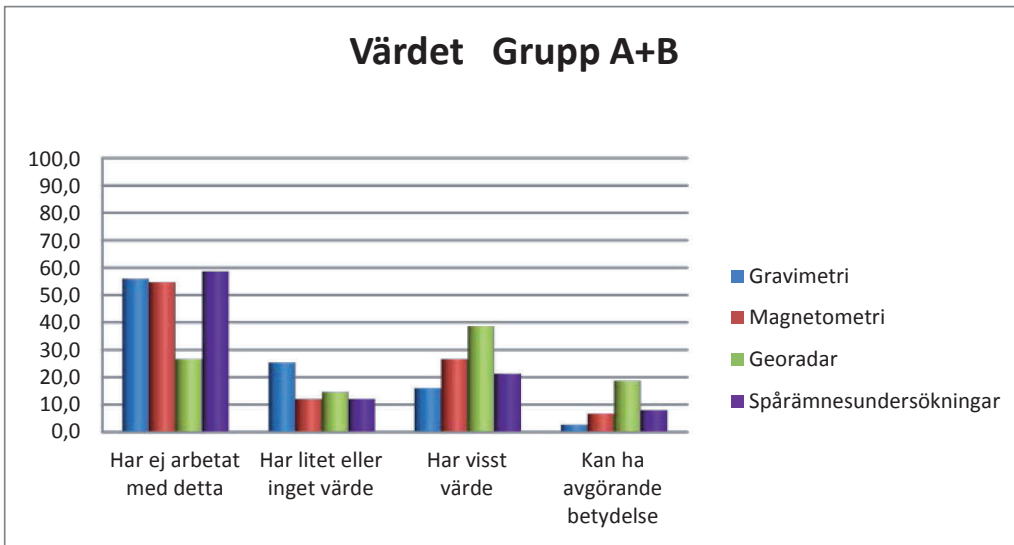




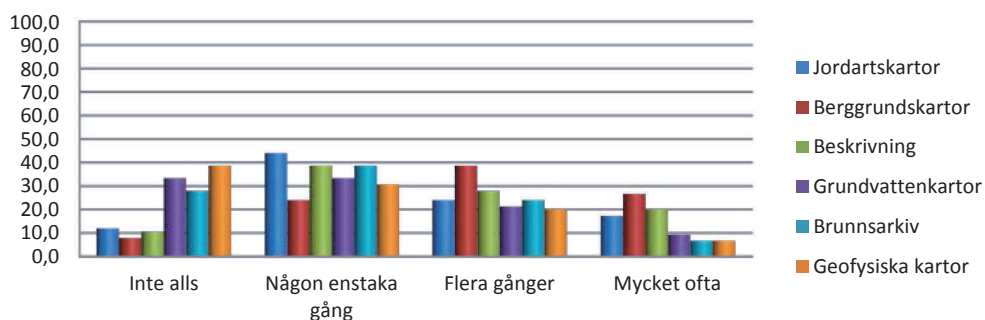




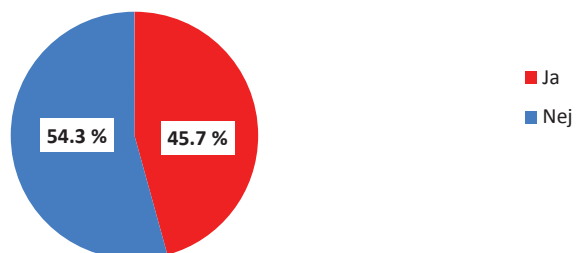




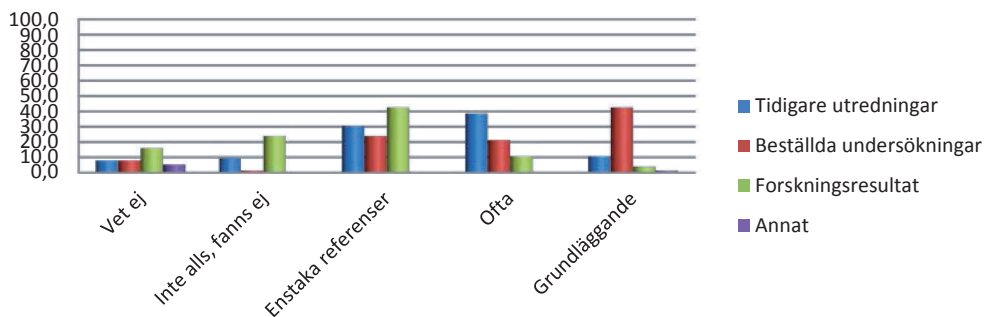
I vilken omfattning har du använt SGU:s kartor Grupp A+B



