

# Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet

## Etapp 2

### Slutrapport



Mats Ohlsson/Svensk Kärnbränslehantering AB  
Lars O. Ericsson/Lars O. Ericsson Consulting AB

Äspö 2020-03-31



Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet, etapp2

## Förord

Äspölaboratoriet är en unik forskningsanläggning som sträcker sig ner till 460 meters djup i urberget. Under mer än 30 år har laboratoriet varit en central plats för utvecklingen av metoden (KBS-3-metoden) för slutförvaring av använt kärnbränsle. Här har SKB byggt upp en stor del av den kunskap som nu används i förberedelserna inför byggandet av Kärnbränsleförvaret i Forsmark. Vidare finns det all anledning att framhålla att verksamheten vid Äspölaboratoriet i hög grad har bidragit till vårt lands kompetensutveckling inom de geovetenskapliga ämnesområdena. Förståelsen för hur förhållandena i berggrunden påverkas under byggande och drift av en undermarksanläggning har också utvecklats.

SKB:s planer för Äspölaboratoriet sträcker sig fram till och med 2024. Därefter kan anläggningen avvecklas successivt eller om möjligt och helst överlåtas till en ny huvudman. Det förutses att en fullständig avveckling av anläggningen kräver god framförhållning och därför har en intern planering för avvecklingen inletts. Ett annat skäl att inleda planeringen tidigt är att till en presumtiv ny huvudman kunna förmedla vad en framtida avveckling kommer att omfatta och vilka kostnader den för med sig.

Förliggande förstudie har varit riktad mot att undersöka intresset för Äspölaboratoriet inom den delen av den svenska industrin som planerar, bygger och förvaltar undermarksanläggningar av olika slag – bergbyggnadsbranschens aktörer. Förstudien har medfinansierats av Vinnova inom ramen för det strategiska innovationsprogrammet InfraSweden2030 (<https://www.infrasweden2030.se/>), en gemensam satsning från Vinnova, Energimyndigheten och Formas. Övriga betydande finansiärer har varit SKB, SBUF och Region Kalmar län. Vidare har referensgruppens arbetsinsats bidragit till underlaget för finansieringen.

Referensgruppens engagemang har starkt bidragit till resultatet av förstudien. Undertecknad, ansvarig för studien och ordförande i referensgruppen, har därför all anledning att rikta ett varmt tack till de enskilda medlemmarna i referensgruppen som består av Ulf Håkansson (Skanska), Staffan Hintze (NCC), Magnus Bergendal (Peab), Erik Ciardi (Region Kalmar län), Vladimir Cvetkovic (KTH), Lars Rosén (Chalmers), Robert Sturk (Svenska Bergteknikföreningen), Per Tengborg (BeFo) och Johan Barth (Svenskt Geoenergicentrum). Vidare har Lars O. Ericsson (Chalmers) deltagit som adjungerad medlem i referensgruppen samt och inte minst aktivt och engagerat medverkat i arbetet med slutrapporten.

Äspö den 31 mars 2020

Svensk Kärnbränslehantering AB  
Äspölaboratoriet



Mats Ohlsson  
Projektledare/SKB

Projektets finansiärer och parter



Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet, etapp2

## Sammanfattning

SKB har i samarbete med bergbyggnadsbranschens aktörer genomfört en förstudie ”Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet”. Arbetet har genomförts i två etapper inom ramen för det strategiska innovationsprogrammet InfraSweden2030 och förstudien har medfinansierats av Vinnova inom ramen för det strategiska innovationsprogrammet InfraSweden2030, en gemensam satsning från Vinnova, Energimyndigheten och Formas. Förstudien kan anses utgöra planeringsfasen för en testbädd enligt Vinnovas generella modell för utveckling av testbäddar (Vinnova och TSS, 2017).

I Etapp1 (Vinnova id 2016-05091) kartlades behovet av och potentialen för att omvandla Äspölaboratoriet till en testbädd samt etablerades en stark aktörskonstellation. Vidare utredde översiktligt möjligheterna för varaktig drift av testbädden. Enligt behovskartläggningen ansågs Äspölaboratoriet ha förutsättningar att utveckla svensk undermarksteknik, t ex: effektivisering av bergguttagsmetoder, demonstrationer, underhållsteknik, materialprovning, automation samt psykologiska studier av vistelse under jord. En intressentkonstellation etablerades med deltagare från: Stiftelsen Bergteknisk Forsknings huvudmannakrets, svenska universitetens institutioner för samhällsbyggnadsteknik, Region Kalmar län (Ohlsson et al. 2017).

I Etapp 2 har planeringsskedet, enligt Vinnovas modell, fördjupats genom ett antal delutredningar i avsikt att ta fram ett beslutsunderlag för en eventuell efterföljande projekteringsfas och för att etablera ett nytt huvudmannaskap av Äspölaboratoriet som testbädd. Etapp 2 har omfattat följande aktiviteter:

- En syntetisering av berggrunden som resurs för hållbar utveckling. Sammanställningen bygger på en workshop (2019-09-24) med branschrepresentanter som arrangerades av SKB i samarbete med KTH och stiftelsen BeFo.
- En så kallad Co-Creation workshop i samarbete med RISE vid Äspölaboratoriet, den 14-15 mars 2019, med avsikt att i ett brett samhällsperspektiv utveckla innovativa idéer för Äspölaboratoriets framtid.
- Med insikter från Co-Creation workshop har en analys av den tillämpade forskningens intresse genomförts i samarbete med LTU Business.
- Workshops med de specifika branschorganisationerna, Svenskt Geoenergicentrum och Borr företagen i Sverige.
- Enkätundersökning om intresse för testbädd inom svenska branschen för sanering och efterbehandling av mark och vatten.
- Sammanställning av tidigare seminarier med svenska universitet angående behov av forskningsinfrastruktur där också testbäddsverksamhet kan bedrivas.
- Sammanfattande analys angående en specifikation för en initial testbädd.
- Analys av finansiella förutsättningar och konsortiebildning.
- En sammanställning av kompetensförsörjningsmöjligheten vid Äspö.
- En sammanfattande beskrivning av en testbädd i ett internationellt perspektiv.

Förstudien har utmynnat i slutsatsen att det finns behov av en testbädd och att det finns ett brett intresse för Äspölaboratoriet som en sådan. Äspölaboratoriet kan ha en viktig roll i att utveckla de berginriktade frågeställningarna inom ramen för geosystemtjänster i samhället parallellt med de mer etablerade och tillämpade ekosystemtjänsterna. Det finns dock en betydande osäkerhet rörande det framtida ägandet av anläggningen och den framtida driftfinansieringen.

Samordnat med förstudien har SKB bedrivit ett internt analysarbete som underlag för ett inriktningsbeslut rörande SKB:s vidare användning och framtida avveckling av Äspö underjordslaboratorium. Inriktningsbeslutet är nyligen fattat. Det innebär att SKB fullföljer sin planerade verksamhet i underjordslaboratoriet fram till 2024 och att förberedelser inleds för en stängning där efter. Samtidigt, under 2020, inleds och genomförs samtal med en presumtiv ny huvudman som ett alternativ till stängning av underjordslaboratoriet. Som ett resultat av denna utredning har RISE visat intresse för att utreda Äspö underjordslaboratorium som en öppen testbädd. Föranlett av RISE intressetryck har parterna träffats och parterna har enats om att genomföra en fullständig Due Diligence av anläggningen Äspölaboratoriet och dess verksamhet. Den vidare testbäddsutvecklingen beror av det inledda samarbetet mellan SKB och RISE Innovation.

## Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Syfte och mål.....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Genomförande .....</b>	<b>7</b>
3.1	Organisation .....	7
3.2	Huvudaktiviteter.....	7
<b>4</b>	<b>Berggrunden som resurs för hållbar utveckling.....</b>	<b>9</b>
4.1	Bergbyggandets, bergmaterialförsörjningens och gruvnäringens omsättning i Sverige .....	10
4.2	Forsknings- och utvecklingsbehov .....	10
4.2.1	Samhällsaspekter .....	11
4.2.2	Bergbrytningsteknologi .....	12
4.2.3	Samverkande processer .....	12
4.2.4	Vetenskaplig och ingenjörsinriktad karaktärisering .....	12
4.2.5	Informationshantering .....	13
4.3	Innovations- och demonstrationsbehov i testbäddar .....	13
<b>5</b>	<b>Analys av den tillämpade forskningens intresse.....</b>	<b>14</b>
5.1	Gruvindustrin .....	16
5.2	Anläggningsindustrin .....	17
5.3	Geoenergi och geotermi .....	20
5.4	Sveriges borrentreprenörer .....	21
5.5	Branschen för sanering och efterbehandling av mark och vatten .....	22
5.6	Universitetens forskning, utvecklig och innovation .....	23
<b>6</b>	<b>Specifikation av initial testbädd.....</b>	<b>25</b>
<b>7</b>	<b>Kompetensförsörjningsmöjligheten, en del av samhällsnyttan.....</b>	<b>26</b>
7.1	Vetenskaplig och pedagogisk rapportering .....	26
7.2	Hittills genomförda utbildningar, exempel .....	27
7.3	Förslag på kursverksamhet.....	27
7.4	Rekommendationer .....	28
<b>8</b>	<b>Testbädden i ett internationellt perspektiv .....</b>	<b>30</b>
<b>9</b>	<b>Förutsättningar för bildande av konsortium .....</b>	<b>33</b>
9.1	Kort om Äspölaboratoriets tillkomst.....	33
9.2	Verksamhetens tillåtlighet, avtal och servitut .....	33
9.3	Investerings- och driftkostnader .....	34
9.4	Äspölaboratoriets intäktpotential .....	36
9.5	Huvudmannaskap och konsortiebildning .....	37
9.6	Konklusion om konsortiebildning .....	37
<b>10</b>	<b>SKB:s inriktningsbeslut.....</b>	<b>38</b>
<b>11</b>	<b>Slutsatser och rekommendationer .....</b>	<b>39</b>
	<b>Referenser.....</b>	<b>41</b>

# 1 Inledning

Slutförvaring av använt kärnbränsle har i drygt 40 år krävt omfattande forsknings- och utvecklingsinsatser. Insatserna har särskilt handlat om att studera de förhållanden som råder på stort djup (ca 500 m) i berggrunden. SKB insåg tidigt behovet av att undersöka förhållandena grundligt genom att lokalisera och bygga ett underjordslaboratorium som senare kom att kallas Äspölaboratoriet. Beslutet togs 1986 och planerna för laboratoriet beskrivs i SKB:s första forsknings- och utvecklingsprogram (SKB 1986). Programmet är levande på så sätt att det enligt Kärntekniklagen skall uppdaterats vart tredje år och godkännas av regeringen efter ett omfattande remissförfarande som handläggs av Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM).

Det har gått drygt 30 år sedan beslutet att bygga Äspölaboratoriet togs. Verksamheten vid Äspölaboratoriet har på ett högst väsentligt sätt bidragit till att SKB lyckats vidareutveckla, testa och demonstrera den valda slutförvarsmetoden (KBS-3-metoden) för använt kärnbränsle. Verksamheten har dessutom varit till stor samhällsnytta då den i hög grad har bidragit till vårt lands forskning och kompetensutveckling inom de geovetenskapliga ämnesområdena och hur förhållandena i berggrunden påverkas under byggande och drift av en undermarksanläggning. Det är kravet på att ett slutförvar för använt kärnbränsle ska vara säkert i 100 000 år som drivit på de geovetenskapliga och bergtekniska landvinningarna.

SKB:s verksamhet i Äspölaboratoriets underjordsanläggning bedrivs med målsättningen att pågående och planerade experiment och tester ska vara avslutade 2024 och då ska också alla förberedelser vara klara för en avveckling av verksamheten och anläggningen. Vad målet med avvecklingen ska vara och hur den ska gå till har utretts av SKB under tiden för denna förstudie och ett inriktningsbeslut har fattats. Beslutet innebär att SKB har valt att med förnyad kraft verka för att anläggningen kommer till användning som en nationell infrastruktur för geovetenskaplig grundforskning och tillämpad forskning. Den totala investeringen i Äspölaboratoriet och Äspö Forskarby under åren 1986 – 2023 är i storleksordningen SEK 3.6 miljarder.

Initiativet till denna förstudie, vars resultat avhandlas i föreliggande slutrapport, togs i syfte att utreda förutsättningarna för en omställning av Äspölaboratoriet till en testbädd för bergteknisk utveckling och innovation. Förstudien inleddes 2016 och har genomförts i två etapper. Den inledande etappen utmynnade i behovet av att bredda utredningen och samarbetet till att omfatta ämnesområdena geoenergi och sanering och efterbehandling av mark och vatten. Innehållet i denna rapport bygger vidare på de underlag, insikter och slutsatser som framkom i den inledande etappen av förstudien.

## 2 Syfte och mål

Det yttersta syftet med förstudien är att skapa affärer för svensk industri genom att bygga vidare på kraftindustrins forsknings-, test- och demonstrationsanläggning i Oskarshamn – Äspölaboratoriet. Här finns möjlighet att anpassa anläggningen för en rad olika ändamål och inte minst inom teknikområdet bergteknisk forskning och innovation.

Initiativets potential och nytta ur ett samhällsperspektiv (effekt målet) har sin utgångspunkt i det faktum att Sverige saknar en nationell anläggning där test- demonstrationsverksamhet kan bedrivas i en verklig skandinavisk berggrundsmiljö. Bergbyggnadsbranschens aktörer vill med detta initiativ åtgärda bristen i syfte att stimulera till implementering av nya metoder och ny teknik som faktiskt redan finns samt till framtida innovativa lösningar för anläggande av nya berganläggningar. Det är särskilt angeläget med tanke på utvecklingen i framförallt i storstadsområden. Marken och den underliggande berggrunden i städerna är en underutnyttjad och intressant expansionsmöjlighet i ett framtids- och hållbarhetsperspektiv.

Förstudien har bedrivits med inriktningen att slutföra planeringsfasen enligt Vinnovas utvecklingsmodell för testbäddar. Med stöd av resultatet avgörs om samarbetet är moget för att gå vidare till projekteringsfasen eller om ytterligare förberedande insatser krävs.

Förstudien har bedrivits med följande delmål som utgångspunkt, vilka är hämtade ur projektansökan:

- a) Explicit formulera bergbyggnadsbranschens och universitetens, högskolornas intresse att medverka till tillämpad forskning och utveckling samt demonstration vid Äspölaboratoriet. Detta innebär också en prioritering av ämnesdiscipliner för verksamheten.
- b) Klarlägga intresse och ekonomiska förutsättningar för industrin inom gruv- och anläggningssektorn att använda Äspölaboratoriet för utveckling och demonstration av metoder och maskiner.
- c) Formulera framtida verksamhetens ändamål tillsammans med tänkbara huvudmän för fortsatt drift av Äspölaboratoriet.
- d) Identifiera de kommersiella förutsättningarna för anläggningens drift.
- e) Specificera de ekonomiska förutsättningarna för att överta och driva Äspölaboratoriet.
- f) Formulera en testbäddsspecifikation utifrån prioriterade verksamhetsområden. Detta innebär att behoven av kompletteringar, utbyggnader av den befintliga anläggningen specificeras. Det innebär också att behov av databasuppbyggnad klarläggs.
- g) Klarlägga de ekonomiska och administrativa förutsättningarna för att nyttja Äspölaboratoriet för universitetskurser och branschanknutna fortbildningar. Detta innebär att samhällsnyttan av sådana utbildningsmöjligheter klarläggs.
- h) Föreslå en strategi i ett internationellt perspektiv för samarbetsformer och marknadspositionering. Detta innebär att konkurrenssituationen för anläggningen skall analyseras.
- i) Klarlägga de juridiska förutsättningarna vid byte av huvudman/ägare för Äspölaboratoriet och tidsperspektivet för detta.

## 3 Genomförande

### 3.1 Organisation

Projektets koordinator, Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB), har ansvarat för projektets ledning med stöd av en referensgrupp som varit sammansatt med meriterade representanter från bygg- och anläggningsindustrin, akademien och geoenergiindustrin. De organisationer där representanterna har sin tillhörighet är dessutom intressenter och medfinansiärer av projektet. Följande organisationer är representerade i referensgruppen: SKB, Skanska, NCC, Peab, Svenska Bergteknikföreningen, Stiftelsen Bergteknisk Forskning (BeFo), KTH, Chalmers, Svenskt Geoenergicentrum och Region Kalmar län.

En serie utredningar och workshops har genomförts i samarbete med RISE och LTU Business AB. Samtliga har erfarenhet inom testbäddsutveckling och har bidragit med värdefulla erfarenheter, kunskaper och resultat. Utredningarna har initierats efter diskussion och förankring i referensgruppen. KTH, Chalmers och BeFo har bidragit i arbetet med kapitel 4 som har rubriken Bergrunden som resurs för hållbar utveckling. Ett initiativ som efter denna förstudie är i sin linda och som förtjänar att upphöjas och till en nationell kraftsamling med särskilt tilldelade nationella forskningsmedel.

### 3.2 Huvudaktiviteter

Förstudien har varit uppdelad i de 5 följande huvudaktiviteterna som är hämtade ur projektansökan:

- **Analys av den tillämpade forskningens intresse**  
Behovsanalysen inom etapp1 av förstudien var avgränsad till att omfatta den anläggningstekniska branschen. Om vetenskaplig verksamhet skall bedrivas vid Äspö-anläggningen är det väsentligt att i grunden kartlägga universitetens och högskolornas intresse att medverka till forskning och utveckling samt demonstration. I den tillämpade forskningen är de akademiska institutionerna en viktig brygga mellan de anslagsbeviljande institutionerna och samhällsbyggarbranschen. I detta sammanhang har bergbyggnadstekniken kompletteras med en kartläggning av det akademiska intresset inom ämnesdisciplinerna geoenergi samt marksanering.
- **Specifikation av initial testbädd**  
Äspölaboratoriet har succesivt utvecklats sedan 1990-talet och är idag en stor befintlig anläggning med en anpassad forskningsinfrastruktur för sina specifika frågeställningar. Inför en breddning och förändring av verksamheten är det ett behov av att specificera testbäddens utformning med möjligheter till flexibelt användning.
- **Finansiella plattformen och konsortiebildning**  
Branschens företrädare är intresserade av att på något sätt bidra till att Äspölaboratoriet kan leva vidare. Därför bör de legala möjligheterna utredas för att bilda en organisation med ett branschgemensamt fokus som driver verksamheten vid Äspölaboratoriet. I utredningen kring de legala förutsättningarna ska ingå hur ägandet idag kan påverka möjligheterna att bilda bolag med andra parter, förutsättningarna för laboratoriets drift utifrån tillåtligheten att bedriva grundvattenpåverkande verksamhet mm.

Man bör även utreda vilka ekonomiska förutsättningar ett Äspölaboratorium, som skall kunna drivas kommersiellt, har att ta ställning till. Utredningen innebär både en genomlysning av de legala förutsättningarna för anläggningens förändrade driftsituation, vad driftskostnaden är och vilka investeringar som måste genomföras innan anläggningen kan användas mer kommersiellt.

- **Kompetensförsörjningsmöjligheten, en del av samhällsnyttan**  
Inom denna aktivitet analyseras Äspölaboratoriets potential för verklighetsbaserad undervisning. Analysen ska genomföras i perspektivet av vilka de kommersiella vinsterna skulle vara om kunskapen höjs i bergbyggnadsbranschen.

Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet, etapp2

- **Testbädden i ett internationellt perspektiv**

Anläggningen är i flera avseenden att betrakta som världsunik. Det internationella perspektivet är väsentligt att analysera mer detaljerat. Det bör utarbetas en strategi i ett internationellt perspektiv för hur samarbetsformer respektive marknadspositionering och konkurrenssituation kan se ut med hänsyn till olika samhällsbyggnadsbranscher respektive vetenskapliga ämnesområden.

Inom ramen för huvudaktiviteterna genomfördes ett antal delmoment med avsikt att ta fram analysunderlag. De väsentligaste delmomenten var:

- En syntetisering av berggrunden som resurs för hållbar utveckling. Sammanställningen bygger på en workshop (2019-09-24) med branschrepresentanter som arrangerades av SKB i samarbete med KTH och stiftelsen BeFo.
- En så kallad Co-Creation workshop i samarbete med RISE vid Äspölaboratoriet, den 14-15 mars 2019, med avsikt att i ett brett samhällsperspektiv utveckla innovativa idéer för Äspölaboratoriets framtid.
- Med insikter från Co-Creation workshop har en analys av den tillämpade forskningens intresse genomförts i samarbete med LTU Business.
- Workshops med de specifika branschorganisationerna, Svenskt Geoenergicentrum och Borr företagen i Sverige.
- Enkätundersökning om intresse för testbädd inom svenska branschen för sanering och efterbehandling av mark och vatten.
- Sammanställning av tidigare seminarier med svenska universitet angående behov av forskningsinfrastruktur där också testbäddsverksamhet kan bedrivas.
- Sammanfattande analys angående en specifikation för en initial testbädd.
- Analys av finansiella förutsättningar och konsortiebildning.
- En sammanställning av kompetensförsörjningsmöjligheten vid Äspö.
- En sammanfattande beskrivning av en testbädd i ett internationellt perspektiv.



## 4 Berggrunden som resurs för hållbar utveckling

För närvarande pågår i ett globalt perspektiv, olika nationella utredningsinsatser (respektive myndighet i Sverige) som skall ta fram genomförandeplaner för FN:s agenda 2030 för långsiktig hållbar ekonomisk, social och miljömässig utveckling. Geovetenskapliga aspekter påverkar de flesta av de 17 globala hållbarhetsmålen i Agenda 2030 (SGU 2016, Regeringskansliet 2017, FN 2019). Hållbarhetsfrågorna har också präglats olika inspel från myndigheter och branscher till kommande forskningsproposition 2020 i Sverige (se exempelvis Formas 2019, Vinnova 2019, IQ Samhällsbyggnad 2019).

Ekosystemtjänster är ett allmänt accepterat koncept för att beskriva fördelarna med biotiska processer i samhället. I paritet med ekosystemtjänster kan termen geosystemtjänster användas för att beskriva fördelarna med abiotiska processer i ett brett perspektiv. Geosystemtjänster är ett relativt nytt begrepp som håller på att introduceras i Sverige, se exempelvis Volchko et al 2019.

Sverige, liksom många andra länder i världen, domineras geologiskt sett av berggrund nära markytan, och berggrunden är således en viktig resurs att ta hänsyn till för en hållbar utveckling. Man kan betrakta berggrundens systemtjänster som en delmängd av de totala geosystemtjänsterna vilka finns tillgängliga i samhället.

Med ökande befolkning och urbanisering å ena sidan och behovet av att minimera samhällets miljöpåverkan å andra sidan, särskilt koldioxidavtrycket, finns ett ökat behov av ett mer omfattande och effektivt utnyttjande av berggrunden, se exempelvis National Research Council 2013.

Berggrundens tjänster erbjuder:

- a) En **tredje dimension för hållbar (urban) utveckling**, exempelvis tunnlar för effektivare infrastruktur, eller ger långsiktig stabilitet för olika typer av underjordiska anläggningar.
- b) En viktig förutsättning för samhällets **skydd av säkerhetskänslig verksamhet** inom ramen för ett starkt totalförsvaret.
- c) **Vattenresurser**, avgörande för vattenförsörjning i många delar av landet, särskilt i kustområden.
- d) **Råvaror**, dvs. resurser som är viktiga för produktion av mineraler, metaller och olika typer av konstruktionsmaterial.
- e) **Den säkraste kända miljön för långvarig lagring** av radioaktivt eller annat farligt avfall samt koldioxidlagring.
- f) **En förnybar energikälla** (bergvärme och geotermi från djupare lager) samt **energilagring**.
- g) Den **nödvändiga grundläggningen** av viktiga anläggningar i samhället, till exempel **vattenkraftsdammar och kärnkraftverk**.

Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet, etapp2

## 4.1 Bergbyggandets, bergmaterialförsörjningens och gruvnäringens omsättning i Sverige

Undermarksbyggandet i samhället tillsammans med gruvnäring, bergmaterialförsörjning och övrigt resursutnyttjande omsätter mer än 100 miljarder kronor i Sverige per år. Forskning, utveckling och innovationsinsatser i det bergtekniska ämnesområdet bör ses i perspektiv av denna omsättning. I tabell 4-1 redovisas en enkel översikt av olika delbranschens bidrag till den totala omsättningen. Gruvnäringen är den dominerande delbranschen inom det bergtekniska ämnesfältet.

Tabell 4-1 – Ungefärlig årsomsättning i Sverige för undermarksarbeten i olika dominerande branscher

Bransch	Omsättning (Miljarder/år)	Kommentarer	Referens
Infrastruktur (Trafikverket samt telecom och elförsörjning)	15	Ca 20% av infrastrukturprojekt antas vara undermarksbyggande inom ramen för Nationella planen (622 miljoner) under 2018–2029. Tillkommer projekt för tunnelbanans utbyggnad i Stockholm och för telecom och el-försörjning	Trafikverket 2018
Bergmaterialindustrin	10		SBMI 2019
Energibransch, geoenergi	15		SP 2016 <a href="http://geoenergicentrum.se/geoenergi-2/statistik/">http://geoenergicentrum.se/geoenergi-2/statistik/</a>
Energibransch, vattenkraft	<0,5		Fredrik Johansson, biträdande lektor och seniorforskare inom Svenskt vattenkraftcentrum i frågor rörande stabilitet och grundläggning för dammar.
Gruvnäring	50-70	Framförallt LKAB och Boliden.	SveMin 2020; IF Metall 2015
Slutförvaring, radioaktivt avfall	0,6-1	Ungefärlig omsättning för bergarbeten i projekt KBS-3, SFL, SFR utbyggnad, enligt planrapport SKB Plan 2019. Totalt Undermarksarbeten motsvarande ca 13 miljarder i projekten.	SKB 2019b
Markmiljö/Sanering, efterbehandling av jord och vatten samt annan verksamhet för föroreningsbekämpning	2		<a href="http://www.largestcompanies.se/topplistor/sverige/foretagen-med-storst-vinst/bransch/sanering-efterbehandling-av-jord-och-vatten-samt-annan-verksamhet-for-foro-reningsbekampning">http://www.largestcompanies.se/topplistor/sverige/foretagen-med-storst-vinst/bransch/sanering-efterbehandling-av-jord-och-vatten-samt-annan-verksamhet-for-foro-reningsbekampning</a>

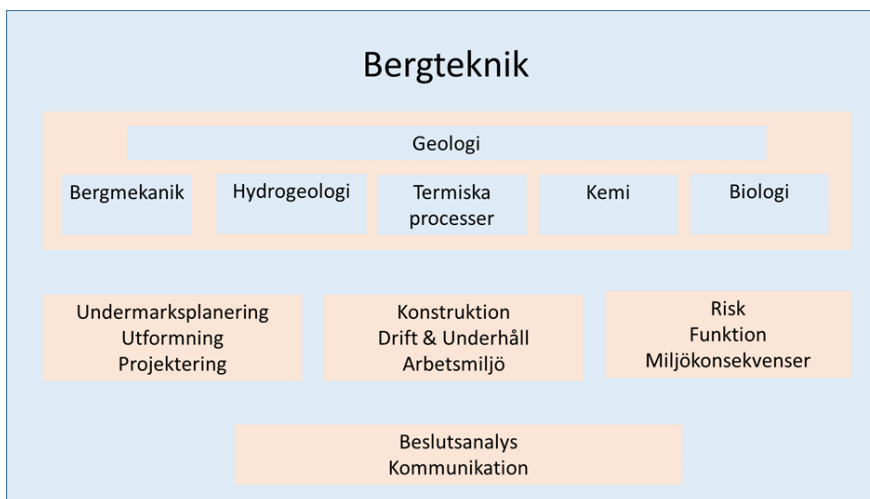
Utöver detta tillkommer investeringar i utbyggnader av Stockholms tunnelbana, försvars- och civilförsvarsanläggningar, geologiska slutförvar för annat farligt avfall än det radioaktiva och gruvavfall, stamtunnlar för VA-nät, bergförlagda parkeringsgarage, etcetera. Berggrundens användningsmöjligheter är många (Lindblom et al. 2018).

## 4.2 Forsknings- och utvecklingsbehov

Det mångsidiga utnyttjandet av berggrunden kan innebära konkurrerande syften när det gäller samhällets behov av byggnads-/anläggningsvolym, material och andra resurser.

Undermarksanläggande och materialexploatering kan i de flesta fall betraktas som oåterkalleliga och irreparabla beslut. Därför måste planering, utformning, projektering och konstruktion, såväl som långsiktig drift, underhåll av berganläggningar göras med stor omsorg och framsyn. För en långsiktig hållbar hantering av berggrundens systemtjänster finns det ett antal FoU-områden som kräver förbättrad kunskap och vidareutvecklad teknik: *samhällsaspekter*(4.2.1), *bergbrytningsteknologi*(4.2.2), *samverkande processer*(4.2.3), *vetenskaplig och ingenjörinriktad karaktärisering*(4.2.4) samt *informationshantering*(4.2.5). Dessa områden betraktas som kritiska eftersom de ingår i alla pågående och framtida projekt som är beroende av berggrundens förutsättningar. I takt med samhällets tekniska utveckling och rådande lagstiftnings krav är det bergtekniska ämnesområdet således omfattande, se figur 2-1.

Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet, etapp2



Figur 2-1 Agendan för modern bergteknisk forskning, utveckling och innovation.

#### 4.2.1 Samhällsaspekter

Social, ekonomisk och miljömässig hållbarhet, inklusive säkerhet och arbetsmiljö, är avgörande för en utveckling av bergtekniksektorn. Social hållbarhet inkluderar hälsa och säkerhet, rättvisa och jämlikhet. En välplanerad underjordisk infrastrukturanläggning kan frigöra mark, som kanske tidigare har tagits i anspråk för vägar och järnvägar, och skapa möjligheter till andra användningsområden, exempelvis för bostäder, till arbetsplatser eller som rekreationsområden. Den svenska plan- och byggnadslagen (PBL) styr planeringsprocessen på markytan men erbjuder lite stöd vad gäller undermarken.

Det finns ett behov av att öka användningen av ingenjörsgelogisk information tidigt i stads- och infrastrukturplanering för att förbättra möjligheterna till att identifiera kostnadseffektiva och hållbara lösningar med avseende på undermarkens förutsättningar. Dessutom finns det ett behov av att utveckla rutiner och planeringsverktyg för en hållbar användning av undermarken.

Tillämpningen av PBL och övrig relevant lagstiftning i perspektiv av demokratiska granskningsprocessers tidsåtgång diskuteras ofta i stora byggprojekt som omfattar undergrunden. Det finns uppenbara behov för att utveckla kommunikationsverktyg mellan myndigheter, sakägare och allmänhet inför igångsättning av sådana projekt.

Ett ökat utnyttjande av undermarken berör också andra ämnesområden, t.ex. arkitektur och psykologiska/medicinska aspekter av att vistas under jord. Det finns behov av att bredda sådana kunskapsinriktningar.

En strävan är alltid att skapa säkra och tillförlitliga arbetsmiljöer där målet är noll olyckor. För en säker arbetsmiljö under jord kan automatisering och robotisering vara nödvändig för att undvika olyckor och tillbud. I ett längre visionärt perspektiv skulle detta kunna innebära en ingen arbetar fysiskt med sprängning, borrning, urlastning i gruvor eller i underjordiska projekt. Det är angeläget att överföra erfarenheterna från gruvnäringens pågående utveckling mot fullt automatiserad till bygg- och anläggningsindustrin.

I Sverige är de underjordiska anläggningarna en viktig del av utvecklingen av ett nytt totalförsvaret. Fortifikationsverket ingår i Sveriges krisberedskap genom att vara en aktiv del av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) och dess samarbetsområde för teknisk infrastruktur - SOTI. Traditionellt har hot mot samhället i första hand definierats som olika typer av krigsfall och naturkatastrofer. Samhället blir dock mer komplext och sårbart. Urbaniseringen har lett till befolkningscentra med många invånare på små avgränsade områden. Exempel på känsliga funktioner är då vatten- och elkraftförsörjning, IT-anslutningar, transport av både varor och människor. Sårbara platser kan vara banker, kommunala kontor, statliga byggnader, idrottsanläggningar, tunnelbanestationer, varuhus etc.

Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet, etapp2

De största hoten mot Sveriges nation har förändrats efter kalla kriget. De innehåller både militära och antagonistiska (terrorism) hot och kunskapen inom skydds- och säkerhetstekniken måste vidareutvecklas (Hagström och Andréén 2013). Viktiga samhällsfunktioners skydd och säkerhet måste också uppmärksammas i perspektiv av pandemiska hot där undermarksanläggningar kan spela en viktig roll för samhällsviktig lagerhållning och erbjuda utrymmen för ledningscentraler med extraordinära skydd.

#### 4.2.2 Bergbrytningsteknologi

Samhället förväntar sig att bergteknikbranschen tar ansvar för hållbara lösningar. Ett mer utvecklat samarbete mellan olika färdigheter och expertiser rekommenderas för att uppnå så hållbara undermarkskonstruktioner som möjligt (BeFo 2019). Tekniken bakom undermarksanläggningar har sina rötter i gruvindustrin och till att börja med behövdes ingen akademisk forskning för att utveckla effektivare brytningsmetoder. Så småningom innebar emellertid de omfattande tunnelbyggandena i stadsområden forskningsinsatser om förbättrade arbetsmiljöförhållanden. Vidare uppstod utvecklingsbehov för att minimera vibrationer och vatteninflöden till tunnlar och berggrum. Vatteninflöden kan leda till oönskade sänkningar av grundvattennivåer med sättningar i lerområden till följd. Fokuserade områden inom FoU har därför varit och är försiktiga och säkrare uttagsmetoder, tätningsteknologi och metoder för grundvattenhantering (Lindblom et al. 2018).

Mot bakgrund av flera projekt och deras problem med vattenhantering, t.ex. Hallandsåstunnlarna, Namntalltunneln och Förbifart Stockholm, och om berggrundens uttagsvolym ska ökas i framtiden kommer det att bli ännu viktigare att såväl kostnadseffektiva som hållbara metoder utvecklas i byggprocessen. FUD-aktiviteter kan inkludera: sprängning, fullortsborrning, sågning och urlastning, undersökningsmetoder, bergförstärkning, injektering för hantering av vatten- och frostproblem, drift och underhåll samt materialfunktion.

Den generella industriella trenden för bergteknik är att alltmer använda automatiserade metoder som minimerar att människor är direkt involverade vid berguttag, konstruktion, drift och underhåll. Gruvindustrin är hittills den mest avancerade delbranschen med att implementera automatisering, men byggbranschen förväntas ta betydande utvecklingssteg. Effektiv och pålitlig automatisering förutsätter emellertid god kunskap om berggrundens uppbyggnad och rådande fysikaliska/kemiska processer som sker i olika skal-områden och med olika tidsupplösning. Dessutom kommer den information som matas in i den automatiska tekniken att vara kritisk för teknikens totala prestanda och tillförlitlighet. Således kopplar automatisering naturligt och logiskt till vetenskapliga processer, vetenskaplig karaktärisering och informationshantering för kunskapsutvecklingen om berggrundens systemtjänster.

#### 4.2.3 Samverkande processer

I komplexa frågeställningar blir en kombination av kopplade termo (T) - hydro (H)- mekaniska (M) - kemiska (C) - biologiska (B) processer allt viktigare att förstå och där väsentliga utmaningar är relaterade till sammansatta osäkerheter som berör olika betraktade skalor. T.ex. kan en förbättrad geotermisk produktion bero på termo-hydro-mekaniska processer där störningar i småskalig dynamik kan vara kritisk för storskalig seismisk stabilitet och därmed långsiktig funktion. Vidare har termo-hydrokemiska-biologiska processer över mycket långa tidsrymder resulterat i berggrundens nuvarande mineralinnehåll och fördelning i detaljerad skalupplösning, medan berggrundstrukturer i mer övergripande skalor är avgörande för vattenhantering och mekanisk stabilitet i olika infrastrukturella undermarksanläggningar.

#### 4.2.4 Vetenskaplig och ingenjörinriktad karaktärisering

Berggrundens systemtjänster förutsätter att effektiva metoder används för att karaktärisera förhållandena i undermarken. Nyckelfrågor är: vilka egenskaper ska mätas, på vilket sätt ska de mätas och hur ofta? Geofysiska metoder har utvecklats avsevärt under de senaste decennierna, men ändå är deras användning för att uppnå relevant kvantitativ information fortfarande begränsad. Borrningstekniker har också utvecklats men metoderna upplevs ofta som relativt kostsamma. När det gäller karaktärisering i fält är den viktigaste utmaningen att bestämma hur mycket data som är tillräcklig för att säkerställa rimlig och hanterbar osäkerhet i den erhållna informationen.

Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet, etapp2

#### 4.2.5 Informationshantering

När fältdata har insamlats, vanligen genom en kombination av karaktäriseringsmetoder, är utmaningen att tolka och omvandla dessa data till användbar information. Visualisering med hjälp av informations- och kommunikationsteknologi (ICT) är allmänt tillgänglig men tillförlitligheten för all visualisering är beroende av att tolkningen av rådata bygger på en tillräcklig förståelse för underliggande kopplade processer med sina tillhörande osäkerheter. Framsteg för att tillhandahålla tillförlitlig information är därför nära knutna både till processförståelse och till berggrundens karaktärisering.

### 4.3 Innovations- och demonstrationsbehov i testbäddar

Med sina många användningsområden är berggrunden en viktig del av den breda uppsättningen av geosystemtjänster som kan bidra till att möta samhällsutmaningar under de kommande decennierna. Dessa tjänster spänner över allt från trygghet och säkerhet till vatten, energi och materialresurser. Ett mer effektivt utnyttjande av geosystemtjänster kan i slutändan leda till en betydande reduktion av samhällets miljöpåverkan, exempelvis en minskning av koldioxidbelastningen.

Nya idéer om produkter, metoder och processer måste utvecklas genom testning och demonstration under realistiska förhållanden. För undermarkskonstruktioner görs detta traditionellt i samband med byggfasen i verkliga projekt. Detta innebär emellertid ofta olika begränsningar, brist på tillgänglighet i både tid och rum och en svår arbetsmiljö, vilket kan begränsa testets och demonstrationens värde. Ett alternativ är att i större utsträckning använda särskilt anpassade berganläggningar, testbäddar, där det finns realistiska förhållanden eller där dessa kan simuleras. Äspö underjordslaboratorium i Oskarshamn erbjuder dessa möjligheter och kan utgöra en plattform för att utveckla berggrundens systemtjänster för hållbar utveckling i ett brett perspektiv, se figur 4-2.



Figur 4-2 Äspö underjordslaboratorium, Oskarshamn.

## 5 Analys av den tillämpade forskningens intresse

I samarbete med LTU Business har en analys av Äspölaboratoriets potential som öppen testbädd genomförts (LTU Business 2019). Utgångspunkten för analysen har varit att SKB:s planerade behov av Äspölaboratoriet minskar för att till slut vara uttömt 2024. Vägvalet står mellan avveckling eller att aktivt medverka till att Äspölaboratoriet kommer till användning som en forsknings- och testanläggning (testbädd) i någon annan organisations regi. Vidare har det antagits att den framtida verksamhetens överlevnad beror av storleken på; (1) SKB:s eventuella behov av anläggningen efter 2024, (2) de affärer som SKB International AB kan generera från SKB:s systerorganisationer och (3) externa intressenters behov av anläggningen. Med denna utgångspunkt som grund har analysen syftat till att undersöka och analysera det tredje kundsegmentets (externa intressenter) potentiell behov av en anläggning som Äspölaboratoriet, se figur 5-1.



**Figur 5-1** Äspölaboratoriets kundsegment idag och utredningens fokus på att avgränsat undersöka Äspölaboratoriets potential som öppen testbädd för gruv-, anläggnings- och geoenergiindustrin.

Kundkategorin externa intressenter omfattar ett mycket brett spektra av potentiella forsknings-, teknik- och användningsområden. Den stora bredden av möjligheter blev uppenbar som ett resultat av den 2-dagars Co-Creation workshop som inom ramen för förstudien leddes av RISE Innovation. Totalt lyftes 237 idéer fram som successivt sammanfördes till de följande 12 affärskoncepten:

### 1. Äspö Geosystems Services

För att lösa de stora samhällsutmaningarna: energiförsörjning, vattenförsörjning, materialförsörjning, infrastrukturutbyggnad, förtätning, avfallshantering och klimatpåverkan behöver vi kunskap om de processer som sker under mark – vad är marken, bergen och grundvattnets betydelse (stödande, producerande, reglerande och kulturella roll)? I dagsläget finns inget geocentrum, varken i Sverige eller internationellt, där fokus ligger på dessa utmaningar och som samlar kunskap för att lösa dem genom att bedriva tillämpad verksamhet inom forskning, utbildning och demonstration.

### 2. Äspö Deep Space Center

Äspölaboratoriet kan bli ett komplement till experiment som idag genomförs under kostsamma Zero-G Research-flygningar (<https://www.gozerog.com/>). Exempel på aktiviteter är mikrogravitationstester i ett av Äspölaboratoriets schakt (450 m). Falltester. Accelerationstester vid hög gravitation för materialprover m.m. Utveckling av testriggar och kapslar.

Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet, etapp2

### **3. Rock Solid Security Storage**

Använda befintlig infrastruktur under jord för förvaring av värdefulla föremål och information med möjlighet att klassa in det i olika säkerhetsnivåer beroende på djup/tillgänglighet.

### **4. Super Safe Deep Data**

Utnyttja anläggningens potential för säker lagring av känslig information. Långsiktigt stabil miljö i en existerande infrastruktur. Datorer i containrar, plug and play.

### **5. Deep Fire and Escape**

Tester och försök i en verklig underjordsmiljö på stort djup. Anpassningar för brandventilation. Små investeringar. Kontrollerad och billig uppsamling av släckvatten. Träning av räddningsinsatser i befintliga miljöer med avseende på kommunikation, rökdykning och brand i fordon.

### **6. Pumped Hydropower**

Anpassa och använd anläggningen för pumpkraft. Kan bli intressant för lagring av överskottsenergi från vind- och solkraftanläggningar.

### **7. European Center for Disease Prevention Control (ICDC)**

Smittskyddsforskning i en isolerad miljö. Skydd för antagonistiska handlingar i kasun i tunnelsystemet. Utveckling av motgift och skyddsutrustning. Utlokalisering från storstad till Äspölaboratoriet i Oskarshamns kommun.

### **8. International Drilling Development Center (IDC)**

Till exempel utveckling, test och demonstration av teknik för bergborrning till stora djup som en del i en nationell satsning på utvinning av förnyelsebar geotermisk värme. En angelägen satsning för att motverka den pågående klimatförändringen. Rotationsborrning är långsam i den svenska berggrunden. Hammarborrtekniken behöver utvecklas. Miljövänliga borrhål och utrustningar. Utveckla tekniken för att skapa spricksystem mellan borrhål på stora djup (Enhanced Geothermal Systems, EGS).

### **9. Äspö Littorinavatten och Littorinasalt**

På stort djup under Äspö finns ett isolerat grundvatten från Littorinahavets tidsepok som varade under perioden 7800-1000 f. Kr. Littorinahavet är ett av flera utvecklingsstadier i Österjöns utveckling och utbredning. Affärskonceptet handlar om att saluföra vatten och salt med Littorina som varumärke.

### **10. Äspö Deep Respit/Restaurant**

En förekommande kompletterande och service i vissa undermarksanläggningar. Några exempel är Atlas-Copcos besöksanläggning i Stockholm och VS Hagerbach i Schweiz.

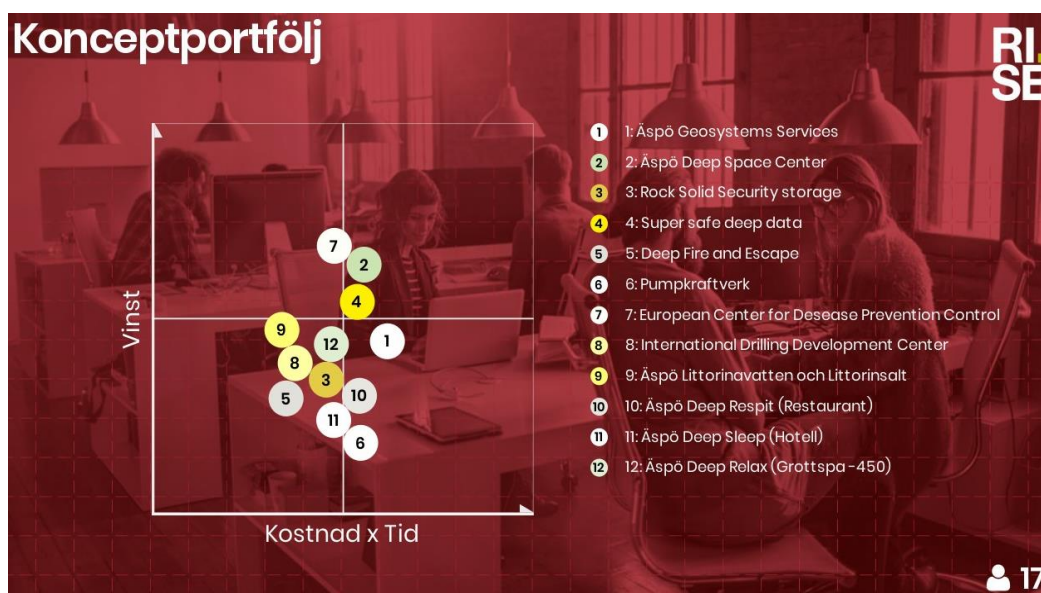
### **11. Äspö Deep Sleep/Hotel**

Komplettering till affärskoncept 10.

### **12. Äspö Deep Relax**

Komplettering till affärskoncept 10 och/eller 11.

Workshopen avslutades med en bedömning av affärskonceptens utvecklingspotential. Resultatet fördes in i ett diagram där de enskilda affärskonceptens vinstpotential visas som funktion av en grovt bedömd resursinsats (kostnad x tid), se figur 5-2.



**Figur 5-2** RISE Co-Creation Workshop. Översiktlig och grov bedömning av affärskonceptens vinstpotential som funktion av bedömd kostnad. Resultatet ska inte betraktas som slutgiltigt då bedömningen gjordes på känslomässig grund med tidiga utkast till affärskoncept.

Med utgångspunkt i resultatet av RISE Co-Creation workshop beslutades, efter förankring i referensgruppen, att inleda ett samarbete med LTU Business som har erfarenhet av testbäddsutvecklingar inom framförallt gruvindustrin. Samarbetet kom att omfatta en analys av Äspölaboratoriets potential som öppen testbädd för gruv-, anläggnings- och geoenergiindustrin för att närmare utreda affärskoncepten 1 och 8 och en utvidgning av dem. Övriga intressanta affärskoncept parkerades tills vidare.

För att få fram underlaget till analysen genomförde LTU Business 105 intervjuer med företrädare för beställare, entreprenörer, konsulter, forskare, forskningsfinansiärer, energibolag samt tillverkare av maskiner, utrustningar och material. För respektive industrisektor undersöktes om de framförda behoven var industri- alternativt forskningsrelaterade. I de närmast följande avsnitten (5.1, 5.2 och 5.3) sammanfattas vad som framkom av intervjuer. Redovisningarna inleds med en sammanfattande omvärldsanalys för respektive kundsegment. Därefter avslutas avsnitten med insikter och bedömningar som bygger på diskussioner inom referensgruppen och tidigare utredningar.

Avsnitten 5.4, 5.5 och 5.6 bygger på underlag och erfarenheter som kommer från andra initiativ än LTU Business utredning. I vilken omfattning som dessa områden kan bidra till testbäddens driftkostnader återstår att bedöma.

## 5.1 Gruvindustrin

Behovet av ny teknik och nya metoder inom gruvindustrin är stort och drivs mot målsättningen fullt automatiserad gruvdrift. Drivkrafterna är ökad produktivitet, nollvision avseende olyckor och samtidigt bidra till att de globala hållbarhetsmålen uppnås. Samtidigt går utvecklingen mot att gruvorna blir allt djupare och svårtillgängliga vilket leder till högre kostnader vilket driver behovet av ny teknik och nya metoder. Det är t ex stort fokus på digitalisering, automatiska processer, autonoma fordon och batteridrift. Digitala tvillingar – digitala modeller av verkliga gruvmiljöer – tas fram som stöd för att testa och simulera ny teknik och processer som inte går att testa i den verkliga gruvmiljön utan att störa gruvdriften.



Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet, etapp2

I Europa har de nordiska och svenska gruvaktörerna en stor tyngd. Sverige är en stor producent av mineraler inom EU (91 % av järnmalm, 33 % av zink, 23 % av guld och 21 % av silver). Det finns 14 producerande metallgruvor som ägs av ett fåtal gruvbolag. För underjordsutrustning står svenska verkstadsbolag för 60 % av all tillverkning globalt! LKAB:s och Bolidens investeringar i FoU år 2017 var 2 % respektive 1,3 % av omsättningen, vilket är stora satsningar i förhållande till andra branscher, se figur 5-3.

Gruvbolagen föredrar att låta maskin- och utrustningsbolagen genomföra tester och demonstrationer i sina egna gruvmiljöer. Gruvutrustning är dock ofta otymplig, tung och kostsam att frakta vilket resulterat i att vissa större utvecklingsbolag har egna testanläggningar. I undantagsfall, om utrustningen måste bevisa sin funktion i vissa förhållanden, som i kyla, värme, extra djup, extra hårt berg genomförs tester nära kunden.

LTU Business intervjuer med gruvindustrins aktörer resulterade i följande bedömningar:

- Gruvbolag
  - Testar i egna anläggningar – blir mer relevant och är ”gratis”.
  - Malmbearbetningstester intressant – Äspölaboratoriet är inte en relevant miljö för denna typ av tester.
- Maskin- och utrustningsutvecklare/-leverantörer
  - De flesta bolag har tillgång till egna anläggningar eller vill testa och demonstrera sina innovationer i kundernas verkliga miljöer.
  - Små bolag har visst intresse men med liten budget, tidig TRL-skala intressant i forskning.
- IT- och IS-utvecklare/-leverantörer
  - Stort testbehov men ser stora fördelar i att testa med kunder i aktiv produktion – både i kommersiella projekt och i forskningsprojekt.
- Konsultbolag
  - Har inga egna behov eller budgetar – kunderna måste beställa och betala.
  - Forskningsprojekt är en möjlighet.
- Forskning och akademi
  - Stort behov, vill samverka med ”riktiga” gruvaktörer i hög TRL, men gärna testbädd i låg TRL.
  - Budget för utbildning är mycket liten.

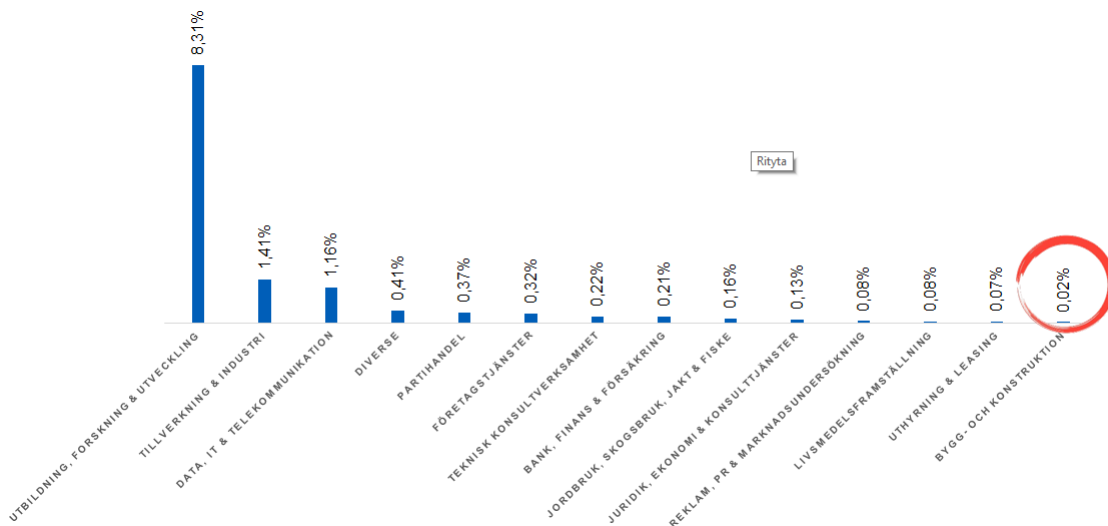
Utifrån dessa bedömningar kom LTU Business fram till att för innovationer nära marknaden (hög TRL) vill gruvindustrins aktörer lösa sitt testbehov i verklig produktion. Möjligheten för Äspölaboratoriet finns i låg/medel TRL-nivå inom akademisk gruvrelaterad forskning.