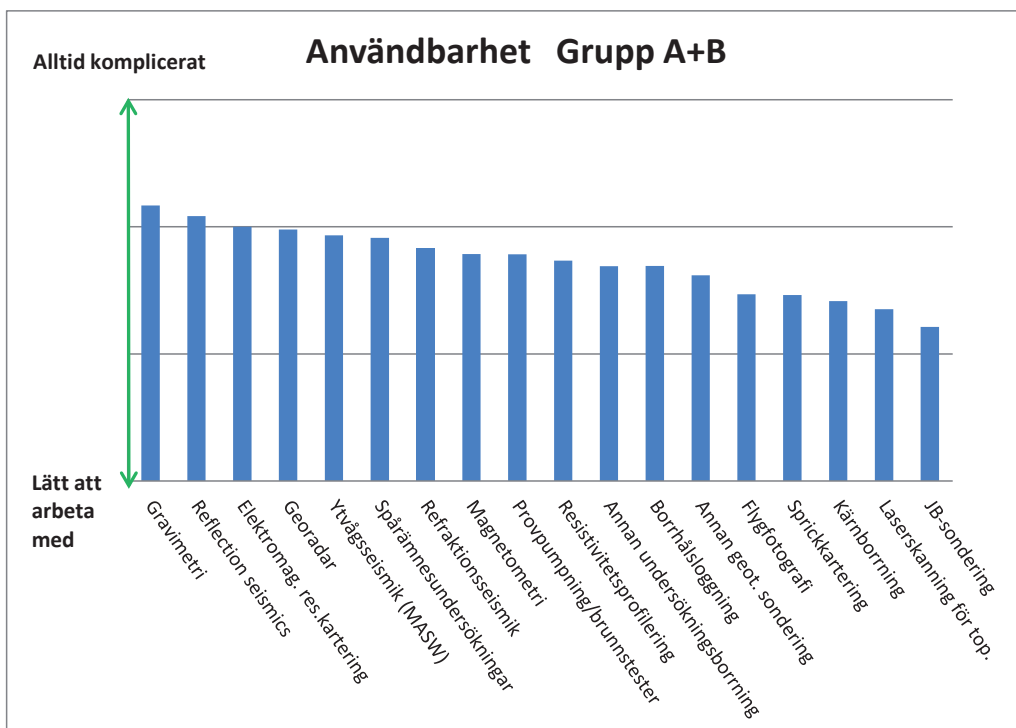
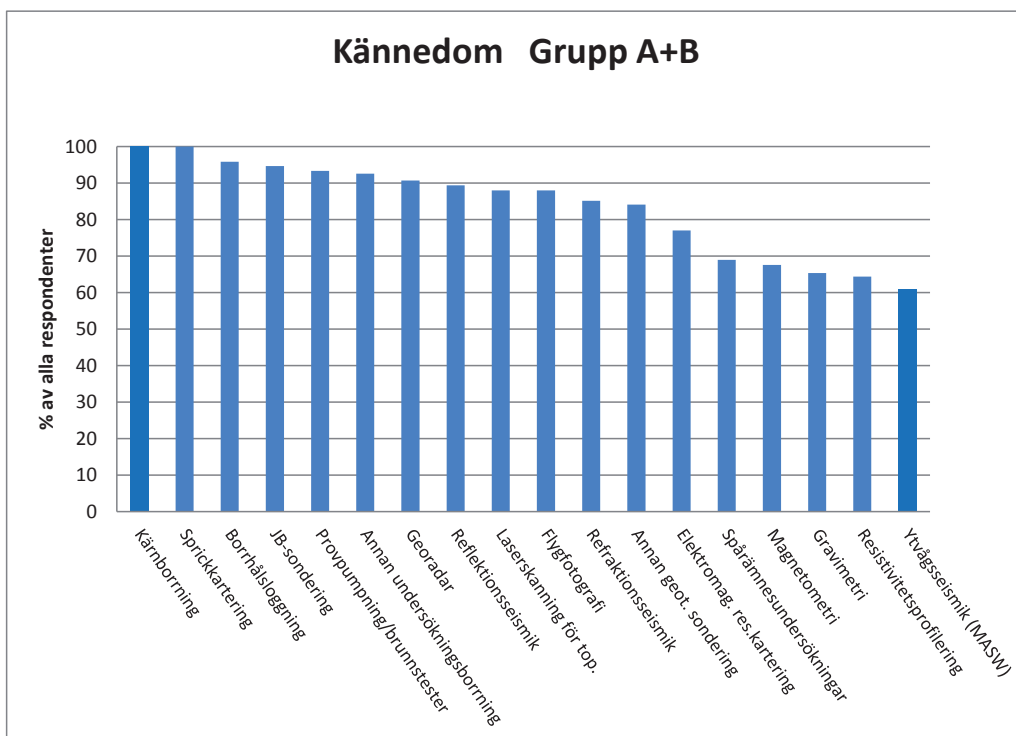
Har du varit i kontakt med personal på SGU (Grupp A+B)