## 5.2 Anläggningsindustrin

LTU Business har i sin globala betraktelse kommit fram till att den globala bygg- och anläggningsbranschen är en av de största sektorerna i världsekonomin, med en fortsatt mogen tillväxt på ca 2,5-3% under 2019 (Construction industry forecast 2018-2020). Med pådrivande megatrender inom urbanisering, digitalisering och ökande levnadsstandarder så opererar branschen också i en mycket komplex kontext. Vilket leder till ett troligt behov av nya processer, metoder och tekniska innovationer.

Trots de stora utmaningarna är branschen globalt sett relativt lågteknologisk och trögriktig där marknads- och teknikförutsättningar skiftar långsamt. Detta kan ses även genom den globalt låga andelen investerat i FoU, både i monetära termer men också i antalet anställda, med undantag för många maskintillverkare. Den svenska byggsektorns investering i FoU, som är anmärkningsvärt låg, framgår av figur 5-3. Gemensamma globala problem av den låga innovationsgraden är den alltför låga produktiviteten. Detta är ett av de största problemen t.ex. Australien, USA, Canada, Indien, Nederländerna och Sverige. Trots att många av dessa länder har välutvecklad FoU nationellt satsas för lite medel på bygg- och anläggningsbranschen.

Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet, etapp2



**Figur 5-3** Den svenska byggsektorn investerar anmärkningsvärt lite i forskning och utveckling, endast 0,02 % av omsättningen. Forskningens omfattning och jämförelsen med de övriga sektorerna gällde för perioden 2012-2017 och för bolag med en omsättningen större än SEK 500 miljoner SEK. Uppgifterna är hämtade ur databasen Retriever.

LTU Business intervjuer med anläggningsindustrins aktörer resulterade i följande insikter:

- Entreprenörer
  - Tester sker i befintliga projekt
  - Innovation sker inom metod och process
  - Tester skulle bara ske tillsammans med akademi
- Maskin- och materialutvecklare/-leverantörer
  - Maskin-/Utrustningsutvecklare testar ofta hos kunderna
  - Finns materialområden med visst intresse, men inga större intäktströmmar
- Konsultbolag
  - Industritester kan göras hos kunder
  - Visst intresse SMEs, men för dyrt
  - Viss finansiering finns för forskning
- Trafikverket
  - De välkomnar ansökningar, men avtalar själva inte för tillgång till testplatser i t ex Äspölaboratoriet.
  - Ser möjligheter tillsammans med andra aktörer
- Forskning och akademi
  - Geofysik har andra alternativ
  - Mikrobiologi, geokemi etcetera behöver Äspö för sin unika forskning
  - Generellt låga intäkter från tester och undersökningar

Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet, etapp2

Med dessa bedömningar som grund kom LTU Business fram till att i närtid kommer testbehovet inom anläggningsindustrin drivas av främst forskningen.

Utöver LTU Business relativt övergripande betraktelse av anläggningsbranschen är det av väsentligt värde att härefter lyfta fram de faktiska planer som finns och resonemang som förs inom den svenska bergteknikbranschen.

FoU och innovation i det bergtekniska området genomförs traditionellt sett med relativt stor öppenhet i Sverige. Nära samarbete råder ofta mellan anläggningsbransch och gruvnäring, och mellan ägare, entreprenörer, maskintillverkare, tekniska konsulter, myndigheter och universitet. Stiftelsen Bergteknisk Forskning, BeFo, har sedan sin tillkomst på 1970-talet varit en stabil och långsiktig aktör som varit drivande för att utforma en väl fungerande nationell forsknings- och innovationsmiljö inom bergbyggnadsbranschen. BeFos huvudmän utgör en bred krets av företag och organisationer med gemensamt intresse av att utveckla bergtekniken. Den breda representationen med myndigheter, ägare, projektörer, entreprenörer, energiproducenter och gruvföretag definierar väl de bergtekniska forskningsbehoven men är samtidigt mottagare av resultatet. BeFos forskningsmedel kommer huvudsakligen från beställarorganisationerna Trafikverket och SKB. Genom samarbete med andra forskningsfinansierare som t ex Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF, och det statliga Forskningsrådet för miljö, areella näringar och samhällsbyggande, FORMAS, får bra forskningsprojekt möjlighet till samfinansiering som innebär en långsiktig och trygg finansiering för projekten, se Lindblom et al. 2018.

BeFo formulerar återkommande FoU-planer. Ett avsnitt i BeFo:s FoU-program 2017-2020 (BeFo 2019), se även **bilaga 1**, behandlar forskningens infrastruktur och man konstaterar där att *”nya idéer till produkter, metoder och processer behöver utvecklas genom test och demonstration under verkliga förhållanden”*. Man konstaterar vidare att Äspö-anläggningen *”nu är en test- och demonstrationsanläggning tillgänglig för akademi, företag och tekniska institut, något som avses utvecklas än mer. BeFo uppmanar att nyttja test- och demonstrationsanläggningar för att förbättra förutsättningarna att realisera innovationer och implementering av ny teknik inom infraområdet, gruvor och kraftindustrin.”*

Till såväl etapp 1 som till etapp 2 i föreliggande förstudie har knutits FoU-ansvariga representanter från de dominerande nationella entreprenadbolagen NCC, Peab och Skanska. Företagen har formulerat en gemensam avsiktsförklaring om hur man ser på Äspölaboratoriet och dess möjligheter till att utveckla den nationella kompetensen och att bidra till ett långsiktigt hållbart undermarksbyggande. Man konstaterar sammanfattningsvis att byggbranschen idag ofta saknar möjligheter att utföra storskaliga fältförsök under realistiska förhållanden. Dagens fältförsök måste därför utföras inom ramen för pågående byggprojekt och påverkar då vanligtvis produktionen, vilket resulterar i tidspress och bristfälliga resultat.

Representanterna för de uppräknade entreprenadbolagen konstaterar att Äspölaboratoriet medför unika möjligheter, där FoU kan utföras under realistiska förhållanden i lugn och ro. I avsiktsförklaringen identifieras och exemplifieras ett antal områden och verksamheter som man anser kunna vidareutvecklas i anläggningen:

- Hållbarhetsdrivet byggande. Framtidens undermarksbyggande kommer i allt högre grad att präglas av krav gällande material och byggprocesser. Fokus på låga livscykelkostnader kommer att vara i centrum i framtidens undermarksbyggande. Svensk byggindustri behöver utveckla det hållbara byggandet under kontrollerade förhållanden utanför den dagliga projektverksamheten för att kraftfullt påskynda utvecklingen.
- Automation av drivningscykelns arbetsmoment omfattande utsättning, borrhning, laddning/sprängning, lastning och förstärkning. Elektrifiering, digitalisering och autonoma arbetsfordon är ledord för den förutsedda utvecklingen.
- Mekanisk bergavverkning som ersättning för drivning av tunnlar/orter genom sprängning.
- Tätning (injektering) av vattenförande strukturer och till att börja med tester som stöd för implementering av lovande injekteringsmetoder som hittills inte kommit till användning i entreprenadverksamheten.

Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet, etapp2

- Drift- och underhåll av undermarksanläggningar. Med tillgång till en test- och demonstrationsanläggning kan industrin i samarbete med de stora beställarorganisationerna testa olika material och processer för att uppnå låga drift och underhållskostnader.
- Utökad och nödvändig användning av berggrunden under de växande och förtätade storstäderna. Undermarksförlagd säker infrastruktur, offentliga lokaler, affärscentra, bostäder etcetera.

### 5.3 Geoenergi och geotermi

Globalt växer geoenergiindustrin med ca 28 % per år, men aktörerna verkar mest lokalt förutom utrustningstillverkarna. Asien är den största tillväxtmarknaden. Drivkrafter består främst i att geoenergin är fritt tillgänglig och förnyelsebar. I Sverige omsätter geoenergiindustrin 15 miljarder SEK årligen och sysselsätter fler än 10 000 yrkesverksamma. Det är den tredje största förnybara energikällan i Sverige!

Forskning inom geoenergi är ett mycket litet gebit, och det ligger inte stort fokus på utveckling och innovation sett till hela branschen. Cirka 14 heltidstjänster i Sverige – inom akademi, institut och företag. Det stora antalet yrkesverksamma, som nämndes i föregående stycke, är anställda inom de många brunnborrningsföretagen och utvecklare och leverantörer av kollektorer och värmepumpsystem.

Industrin för utrustning till geoenergiindustrin är mycket närbesläktad med gruv- och anläggningsindustrin, och tester sker mestadels i företagets närhet. Sandvik, Epiroc, Bessac och Herrenknecht är stora europeiska aktörer och sedan finns det ett flertal riktigt stora asiatiska aktörer. De globala aktörerna har mycket stor marknadsandel medan de mer regionala tillverkarna av tillbehör och komponenter har endast en liten del av marknaden. För att få en signifikant intäkt från detta segment behöver någon stor aktör attraheras, men en majoritet av dem har egna anläggningar. De flesta industriaktörer utvecklar och levererar utrustning inom borrhning – borrhargar, borrhronor, mätinstrument, borrhör och borrhammare.

LTU Business intervjuer med geoenergiindustrins aktörer resulterade i följande insikter:

- Energibolag
  - o Test och utveckling av geoenergi står inte högt på energibolagens agenda.
- Maskin- och utrustningsutvecklare/-leverantörer
  - o Finns behov men också relativt stor tillgång till test siter och laboratorium.
  - o Segmentet med störst potential.
- Producenter, entreprenörer och konsulter
  - o De hänvisar uteslutande till maskin och utrustningstillverkarna för testbehov.
  - o De har inget eget behov eller budget för tester.
- Forskning och akademi
  - o Det finns ett stort intresse och ”vurmande” för Äspölaboratoriet inom akademien, men möjligheten att betala för tillgång är begränsad och osäker.

Med dessa insikter som grund bedömde LTU Business att aktörer med egen teknisk utveckling är intresserade av tester, men löser det generellt på ett bra sätt redan idag. Utbildningsinsatser är möjligt men med låg intäktpotential.

Utöver LTU Business betraktelse av geoenergiindustrin följer här kompletterande information hämtad från branschorganisationen Svenskt Geoenergicentrum.

Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet, etapp2

Organisationen Svenskt Geoenergicentrum (<http://geoenergicentrum.se/>) är sammanhållande för branschen. En återkommande aktivitet är den årliga Geoenergidagen. Den senaste genomfördes i oktober 2019 med särskilt fokus på aktuell forskning och utveckling för utvinning av värme från stora djup i berggrunden – geotermi. Detta mot bakgrund av energibolaget St1:s pågående djupbortdragningsprojekt i Esbo i Finland samt E.ON:s planer på ett liknande projekt i Malmö. St1 räknar med att ta geotermianläggningen i drift före årsskiftet 2020. Borrningarna (6,4 km) är nyligen slutförda. Vidare förs diskussioner bland forskare i Tyskland som avser att ansöka om att planera och bygga ett underjordiskt geotermilaboratorium allternativt utnyttja existerande underjordslaboratorier som t ex Äspölaboratoriet.

Det är särskilt St1:s framfusiga projekt i Finland som initierat diskussionen om förutsättningarna för en geotermisatsning i Sverige. Med hittills erhållna erfarenheter är det dock uppenbart att borrhörtekniken och metoderna för stimuleringen av berggrunden på stora djup behöver utvecklas vidare. Detta kan bara åstadkommas genom fler pilotprojekt av den typ som St1 genomför i Finland. Enligt St1:s projektledare behövs det 3-4 nya pilotprojekten innan borrhörtekniken och stimuleringsmetoder är mogna för produktionsborrning av geotermianläggningar i den skandinaviska urbergsberggrunden. Det finns ett stort behov av stödjande FoU-insatser för att undvika kostsamma misslyckanden i kommande djupbortdragningsprojekt och även här kan tillgången till en testbädd göra verklig skillnad. Till exempel fortsatt test och utvärdering av skonsamma metoder för hydraulisk spräckning av berggrunden på stora djup.

Inom geoenergibranschen i övrigt går utvecklingen mot allt större och djupare geoenergianläggningar, vilket ställer ökade kunskaper om berget som media för utvinning och lagring av värme/kyla. Hur denna utveckling påverkar omgivningen och användningen av berggrunden för övriga ändamål blir allt mer viktigt att ta hänsyn till.

## 5.4 Sveriges borrentreprenörer

Svenska Borrentreprenörers Branschorganisation (Geotec) har visat aktivt intresse för Äspölaboratoriet som test- och utbildningsmiljö. Detta har bl a framkommit som ett resultat av LTU Business utredning rörande Äspölaboratoriets marknadspotential. Här kan nämnas att Geotec och Avanti nyligen gått samman och bildat den nya branschorganisationen Borr företagen i Sverige. Om den nya organisationens intresse i Äspölaboratoriet kvarstår har inte följts upp.

Föreningen aktiva i borrhörbranschen (FAB) genomförde ett studiebesök i Äspölaboratoriet i samband med 2019 års årsstämma. Vid samma tillfälle genomfördes också en workshop under ledning av LTU Business i syfte att diskutera hur borrhörbranschen kan dra fördel av Äspölaboratoriets möjligheter.

Några av de förslag som föreningens medlemmar lyfte fram var:

- Utbildnings- och träningscenter för borrhör företag
- Utveckling av borrhör teknik för stora djup, t ex för geotermiborrning
- Tester- och kontroll av nya borrhör kronor
- Test och utvärdering av ny borrhör utrustning
- Kontroll och kalibrering av mätutrustning för inmätning av borrhör hål
- Utbildning i användning av mätutrustning för inmätning av borrhör hål
- Branschmöten

Listan med förslag blev omfångsrik och den föranleder initiativ till fördjupade diskussioner för att utreda den faktiska realiserbarheten, vilket inte har rymts inom denna förstudie.

## 5.5 Branschen för sanering och efterbehandling av mark och vatten

I Sverige är det främst tidigare industrier som har orsakat giftiga ämnen i mark och vatten. Exempel på förorenande verksamheter har varit: kemisk industri, gruvor med upplag av sulfidförande malmer, kemtvättar med lösningsmedel, träimpregnering, massa- och pappersindustri, oljedepåer, plantskolor och glasbruk. Enligt vårt lands miljö kvalitetsmål "Giftfri miljö" ska förorenade områden åtgärdas i så stor utsträckning att de inte utgör något hot mot människors hälsa eller miljön. Statliga medel har avsatts till åtgärder i områden med s.k. riskklasser 1 och 2, d v s i områden med störst potentiell farlighet. Riskklassningen har bedömts med hänsyn till: känslighet och skyddsvärde, föreningars farlighet, spridningsförutsättningar och föroreningsnivåer. För år 2020 avsätter Naturvårdsverket 645 miljoner kronor till avhjälpande av föroreningskador, inklusive sedimentåtgärder och sanering av mark inför bostadsbyggande.

De åtgärder som vidtas innebär att de omedelbara hoten från föroreningarna undanröjs. Den vanligaste metoden som tillämpats har varit att jord grävs upp och lagts på deponi. Efterbehandling av förorenade områden är en av miljödepartementets största utgiftsposter. I Sverige beskrivs ofta efterbehandlingen av förorenade områden som ineffektiv och att den sker med låg innovationsgrad (Naturvårdsverket 2016). Det finns därmed ett uppenbart behov av att utveckla såväl processer som metoder som leder till en ökad effektivitet i hanteringen av förorenade områden för att nå Naturvårdsverkets uppsatta mål (Naturvårdsverket 2013). Naturvårdsverket betonar att det är angeläget att i framtiden använda alternativa, mer miljö- och kostnadseffektiva metoder (Naturvårdsverket 2019).

Sveriges geologiska förhållanden, som domineras av lösa glaciala avsättningar på kristallin berggrund, innebär förutsättningar för föroreningstransport och efterbehandling som inte är så vanliga i den industrialiserade världen. I Sverige saknas idag en testnings-infrastruktur för att i fältskala studera föroreningsspridning och olika metoder för efterbehandling i djupare jordlager eller i sprickrik berggrund. En testbädd vid Äspölaboratoriet skulle därför vara värdefull ur såväl ett forsknings- som nyttiggörandeperspektiv för efterbehandling av förorenade områden i Sverige. Saneringsbranschen skulle på ett rationellt sätt kunna ta del av SKB:s redan genomförda FoU om radioaktiva ämnens transport, migration och fastläggning och vidareutveckla dessa erfarenheter för andra substanser och lösningar.

För att undersöka saneringsbranschens intresse för Äspölaboratoriet som en testbädd har, inom ramen för föreliggande studie, genomförts en enkätundersökning. Enkäten adresserades medlemmar i nätverket *Renare Mark*, vilket omfattar en stor andel av branschens aktörer. Enkäten var omfattande och svarsfrekvensen låg men vissa generella slutsatser framgår av enkätsvaren.

Sammanfattningsvis gav enkätsvaren följande åsikter:

- Entreprenörer/ Konsulter
  - Generellt positiva till en nationell branschgemensam anläggning för tillämpad forskning, utveckling och innovation inom branschen "efterbehandling av förorenade områden". Ser gärna ett samordnat engagemang med andra intressenter och med Sveriges geologiska undersökning, SGU och Statens geotekniska institut, SGI.
  - Branschen kan utveckla mätteknik och såväl konceptuella som numeriska modeller för sprickig berggrund; speciellt intressant för de klorerade lösningsmedlen, inklusive de klorfluorkarboner som använts för avfettning. Dessa vätskor är tyngre än vatten och kännetecknas också av hydrofoba egenskaper, d.v.s. de är svårlösliga i vatten (DNAPLs - "dense nonaqueous phase liquids")
  - Medverkan i testanläggning kan ge konkurrensfördelar på marknaden.
  - Forskningsinfrastruktur och stödsystem på plats vid laboratoriet är väsentligt men betonar att administrationen inte får upplevas omständlig.
  - Positiva till internationalisering
  - Ser möjligheter till fortbildningsverksamhet

Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet, etapp2

- Myndighet
  - Generellt positiva till en nationell branschgemensam anläggning för tillämpad forskning, utveckling och innovation inom branschen "efterbehandling av förorenade områden". Ser gärna ett samordnat engagemang där statliga myndigheterna SGU och SGI deltar.
  - Vissa myndigheter, länsstyrelser, ser finansieringsproblem i ett deltagande.
  - Hyser farhågor att projekt, där samverkande organisationer från entreprenad-/konsultorganisationer med akademisk forskning, kan bli tungrodda.
  - Hyser farhågor att administrationen kan bli för formaliserad och ineffektiv.
- Forskning och akademi
  - Generellt positiva till en nationell branschgemensam anläggning för tillämpad forskning, utveckling och innovation inom branschen "efterbehandling av förorenade områden".
  - Viktigt att tid från testresultat till marknadstillämpning kortas för tillämpad forskning.
  - Forskningsinfrastruktur och stödsystem på plats vid laboratoriet är väsentligt.
  - Positiva till internationalisering.
  - Ser möjligheter till fortbildningsverksamhet.
  - Ser möjligheter till undervisningsverksamhet i fält.

Med reservation för den låga svarsfrekvensen ger de inkommande svaren en bild av att saneringsbranschens olika aktörer ser fördelar med en satsning på en testbädd anpassad ämnesområdet i fråga. Nya effektiva metoder och teknik behöver utvecklas och med tillgång till en test- och demonstrationsmiljö kan utvecklingstiden kortas.

## 5.6 Universitetens forskning, utvecklig och innovation

Inom ramen för tidigare samarbete mellan SKB, Oskarshamns kommun (Nova Forskning och Utveckling (Nova FoU)), och universitet med geovetenskaplig grundforskning alternativt ingenjörsinriktning genomfördes tre seminarier och en vetenskaplig sammankomst under 2016. Vid sammankomsterna kartlades vetenskapssamhällets i Sverige intresse för Äspölaboratoriet, se bilaga 2.

Sammanfattningsvis och generellt sett har de akademiska företrädarna ställt sig positiva till en fortsatt verksamhet vid Äspölaboratoriet. Man betonade vikten av att en finansiellt långsiktig huvudman tar över driften av anläggningen. Man ansåg vidare att en framtida organisation bör ha en stark vetenskaplig legitimitet, gärna med direkt koppling mot något/några universitet. Anläggningen ansågs också kunna vara mycket värdefull för riktad kursverksamhet parallellt med forsknings-, utvecklings-, innovations- och demonstrationsarbete.

En behovsanmälan för framtida forskningsinfrastruktur lämnades in av KTH till Vetenskapsrådet (VR) i oktober 2017. KTH:s medsökande organisationer var LTU, UU, SU, Chalmers, LU/LTH, Linnéuniversitetet, Oskarshamns kommun och SKB. Behovsanmälan hade titeln "Nationella Geosfärsiska Laboratorier (NGL)". Titeln pluralisform appellerade till att Äspölaboratoriet sammanfördes som forskningsinfrastruktur med "Swedish Deep Drilling Project (SDDP)", som leds av Uppsala Universitet, och Riksriggen (bormaskin) som förvaltas av LU/LTH. Även LTU:s avancerade och nyutvecklade utrustning för bergspänningsmätningar ingick i ansökan.

Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet, etapp2

Resultatet av Vetenskapsrådets behovsinventering 2017/2018 innebar tyvärr att de "Nationella Geofärsiska Laboratorierna (NGL)" inte kunde bedömas på grund av bristfällig information eller otydlig beskrivning. I sammanfattning ansåg VR det vara tveksamt om Äspölaboratoriet till sin karaktär kan vara relevant för myndighetens finansieringsåtagande. Man konstaterade att i ett nationellt perspektiv "andelen icke-akademiska användare" skulle vara väldigt hög och att det möjligen kunde vara "lämpligt för universiteten, industrin, regionen och kommunerna att hantera finansieringen själva".

Sökande parter ser det som fortsatt angeläget att komma vidare med realiseringen av NGL-initiativet. Till att börja med krävs en konsortiebildning mellan SKB och de parter som VR omnämner i sitt yttrande. Vidare måste parterna enas om sina respektive andelar av den medfinansiering (50 %) som krävs för att vara kvalificerad för att ta del av VR:s infrastrukturmedel. Utöver nämnda parter är det angeläget att bjuda in RISE till konsortiet. Det är motiverat av att RISE i nuläget bedöms vara en potentiell framtida huvudman för Äspölaboratoriet. Ett framtidsscenario är att Äspölaboratoriet används och drivs dels som forskningsinfrastruktur dels som en mångfacetterad test- och innovationsinfrastruktur med RISE som huvudman. Detta inom ramen för ett konsortieavtal omfattande parterna RISE, SKB, universiteten, industrin, regionen och kommunen.



## 6 Specifikation av initial testbädd

Vinnovas utvecklingsmodell för testbäddar är framtagen som stöd för planering, projektering och realisering av en helt ny testmiljö. Äspölaboratoriet är en existerande forsknings-, test- och demonstrationsmiljö. Där finns redan anläggningar, infrastruktur och en rutinerad och kompetent organisation som dagligen möjliggör en säker och effektiv verksamhet i en verklig underjordsmiljö. Det betyder att utvecklingsmodellens aktivitet ”Specifikation av initial testbädd” i föreliggande förstudie handlar om att specificera behov av kompletteringar i befintlig testmiljö, d.v.s. kompletteringar som behövs för ny identifierad forsknings- och testverksamhet och som inte tidigare behövts för den verksamhet som SKB bedrivit och bedriver i Äspölaboratoriet. I övergripande ordalag följer här några exempel på kompletteringar och anpassningar som krävs för vissa tänkbara ny användningsområden.

Ny verksamhet som kräver tillredning av nya bergrum och orter under jord behöver projekteras och bygglov inhämtas innan arbetena kan påbörjas. Om utbygganden och/eller den planerade verksamheten i de nya bergutrymmena bedöms påverka omgivningen mer eller annorlunda än vad som hittills har varit fallet, krävs en tillståndsprövning i Mark- och miljödomstolen (MMD) vid Växjö tingsrätt. SKB:s successiva utbyggnad av anläggningen har hittills inte krävt någon tilläggsprövning.

Infrastruktur i form elnät, vatten-/brandvattenledningsnät och kommunikationsnät (mobil (DECT) och data) finns i hela anläggningen. Det finns också ett modernt nät för brandövervakning samt ett säkerhetssystem för positionsbestämning av personer och fordon under jord. Kommunikationsnätet för datakommunikation är skyddat och därför inte tillgängligt för annan verksamhet än SKB:s egen. Det senare innebär att anläggningen är i behov av ett extra nät för externa kunder. Ett extra nät för öppen mobilkommunikation kan också behövas.

SKB bedriver utveckling av helautomatiska fordon och maskiner. Det saknas dock ett öppet kommunikationsnät för t ex test av autonoma fordon, vilket betyder att anläggningen behöver kompletteras med en sådant för den typen av tester.

Med dessa insikter som grund kan testbäddsspecifikationer utvecklas vidare för de nya verksamheter som kan bli aktuella i framtiden. Detta arbete behöver emellertid i nuläget avvakta den övergripande strategin och förutsättningarna för Äspölaboratoriets framtida verksamhet. Se kapitel 11, Slutsatser och rekommendationer.

## 7 Kompetensförsörjningsmöjligheten, en del av samhällsnyttan

En separat studie genomfördes år 2017 som behandlade vilka samhällsnyttor som kan förväntas uppstå i kunskapsproducerande system utifrån de verksamheter och aktiviteter som genomförts vid eller på något sätt har en länk till Äspölaboratoriet (Falck och Snickars 2017). Utifrån en OECD-modell (OECD 2014) analyserades samhällsnyttor via en webbenkät till ett antal doktorer som identifierats som användare av Äspöanläggningen i sina doktorandstudier. Högst rankades kunskapsutveckling, hos forskare, ingenjörer och andra specialister, att vara en viktig samhällsnytta med Äspölaboratoriet. Näst högst rankades nya vetenskapliga resultat följt av betydelsen att uppnå verksamhetens specifika strategiska målsättningar. Information och kunskaps-spridning tillsammans med lansering av tekniska innovationer rankades därefter med hög värdering. Sammantaget visade studien att Äspölaboratoriet har en hög potential till samhällsnytta i form av kompetensförsörjning inom sitt breda geovetenskapliga ämnesfält.

Äspölaboratoriet representerar en anläggning som använt avancerade experimentella fältmetoder och tekniker för insamling och sammanställningar av databaser från multidisciplinära studier inom geovetenskapsområdet. Laboratoriet utvecklades initialt för att hantera ett utmanande samhällsproblem av nationell och internationell betydelse, kärnavfallsfrågan, men har i ett generellt perspektiv inneburit stora framsteg inom tillämpad geovetenskap. Databaserna och fälterfarenheterna har stor potential inom den geovetenskapliga utbildningssektorn inte minst med inriktning på de samhällsutmaningar och tillämpningar som presenterades i kapitel 4. Fälterfarenheter av tvärvetenskapliga och fysikaliskt/kemiskt kopplade processer likande Äspölaboratoriets omfattning saknas i ett globalt perspektiv i geovetenskapliga utbildningsprogram vid alla större universitet.

Svenska universitet och högskolor erbjuder geovetenskapligt kursutbud i relativt stor omfattning. En genomgång visar att ca 20 kandidat/högskoleprogram och ca 30 mastersprogram/civilingenjörsutbildningar med mer eller mindre geovetenskapligt innehåll föreligger, se bilaga 3. Till dessa kan adderas lärarutbildningar med naturvetenskaplig inriktning. Inom ramen för högskoleingenjörsutbildningar, vilka inte fullständigt redovisas i bilaga 3, genomförs grundläggande kurser i geoteknik. Dessutom är antalet fristående kurser med geovetenskapligt innehåll (geologi/naturgeografi) mycket stort och ingår i de flesta av de miljöinriktade i utbildningsprogrammen vid de regionala högskolorna. En slutsats vid genomgången av de svenska geovetenskapliga kandidat- och mastersprogrammen konstateras att mycket få fältkurser erbjuds studenterna.

### 7.1 Vetenskaplig och pedagogisk rapportering

Inom ramen för en studie (Snickars och Karlsson 2017) har den vetenskapliga publiceringen vid Äspölaboratoriet analyserats för perioden 1999-2013. Under perioden sammanställdes nästan 700 publikationer, varav cirka 2/3 var publikationer eller tekniska rapporter via SKB och 1/3 var akademiska bidrag. Däribland fanns drygt 80 publicerade vetenskapliga artiklar och över 140 doktorsavhandlingar inom geovetenskap, miljövetenskap, material- och energivetenskap och andra teknikvetenskapliga områden.

I detta sammanhang kan nämnas att årligen utnämner ISRM (International Society of Rock Mechanics and Rock Engineering) den globalt sett bästa doktorsavhandlingen inom det bergtekniska ämnesområdet. Vid två tillfällen har utmärkelsen, the Rocha Medal, tillfallit svenska doktorander (Ask 2006, Andersson 2010).

I tillägg har tagits fram ett antal läroböcker och andra akademiska bidrag relaterade till anläggningen. Exempel på undervisningslitteratur för en internationell målgrupp, baserade på resultat från laboratoriet och platsundersökningar i Äspös omgivning, är "Hydrogeology for Rock Engineers" (Gustafson 2012), "Rock Grouting - Theories and Applications" (Stille 2015) och "Stress Field of the Earth's Crust" (Zang och Stephansson 2010), KTH, (Andersson 2007 och Ask 2004).

Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet, etapp2

## 7.2 Hittills genomförda utbildningar, exempel

Frekvent förekommer olika studiebesök vid Äspölaboratoriet. En separat informationsavdelning vid SKB har genom åren organiserat studiebesöken. Målgrupperna och har varit starkt varierande, allt från beslutsfattare, folkbildande organisationer till grupper med fördjupat intresse i någon vetenskaplig frågeställning. Exkursioner inom ramen för olika universitetsprogram har varit och är även vanliga.

Riktade kurser med innehåll baserade på resultat från Äspölaboratoriets forskning har genomförts. Exempel på sådana kurser är:

- *Elements of the Back-end of the Nuclear Fuel Cycle: Geological Storage of Nuclear Spent Fuel* – En akademisk fortbildningskurs i kärnteknik (SH262V) vid KTH i samarbete med Nova forskning och utveckling, Oskarshamn och med stöd av SKB, Linnéuniversitetet Kalmar, “University of Illinois at Urbana-Champaign” och “European Master in Innovative Nuclear Energy – EMINE”.
- *Groundwater Development and Management in Hard Rock Areas* – En SIDA-finansierad kurs vid Chalmers baserad på Äspö-resultat och med ett delmoment vid Äspö.
- *Biochemistry at Äspö Hard Rock Laboratory* – Doktorandkurs med Linnéuniversitetet, Kalmar som ansvarig.
- *Hydrogeology for Rock Engineers* - Doktorandkurs vid Chalmers baserad på resultat från Äspö-anläggningen och från platsundersökningar vid Laxemarområdet, Oskarshamn.
- *Advanced Course in Rock Grouting - Developing the craftsmanship of rock grouting into the art of engineering* – Fortbildnings- och doktorandkurs arrangerad av Svenska Bergteknikföreningen/ BeFo i samarbete med SKB. Fältmoment under jord och föreläsningar vid Äspölaboratoriet.
- *Course, geological mapping of tunnel* – En masterskurs arrangerad av Geovetarcentrum, Göteborgs Universitet i samarbete med SKB.
- *Praktiska övningar i underjordsmiljö omfattande tunnelkartering och vattenförlustmätningar i borrhål*. LTU informations- och utbildningsaktivitet i samarbete med SKB.

## 7.3 Förslag på kursverksamhet

Inom ramen för det tidigare samarbetet mellan SKB, Oskarshamns kommun (Nova Forskning och Utveckling (Nova FoU)), och universitet med geovetenskaplig grundforskning alternativt ingenjörinriktning diskuterades utbildningsverksamhet med koppling till Äspölaboratoriet.

Följande typer av kurser rekommenderades:

- Konventionella kurser i geologi, geofysik, glaciologi, hydrogeologi, bergmekanik, hydrogeokemi, geotermiska processer och ydrologi, men med tonvikt på nya tekniker och data från Äspölaboratoriet och med tentativa upplägg ämnade att lösa stora, platspecifika, långsiktiga samhällstekniska och miljöinriktade problem.
- Tvärdisciplinära kurser, såsom integration av hydrogeologi och geokemi, integration av bergmekanik och hydrogeologi och integration av mikrobiologi och hydrogeokemi, med tonvikt på förståelse och modellering av kopplade processer.
- Systemintegrerade kurser för utveckling av så kallade "platsbeskrivande modeller" (Site Descriptive Models), processmodeller och prediktiva modeller, liksom "bakåt-modellering" i paleohydrologi och paleogeokemi, med tillhörande osäkerhetsanalyser
- Kurser om beslutsanalys och kommunikation av geovetenskapliga resultat (för experter, allmänhet och beslutsfattare), inklusive hur man formulerar geovetenskapliga resultat i ett bredare sammanhang och perspektiv.

Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet, etapp2

Dessutom har branschspecifika fortbildningskurser föreslagits. I föreliggande utredningsprojekt har diskuterats några exempel:

- Geotermiska system inom ramen för Svenskt Geoenergicentrums verksamhet.
- Borrteknik inom ramen för branschorganisationen Borr företagen i Sverige.
- Bergteknik och anläggning inom ramen för Svenska Bergteknikföreningens verksamhet.
- Kompetensutveckling och fortbildning via SGF, Svenska Geotekniska Föreningen.

Ovanstående förslag fokuserar på geovetenskaplig kompetensförsörjning. Infrastrukturen och lokaliteterna vid Äspö erbjuder emellertid kursmöjligheter i ett mycket bredare samhällsperspektiv.

## 7.4 Rekommendationer

För att etablera en kompetensförsörjande verksamhet vid Äspölaboratoriet finns ett behov av att skapa en administrativ enhet som knyts till FoU-organisationen och den eventuella testbädden. Olika rekommendationer har noterats i samband med tidigare nämnda seminarier vilka arrangerades av vetenskapssamhället tillsammans med SKB och Nova Forskning och Utveckling (Nova FoU) inom Oskarshamns kommun. Ytterligare förslag noterades i samband med den Co-Creation workshop som leddes av RISE Innovation.

I nuläget finns ändamålsenliga lokaler för undervisning, kontorsarbetsplatser och laborationshallar vid sidan av själva Äspölaboratoriets underjordsdel. I sammanfattning rekommenderas dock följande för att skapa en väl fungerande utbildningsmiljö vid Äspölaboratoriet:

- Ändamålsenliga övernattningsmöjligheter för internatverksamhet.
- Administrativt stöd bör etableras för att organisera undervisningsaktiviteter.
- För grundutbildning finns behov av formalisering av studieresultats registrering (och examinationsrättigheter); utveckla formellt samarbete med akademien.
- Utveckla samarbete med branschspecifika fortbildningsorganisationer.
- Utveckla samarbete med Sveriges Bygguniversitet och andra universitets nätverk.
- Utveckla samarbete för fortbildning av personal vid svenska myndigheter, t.ex. SGU, SGI, HAV och Naturvårdsverket, samt undersök möjligheterna till specifika utbildningar inom ramen för Trafikverkets undermarksverksamhet. Trafikverket kräver ofta genomförda licensierande kurser för vissa arbetsmoment i tunnelprojekt.
- Utveckla samarbete med regionala skolväsendet och folkbildande organisationer.

I de långsiktiga projekt som SKB driver är det viktigt att ha en kontinuitet i kompetensförsörjningen. SKB diskuterar och presenterar sin kompetensförsörjningsplanering på kort och lång sikt i sitt FUD-program 2019, (SKB 2019a). SKB skriver i sitt FUD-program 2019, angående kompetensförsörjning, att man behöver ha en ”sammanhållen grupp av personer med kunskap om metodiken för analys av säkerhet efter förslutning med en bred och tvärvetenskaplig insikt om hur de olika processerna som påverkar förvarets säkerhet samverkar också personer med djup kunskap om de ämnesområden som påverkar säkerheten, det vill säga inom geovetenskap (till exempel geologi, hydrogeologi, geokemi), materialfrågor (kapselmaterial, lermaterial, cementmaterial), avfall och använt kärnbränsle (kriticitet, strålskydd, kemi, lösligheter etcetera), ämnestransport (tekniska barriärer, berg), ytnära ekosystem och klimatutveckling. Dessutom behövs kompetens att kombinera och integrera kunskap från alla dessa ämnesområden för att kunna genomföra analyser av säkerheten under drift och efter förslutning, det vill säga kompetens i säkerhetsanalysmetodik”.

Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet, etapp2

En ny huvudman alternativt en eventuell nyetablerad ägarkonstellation rekommenderas därför att i samarbete med SKB att:

- utveckla och vid Äspölaboratoriet genomföra för SKB interna fortbildningskurser i kärnavfallsteknik och i säkerhetsanalysmetodik. Lämpligen nyttjas befintliga databaser från Äspö i undervisningsmaterialet. Vidare finns där förutsättningar för olika fältmoment.
- utreda Äspöanläggningens förutsättningar för de planerade utbildningsprogram som SKB arbetar med att ta fram för alla som ska arbeta med uppförandet av respektive kommande anläggningar.
- utveckla en strategisk plan för samarbeten med universitet och högskolor, detta för att ta fram ny kunskap inom för SKB viktiga områden samt för att bibehålla och utveckla kompetens.

## 8 Testbädden i ett internationellt perspektiv

SKB:s forskning och utveckling bedrivs i samarbete med ett globalt och omfattande nätverk av forskare och specialister. Det gäller även den verksamhet som SKB bedriver vid Äspölaboratoriet. I särskilda forum, Äspö Task Force, samarbetar forskare och experter med frågeställningar som har betydelse för slutförvaring av radioaktivt avfall:

- SKB Task Force on Modelling of Groundwater Flow and Transport of Solutes
- SKB Task Force on Engineered Barriers.

Det förstnämnda bildades 1992 och har pågått framgångsrikt oavbrutet sedan dess. Den 38:e konferensen genomfördes i Berlin i februari 2020. Mängden av vetenskapliga artiklar framgår av SKB Task Force publications website (<https://www.skb.se/taskforce/publications/>). Utöver artiklarna finns ett 100-tal rapporter av hög kvalitet varav de allra flesta är publika. Syftet med samarbetet är att diskutera och utveckla numeriska metoder, materialmodeller och källkoder med stöd av och jämförelse med resultat från genomförda fältexperiment. Samarbetsformen har varit framgångsrik och förordas för utvecklingsarbete inom andra ämnesområden, till exempel modellering verkliga experiment relaterade till geotermi, koldioxidlagring etcetera.

SKB är en av elva medlemmar i den europeiska teknikplattformen IGD-TP (The European Implementing Geological Disposal of radioactive waste Technology Platform). Samarbetet syftar till att inom EU stärka det internationella samarbetet avseende utveckling och realisering av anläggningar för geologisk slutförvaring av långlivat radioaktivt avfall som till exempel använt kärnbränsle. Utöver de elva drivande medlemmar är ca 60 universitet, högskolor och forskningsinstitut. I detta samarbete har de europeiska underjordslaboratorierna en väsentlig roll, vilka förutom att användas för forskning och tester används för att demonstrera och kommunicera slutförvarsteknikens funktion och mognad. För mer information hänvisas till IGD-TP:s webbplats (<https://igdtp.eu/>).

SKB:s dotterbolag SKB International (<https://www.skbinternational.se/>) utför sedan drygt trettio år tillbaka konsultuppdrag i andra länder baserat på det kunnande som har byggts upp i det svenska kärnavfallsprogrammet. Bland SKB Internationals tjänsteutbud ingår laboratorietjänster. Till exempel kan kunden få tillgång till experimentplats i Äspölaboratoriet inklusive tillgång till servicetjänster för genomförande av experiment. Tjänsteutbudet omfattar även möjligheten att mer ingående och löpande följa SKB:s verksamhet i Äspölaboratoriet. Det är framförallt SKB:s motsvarigheter i andra länder som utgör SKB Internationals kundunderlag. I nuläget är det Japan och Tyskland som är särskilt intresserade av Äspölaboratoriet som testmiljö. SKB internationals kundkrets kan varaktigt ses som kunder till en ny huvudman med en lämplig avtalslösning med SKB International. Vidare har SKB International nyligen bildat *School of Geological Disposal* med stark koppling till verksamheten vid Äspölaboratoriet.

OECD Nuclear Energy Agency (<https://www.oecd-nea.org/>) verksamhet omfattar en mängd arbetsområden. Ett av dem är hantering och avveckling av radioaktivt avfall (<https://www.oecd-nea.org/rwm/>) som avdelningen RWMD inom OECD NEA ansvarar för med följande målsättningar:

- Bistå medlemsländerna i utvecklingen av säkra, hållbara och samhällsliga acceptabla strategier för hantering av alla typer av radioaktivt avfall, inklusive använt kärnbränsle betraktat som radioaktivt avfall, avveckling av kärnkraftsanläggningar och hantering av äldre platser, anläggningar och avfall.
- Förse regeringar och andra relevanta intressenter med auktoritativ, tillförlitlig information om de politiska, strategiska och reglerande aspekterna av utvecklingen av nationella program inom dessa områden.

SKB deltar i NEA:s aktiviteter och sammankomster. Senast i februari 2020 i Paris där OECD NEA har sitt säte. Bl a berördes vikten av tester och demonstrationer i underjordslaboratorier som t ex Äspölaboratoriet, Grimsel Test Site i Schweiz och ANDRA:s underjordslaboratorium i Bure i Frankrike. Använd de laboratorier som finns istället för att investera i fler nationella anläggningar, var en åsikt som framfördes och diskuterades.

Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet, etapp2

IAEA i Wien leder och administrera URF Network (Underground Research Facilities Network for Geological Disposal), se [https://nucleus.iaea.org/sites/connect/URFpublic/Documents/URF-Network\\_TOR\\_2016.pdf](https://nucleus.iaea.org/sites/connect/URFpublic/Documents/URF-Network_TOR_2016.pdf). Deltagare i nätverket är kärnavfallsorganisationer som har väl utvecklade nationella program för geologisk slutförvaring av radioaktivt avfall och andra som har mindre väl utvecklade program. En aktivitet som pågått en tid ska resultera i ett dokument som sammanfattar all den forskning och tester som genomförts och pågår i underjordslaboratorier inom området geologisk slutförvaring. Rapporten förväntas komma till tryck mot slutet av 2020. SKB:s omfattande verksamhet i Äspölaboratoriet ingår i underlaget till rapporten. Även inom detta samarbete vill man främja fortsatt och utökad användning av de underjordslaboratorier som finns att tillgå istället för att bygga nya nationella anläggningar. Budskapet är särskilt riktat till de länders kärnavfallsorganisationer som är i ett tidigt skede med sina slutförvarsplaner.

ISRM (International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering) är en etablerad och världsomspännande organisation som har till uppgift att främja forskning, utveckling och utbildning inom bergmekanik och dess tekniska tillämpningar genom internationellt samarbete och erfarenhetsutbyte (<https://www.isrm.net/>). Medlemsantalet uppgår till ca 5000 från mer än 60 länder. Svenska Bergmekanikgruppen ([http://www.svbergteknik.se/internationella-utskottet/isrmsvenska-bergmekanikgruppen\\_255](http://www.svbergteknik.se/internationella-utskottet/isrmsvenska-bergmekanikgruppen_255)) är den svenska medlemsgruppen i ISRM. Antalet medlemmar i den svenska medlemsgruppen är 107 enskilda medlemmar (Individual members) och 20 stödjande medlemsföretag (Corporate members). Bland de svenska medlemsföretagen finns de stora gruvbolagen, konsultbolagen, entreprenadföretagen, BeFo, RISE och SKB. ISRM:s verksamhet är omfattande och uppdelad i ett 15-tal kommissioner och tre kommittéer. Den bergmekaniska forskningen vid Äspölaboratoriet har rönt uppmärksamhet inom ISRM vid flera tillfällen. Till exempel har upphovsmännen till två svenska doktorsavhandlingar (Ask 2004, Andersson 2007) tilldelats The Rocha Medal (<https://www.isrm.net/gca/?id=288>). Ett pris som ISRM styrelse delar ut årligen sedan 1981. Båda doktorandarbena har genomförts med Äspölaboratoriet som experimentplats. Inga andra svenska doktorandarbena har belönats med priset sedan det instiftades. Av detta kan slutsatsen dras att Äspölaboratoriet är ett starkt varumärke internationellt inom bl a det bergmekaniska forskningsområdet. Vidare kan nämnas att det har funnits tankar om att bilda en kommission för att främja användningen av existerande underjordslaboratorier för genomförande av bergmekaniska experiment. En tanke som är intressant att utveckla vidare i samarbete med ISRM.

ITA (International Tunneling and Underground Space Association) är den ledande internationella organisationen som främjar användning av tunnlar och underjordiska utrymmen genom kunskapsspridning, tekniskt försprång och etisk affärspraxis (<https://www.ita-aites.org/>). Svenska Bergteknikföreningen representerar Sverige genom medlemskap i ITA. Med detta gruppmedlemskap har medlemmar i Svenska Bergteknikföreningen möjlighet att delta i ITA:s arbetsgrupper. Medlemskapet ger även möjlighet att delta i kommittéerna ITA-CUS (ITA's Committee on Underground Space) och ITA-CET (ITA's Committee for Education and Training). ITA-CUS, som ofta skrivs ITACUS, verksamhet utgår från visionen om en urban framtid i undermarksrymden (underground space). Den är ofta en förbisedd tillgång i stadsplaneringen. En tillgång som kan spela en viktig roll för att bekämpa brist på utrymme i städerna. Städer behöver plats för bostäder, för infrastruktur men också för allmänna utrymmen. När kraven på städer växer i fråga om rumsliga krav måste de också klara av klimatförändringar, både vad gäller minskning och anpassning och måste bli mer motståndskraftiga när det gäller naturkatastrofer. Dessa fakta och idéer om förändring lyfter ITACUS fram i en aktuell video (<https://www.youtube.com/watch?v=eeciUPtHfZ4>). ITACUS vision knyter an till berggrunden som resurs för hållbar utveckling som lyfts fram i kapitel 4 i denna rapport. Även i detta sammanhang kan en testbäddsverksamhet vid Äspölaboratoriet bidra till att berggrunden kommer till utökad användning i framtiden.

Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet, etapp2

Flera tyska forskningsorganisationer förespråkar en omfattande satsning på utvinning av geotermisk energi från stora djup i det kristallina urberget. Frågan drivs av till exempel Karlsruhe Institute of Technology (KIT) som vänt sig till den tyska Helmholtz-stiftelsen och ansökt om medel för att planera, projektera och bygga ett nytt underjordslaboratorium (GeoLaB) för geotermiforskning (KIT 2016). Övriga intressenter i detta initiativ är Helmholtz-centret UFZ och det tyska geovetenskapliga centret GFZ i Potsdam. Ansökan bordlades av diverse utsagda (konkurrens mellan forskare?) och sagda skäl. Till det senare är tillståndsprövningen för ett underjordslaboratorium en komplicerad process i Tyskland och dessutom finns av förekommen anledning en oro, bland beslutsfattare och allmänheten, för att experimenten ska orsaka jordbävningar. Forskningsintressenterna å sin sida menar att forskningen syftar till att utveckla nya metoder och innovationer som ska minska risken för skadliga konsekvenser. Under tiden för de pågående övervägandena i Tyskland genomförde forskarna ett geotermirelaterat och framgångsrikt bergmekaniska experiment i Äspölaboratoriet våren och försommaren 2015. Experimentet gav upphov till ett stort antal publicerade artiklar och fördjupade analyser av den mycket omfattande mängden geofysikdata pågår fortfarande. Medverkande forskare i det aktuella experimentet söker medel för nya experiment i Äspölaboratoriet. Huvudresultaten presenterades av experimentets forskningsledare, Dr. Arno Zang vid GFZ i Potsdam, på ISRM 14<sup>th</sup> International Congress of Rock Mechanics, som ägde rum i Brasilien i september 2019.

Med start hösten 2017 inleddes ett Östersjösamarbete på initiativ av Uleåborgs universitet i Finland som går ut på att med regionala utvecklingsmedel (EU Interreg BSR (Baltic Sea Region)) stärka Östersjöregionens underjordslaboratoriernas ställning och främja deras långsiktiga fortlevnad. Detta i grunden föranlett av den planerade nedläggningen av Pyhäsalmi-gruvan i centrala Finland som är Nordeuropas djupast (1400 m) belägna gruva. Samarbetet pågår och går ut på att skapa och etablera samarbetsorganisationen European Underground Laboratories association (EUL) samt en tillhörande webbplats med information om de underjordslaboratorier som är medlemmar i föreningen. En av tankarna med EUL är att utgöra en gemensam plattform för att ansöka om infrastrukturmedel från kommande utlysningar från EU:s Horizon-program och andra finansieringskällor. Samarbetet bedrivs under projektakronymen BSUIN (Baltic Sea Underground Innovation Network) som närmar sig sitt avslut den 30 september 2020. I väntan på att EUL ska bildas och webbplatsen publiceras kan BSUIN:s aktiviteter följas på projektets webbplats (<http://bsuin.eu/>). SKB har inte tagit slutlig ställning till medlemskap i EUL.



## 9 Förutsättningar för bildande av konsortium

### 9.1 Kort om Äspölaboratoriets tillkomst

År 1986 presenterade SKB sina planer på att bygga ett underjordslaboratorium på ca 500 meters djup i en ostörd kristallin berggrundsmiljö. En lokalisering av underjordslaboratoriet till något av kärnkraftslägena sågs som fördelaktig och då särskilt en lokalisering till Simpevarp i Oskarshamn. Där fanns redan en etablerad service och annan för forskningsarbetet nödvändig infrastruktur. Undersökningarna på och från markytan i Simpevarpsområdet inleddes hösten 1986. I slutet av 1988, och med stöd av undersökningsresultaten, fattade SKB ett principbeslut om lokalisering av underjordslaboratoriet till södra Äspö ca 2 km norr om Simpevarpshalvön.

### 9.2 Verksamhetens tillåtlighet, avtal och servitut

I augusti 1989 beslutade regeringen att lokaliseringen av underjordslaboratoriet skulle prövas enligt dåvarande Naturresurslagen (NRL). Den 19 april 1990 fick SKB tillstånd att lokalisera och etablera underjordslaboratoriet till Äspö. En samrådsgrupp med företrädare för länsstyrelsen, Oskarshamns kommun, OKG Aktiebolag och SKB bildades för att behandla miljöfrågor, t ex hanteringen, användningen och avyttringen av sprängstensmassorna. Bygglov för tunnelnedfarten och etableringen på norra delen av Simpevarpshalvön erhöles av kommunen i juni 1990. För etableringen av Äspö Forskarby och berganläggningen under Äspö krävdes godkännande av ny detaljplan enligt Plan- och Byggnadslagen (PBL). Detaljplanen godkändes av kommunen, länsstyrelsen liksom av regeringen som gav sitt tillstånd i oktober 1990. Bygg- och anläggningsarbetena startade direkt efter att tillståndet vunnit laga kraft. Senare, 2001, reviderades detaljplanen inför en expansion av verksamheten. Detaljplanen innebär bl a att strandskyddet är exkluderat inom tomtmarken (Långö 2:22).