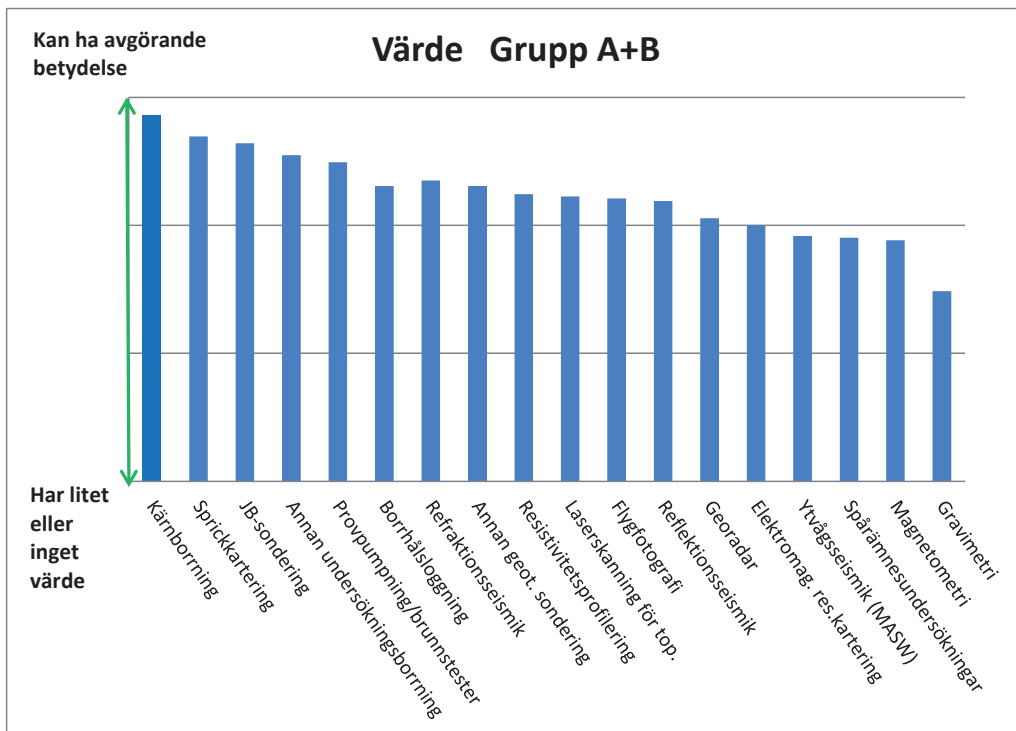


I vilken mån ingick följande mtrl i förundersökningarna Grupp A+B



I de följande diagrammen har endast de som har angivit att de känner till respektive metod tagits med.





BeFo



Box 5501
SE-114 85 Stockholm

info@befonline.org • www.befonline.org
Besöksadress: Storgatan 19

ISSN 1104-1773