Verksamhetens tillåtlighet är prövad enligt dåvarande vattenlagen. Vattendom erhöles efter prövning av Vattendomstolen vid Växjö tingsrätt i september 1990. Med vattendomen följde krav på

- kontrollprogram för grundvattenstånd och vattenanalyser i närmast liggande fastigheternas brunnar under perioden t o m 1995.
- kontrollprogram för grundvattenstånd och vattenanalyser i projektets egna undersökningsborrhål under perioden t o m utgången 2004.

Av detta framgår att det sedan 1995 respektive 2004 inte finns något krav på kontrollprogram i beskriven omfattning. Däremot har SKB fortsatt mätningarna och analyserna i forsknings- och experimentsyfte.

Förutom tillstånd att lokalisera verksamheten till södra Äspö erhöles tillstånd

- att utföra ny vägbank med trumma vid det så kallade Äspöhålet mellan ön Mjälén-Jungfrun och Äspö (åtgärden är genomförd).
- att genom pumpning bortleda allt inläckande salt- och/eller grundvatten som preliminärt (vid ansökningstillfället) beräknats till cirka 25 l/s, från ett stort djup under Äspö anlagt berglaboratorium och från tillfartstunneln dit.
- att anlägga en cirka 45 m lång utloppsledning av PEH-rör i Hamnefjärden vid kylvattenutloppen från kärnkraftverken O1 och O2 samt genom denna ledning släppa ut det från laboratoriet och tunneln bortledda vattnet, allt inom mark- och vattenområden som upplåtits av fastighetsägaren OKG Aktiebolag (åtgärden är genomförd).

Pumpningen och bortledningen av det inläckande vattnet till Hamnefjärden fortgår alltjämt. Mängden utpumpat vatten har minskat med tiden och är numera mindre än 15 l/s.

Utöver de myndighetsgivna tillstånden bedrivs verksamheten i kraft och stöd av ett flertal avtal och servitut. Här är särskilt avtalen och det goda samarbetet med markägaren OKG Aktiebolag en förutsättning och av väsentligt värde. Ett servitutsavtal tecknades den 19 juni 1990, vilket ger SKB rätt till väg över OKG:s mark (Långö 2:21), en avloppsledning för grundvatten från tunnelpåslaget till

Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet, etapp2

Hamnefjärden, samt en förskärning och ett tunnelpåslag. Ett arrendeavtal tecknades också i juni 1990 för att på arrendestället - intill norra stranden av Simpevarpshalvön (Simpevarp 1:8) - anlägga en förskärning, tunnelpåslag, underjordisk tunnel mot Äspö och anordningar för avledning av grundvatten till Hamnefjärden samt tillfälliga byggnader under anläggningskedet. Avtalet har efterhand uppdaterats och omfattar numera en utökad areal samt att ett flertal permanenta byggnader (kontor, verkstad och förrådsbyggnader) har uppförts på arrendestället. Med avtalet följer att SKB inte har rätt att upplåta nyttjanderätten eller överföra arrenderätten utan OKG:s skriftliga medgivande.

SKB:s verksamhet vid Äspölaboratoriet bedrivs på följande fastigheter:

- Oskarshamn Långö 2:21, som ägs av OKG (Borrhål inklusive installationer)
- Oskarshamn Långö 2:22, som ägs av SKB (Äspölaboratoriets ovanjordsanläggning)
- Oskarshamn Ävrö 1:16, som ägs av OKG (Borrhål inklusive installationer)
- Oskarshamn Simpevarp 1:8, som ägs av OKG (Tunnelnedfarten, manskaps-, garage-, förråds- verkstadsbyggnad och en tvätthall för fordon)

Av utdragen ur fastighetsregistret framgår att ägaren av Långö 2:22 har rätt (officialservitut) till väg över fastigheten Långö 2:21. Vägen är byggd och ansluter Långö 2:22 till Kråkelundsvägen som är en gemensamhetsanläggning med benämningen Oskarshamn Långö ga:1. SKB är andelsägare i Kråkelundsvägen. Till Långö 2:22 ansluter kraftledningar (en sjökabel och en luftledning) till förmån för Olofström Hallandsboda 1:82 som ägs av E.ON Elnät Sverige AB.

VA-lösningen för Långö 2:22 omfattar dels en vattenledning ansluten till OKG:s vattenreningsverk dels en avloppsledning ansluten till OKG:s avloppsreningsverk. Båda ledningarna är till förmån för Långö 2:22 och till last för Långö 2:21 och Simpevarp 1:8. Förmånerna/lasterna är dock inte inskrivna som rättigheter (servitut) i fastighetsregistret, vilket bör åtgärdas.

### 9.3 Investerings- och driftkostnader

SKB har mer än 30 års erfarenhet av att äga och driva Äspölaboratoriet som förutom det unika underjordslaboratoriet omfattar Äspö Forskarby samt byggnader och infrastruktur belägna på den norra stranden av Simpevarpshalvön, se figur 9-1. Utöver detta underhåller SKB delar av det vägnät som förbinder Äspölaboratoriets olika delar. Dessutom ingår drift och underhåll av borrhålsplatser på Äspö och i landskapet omkring Äspö.



**Figur 9-1** – Det illustrerade landskapet är sett från sydväst. Underjordslaboratoriets tillfartsramp utgår från Simpevarpshalvön (nedre högra hörnet i figuren) för att på 220 m djup nå fram till södra delen av Äspö där Äspö Forskarby (övre vänstra hörnet i figuren) är belägen. Från 220 m djup fortsätter rampen i spiralform ned till 460 m djup. Rampens totala längd är 3 600 m. Vägförbindelsen till Äspö via Kråkelundsvägen visas i den övre delen av figuren. Från Äspö Forskarby kan underjordslaboratoriet nås via hiss med stannplan på nivåerna 220, 340 och 450 m.

Platsundersökningarna för Äspölaboratoriet 1986-1990 kostade i storleksordningen SEK 100 miljoner<sup>1</sup>. Byggskedet 1990-1995 drevs som ett investeringsprojekt med två delar. Dels en forskningsbudget på SEK 150 miljoner och dels en anläggningsbudget på SEK 350 miljoner.

Nedlagda totalkostnader under driftskedet 1995-2017 är uppskattat till SEK 2.5 miljarder, d v s i snitt en kostnad på drygt SEK 100 miljoner per år. För perioden 2018-2022 är totalbudgeten för projekt och drift ca SEK 80 miljoner per år. Den totala investeringen i Äspölaboratoriet och Äspö Forskarby åren 1986 – 2023 är därmed i storleksordningen SEK 3.6 miljarder.

Den årliga totala kostnaden för basdriften av Äspölaboratoriet i sin helhet uppgick 2018 till drygt SEK 28 miljoner, se tabell 9-1

**Tabell 9-1 – Äspölaboratoriets basdriftkostnader fördelade på underjordslaboratoriet och Äspö Forskarby.**

Kostnadstyp	Underjordslaboratoriet (MSEK)	Äspö Forskarby (MSEK)
Drift och underhåll (serviceavtal etc)	14,0	9,0
Personal anläggningsdrift	3,5	1,6
<b>SUMMA</b>	<b>17,5</b>	<b>10,6</b>

Platsorganisationen kan också tillhandahålla geovetenskapligt stöd, experimentservice samt mät- och instrumentteknisk kompetens och service. Dessa typer av stöd och service behövs oftast för det praktiska genomförande av experiment och tester. I detta sammanhang har kostnaden för denna del bedömts till ca SEK 3,0 miljoner. Kostnaden för att tillhandahålla kontor, mötesrum, omklädningsmöjligheter bedöms till SEK 3,5 miljoner.

Sammantaget betyder detta att Äspölaboratoriets intäktpotential behöver uppgå till minst SEK 24 miljoner för att underjordslaboratoriet ska kunna drivas vidare med full kostnadstäckning.

En analys av Äspölaboratoriets intäktpotential behandlas i nästa kapitel.

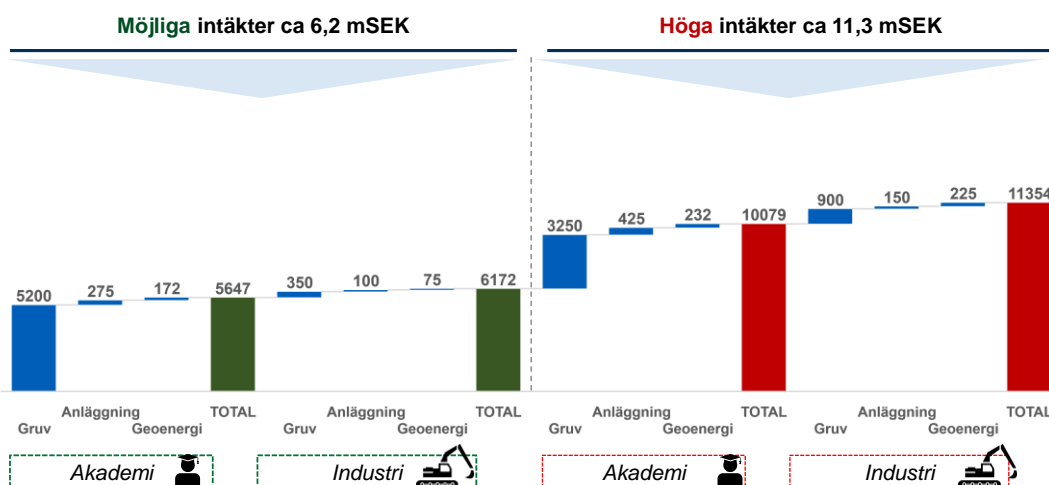
<sup>1</sup> Alla kostnader ges i löpande penningvärde

## 9.4 Äspölaboratoriets intäktpotential

Analysen av det insamlade underlaget, se kapitel 5, utmynnade i följande slutsatser till grund för bedömning av potentiella intäkter från gruv-, anläggnings- och geoenergiindustrin

1. Den allra största potentialen för Äspölaboratoriet som öppen testbädd för de tre undersökta branscherna finns inom forskningsprojekt.
2. För kommersiella tester med industrin är tillverkare av utrustning och maskiner den största möjligheten.
3. Det finns ett behov och intresse för utbildning vid Äspölaboratoriet, men ytterst små intäktsmöjligheter.
4. De potentiella intäkterna enligt den mest troliga kalkylen – ca 8 MSEK/år – utgörs till 91 % av forskningsprojekt med en majoritet av offentlig finansiering (och till 84 % av forskningsprojekt inom gruvindustrin), se figur 9-2.
5. För att realisera den stora andelen forskningsfinansiering i kalkylen krävs ett stort, strategiskt och långsiktigt arbete med ansökningar om forskningsmedel.

Slutsatserna ledde till den uppenbara insikten att det krävs ytterligare intäkter för att nå full kostnadstäckning. Gapet mot den årliga reella driftkostnaden, se kapitel 9.3, är 16 MSEK/år. Dessutom krävs ett omfattande och långsiktigt arbete för marknadsföring och medverkan i arbetet med ansökningar om forskningsmedel. Kostnaden för det arbetet är inte medtagen beräkningen, vilken enligt LTU Business bedömning är i storleksordningen 2-3 MSEK/år.



**Figur 9-2** – De potentiella intäkterna enligt den mest troliga kalkylen – ca 8 MSEK/år – utgörs till 91 % av forskningsprojekt med en majoritet av offentlig finansiering (och till 84 % av forskningsprojekt inom gruvindustrin).

Om SKB:s långsiktiga behov av Äspölaboratoriet utreds närmare förutses att gapet kan minskas. Med SKB som fortsatt användare av Äspölaboratoriet kan även intäkter från SKB Internationals kunder medräknas. Dessutom bör det finnas goda förutsättningar att få viss finansiering från Vetenskapsrådet förutsatt att Äspölaboratoriet kan upptas av Vetenskapsrådet som nationell forskningsinfrastruktur. Med dessa intäktsmöjligheter, förutsatt att samtliga kan realiseras, är det möjligt att uppnå kostnadstäckning för en ny huvudman. Ytterligare intäktsmöjligheter bör dock säkerställas för att minska risktagandet och för att också bedriva verksamheten med god vinstmarginal.

Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet, etapp2

## 9.5 Huvudmannaskap och konsortiebildning

LTU Business har också undersökt intresset för att överta ägandet av Äspölaboratoriet som öppen testbädd. Av de tillfrågade har EIT Raw Material (<https://eitrawmaterials.eu/>) och Research Institutes of Sweden (RISE) uttryckt att de är öppna för att utreda den möjligheten. Visst intresse för delägarskap har framförts av t ex Geotec.

SKB ser ett fortsatt långsiktigt värde i att ha tillgång till Äspölaboratoriet efter 2024 i egenskap av kund. Med den utgångspunkten är det viktigt för SKB att överlämna huvudmannaskapet till en kompetent och etablerad forskningsorganisation som t ex RISE. Med RISE som huvudman bör det finnas goda möjligheter att bredda användningen av Äspölaboratoriet. RISE är en stor kompetent och resursstark organisation med ett omfattande nätverk av samarbetsparter och kunder. Möjligheterna med RISE som huvudman har diskuterats inom referensgruppen som tillstyrkt att utreda saken närmare.

Utvecklingsmodellen för testbäddar förespråkar att intressenter/partner mobiliserar och bildar ett konsortium för att tillsammans arbeta fram en initial testbäddsspecifikation som underlag till en efterföljande projektering. Med rådande osäkerheter rörande bl a anläggningens framtida ägarskap, finansiering och komplexitet är det för tidigt att bilda konsortium. En fullständig genomlysning (Due Diligence) av Äspölaboratoriets nuvarande verksamhet och förutsättningarna för den krävs för att utreda om det är möjligt för en ny ägare att driva verksamheten på ett ekonomiskt varaktigt sätt.

## 9.6 Konklusion om konsortiebildning

Inför en eventuell överlåtelse av Äspölaboratoriet till en ny ägare är det viktigt att inse att det idag är SKB som är verksamhetsutövare och som äger tillstånden med dess villkor och förpliktelser. Aktuella tillstånd, avtal och servitut är redovisade i kapitel 9.2. Det kan vara möjligt att överföra tillstånden och sammanhörande villkor till en ny ägare om hela anläggningen och verksamhetens nuvarande art överförs. Om en annan typ av verksamhet ska bedrivas kan det behövas en ny tillståndsprövning med krav på bl a miljödom. Vidare bygger dagens verksamhet på ett nära samarbete OKG Aktiebolag. Det är således väsentligt att i ett tidigt skede inleda samtal med OKG Aktiebolag för att säkerställa möjligheten att omförhandla mark- och arrendeavtal till förmån för en ny huvudman. Vidare bör de fastighetsrättsliga förhållandena kompletteras med avseende på servitut för nödvändig infrastruktur.

De driftkostnader som redovisats och diskuterats i kapitel 9.3 gäller för den verksamhet som SKB bedriver i anläggningen idag. Den framtida verksamhetens art och omfattning kan ställa helt andra krav på anläggningens tillgänglighet och säkerhet. Således beror den framtida driftkostnadsnivån på vad anläggningen kommer att användas till i framtiden.

Den intäktpotential som diskuteras och redovisas i kapitel 9.4, bygger på LTU Business analys som var avgränsad till att gruv-, anläggnings- och geoenergiindustrins intresse av Äspölaboratoriet som öppen testbädd. SKB:s kvarstående behov av anläggningen fr.o.m. 2024 kommer att analyseras ytterligare. Dessutom kan intäktpotentialer finnas inom andra industrisegment. Exempel på sådana fördes fram på det sista referensgruppmötet i samband med att LTU Business presenterade sin utredning. Följande områden ansågs intressanta att utreda närmare:

- Försvarsmaktens behov av infrastruktur för forskning och utveckling.
- Berggrunden kring och under flera av vattenkraftverkens dammkonstruktioner är i stort behov av tätningssåtgärder.
- Koldioxidlagring i berggrunden.
- Säkrare och effektivare bergentreprenader under mark genom utökad automation och digitalisering.

Av kapitel 9.5 framgår att det är få organisationer som visat intresse för att äga eller deläga Äspölaboratoriet som en framtida öppen testbädd. Det ligger i SKB:s intresse att överlämna huvudmannaskapet till en kompetent och etablerad forskningsorganisation. Bland de potentiella intressenterna är Research Institutes of Sweden (RISE) den organisation som bedöms ha bäst förutsättningar att driva och utveckla anläggningen. Med RISE som huvudman bör det finnas goda möjligheter att bredda användningen av Äspölaboratoriet. RISE är en stor etablerad, kompetent och resursstark organisation med ett omfattande nätverk av samarbetsparter och kunder. Möjligheterna med RISE som huvudman har diskuterats inom referensgruppen som tillstyrkt att utreda saken närmare.

## 10 SKB:s inriktningsbeslut

Enligt gällande regelverk åligger det kraftbolagen att upprätthålla en redovisning av kostnader för samtliga åtgärder som krävs för att säkert omhänderta det kärnbränsle som använts i reaktorerna och övriga radioaktiva restprodukter samt avveckla och riva kärnkraftverken. Regelverket omfattar lagen (2006:647) om finansiering av kärntekniska slutprodukter och förordningen (2008:715) om finansiella åtgärder för hantering av restprodukter från kärnteknisk verksamhet. Kostnadsredovisningen skall uppdateras vart tredje år vilket har skett lagenligt sedan 1982. SKB:s ägare har uppdragit åt SKB att upprätta kostnadsredovisningen gemensam för tillståndshavarna av de svenska kärnkraftverken. Kostnadsredovisningen benämns *Planredovisningen* följt av det årtal, t.ex. *Plan 2016*, vilken ska lämnas till Riksgälden vart tredje år. Efter granskning lämnar Riksgälden kostnadsredovisningen till regeringen följt av en beslutsrekommendation.

I förarbetet till Plan 2016, beaktat den då aktuella planeringen för realiseringen av slutförvaret för använt kärnbränsle, ansågs det rimligt att anta att Äspölaboratoriets underjordsanläggning tjänat sitt syfte vid utgången av 2023. Med denna kvalificerade bedömning som grund har SKB haft som mål att bli klar med pågående och planerade tester och demonstrationer i underjordslaboratoriet t.o.m. 2023. SKB håller alltså fast vid 2016 års planeringsförutsättningar som låg tillgrund för Äspölaboratoriet, d.v.s. ingen förändring är gjord i den delen av den ekonomiska ramen för redovisningen som lämnades till Riksgälden i september 2019 (SKB 2019b). Det har bedömts möjligt att efter 2023 genomföra de återstående test- och demonstrationsbehoven på annan plats under tiden fram till den tidpunkt då de avslutande testerna och demonstrationerna kan genomföras i på förvarsnivån i Kärnbränsleförvaret i Forsmark.

I december 2019, med utgångspunkt i Plan 2019 (SKB 2019b) och med stöd av en intern utredning samt med förhandsresultat från denna förstudie, tog SKB ett inriktningsbeslut för Äspölaboratoriets vidare användning och avveckling. Beslutet är uppdelat i tre delar med följande lydelse

1. att avveckling av Äspölaboratoriets underjordsanläggning ska inledas 2024, baserat på den bästa information som idag finns tillgänglig.
2. att en förstudie för avveckling ska inledas Kvartal 1 2020, i denna ska också Äspö Forskarby – Äspölaboratoriets ovanjordsanläggning – ingå.
3. att genomföra en begränsad men seriös insats riktad mot en potentiell ny huvudman under 2020 med start i Kvartal 1 2020.

Inriktningsbeslutet är välkommet och utgör nu en tydlig grund för kommande förhandlingar med parter som har intresse och varaktig förmåga att äga och driva anläggningen i framtiden. Arbetet med denna förstudie har väsentligt bidragit till uppkomsten av inriktningsbeslutet.

## 11 Slutsatser och rekommendationer

SKB har i samarbete med bergbyggnadsbranschens aktörer genomfört en förstudie ”Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet”. Arbetet har genomförts i två etapper inom ramen för det strategiska innovationsprogrammet InfraSweden2030 och förstudien har medfinansierats av Vinnova inom ramen för det strategiska innovationsprogrammet InfraSweden2030, en gemensam satsning från Vinnova, Energimyndigheten och Formas. Förstudien kan anses utgöra planeringsfasen för en testbädd enligt Vinnovas generella modell för utveckling av testbäddar (Vinnova och TSS, 2017).

I Etapp 2 har planeringsskedet, enligt Vinnovas modell, fördjupats genom ett antal delutredningar i avsikt att ta fram ett beslutsunderlag för en eventuell efterföljande projekteringsfas och för att etablera ett nytt huvudmannaskap av Äspölaboratoriet som testbädd. I den föreliggande rapporten presenteras i de olika kapitlen såväl detaljerade som generella slutsatser och rekommendationer från de olika utredningsmomenten.

I perspektiv av de formulerade delmålen är de övergripande slutsatserna:

- Förstudien har utmynnat i slutsatsen att det finns behov av en testbädd och att det finns ett brett intresse för Äspölaboratoriet som en sådan. Utifrån föreliggande förstudie föreslås att laboratoriet vidareutvecklar sin verksamhet mot innovativ undermarksteknik och geovetenskaplig FoU. Äspölaboratoriet kan ha en viktig roll i att utveckla de berginriktade frågeställningarna inom ramen för geosystemtjänster i samhället parallellt med de mer etablerade och tillämpade ekosystemtjänsterna. Det finns dock en betydande osäkerhet rörande det framtida ägandet av anläggningen och den framtida driftfinansieringen. Driftfinansieringen uppgår till ca SEK 24 miljoner per år. Äspölaboratoriet är en stor och komplex anläggning vilket betyder att driftkostnadsnivån förtjänar att betraktas i relation till den totala investeringen i anläggningen – Äspölaboratoriet och Äspö Forskarby – som under åren 1986-2023 ackumulerats till i storleksordningen SEK 3.6 miljarder i löpande penningvärde.
- Ingen enskild organisation anser sig i nuläget ha full förmåga att varaktigt överta ägarskapet för Äspölaboratoriet.
- SKB avser enligt ett inriktningsbeslut att utveckla sitt huvudmannaskap för Äspö underjordslaboratorium med start 2024. För att undvika en total stängning har SKB initierat dialoger med andra organisationer för att överlåta huvudmannaskapet. SKB har ett starkt intresse att säkra upp anläggningen för att den ska vara fortsatt tillgänglig vid framtida eventuella återstående behov av kärnavfallsinriktade tester och demonstrationer. Testerna och demonstrationerna går idag inte att förutse. För att uppnå detta måste SKB förhandla och avtala med andra organisationer (presumptiva huvudmän) om att bidra till en varaktig basfinansiering av Äspölaboratoriets drift för att få tillgång till anläggningen i egenskap av kund fr.o.m. 2024 eller tidigare.
- Äspölaboratoriets infrastruktur är direkt användbar för nya typer av tester fränsett nya behov av specifik utrustning.
- Det finns ett tydligt och verifierat intresse av att använda anläggningen för utbildningar för yrkesarbetare, mastersstudenter och doktorander. (Bara under det senaste halvåret har tre kurser/laborationer genomförts med Äspös underjordsanläggning som övningsplats.)
- Äspölaboratoriet är internationellt erkänd inom kärnavfallsbranschen och inom internationella geovetenskapliga nätverk vilka bör upprätthållas och breddas. (Nätverket för Task Force Ground Water Modelling and Transport of Solutes bildades 1992 och är fortfarande aktivt). Dotterbolaget till SKB, SKB International, kommer vara en fortsatt betydelsefull aktör för att kunna behålla och utöka samarbetet med de utländska kärnavfallsorganisationer som har intresse av Äspölaboratoriet som test- och demonstrationsanläggning. De internationella

Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet, etapp2

åtagandena måste dock bestämmas inom ramen för en framtida huvudmans verksamhetsstrategi.

- Under projektet har vissa tänkbara framtida huvudmän kartlagts och ur SKB:s perspektiv har en prioriterad organisation identifierats. Som ett resultat av förstudien har SKB initierat i ett samarbete med Research Institutes of Sweden (RISE) i syfte att utreda förutsättningarna för en långsiktig affärsrelation angående laboratoriet. SKB finansierar inledningsvis allt utredningsarbete som krävs för att genomföra en fullständig Due Diligence (DD) av den pågående verksamheten vid Äspölaboratoriet. Samarbetet/affärsrelationen bedrivs med målet att ägarskapet för anläggningen överförs från SKB till RISE och att SKB får fortsatt tillgång till Äspölaboratoriet i egenskap av kund. Det är en fördel om ägarskapet kan överföras så tidigt som möjligt före 2024, vilket är motiverat av att SKB kan stå för huvuddelen av driftfinansieringen de närmaste åren. För genomförandet krävs interna utredningsinsatser och samarbete med affärskonsult/-er med erfarenhet av testbäddsutveckling.
- Vinnovas utvecklingsmodell för testbäddar förespråkar att intressenter/partner mobiliserar och bildar ett konsortium för att tillsammans arbeta fram en initial testbäddsspecifikation som underlag till en efterföljande projektering. Med rådande förutsättningar rörande bl a anläggningens framtida ägarskap, finansiering och komplexitet är det för tidigt att bilda konsortium. Ovan nämnda fullständiga genomlysning (Due Diligence) av Äspölaboratoriets verksamhet och förutsättningar krävs för att utreda om det är möjligt för en ny ägare, kanske med flera partners, att driva verksamheten på ett ekonomiskt varaktigt sätt. Därefter kan det bli aktuellt med en konsortiebildning och då i ett scenario då flera organisationer tillsammans väljer att överta ägandet av anläggningen.

Mot bakgrund av det genomförda projektet, såväl Etapp 1 som Etapp 2, och inför kommande genomlysning av Äspölaboratoriets verksamhet och förutsättningar så rekommenderas följande:

- Fortsätt att förankra och lansera konceptet Berggrundtjänster som en del av Geosystemtjänster i syfte att ta tillvara berggrunden som en resurs för hållbar utveckling. Påvisa alla outnyttjade möjligheter som berggrunden erbjuder och som kan bidra till hållbar utveckling.
- Den globala bygg- och anläggningsbranschen är en av de största sektorerna i världsekonomin med förväntad fortsatt tillväxt som drivs av megatrender inom urbanisering, digitalisering och ökande levnadsstandarder. Situationen i Sverige är inget undantag och det är en rejäl utmaning för branschen att samtidigt med tillväxtbehovet minska utsläppen av t ex växthusgaser. Utsläppen är stora och uppstår vid t ex framställning av material som stål och cement och under transporter till och inom byggarbetsplatsen. De etablerade metoder och teknik som används i bygg- och anläggningsprojekt är också i stort behov av anpassning för att bidra till hållbar utveckling. Den svenska byggsektorns investeringar i FoU har varit anmärkningsvärt låg under lång tid. En kommande huvudman bör påverka anläggningsindustrin och anslagsbeviljande statliga myndigheter till en nationell kraftfull offentlig investering i FoU som incitament för branschens omställning. Investeringen bör även omfatta medel för bidrag till drift av testbäddar.
- Inom tillämpad undermarksanläggning och inom grundläggande geovetenskaplig forskning finns organisationer som vill dra fördel av anläggningens möjligheter, men som inte i tillräcklig omfattning förmår uppbära driftmedel till vad det kostar att hålla anläggningen säker och tillgänglig. Det rekommenderas att universitetens mobiliserar för en förnyad ansökan till om infrastrukturmedel för grundforskning i anslutning till Äspölaboratoriet som testbädd för tillämpad forskning och testverksamhet.
- Upprätthåll och utveckla samarbetet med enskilda individer och organisationer som hittills har bidragit till den inledda mobiliseringen av Äspölaboratoriet som en forskningsinfrastruktur och testbädd. Utan dessa och tillkommande kompetenta och drivande företrädare för saken är det inte möjligt att realisera Äspölaboratoriet som en framtida öppen infrastruktur för grundforskning, tillämpad forskning och testverksamhet.



## Referenser

**Andersson J C, 2007.** Rock Mass Response to Coupled Mechanical Thermal Loading: Äspö Pillar Stability Experiment. Doctoral Thesis. Division of Soil and Rock Mechanics, Department of Civil and Architectural Engineering, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden. ISSN 1650-9501

**Ask D, 2004.** New Developments of the Integrated Stress Determination Method and Application to the Äspö Hard Rock Laboratory. Doctoral Thesis. Research Group of Engineering Geology, Department of Land and Water Resources Engineering, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden. ISSN 1650-8602.

**BeFo, 2019.** Program för Forskning Utveckling och Innovation 2017-2020 för Stiftelsen Bergteknisk Forskning – BeFo; [http://www.befoonline.org/UserFiles/Dokument/FUI\\_2017-2020/BeFo\\_FUI-prgm\\_2017-2020\\_MASTER\\_SV\\_webb.pdf](http://www.befoonline.org/UserFiles/Dokument/FUI_2017-2020/BeFo_FUI-prgm_2017-2020_MASTER_SV_webb.pdf)

**Falck S, Snickars F, 2017.** Äspölaboratoriets samhällsnyttor - Mot en framtida forsknings- och innovationsinfrastruktur för ökad konkurrenskraft och ekonomisk utveckling. Forskningsrapport av Kungliga Tekniska högskolan (KTH) i samarbete med Nova Utbildning FoU & Affärsutveckling vid Oskarshamns kommun.

**Formas, 2019.** Kunskap för hållbar omställning. Ett underlag till Sveriges forsknings- och innovationspolitik. Forskningsrådet Formas Rapport R14:2019. Stockholm.

**Gustafson G, 2012.** Hydrogeology for Rock Engineers. ISRM and BeFo, Rock Engineering Research Foundation, Stockholm.

**Hagström K-E, Andrén Y, 2013.** Förslag till inrättande av statligt expertorgan för fysiskt skydd. Utredningen för Skyddsteknisk plattform, Enheten för fysiskt skydd.

**IF Metall, 2015.** Fokus industri: Rapport #3. Gruvindustrin.

**IQ Samhällsbyggnad, 2019.** Inspel till den forskningspolitiska propositionen 2020. IQ Samhällsbyggnad, Stockholm.

**KIT, 2016.** GeoLaB – A geoscientific perspective for Germany. Cutting-edge research for reservoir technology, borehole safety, and efficiency of deep geothermal energy. [https://www.geolab.kit.edu/downloads/160211\\_GeoLaB\\_FlyerII\\_V2\\_english.pdf](https://www.geolab.kit.edu/downloads/160211_GeoLaB_FlyerII_V2_english.pdf)

**Lindblom U, Ericsson L O, Winqvist T, Tengborg P, Håkansson U (eds.), 2018.** Sweden Underground – Rock Engineering and How It Benefits Society. BeFo, Rock Engineering Foundation and Swedish Rock Engineering Association. Stockholm.

**LTU Business AB, 2019.** Strategiutredning av Äspölaboratoriets marknadspotential.

**National Research Council, 2013.** Underground Engineering for Sustainable Urban Development. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/14670>.

**Naturvårdsverket, 2013.** Förslag till etappmål för efterbehandling av förorenade områden. Naturvårdsverkets rapport NV-00336-13.

**Naturvårdsverket, 2016.** Lägesbeskrivning av arbetet med efterbehandling av förorenade områden 2015. Naturvårdsverket 2016-04-07.

**Naturvårdsverket, 2019.** <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Mark/Fororenade-omraden/> Regeringskansliet, 2017. Svensk översättning av FN:s ”Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development”. Stockholm.

**OECD, 2014.** The Impacts of Large Research Infrastructures on Economic Innovation and on Society: Case Studies at CERN, OECD, Paris.

Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet, etapp2

**Ohlsson M, Andersson R, Ericsson L O, Cvetkovic V, 2017.** Förstudie - Testbädd för bergteknisk utveckling och innovation i Äspölaboratoriet Etapp 1, Slutrapport daterad 2017-10-16, till Vinnova och Infrasweden 2030.

**SBMI, 2019.** Färdplan för fossilfri konkurrenskraft – Bergmaterialindustrin. Rapport från Sveriges Bergmaterialindustri och organisationen Fossilfritt Sverige.

**SGU, 2016.** Sveriges geologiska undersökning – Uppdrag att bidra med underlag för Sveriges genomförande av Agenda 2030. Rapport av regeringsuppdrag Fi2016/01355/SFÖ.

**SKB, 1986.** FoU-PROGRAM 86. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning, utveckling och övriga åtgärder. Del III Forskningsprogram 1987-1992. Svensk Kärnbränslehantering AB. Stockholm.

**SKB, 2019a.** Fud 2019. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall. Svensk Kärnbränslehantering AB. Stockholm.

**SKB, 2019b.** Plan 2019. Kostnader från och med år 2021 för kärnkraftens radioaktiva restprodukter. Underlag för avgifter och säkerheter åren 2021–2023. Svensk Kärnbränslehantering AB. Stockholm.

**Snickars F, Karlsson U, 2017.** Research infrastructure, networks of science and regional development - the case of Oskarshamn. The Journal of ERSA, REGION, Volume 4, Number 3, 2017, 119–131, journal homepage: [region.ersa.org](http://region.ersa.org) DOI: 10.18335/region.v4i3.143.

**SP, 2016.** Energin under mark ska upp till ytan - Strategisk innovationsagenda för geoenergi. SP Rapport nr: 2016:93, Energimyndighetens projektnr: 41906-1

**Stille H, 2015.** Rock Grouting - Theories and Applications. BeFo, Rock Engineering Research Foundation, Stockholm.

**SveMin, 2020.** <https://www.sveamin.se/svensk-gruvnaring/fakta-om-svensk-gruvnaring/>

**Trafikverket, 2018.** <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/Planer-och-beslutsunderlag/Nationell-planering/nationell-transportplan-2018-2029/>

**UN, 2019.** Global Sustainable Development Report 2019. The Future is now – Science for achieving sustainable development.

**Vinnova, TSS, 2017.** Guide för testbäddsutveckling. Ett komplement till utlysningen ”Testbäddar inom miljöteknikområdet – våren 2017” avsett att vara ett stöd i projektplanering och ansökningsprocess.

**Vinnova, 2019.** Systeminnovation för en hållbar framtid - Vinnovas underlag och förslag till regeringens forskningsproposition. Rapport VR 2019:07. Vinnova - Sveriges innovationsmyndighet.

**Volchko Y, Norrman J, Ericsson L O, Nilsson K L, Markstedt A, Öberg M, Mossmark F, Bobylev N, Tengborg P, 2019.** Subsurface planning: Towards a common understanding of the subsurface as a multifunctional resource. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104316>, Land Use Policy, Elsevier Ltd.

**Zang A, Stephansson O, 2010.** Stress Field of the Earth's Crust. Springer. ISBN 978-1-4020-8444-7.

**Program för Forskning Utveckling och  
Innovation 2017-2020 för Stiftelsen Bergteknisk  
Forskning – BeFo**



## **Program för Forskning Utveckling och Innovation 2017-2020 för Stiftelsen Bergteknisk Forskning - BeFo**

### **1. Introduktion**

Stiftelsen Bergteknisk Forskning - BeFo, har enligt stadgarna till ändamål att "främja och bedriva forskning och utveckling inom området bergteknik inklusive sprängnings- och sprängämnesteknik med tillämpning på berganläggningar ovan och under mark".

Ett flertal stora anläggningsprojekt i berg är idag igång, på väg att starta eller under planering. Det befintliga beståndet av anläggningar och gruvor att förvalta är avsevärt. Anläggningarna innefattar tunnlar, bergrum, schakter och skärningar för transporter, energi och gruvverksamheter. Bland det befintliga beståndet finns också anläggningar som byggs om för att användas i annat syfte än det ursprungliga, vilket kräver nyinvesteringar och förändrade insatser för drift & underhåll. För att klara ny- och ombyggnad, skötsel av befintliga anläggningar och uppfylla kraven på social, miljömässig och ekonomisk hållbarhet finns behov av kunskapsutveckling och kompetensförsörjning.

BeFos verksamhet och forskningsprogrammet i sin helhet syftar till att främja ett säkert, hållbart och ekonomiskt ledande "Bergbyggande" som stärker såväl huvudmännen, branschen, och samhället i stort. För att nå detta syfte krävs helhetssyn och att forskningsområdena går över gränserna mot andra discipliner än de rent bergtekniska.

Stiftelsens arbetsformer syftar till att underlätta implementering av resultaten på marknaden.

De projekt som beviljas är behovsdrivna - forskningsprogrammet är framtaget i dialog med BeFos huvudmän och med de tekniska högskolorna/universiteten. Forskningsprojekten utförs i nära samverkan mellan parterna vilket ger goda förutsättningar för resultatspridning.

#### **KONTAKT Stiftelsen Bergteknisk Forskning – BeFo**



**Per Tengborg**

**Box 5501, 114 85 STOCKHOLM**

**Besöksadress: Storgatan 19**

**Tel: 0706-38 58 04**

**E-post: [per.tengborg@befoonline.org](mailto:per.tengborg@befoonline.org)**

**[www.befoonline.org](http://www.befoonline.org)**

## 2. Organisation

BeFo har sedan sin tillkomst på 70-talet varit en stabil och långsiktig aktör som varit drivande för att utforma en väl fungerande nationell forsknings- och innovationsmiljö inom branschen.

BeFos huvudmän utgörs av en bred krets av företag och organisationer med gemensamt intresse av att utveckla bergtekniken. De representerar myndigheter, ägare, projektörer, entreprenörer, energiproducenter och gruvföretag som är engagerade i planering och genomförande av olika typer av berganläggningar och som svarar för drift och underhåll av desamma. De stora beställarorganisationerna med Trafikverket, SKB och kraftindustrin genom Energiforsk avsätter som huvudfinansiärer medel för att i stiftelsens regi genomföra forskningsprojekt inom programmets olika områden, med i förlängningen nyttor för respektive organisations verksamheter.

BeFo har 3 utlysningar per år (april, september och december) då idéförslag och ansökningar om forskningsmedel skickas in. Syftet med idéförslagen är att forskaren ska kunna få ett utlåtande från BeFos programråd med bedömning av relevans, genomförbarhet och behov av forskningsidén, vilket är intressant vid en eventuell ansökan om medel. Ansökningar om forskningsmedel värderas och bedöms av BeFos programråd som rekommenderar styrelsen inför deras beslut om vilka projekt som ska tilldelas medel. Det förekommer att huvudfinansiärerna inom ramen för forskningsprogrammet utlyser riktade ansökningar inom för respektive verksamhet högt prioriterade forskningssatsningar.

Den budget som BeFo disponerar för befintliga och nya forskningsprojekt är i storleksordningen 10 Mkr per år. Det innebär att BeFo kan ha 30-40 pågående forskningsprojekt, varav drygt hälften är doktorandprojekt. Forskningsprojekten varierar tidsmässigt från kortare insatser på 1 år upp till 4-5 år för doktorandprojekt.

Medfinansiering från andra intressenter ser BeFo som positivt och en bred finansiering stärker normalt en ansökan även om det inte är ett krav.

Mer och aktuell information om BeFo, utlysningsdatum och dess verksamhet finner man på hemsidan, [www.befoonline.org](http://www.befoonline.org).

### **3. Framtagning av programmet och prioriteringar**

#### **Arbetsgång**

Föreliggande program har tagits fram baserat på den ständigt pågående dialogen med forskarsamhället och branschen och genom särskilt arrangerade workshops med stiftelsens huvudmän. Programmet avser att vara en utgångspunkt för att enskilt eller genom samverkan med andra kompetenser ta fram projektförslag för förankring och prioritering i stiftelsens programråd och vidare beslut om genomförande, fattat av styrelsen. Programmet avser också att stimulera till att ta fram utvecklingsbara idéer som i samverkan med BeFo kan utvecklas till genomförbara forsknings- och utvecklingsprojekt.

#### **Vision för 2035**

Vårt samhälle står inför många svåra frågeställningar. Klimathotet, krav på hållbarhet med bl a bättre resursutnyttjande, trycket från en ökande befolkning och urbanisering som måste hanteras samtidigt som vi vill behålla en god levnadsstandard. I flera fall kan byggande som är kopplat till ett bättre utnyttjande av undermarken ge attraktiva lösningar. Tunnlarna för energiproduktion, berggrum för energilagring och avfallshantering, tunnlar för kommunikation och försörjning är exempel på lösningar som förväntas öka i framtiden. Den ökande urbaniseringen innebär att det börjar bli trångt även under mark vilket ställer särskilda krav på planering och genomförande av undermarkslösningar i tätbebyggda områden. Inom gruvverksamheten finns stora utmaningar, inte minst på grund av stora djup. Samtidigt blir gränserna för vad som är en acceptabel arbetsmiljö och miljöpåverkan allt snävare vilket innebär en risk att spannet för det genomförbara minskar. För att uppnå och upprätthålla en rimlig och uthållig balans och för ett effektivt utnyttjande av den naturresurs som berget utgör, behöver kunskapen att bryta och bygga i berg utvecklas.

Omfattningen av undermarksbyggandet ser vi öka väsentligt. Idag genomförs undermarksprojekt i berg i Sverige för mer än 7 miljarder per år, så det är en omfattande bransch. Effektiviseringar genom forskning och utveckling får därför en stor betydelse.

Baserat på en workshop och andra diskussioner med huvudmännen på temat "framtida mål och visioner" har en bild formats kring hur branschens utvecklingsnivå och status bör vara i ett längre perspektiv, om cirka 20 år det vill säga runt år 2035. Hur vill vi att bergbyggnadsbranschen ska se ut och fungera då? Ledord som hållbarhet, miljö och säkerhet i berganläggningar och byggverksamhet, effektivitet samt underhåll framträder som viktiga.

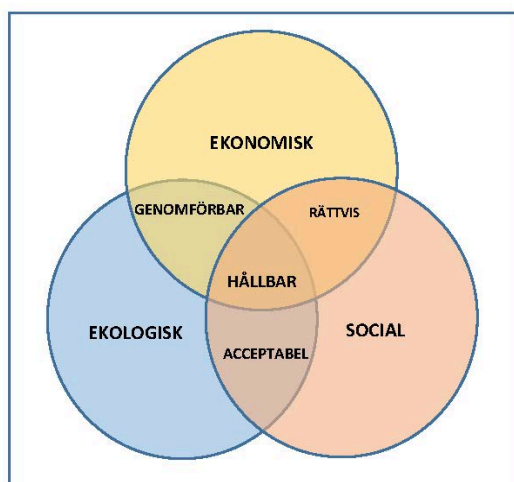
En vision i ett 20-års perspektiv för den verksamhet som BeFo bedriver kan sammanfattas som följande:

- Placering ny infrastruktur och publika anläggningar under jord kan stödja omdirigering av urban utveckling och stadsplanering. Robusta väl underhållna och väl fungerande underjordsanläggningar blir en viktig del av en hållbar samhällsutveckling.
- Genom att bibehålla en global konkurrenskraft för utbildning och forskning i samhällsbyggnad, anläggningsteknik, bergteknik samt en stark teknisk vidareutveckling av undermarksbyggandet så befrämjas en hållbar och robust samhällsutveckling som gynnar den nationella levnadsstandarderna.
- Väldokumenterade och beprövade riskbaserade metoder skall användas för att planera, projektera och bygga undermarksanläggningar och gruvor. Metoderna skall balansera projektens behov i ett livscykelperspektiv när det gäller produktionskostnader, funktion, förmåga att stå emot extrema händelser samt drift och underhåll. I stor utsträckning kommer analysarbete att genomföras av ingenjörer och samhällsplanerare i samverkan.
- Inom alla samhällsområden ser vi allt snabbare teknikskiften och en genomgripande digitalisering, som är drivkraften för nya typer av kompetens, tjänsteproduktion, arbetsmetoder och entreprenörskap. Robotik, datavision och mät-/sensorteknik skapar på sikt förutsättningar för automatiserade robotlösningar när det gäller anläggningar under jord, inte minst med hänsyn till befintliga åldrande anläggningar.
- Stor användaracceptans för infrastruktur och publika anläggningar i berg erhålls om underjordiska utrymmen planeras med utvecklad hänsyn till nytta, lättillgänglighet, vägvisning, säkerhet och estetik.



## Helhetsperspektiv för hållbarhet.

Begreppet hållbar utveckling formulerades ursprungligen i den så kallade Brundtland-rapporten<sup>1</sup> såsom att den "är sådan utveckling som tillfredsställer nuvarande behov utan att äventyra kommande generationers möjlighet att tillfredsställa sina behov." I rapporten menar man också att det finns tre dimensioner av begreppet hållbar utveckling; ekologisk,



ekonomisk och social hållbarhet. Begreppet hållbarhet illustreras i bilden nedan. Har man samtliga delar med sig så har man en "hållbar" utveckling, tjänst eller produkt.

I samhället förväntas att branschen tar ansvar för social, ekologisk och ekonomisk hållbarhet. Det behöver få genomslag inom forskningen så att val av metoder och material utgår från ett helhetsperspektiv. För att uppnå detta bör i större utsträckning olika kompetenser samverka.

Miljömässig eller ekologisk hållbarhet. Miljömässig hållbarhet kan vara att arbeta med klimatneutrala metoder och material samt energieffektiva maskiner. Gruvorna har idag kommit långt med eldrivna maskiner, men mer effektiva och därigenom miljövänliga metoder för uttag av berg och drivning behöver utvecklas. Val av byggmaterial bör också göras med hänsyn till hållbarhetsaspekten. Här kan utveckling och användning av "LCA-analys" (Life Cycle Assessment) vara ett sätt att komma vidare mot miljömässig hållbarhet i undermarksprojekten.

Social hållbarhet innefattar bland annat hälsa och säkerhet, rättvisa och jämlikhet. Ett väl planerat undermarksbyggande kan frigöra mark med väg- och spårområden till annan markanvändning för exempelvis bostäder, arbetsplatser eller rekreationsområden. Att skapa säkra och trygga miljöer i berganläggningar är en framtidsfråga där noll olyckor är ett mål. För en säker arbetsmiljö kan automatisering och robotisering vara nödvändigt för att undvika olyckor och incidenter. I det längre perspektivet möjliggör det "Zero entry" som innebär att inga människor vistas under jord i gruvor eller anläggningsprojekt.

En del i den ekonomiska dimensionen är effektiviteten i processerna som ger bättre ekonomi i undermarksbyggandet, det vill säga "mer berganläggningar för pengarna".-Här innebär effektivisering bland annat att man tydliggör processerna för planering, projektering, byggande och underhåll, så att branschen kan skapa bättre verktyg och arbetssätt för att

<sup>1</sup> Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>

uppnå väldefinierade mål med minskande arbetsinsats. ”FIA, Förnyelse i anläggningsbranschen” har samlat branschen, från byggherrar till leverantörer, kring insikten om att en förändring och förnyelse är nödvändig och möjlig. Här har det övergripande målet varit att få mer anläggning för pengarna och en stabil och uthållig lönsamhet hos leverantörerna. Trafikverket har därefter genomfört ”PIA – Produktivitets- och Innovationsutveckling i Anläggningsbranschen” som varit inriktat på deras verksamhet och där man haft ett specifikt ”Produktivhetsprogram för Bergkonstruktioner”. I dessa program har man bland annat identifierat behovet av effektivisering.

Underhållspekten är viktig för att trygga en säker och långsiktig drift. Hjälpmiddel för att bedöma val av material och utformning finns i form av verktyget ”LCC-analys” (Life Cycle Cost). Som stöd för tillämpning behöver indata tas fram, och då särskilt referenstabeller över historiska insatser (t.ex. ursprungliga investeringskostnader och utfört underhåll), och vidareutveckling av metoder för tillståndsbedömningar. Med hjälp av verktyget så kan undermarksanläggningar utformas för ett rationellt och effektivt underhåll.

#### **4. Infrastruktur för forskning, utveckling och demonstration**

Nya idéer till produkter, metoder och processer behöver utvecklas genom test och demonstration under verkliga förhållanden. Traditionellt i BeFo-projekt görs det ofta i samband med byggskedet i projekt. Det kan innebära olika restriktioner som t ex tidspress, bristande tillgänglighet i både tid och rum, svår arbetsmiljö mm som kan begränsa värdet av testen och demonstrationen. Ett alternativ är att använda sig av speciella berganläggningar för forskning, utveckling och demonstration där verkliga förhållanden råder eller kan simuleras.

Äspölaboratoriet som under många år varit en forskningsanläggning för SKB är nu en test- och demonstrationsanläggning tillgänglig för akademi, företag och tekniska institut, något som avses utvecklas än mer.

BeFo uppmanar att nyttja test- och demonstrationsanläggningar för att förbättra förutsättningarna att realisera innovationer och implementering av ny teknik inom infraområdet, gruvor och kraftindustrin.

## **5. Forskningsområden**

Nedan beskrivs de aktuella, delvis överlappande, forskningsområdena. Inom samtliga områden kan förekomma projekt för mer grundläggande utveckling av förståelse och kunskap, liksom projekt som är direkt inriktade mot praktisk tillämpning.

- 1. Undermarksplanering**
- 2. Byggprocessen**
- 3. Undersökning och karakterisering under planering, genomförande och drift**
- 4. Bergförstärkning och dimensionering**
- 5. Tätning samt vatten- och frostsäkring**
- 6. Berguttag och gruvbrytning**
- 7. Drift och Underhåll**
- 8. Material – funktion och beständighet**

De ovan redovisade aspekterna social, ekonomisk och miljömässig hållbarhet inklusive säkerhet och arbetsmiljö är genomgripande och av största betydelse för branschens och samhällets utveckling. De ses dock inte primärt som egna forskningsområden utan som aspekter som är av hög relevans för samtliga åtta mer fackinriktade forskningsområden. Aspekterna ska därför alltid analyseras, beaktas, belysas eller på annat sätt behandlas inom varje forskningsprojekt. Syftet är alltså att ge ökad tyngd åt helhetssyn och hållbarhet.

Det förväntade resultatet, sett ur ett hållbarhetsperspektiv, ska också belysas i forskningsansökan. I det fall kompetensen för relevanta hållbarhetsaspekter för forskningsområdet saknas, ska man informera sig om hur forskningsprojektet kan få med det i såväl ansökan, projektets genomförande och i slutresultatet.

För genomslag i branschen räcker det inte att byggherrar, projektörer och entreprenörer jobbar för förbättrad hållbarhet. Det behöver komma in redan i forsknings- och utvecklingsstadiet när nya angreppssätt, utformningar och lösningar tas fram. Att i forskningen ge tyngd åt hållbarhet förväntas inte bara leda till att forsknings- och utvecklingsresultaten är ”hållbarhetssäkrade”, utan även stimulera till eget hållbarhetstänkande och befrämja helhetssynen i branschen.

## 1. Undermarksplanering

Städerna växer och förtätas, vilket är mycket påtagligt i Sveriges största städer. En tätare stadsstruktur kan bidra till en hållbar stadsutveckling men ställer krav på god tillgänglighet till stadens utbud. Här bidrar klokt planerade och genomförda undermarkslösningar till att ge en god livsmiljö.

Det är kommunerna som har huvudansvaret för planeringen av användningen av mark och vatten. Det handlar om att uppnå en attraktiv stadsmiljö och samtidigt klara nationella och regionala klimat- och miljömål. Genom att förlägga vissa funktioner under mark kan man uppnå bättre utnyttjande av marken ovan jord samtidigt som man bygger upp ett välfungerande samhälle med goda levnadsvillkor.

### Behov

Undermarken är en ändlig resurs även om man kan expandera till djupare nivåer. Det är därför viktigt att ha en god planering där man dokumenterar befintliga anläggningar, "tar höjd" för kommande undermarksanläggningar i närtid och även reserverar plats för framtida tänkta behov. Utan en långsiktig undermarksplanering finns risken att de mest attraktiva lägena blockeras av byggherrar som bygger först enligt principen "först till kvarn". Risken är då, att hänsyn till samhällsintresset på längre sikt inte beaktas och att attraktiva lägen "förbrukas" och blockeras för andra, kanske viktigare, ändamål. Återanvändning av befintliga anläggningar till andra ändamål är också ett exempel på resurshushållning, t ex konvertering från skyddsrum till museum.

Den fysiska planeringen sköts av kommunerna som har ett planmonopol. Här upplevs en brist avseende dels den långsiktiga planeringen av undermarken och dels den nödvändiga integrationen av det som befinner sig ovan respektive under jord. Ett internationellt begrepp för en plan avseende områden under jord är "Underground Master Plan". Vi saknar motsvarande i Sverige men det finns goda exempel på andra platser, t ex i Helsingfors och Singapore. Vi ser behov av forskning och utveckling inom undermarksplanering och integrering med övrig kommunal planering.

Forskning och utveckling behövs vidare för att ta fram olika underlag för undermarksplanering: Digitala verktyg som jobbar i 3D för att beskriva och knyta ihop områden inklusive de osäkerheter kring bergbyggande som planerare behöver ta hänsyn till. En generell metodik för att hantera dessa frågor saknas.

I planeringsprocessen behöver konsekvenserna av förändringarna beskrivas och bör omfatta sociala, ekonomiska och miljömässiga aspekter. Den sociala konsekvensbeskrivningen behöver belysa förhållanden som uppkommer när människor vistas under mark, och det finns idag inte mycket forskning i Sverige eller internationellt inom detta område. Exempelvis innebär avsaknad av dagsljus och möjligheten att orientera sig i förhållande till omgivningen omständigheter under jord som man behöver ta hänsyn till. Därför är utformning och gestaltning viktig för att anpassas till människans upplevelser och skapa positiva miljöer som man söker sig till.

## 2. Byggprocessen

Med byggprocessen avses här skedena från projektering av en anläggning till och med att relationshandlingar färdigställts.

En stor mängd bergprojekt kommer att realiseras det närmaste årtiondet. Samtidigt lider branschen av att flera genomförda projekt har präglats av förseningar och kostnadsökningar. Det finns flera orsaker till att det är svårt att göra riktiga bedömningar i tidiga skeden. En utredning om viktiga "framgångsfaktorer i bergbyggandet" visade att det ofta beror på relationerna mellan olika parter i planerings- och byggprocessen. Nya former för samverkan mellan byggprocessens olika parter har prövats, delvis inom ramen för FIA (Förnyelse Inom Anläggningsbranschen), och med det gemensamma intresset att bygga anläggningar som motsvarar allas förväntningar, dvs. en slutprodukt som uppfyller ställda krav inom planerad budget och som för leverantörerna kan tjäna som referens för kommande arbeten. Kommunikation och samverkan i branschen och mellan denna och samhället med politiker och allmänhet, skall förbättras.

### Behov

Exempel på behov kan vara; att utveckla bättre former för ersättning, kvalitetskontroll, riskvärdering och riskfördelning specifikt för bergtunnelprojekt som är anpassade till den interaktiva process som krävs i och med att bergförhållandena inte är fullt kända på förhand. Funktionskrav har kommit in i branschens handlingar på senare tid och styr byggprocessen.

Byggande med "observationsmetoden", innebär att man utgår från en dimensionering av förstärknings- och tätningsinsatser, som justeras efter i förväg förberedda förändringar i dimensioneringen om observationer av konstruktionens beteende i byggskedet görs. Det finns ett behov av att utveckla ersättningsformer som bättre än idag är anpassade till denna metodik och som tydligt klargör riskfördelning och ansvar i och med att designen successivt förändras. Hur definierar vi kraven på konstruktionen och hur verifieras det? Ersättningsformer och riskfördelning har visat sig särskilt angeläget i samband med injekteringsarbeten. Det kan avse att i bygghandlingar tydligare precisera vad som i olika skeden är beställarens respektive entreprenörens ansvar (funktion, mängder, tidsåtgång etc.). Det finns behov av en övergripande diskussion om former för planering och genomförande av bergprojekt med utgångspunkt i hittillsvarande erfarenheter och möjligheter till optimering av hela processen. I detta ingår frågan om acceptans baserad på en väl fungerande kommunikation och samverkan med samhälle och allmänhet med ett hållbarhetsperspektiv. Förundersökningarnas omfattning och roll i planeringskedet och hur informationen används i den fortsatta processen bör analyseras. Hållbarhetsperspektivet behöver genomsyra projektet och analys av metoder, material och påverkan bör alla vara med tidigt i ett projekt och därför finns behov av LCA-analys (Life Cycle Assessment) som också kan komma till nytta i de tillståndsprocesser ett projekt går igenom.

Digitala modeller och databaser används idag i hela byggprocessen och är ett tillskott för kvalitetssäkring och dokumentation av processerna. Men här behöver användbara metoder och rutiner utvecklas för ett branschgemensamt synsätt och nyttjande.

### **3. Undersökning och karakterisering under planering, genomförande och drift**

Berg- och undermarksbyggande är beroende av omsorgsfulla undersökningar och förhandsbedömningar av bergförhållanden i olika skeden av byggprocessen, såväl i planeringskedet, som under byggande och i drift- och underhållsskedet.

#### **Behov**

Exempel på behov kan vara att; skapa bättre bas för bedömningar grundade på ingenjörsgelogisk erfarenhet och väl sammanvägda undersökningsinsatser både före och under byggandet, men också i driftskedet för planering av underhåll. Möjligheter till bättre informationsinsamling, tolkning av insamlade data, utveckling och användning av nya verktyg samt visualisering av resultat är angelägna att prova för att främja bättre planering och beslut i olika skeden av bergprojekt. Lagring och tolkning av data i 3D-4D används redan idag i anläggnings- och gruvbranschen från planering till byggande och drift. Metoderna behöver utvecklas och implementeras för säkrare kvalitetssäkring, prognoser och dokumentation genom hela projekt och för framtida projekt. Möjligheten att få realtidsprognoser av berginnehåll och dess egenskaper vid berguttag kan också möjliggöra produktion som är bättre avseende såväl arbetsmiljö som effektivitet.

Flera egenskaper undersöks i fält eller på laboratorium. Hit hör bergmekaniska och andra fysikaliska egenskaper som kräver speciell teknik och behandling av primärdata. Det finns behov av bättre modeller och teknik för datainsamling samt tolkning och visualisering av information med syfte att snabbt, i realtid, ge beslutsunderlag med tydlig redovisning. Material som också åskådliggör tillförlitlighet hos data och ger mer fullödig information.

Tolkning och redovisning av undersökningsresultat, kopplas till hur data bäst utnyttjas vid successiv uppdatering av konceptuella modeller för karakterisering av bergmassan och dess bergmekaniska och hydrogeologiska egenskaper. Ingen metod kan ge all information som är mätbar utan olika metoder kompletterar varandra och här ger samtolkning förbättrade kunskaper om de geologiska förhållandena – något som behöver utvecklas.

Nya metoder att "avslöja bergets inre struktur och egenskaper" med utnyttjande av teknik från andra teknikområden görs och bör prövas ytterligare, till exempel för oförstörande provning och kvalitetskontroll av material och produkter från annan industri eller utvecklingsverksamhet. De kan vara baserade på beprövad eller ny teknologi och användbarheten bör prövas i fält för att demonstrera den praktiska nyttan.

Behov av bättre undersökningar gäller i olika skalor och skeden, från övergripande information under tidig planering till tillståndsbedömning av närzonen (inklusive effekter av sprängskador) av en anläggning som stöd för bedömning av förstärknings- och tättningsinsatser och senare för planering och utförande av underhållsarbeten.

#### **4. Bergförstärkning och dimensionering**

Bergförstärkning och dimensionering avser berganläggningar under jord men även grundläggning på berg och bergsslänter, samt förstärkning vid erosionsproblematik.

Det "bärande huvudsystemet" i en berganläggning består som regel av bergmassan i samverkan med förstärkning. Dimensioneringen kan därmed inte grundas på samma typ av beräkningar som för andra byggnadsverk av stål, betong etc., bland annat därför att lasteffekt och motståndsförmåga inte är entydiga och oberoende. Andra svårigheter hänger samman med att bergmassans egenskaper styrs av bergets sprickstruktur och att dess egenskaper och kvalitet bestäms genom fåtalsprovning och därtill är skalberoende. Beständighetsfrågor ska beaktas och det kräver kunskap om fysikaliska och kemiska nedbrytningsprocesser för de material som ingår i konstruktionen. Frågor om materials brandtålighet ska också beaktas i samband med projektering och byggande och det är ett område att utveckla vidare.

##### **Behov**

Exempel på behov kan vara att; Utveckla metoder, tekniker och praktiska framgångsvägar för säker förstärkning och kontroll av förstärkning över tid. Utveckling och tydliggörande av dimensioneringsmetodik som uppfyller krav och förutsättningar enligt Eurokod 7. Men även utveckling av grunderna för observationsmetoden för praktisk tillämpning i bergmekanisk design. För att uppfylla normens krav krävs fördjupade kunskaper inom undersökningsteknik och tolkning av resultat (se "Undersökning och karakterisering under planering, genomförande och drift"), liksom för karakterisering av bergmassans egenskaper, och användning av materialmodeller för berg och förstärkning samt beräknings- och verifieringsmetoder. Förstärkningselement och system som är eftergivliga och kan hantera dynamiska laster, så kallad dynamisk förstärkning, behöver utvecklas för bergmassor med höga spänningar. Det är framförallt aktuellt för gruvor och t ex olika former av lageranläggningar.

Frågan om bergmassans egenskaper och hur de hanteras i konceptuella modeller är komplex och rymmer en mängd frågeställningar som materialmodellens osäkerhet. Beräkningar kan göras med analytiska lösningar eller numeriska metoder, i båda fall behövs metoder för att beräkna spridningar utifrån stokastiska fördelningar anpassade för praktisk tillämpning. Samverkanskonstruktioner kan ses i två huvudgrupper, dels den situation som är vanligast i vårt land, att bergmassan har den primärt bärande funktionen, som säkras med en samverkande bult- och ytförstärkning (sprutbetong), dels situationer när bergets bärförmåga är otillräcklig och det krävs en förstärkning som dimensioneras baserad på samverkan, vanligen med utgångspunkt i bergets responskurva (Ground Reaction Curve). I anslutning till samverkansfunktionen finns frågor kring förstärkningselementens bärförmåga i aktuella last- och deformationstillstånd. Hit hör exempelvis fiberarmerad sprutbetongs deformationsegenskaper och last-upptagande förmåga.

## 5. Tätning samt vatten- och frostsäkring

Forskningsområdet "Tätning samt vatten- och frostsäkring" för berganläggningar är nära förknippat med flera hållbarhetsaspekter och kan exemplifieras med grundvattenpåverkan, effektivt bergbyggande, säkerhet, rationell drift och underhåll.

Hantering av vatten i berg vid anläggande och drift av tunnlar, bergrum, dammar och vissa bergskärningar har som regel ett objektsanpassat täthetskrav som följer av aktuella grundvattenförhållanden och funktionskrav på anläggningen. Funktionskrav kan vara tekniska, ekonomiska eller säkerhetsrelaterade, t ex inga droppar eller isbildning på installationer/vägbana eller kostnad för utpumpning av inläckande vatten. Ibland avses estetiska funktionskrav som dropp eller fuktfläckar. Kravet på täthet kan ofta uppfyllas i två delar, där 1) förhindrad grundvattenpåverkan kan klaras genom tätning av sprickor i berget, medan 2) funktionskravet för berganläggningen kan åstadkommas genom vatten- och frostsäkring med dräner eller olika former av inklädnad.

### Behov

För tätning av med hjälp av injektering finns sedan tidigare "BeFos injekteringsprogram – Kompetensuppbyggnad och forskning 2012-2022" som i helhet beskriver behov och förslag till insatser specifikt inom berginjektering och vi hänvisar till det programmet som återfinns på BeFos hemsida "[www.befoonline.org](http://www.befoonline.org)". Sedan programmet publicerades 2012 har forskning, utveckling och kompetensuppbyggnad inom området bedrivits och inriktningen i programmet gäller fortfarande. Kontakta BeFos kansli för ytterligare information.

Exempel på behov avseende vatten- och frostsäkring kan vara att utveckla alternativa lösningar för dräner och inklädnader där man också beaktar de långsiktiga drift- och underhållsaspekterna. Nya material som tas fram ska också nå upp till de specifika krav på brandtålighet som ställs för den aktuella placeringen.

Tätning samt vatten- och frostsäkring i berganläggningar kräver en helhetssyn där ofta mer än en åtgärd behövs för att få fram en lösning. Det finns ett behov av funktionsteknisk, ekonomisk och produktionsteknisk utvärdering av använda tätningssystem. LCC-metodiken kan användas för att utvärdera olika alternativ, t ex injektering, dräner, inklädnad eller lining ur ekonomiskt perspektiv. Mot detta kan ställas alternativet att övergå till infiltration. Systemtänkande används idag på vissa håll men metodiken kan förfinas och ges bättre indata.



## 6. Berguttag och gruvbrytning

Två olika drivningsmetoder dominerar bergbyggande under jord i Skandinavien idag. Borring/sprängning och fullortsborring med TBM. Den konventionella metoden att borra och spränga har utvecklats genom att allt effektivare metoder och utrustningar för borring och väsentligt bättre tekniker och kunskap om sprängning. Exempelvis har borrsjunk-hastigheten ökat kraftigt.

Alternativa metoder för att ta ut berget är linsågning och hydraulisk spräckning, metoder som framgångsrikt använts i urban miljö med speciella krav på en liten bergtäckning till kringliggande bergutrymmen. De metoderna är tillsammans med fullortsborring med TBM mer skonsamma mot berget men tillämpningen är ännu relativt begränsad i Norden. Skonsammare metoder innebär en mindre uppsprickning och begränsad EDZ (Excavation Damage Zone) vilket i sin tur begränsar den förstärkning som krävs och förmodligen också en begränsning av inläckande vatten genom det kvarvarande berget.

De metoder som används bör bedömas utifrån ett hållbarhetsperspektiv, dvs med avseende på ekonomiska, miljömässiga och sociala aspekter, till exempel arbetsmiljö. Det kan innebära att det som igår var "rätt" metod inte håller måttet idag vilket ställer krav på forskning och utveckling inom området.

### Behov

Framdriften av en tunnel eller en ort representerar ett stort värde och här är tidsaspekten en väsentlig ekonomisk faktor. Exempel på behov kan vara att; minska tiden för framdrift och därmed spara väsentliga kostnader. Byggandet bör vara skonsamt mot kvarvarande berg och anläggningar i närheten. Metoden för framdrift påverkar arbetsmiljö, yttre miljö, drift och underhåll, täthet och förstärkningsbehov. Det innebär behov att utveckla metoder, teknik och praktiska framgångsvägar för framdrift i syfte att minimera tid och kostnader för själva drivningen samt för tätning, förstärkning och för att skapa bästa möjliga resultat avseende den färdiga anläggningen, och dess kostnader och säkerhet i ett livscykelperspektiv. Vibrationspåverkan på omgivande konstruktioner och tredje man är viktig så man erhåller en optimal sprängning/framdrift med hänsyn till omgivningspåverkan. Här finns behov av bättre analysverktyg.

Gruvbrytningsmetoder behöver utvecklas för hållbarhet (arbetsmiljö, miljö etc) och förbättrad lönsamhet. Utvecklingen i gruvor leder ibland också till en utveckling av metoder i anläggningsbranschen. Maskinernas utveckling av den digitala styrningen och kommunikation med andra enheter kan möjliggöra en utveckling av processerna.

Utifrån ett arbetsmiljöperspektiv behövs säkrare metoder och utrustning utvecklas för olika moment i tunneldrivningscykeln. Helt säker arbetsmiljö kan man först skapa genom att personal aldrig vistas under jord, på engelska "Zero Entry", ett forsknings- och utvecklingsområde som kan innebära ett genombrott avseende arbetsmiljön för bergarbete.

## 7. Drift och Underhåll

Drift- och underhållskostnaden för berganläggningar ökar och det är väsentligt att söka bedöma vilka insatser som är riktiga att göra redan under bygg- och installationskedet jämfört med de som kommer att behöva göras under drift- och underhållsskedet. Kostnadsaspekten är viktig och det finns flera etablerade metoder för att väga samman investeringskostnader med förväntade kostnader för drift och underhåll. Systematisk LCC-analys (livskostnadsanalys) ska utföras, d v s redan under projektering då material och utförande slås fast. Metoden har tillämpats i samband med några undermarks- och tunnelprojekt. LCC-analysen bör följas upp med vad som verkligen byggts och med eventuella reparationer/byten så att den är uppdaterad.

Många befintliga anläggningar har uppnått sådan ålder att mer genomgripande underhållsinsatser kan vara aktuella, det gäller särskilt vattenkraftanläggningar där många varit i drift sedan mitten av nittonhundratalet, och många väg- och spårtunnlar. Enbart ålder eller tid är inte avgörande för behovet av underhåll. I dag talar vi om tillståndsbaserat underhåll och då är metoder för tillståndsbedömning intressanta. Vilken information fordras för planering, uppföljning och ledning av underhållsarbeten? Hur kan en optimal avvägning ske mellan kostnader för investering, underhåll och risk? Dessa frågor visar att drift och underhållsfrågorna bör vara med under såväl projektering och byggande för att få god inspekterbarhet och bygga underhållsvänligt.

### Behov

För att svara upp mot lagens krav och företagsekonomiska villkor är modeller för analys av livscykelkostnader viktiga verktyg. Tillämpning av modellerna kräver tillförlitliga indata. Krav på sådana data från berganläggningar behöver specificeras och prövas i tillämpning av dessa modeller. Exempel på behov kan vara att; utveckla strategier och metoder för att fastställa anläggningars status med hänsyn till underhållsbehov. Det behövs metoder för tillståndsbedömning av berg och förstärkning efter exponering under längre tid och under olika yttre påverkan. Nedbrytningsprocesser och beständighet hos "det bärande huvudsystemet" (berg med samverkande förstärkningar) samt injektering, behöver behäskas för att kunna bedöma underhålls- och reparations behov. Metoder för tillståndsbaserat underhåll av berganläggningar och informationslogistik i samband med underhåll bör utredas och utvecklas. Det finns behov av reparations- och förstärkningsmetoder anpassade till begränsad tillgänglighet i utrymme eller tid, speciellt i trafiktunnlar. Specifika behov finns för statusbedömning av vattenfyllda tunnlar och undergrund vid dammar samt vid skärningar och utloppskanaler med erosionsförlopp. Tillståndsbedömning och åtgärder för bergskärningar. Erfarenhetsåterföring genom dokumentation från inträffade ras i tunnlar och andra skadefall bör utnyttjas.

## **8. Material – funktion och beständighet**

Detta avsnitt avser materialprovning av etablerade material men även nya utifrån dess funktion och beständighet.

Flera av de material som används för bergförstärkning, tätning och inklädnad är väl beprövade och etablerade i anläggningsbyggandet. I vissa fall är dock egenskaperna mindre väl dokumenterade och specificerade till exempel i fråga om beständighet och brandtålighet. Nya material behöver jämföras med konventionella och specificeras utifrån funktionskrav.

Materialvalet för berganläggningar görs traditionellt efter arbetsmiljö, funktion, beständighet och ekonomi, men en parameter som idag behöver tas med i bedömningen är ekologisk hållbarhet.

### **Behov**

Exempel på utvecklingsbehov; att klara funktionskrav på brandtålig vatten- och frostsäkring. Olika material och kombinationer behöver prövas i prototyp- respektive fullskala. Sprutbetong, ofta fiberarmerad, används frekvent för bergförstärkning. Ändå finns behov av mer kunskap om sprutbetongens egenskaper i olika avseenden för att ge ett bättre dimensioneringsunderlag, med hänsyn till bärförmåga och beständighet. Det kan avse deformationsegenskaper med olika typer av fiberarmering, möjlighet till töjningshårdnande, krympningsegenskaper, vattentäthet och urlakning, tålighet mot frost och brand, alternativa tillsatsmedel och ballast samt korrosion hos fiber- och nätarmering. Det kan vara intressant att undersöka användning av tunna sprutade membran som alternativ till sprutbetong. För bultförstärkning är korrosionsförlopp bara delvis klarlagda, behov finns av icke förstörande provning. Det är intressant att se på och prova nya material för bergförstärkning i olika former och tillämpningar. Materialbrott vid laster under brottlast och i utmattning etc. är av intresse att undersöka. Beständighetsfrågor kring injektering kan avse ren berginjektering men också kontakt-injektering mellan berg och betong. Specifika problem gäller för urlakning av injekterings-skärmar med tiden, något som påverkar den annars så goda livslängden.

En fördel med berganläggningar under jord är att de ofta har en mycket lång livslängd, vilket är en ekologisk fördel som ska balanseras mot det klimatavtryck som användning av stål och betong medför. Behovet av materialutveckling med nya material som har såväl god beständighet som liten klimatpåverkan är stort och gäller bergbyggnadsbranschen men också hela samhällsbyggnadssektorn.



## **Minnesanteckningar (fyra) från NGL workshops och seminarier**

Chalmers 2016-02-11

Uppsala universitet 2016-03-08

Lunds universitet 2016-04-14

The Underground Space Challenge

Kalmar 10-11/10 2010



## **Minnesanteckningar - NGL-dag Chalmers 2016-02-11**

### **Sammanfattning av gruppdiskussioner**

Följande frågor skulle diskuteras:

1. Vad kan jag/min organisation/grupp göra?
2. Vilka frågor är viktiga för verksamheten i allmänhet?

#### **Grupp 1**

Rapportör: Lars O Ericsson

##### **Vad kan jag/min organisation/grupp göra?**

- Förutom att erbjuda en kunskapsplattform för geovetenskapliga/naturvetenskapliga processer kan man även bredda mot samhällsnytta i vidare mening, t.ex. planprocesser.
- Specifika forskningsuppdrag i tunneln skulle t.ex kunna behandla att leva och bo under jord. ITACUS är organisation som arbetar för att skapa större intresse för publika utrymmen under jord. <http://www.ita-aites.org/en/wg-committees/committees/itacus>.
- Möjligheter att studera spridning av föroreningar in situ och skalenligt.
- Kriterier och normer som används vid ex. undermarksbyggande är inte alltid ordentligt underbyggda, möjlighet att ta fram mer och väl underbyggda kriterier och normer, som t.ex. skulle kunna ingå i Anläggnings AMA eller Trafikverkets riktlinjer/funktionskrav.

##### **Vilka frågor är viktiga för verksamheten i allmänhet?**

- NGL-organisationen bör ha ämnesföreträdare med hög vetenskaplig trovärdighet; de ska vara en länk mellan omvärlden och anläggningen.
- För att få gehör för NGL i den egna verksamheten i perspektiv av den politiska plattformen kan man t.ex. skaffa sig kunskap från Sverigeförhandlingen och träffa de personer som varit verksamma inom den.
- Kommunikationsfrågorna måste finnas med från början när man ställer samman en organisation. Detta är utomordentligt viktigt för att vi skall få ett nyttiggörande som blir konkret om kommer samhället till gagn.
- NGL måste lyftas upp till en nationell och internationell nivå.
- Hur formulerar vi oss externt för att fånga intresset för NGL på 10 års sikt är en nyckelfråga. De redan involverade tycker inte man behöver mer information och de icke involverade förknippar forskningen som så starkt kopplad till SKB så de tenderar att känna sig utanför.

#### **Grupp 2**

Rapportör: Vladimir Cvetkovic

##### **Vad kan jag/min organisation/grupp göra?**

- Science Partner (SP) arbetar inom många olika områden (ex. säkerhet, brand, risk, vattenförsörjning) som är relevanta för NGL, motiverar ett särskilt möte.
- Karaktärisering av underjorden, är en fråga om vilken skala man studerar.
- Infrastrukturer kopplat till vatten som resurs ex. dricksvattentunnlar

- Definiera vad som är unikt och vilka möjligheter som finns.
- Utbildning inom underjordsplanering och/eller samordning av komplicerade projekt samt mätmetodik.
- Miljöförstörande provningar.
- Det finns massor av data bakåt i tiden, ta reda på vilken data som behövs framåt.
- Se det som en plats för metodikutveckling.
- Plats för att pröva och verifiera modeller.

#### **Vilka frågor är viktiga för verksamheten i allmänhet?**

- Fokus på urban utveckling kan ge ett sammanhang att samlas kring.
- För att kunna lyfta upp NGL till EU-nivå krävs ett starkt nätverk på hemmaplan.

### **Grupp 3**

Rapportör: Gerhard Barmen

#### **Vad kan jag/min organisation/grupp göra?**

- Fortsatt forskning och utveckling kring bland annat djupförhållandenas inverkan på vattenförande sprickzoner, tätning av sprickzoner i berg, representativ provtagning av grundvatten och berg, tunneldrivningsteknik, borrhåsteknik, beständighet hos berginjektering och brandfrågor i berggrum.
- Fortsatta studier av djupets inverkan på redoxförhållande och pH samt effekter på förekomst, löslighet och utfällning av toxiska metaller, radionuklider m m.
- Teknik- och tolkningsutveckling av markburen geofysik och även borrhålsbundna undersökningsmetoder.
- Fortsatt undersöka/utforska/tolka de stora mängder mätvärden och data som finns kring anläggningen.
- Utbildningar med hjälp av berglaboratoriet inom bergförhållanden, sprickkaraktisering, undermarksbyggande och experiment kring människors upplevelse av att arbeta/bo/leva under markytan.

#### **Vilka frågor är viktiga för verksamheten i allmänhet?**

- Viktigt att göra anläggningen allmänt känd för allmänheten och att den används för experiment som tydligt bidrar till att lösa stora samhällsproblem, alltså att den är och blir en samhällsnyttig anläggning.
- Viktigt att alla data som tagits fram i och med hjälp av anläggningen blir lätt tillgängliga. Kanske ett projekt i sig för att underlätta "datamining"?!
- Se vilka svårigheter som kan finnas: det får inte vara för byråkratiskt att starta projekt, finansieringen måste lösas och långsiktig tillgänglighet till anläggningen och data behöver säkerställas.
- Basekonomin behöver troligen garanteras av ett konsortium av olika intressenter som bidrar till finansieringen.
- Anläggningen behöver en akademisk hemvist som har en filial i form av berglaboratoriet. Anläggningen behöver också ämneskompetenta anställda inom de huvudsakliga verksamhetsområdena kopplade till en driftorganisation som ansvarar för anläggningens funktion.
- Underhålls- och driftskostnader om cirka 40 Mkr/år behöver bakas in i anslagsansökningar hos t ex VR och FORMAS om det inte går att hitta någon form av huvudsponsor (företag, organisation och/eller privatperson). Detta innebär att i storleksordningen 50-100 forskningsprojekt behöver vara aktiva parallellt vid anläggningen, om cirka 10% av projektmedlen används till drift och underhåll..



## Grupp 4

Rapportör: Auli Niemi

### Vad kan jag/min organisation/grupp göra?

- Miljö, energi, geoteknik, material verkar vara bra delning av forskningsområden
- Uppdelning till 'kärnkraftavfallsforskning' och 'annan forskning' kan vara problematiskt. Man kan kanske också betona kärnkraftavfallsforskningens 'spin-off' effekter till andra forskningsområden. Vad kan man lära från kärnkraftavfallsforskning som är till nytta i andra områden? T.ex., vad har vi lärt om karakterisering från markytan vs. karakterisering från tunnlar etc. Hur bra var prognoser som gjordes på 90-talet baserat på undersökningar från markytan i jämförelse till det som vi vet nu?
- 'Ostörd' vs. 'störd' data; Äspo data är mycket påverkad av tunnelbygget medan data från Laxemar är det inte. Jämförelse av de två data kan ge värdefull information angående det aspektet.

### Områden som kan undersökas;

- Ämnestransport i sprickigt berg (föroreningsspridning)
- Bakerieflorametabolism i djupa system, tillämpningar t.ex. till metaller etc. Biologiskt liv i djupa system i allmänhet.
- Organiska föroreningar och flerfasflöde i allmänhet. Många organiska flerfasföroreningar skapar allvarliga och långvariga problem som är svåra att åtgärda när dom har nått berggrund. Äspo kan ge möjlighet att undersöka deras spridning (med hjälp av t.ex. analoga vätskor) i skala större än det vanliga lab-skalan. Det finns andra tillämpningar där flerfasflöde i sprickigt berg är också avgörande; spridning av koldioxid är ett viktigt exempel som har relevans till i synnerhet till CCS.
- Bergvärme, bergets egenskaper för geoteknisk energi
- Använd också data från den yttligare miljön (tunnlar som är närmare markytan) som kan vara relevant för många tillämpningar.
- Förhöjning av temperatur i havsmiljö; klimatforskning

### Utbildning;

- Kurserna ('training courses') kan riktas inte bara mot MSc och PhD studenter men också mot experter redan aktiva i arbetslivet (vidareutbildning)
- Logistik för kurser? Boende, kurslokaler, hur skall kursdeltagande finansieras?

### Vilka frågor är viktiga för verksamheten i allmänhet?

- Detta är en unik facilitet som skall utnyttjas
- Hur skall praktiska frågor (boende, resor, kostnader) för forskarskolor lösas?
- Hur stor skall NGL vara? Gränsning?
- Mekanismerna för att organisera infrastrukturen? Det skall finnas en tydlig struktur så att forskare vet hur dom skall ta sig vidare i systemet (Delvis finns det redan ett fungerande system via Nova)
- Tydlig profil utåt
- Mera detaljerad beskrivning av existerande data skall ges ut till forskarsamhället och andra potentiella användare. Det finns redan t.ex. power-point presentationer för detta. Skall dom läggas på webb-sidan?
- Bra att göra anläggningen internationellt känd (också i icke-kärnkraft sammanhang) redan nu när det finns SKB support för infrastrukturen vilket skall underlätta framtida internationell (EU?) finansiering

- Allmänt sett kommer finansiering vara en stor fråga eftersom kostnaderna är omfattande
- Skall potentiella finansiärer bjudas in till nästa möten?

# Minnesanteckningar - NGL-dag Uppsala universitet 2016-03-08

## Sammanfattning av gruppdiskussioner

Följande frågor skulle diskuteras:

1. Vad kan jag/min organisation/grupp göra?
2. Vilka frågor är viktiga för verksamheten i allmänhet?

### Grupp 1

Rapportör: Lars O Ericsson

#### Vad kan jag/min organisation/grupp göra?

- Möjlighet att i relevant skala studera spridning av föroreningar i sprickigt berg. De krav som finns idag bygger på litteraturstudier och gäller inte för den svenska geologin.
- SGU kommer framöver att arbeta mer med infrastrukturprojekt och kan behöva utveckla karteringsmetodik.
- Undersöka underjordisk fauna (stygofauna, djur som är ca en storleksordning större än mikrober, dvs. meiofauna) i sprickigt berg i relation till faunan på ytan.
- Miljöbalken anger vilka volymer som är tillåtna för vattenläckage. Det skulle vara intressant att göra ett stort utspädningsförsök längs med en tunnel i dike för att följa det successiva inläckaget .

#### Vilka frågor är viktiga för verksamheten i allmänhet?

- Ämnesföreträdare vid Äspö HRL för NGL bör inrättas som fasta tjänster.
- Utbildning: samla vicerektorer m.fl. intressenter för diskussion om bl.a. hur man löser inrapportering till LADOK.

### Grupp 2

Rapportör: Gerhard Barmen

#### Vad kan jag/min organisation/grupp göra?

- Prio 1 är utbildningsverksamheten, både inter- och multidisciplinärt, bland annat genom att använda tillgängliga data av många slag från samma platser.
- Undermarksbyggande, studier och utveckling av transportsystem och bostäder under markytan.
- Borra djupa borrhål (startpunkten -500 meter), för att utveckla modeller avseende jordskorpan och geotermiska och hydrogeologiska förhållanden samt för att utveckla borrhåstekniken.
- Utveckla tekniken för geofysiska mätningar i urban miljö genom tester vid väl dokumenterade tunnlar.
- Studera arbetsmiljöfrågor i tunnlar och vid byggande under mark.

#### Vilka frågor är viktiga för verksamheten i allmänhet?

- Det är viktigt att tydligt definiera behovet och användningen av NGL. Sedan ser vi två huvudsakliga styr- och finansieringsmodeller:

- A) En grupp med nära koppling till ett fåtal starka forskningsfinansiärer (ev. donatorer) som driver och organiserar uppbyggnaden av verksamheten.
- B) En vetenskapligt stark och välkänd initial styrgrupp som drar till sig andra internationellt erkända forskare, vilka var och en bidrar med mindre forskningsanslag till verksamheten.

### **Grupp 3**

Rapportör: Vladimir Cvetkovic

#### **Vad kan jag/min organisation/grupp göra?**

- Forskning inom miljöområdet, ex. ämnestransport, vattenkvalitet, multiphase systems.
- Injektering.
- Gastransport i sprickigt berg och övervakning av läckage (CO<sub>2</sub>-lagring)
- Mikrobiologiska processer och nedbrytning i berget.

#### **Vilka frågor är viktiga för verksamheten i allmänhet?**

- Att det är en öppen forskningsanläggning och att det finns en stödfunktioner.
- En hemsida med information som riktar sig både till externa och interna intressenter.

### **Grupp 4**

Rapportör: Auli Niemi och Jakob Levén

#### **Vad kan jag/min organisation/grupp göra?**

- Geovetenskapliga utbildningar som också förvaltar modellen genom att det är återkommande kurser.
- SGU arbetar med samhällsnyttiga projekt och vill gärna se aspekter som gynnar detta i projektet, finns intresse för förvaltning av databasen, även få med Trafikverket.
- Grundforskning om sprickigt berg, flerfasflöderelaterade tillämpningar.
- Utnyttja förutsättningen att det finns en bra data att ställa sin hypotes/modell mot.
- Kommunerna har och kommer att ställas inför svåra frågor med geovetenskaplig koppling, möjlighet att erbjuda kompetenshöjande åtgärder/hjälp.

#### **Vilka frågor är viktiga för verksamheten i allmänhet?**

- En organisation/konsortium bestående av t.ex. universitet/industri/staten som står för drift av anläggningen samt underhåller modellerna.

# Minnesanteckningar - NGL-dag Lunds universitet 2016-04-14

## Sammanfattning av gruppdiskussioner

Följande frågor skulle diskuteras:

1. Vad kan jag/min organisation/grupp göra?
2. Vilka frågor är viktiga för verksamheten i allmänhet?

### Grupp 1

Rapportör: Gerhard Barmen

#### Vad kan jag/min organisation/grupp göra?

- Bredda tillämpningsområdet från berg/geo till andra områden så som utrymningsförsök (människors beteende vid brand), akustik (larm), utformning av underjordsmiljöer (bland annat ljussättning), hur leva under extrema förhållanden (exempelvis rymdfarkoster), trafikbeteende (i långa, smala tunnlar).

#### Vilka frågor är viktiga för verksamheten i allmänhet?

- Det kan vara bra att visa på bredden i möjlig användning av berglaboratoriet. Konkreta exempel på olika typer av forskning kan uppmuntra till att andra typer av projekt uppstår och ett större intresse för infrastrukturen från olika finansiärer.
- Att det finns en infrastrukturägare (kanske en stiftelse) som finansierar basdriften.

### Grupp 2

Rapportör: Vladimir Cvetkovic

#### Vad kan jag/min organisation/grupp göra?

- Det måste finnas en stark industrikoppling och relevanta industritillämpningar.
- Kan fungera som center för svensk kunskap i undermarksbyggande inkl. testbäddar.

#### Vilka frågor är viktiga för verksamheten i allmänhet?

- Se och lära av hur Norge marknadsför know how i tunnelbyggande:  
<http://tunnel.no/>

### Grupp 3

Rapportör: Lars O Ericsson

#### Vad kan jag/min organisation/grupp göra?

- Framtida energiförsörjning t.ex. pumpkraftverk kombinerat med vertikala vindkraftverk (för lägre underhållskostnad av vindkraftverket).
- Injekteringsteknik t.ex. för befintliga vattenkraftdammar.

- Förslutning av djupa borrhål (är ett problem vid t.ex. energilagring). Borde även vara av intresse för SKB.
- Svavelhexafluorid, används som dateringsmetod för grundvatten. Är även en stark växthusgas. Förstå processen hur det bildas naturligt i berggrunden.
- Jordströmmars påverkan på korrosion och även påverkan på osäkerheter i mätteknik.
- Instrumentera för att mäta förskjutningar med stor precision.
- Ökad förståelse för vatten i den omättade zonen, transport i sprickigt berg och kopplingen till tätning och dränering.
- Faunan i skalområdet 50-300 µm är intressant.

**Vilka frågor är viktiga för verksamheten i allmänhet?**

- Krävs en interimorganisation med kunskap om driften, men även ämnesansvariga på hög vetenskaplig nivå.
- Bibehålla SKB:s kompetens inom funktion och drift av anläggningen.

**Grupp 4**

Rapportör: Auli Niemi

**Vad kan jag/min organisation/grupp göra?**

- Forskning och undersökning av vatten i tunnlar, grundvatten och förorenings spridning.
- Byggrelaterade projekt som injektering, tätning, materialbeständighet och test av maskiner.
- Utvärdering av geofysiska metoder.

**Vilka frågor är viktiga för verksamheten i allmänhet?**

- En finansieringsbas i form av t.ex. en stiftelse eller ett konsortium.
- En mottagarorganisation t.ex. ett universitet, med högt kvalificerade experter.
- Undersök intresset av företag som Sandvik och Atlas Copco att använda anläggningen för deras tillämpningar.



**THE UNDERGROUND SPACE CHALLENGE**

Kalmar, 10th-11th of October 2016

# SUMMARY

## ***Summary of the NGL Science Meeting 2016***

- The meeting was held October 10-11, 2016, Kalmar, Sweden.
- The meeting comprised of 25 oral presentations and 9 posters.
- There were 65 participants attending the meeting, from 26 different organizations - 17 universities and research organizations, 7 companies and consultants and 2 public organizations.

The meeting was closed with summary discussions and conclusions, chaired by Vladimir Cvetkovic, KTH and Chin-Fu Tsang, Uppsala University.

Chin-Fu Tsang encouraged the participants to consider around the scientific content and issues in the presentations, in order to prepare for the discussions (enclosure 1).

### **Vladimir Cvetkovic presented his thoughts and views of the NGL ambition (enclosure 2).**

- Comparison with SciLifeLab and ESS/MAX IV.
- How to develop the Äspö HRL, from a private owned, national facility with a narrow core business towards a national and international facility open for both public and private organizations and a diversity of activities and scientific disciplines.
- NGL should develop to help meet broad societal challenges in order to get support and funding.
- NGL and Äspö should be compared with other underground facilities using qualitative and quantitative indicators..
- To succeed, all interested parties must collaborate and aim towards the same goal.

### **Chin-Fu Tsang presented a summary of the meeting (enclosure 3).**

- Towards - Creation of a long-term world class R&D Laboratory for Geosystems Studies and Engineering in crystalline rock, centered around the Äspö Hard Rock Laboratory
- General Theme - Challenges in Underground Space Utilization
- Different ways of taking advantage of Äspö: testing and validation, site data and samples, site structural models, geoscience education development.
- Äspö is unique and valuable due to well characterized, long term data, no need for site development and first-stage characterization, results well recognized, linking surface and deep subsurface, excellent infrastructure support.
- Ideas for NGL infrastructure for research cooperation
  - o Open and transparent
  - o Joint support from partners and seed funding
  - o Management models, ex. Äspö task force and DECOVALEX (<http://www.decovalex.org>)
- Ideas for research topics for a "position paper"
  - o Äspö accomplishments to date (breakthroughs).
  - o New applications, ex. enhanced geothermal system (EGS), unconventional oil and gas resources, CO2 geological storage.
  - o New ideas or proposals
  - o Significance in respective research fields
- Importance of joint multidisciplinary studies
- Importance of integrative site studies



## ***Comments from the discussion:***

- Add economic impact to sociality challenges.
- Do not see Äspö as mainly an underground laboratory, but as a research and education centre.
- The Swedish Research Council will fund Äspö in the general field of geoscience and 10 years will certainly be needed to develop a suitably focused scientific field. This makes it necessary to put Äspö in a more international context.
- There was much discussion about big data in presentation and studies but little about data mining.
- Comparison between laboratories is always for a specific scientific question, i.e. the result and choice of laboratory differ depending of topic.
- To get society positive to invest in Äspö, we must identify new scientific challenges and explain to society that they are crucial.
- Proposal to have a campus at Äspö, including lectures and ongoing research for students.

## **Enclosures:**

1. Preparation for discussions
2. NGL ambition
3. Discussion and concluding session



## Goal of Workshop

Considerations towards:

Creation of a long-term world class R&D  
Laboratory for Geosystems Studies and  
Engineering in crystalline rock

centered around the Äspö Hard Rock  
Laboratory

## Various Considerations include:

- Various issues and infrastructure setup for study of underground space
- Complexity of crystalline rock
- Processes and structures
- Wide range of scales
- Need of joint field, laboratory, and modeling studies
- Potential role of Äspö: uniqueness of facility
- Specific and definite examples

## Plans for Tomorrow Close of Conference Discussion Session

- Please consider tonight and let us know if you have particular comments, if possible, before the Closing Session
- Spontaneous comments at the Session are also welcomed
- We shall give some an initial “summary” of the Conference and provide some framework to start the session, and then open for general discussions and input
- A brief summary and some ideas for steps forward

## Talk at end of NGL Workshop

Chin-Fu Tsang  
LBNL/Uppsala

11 October 2016

### NGL WORKSHOP: DISCUSSION AND CONCLUDING SESSION

Towards:

Creation of a long-term world class R&D  
Laboratory for Geosystems Studies and  
Engineering in crystalline rock,  
centered around the Äspö Hard Rock  
Laboratory

General Theme:

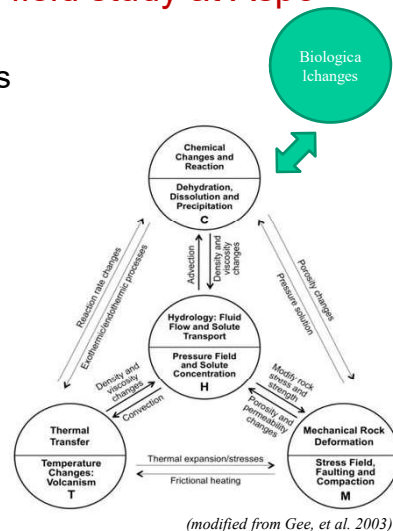
Challenges in Underground Space Utilization

## Different Ways of Taking Advantage of Äspö

- Testing and validating field techniques and process model methods (HM state at depth, real complexity)
  - Infra-red scanning; joint ERT and seismic refraction measurement; FHF; etc
  - Process models, such as FEMDEM
- Site data, samples, etc
  - Depth effects, scale effects, time evolution
  - Chemical, mineral and microbiological samples
- Site structural model (SDM) development
  - Iterative stages and confidence building
  - Uncertainty analysis and evaluation of variants

## GEOSCIENCE EDUCATION DEVELOPMENT Based on Äspö data and field study at Äspö

- A. Updated single-disciplinary courses
- B. Double-disciplinary courses (HM, HC etc.)
- C. System-integrative courses including uncertainty analysis methods and confirmation modeling of paleo-hydrochemistry
- D. Courses on communication including how to formulate the geoscience results in a broader context and proper perspective.



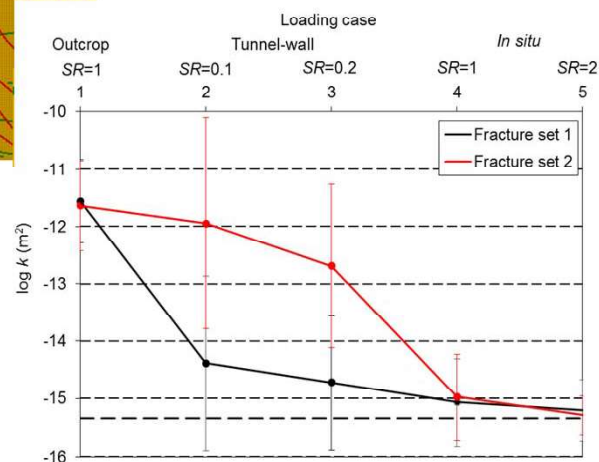
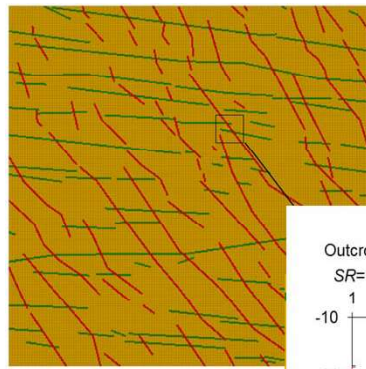
2016-10-10

Kalmar, NGL

4

## Some Comments (1/3)

- Hydromechanical effects
  - Great progress has been made; much yet to be done, such as fracturing toward existing fractures; from single fractures to fracture intersections and fracture network (multi-fracture interference); effects of curved and deadend fractures
  - Much need for site studies at depth, and scaling in space and time, appropriate input data
- Biogeochemistry
  - Able to gain samples at depth in a well-characterized system, surprises, very promising!!!
- Geophysics
  - Joint surveys and inversion; in situ validation



### Some Comments (2/3)

- Geothermal
  - Äspö a good geothermal reference site (KIT)!!
- Energy projects (TES, Pumped storage in shafts)
  - Need for improved and validated grouting technology (good for long term and T cycling)
- Remediation in bedrock (PFAS, etc)
  - immobilization of flow in fractured rocks?
- Other applications (Unconv O&G, CO<sub>2</sub>, resources)
- Education in different ways
  - University education
  - “Summer” schools
  - Topical training

### Some Comments (3/3)

- Why and How is Äspö unique and valuable? Below are based on presentations by Linde and others
  - Well characterized site with large amount of data across various geoscience disciplines
  - Long term data (~30+ years), on-going to 2020!
  - No need for tiresome and costly site development and first-stage characterization
  - Results well recognized (good QA, journal papers)
  - Linking surface and deep subsurface behaviors (effects of variable boundary conditions)
  - Excellent infrastructure support for underground research; SKB support represents stable base funding to 2030 (unique opportunity!!)

## Some Discussion Points

- Ideas for NGL infrastructure for research cooperation
  - Open and transparent
  - Joint support from partners; seed funding
  - Management models: Äspö task force; DECOVALEX (1992-today!!)
- Ideas for research topics (for a “position paper”?)
  - Äspö accomplishments to date (breakthroughs)
  - New applications (EGS, Unconv. O&G, CO<sub>2</sub> etc)
  - New ideas or proposals
  - Significance in respective research fields
- Importance of joint multidisciplinary studies
- Importance of integrative site studies (SDM etc.)

## Focused and detailed studies



201

0



## Studies by Thinking Outside the Box



Work  
continues:

To see order  
out of disorder



## BILAGA 3

Svenska utbildningsprogram med geovetenskaplig inriktning eller med kursinnehåll av tillämpad geovetenskap.

Lärosäte	Program	Kandidat/ Högskole- examen	Master/ Magister	Kommentarer
Chalmers tekniska högskola, Göteborg	Samhällsbyggnadsteknik Civilingenjörsutbildning		X	Fotnot <sup>1</sup>
Chalmers tekniska högskola, Göteborg	Samhällsbyggnadsteknik Högskoleingenjörsutbildning	X		
Göteborgs universitet	Geovetenskap, kandidatprogram	X		
Göteborgs universitet	Geovetenskap, Masterprogram		X	
Göteborgs universitet	Marin vetenskap, kandidatprogram	X		
Göteborgs universitet	Fysisk oceanografi, masterprogram		X	
Högskolan i Gävle	Masterprogram i Geospatial informationsvetenskap		X	
Kungliga Tekniska högskolan, Stockholm	Civilingenjörsutbildning i samhällsbyggnad,		X	Fotnot <sup>1</sup>
Kungliga Tekniska högskolan, Stockholm	Högskoleingenjör i Byggt teknik och design	X		
Linnéuniversitetet	Byggt teknik, högskoleingenjör	X		Fotnot <sup>2</sup>
Linnéuniversitetet	Miljöanalytiker	X		
Linnéuniversitetet	Miljövetenskap och hållbar utveckling, masterprogram		X	
Luleå tekniska universitet	Civilingenjör Väg- och vattenbyggnad		X	Fotnot <sup>1</sup>
Luleå tekniska universitet	Civilingenjör Naturresursteknik		X	Fotnot <sup>1</sup>
Luleå tekniska universitet	Bygg och anläggning	X		
Lunds Universitet / Lunds tekniska högskola	Civilingenjör /Master Väg- och vattenbyggnad		X	Fotnot <sup>1</sup>
Lunds Universitet / Lunds tekniska högskola/ Helsingborg	Byggt teknik / Järnvägsteknik	X		
Lunds Universitet / Lunds tekniska högskola/ Helsingborg	Byggt teknik / Väg- och trafikteknik	X		
Lunds Universitet, Naturvetenskapliga fakulteten	Kandidatutbildning i geologi	X		
Lunds Universitet, Naturvetenskapliga fakulteten	Masterutbildning i geologi - Berggrundsgeologi		X	
Lunds Universitet, Naturvetenskapliga fakulteten	Masterutbildning i geologi - Kvartärgeologi		X	

<sup>1</sup> Geovetenskap i olika kurser/inriktning på mastersnivå

<sup>2</sup> Grundläggande geologi, geoteknik ingår

Lunds Universitet, Naturvetenskapliga fakulteten	Masterutbildning i geologi - Biogeologi		X	
Malmö universitet, Fakulteten för teknik och samhälle	Högskoleingenjörsexamen i byggt teknik	X		
SLU (Sveriges lantbruksuniversitet)	Soil, Water and Environment - Master's Programme		X	
Stockholms universitet	Masterprogram i landskapsekologi			
Stockholms universitet	Masterprogram i klimatvetenskap		X	
Stockholms universitet	Kandidatprogram i geovetenskap	X		
Stockholms universitet	Kandidatprogram i geovetenskap, distansutbildning	X		
Stockholms universitet	Kandidatprogram i biogeovetenskap	X		
Stockholms universitet	Kandidatprogram i geologi, geokemi och geofysik	X		
Stockholms universitet	Masterprogram i geologiska vetenskaper		X	
Stockholms universitet	Masterprogram i polara landskap och kvartära klimat		X	
Stockholms universitet	Masterprogram i hydrologi, hydrogeologi och vattenresurser		X	
Umeå universitet	Masterprogrammet i geovetenskap		X	
Umeå universitet	Kandidatprogrammet i biologi och geovetenskap - Geovetenskap	X		
Uppsala universitet	Kandidatprogram i fysik - Geofysik	X		
Uppsala universitet	Masterprogram i geovetenskap - Geologi		X	
Uppsala universitet	Masterprogram i geovetenskap - Naturgeografi		X	
Uppsala universitet	Masterprogram i geovetenskap - Paleobiologi		X	
Uppsala universitet	Masterprogram i geovetenskap - Hydrologi/hydrogeologi		X	
Uppsala universitet	Masterprogram i fysik - Geofysik		X	
Uppsala universitet	Masterprogram i geovetenskap - Hållbar hantering av naturresurser		X	
Uppsala universitet	Kandidatprogram i geovetenskap - Geovetenskap	X		
Uppsala universitet	Kandidatprogram i geovetenskap - Ingång för samhällsvetare	X		
Uppsala universitet	Civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik		X	
Örebro universitet	Masterprogram i kemi med inriktning miljöforensik		X	





Med stöd från:



FORMAS



STRATEGISKA  
INNOVATIONS-  
PROGRAM

**INFRA  
SWEDEN  
2030**