

**Framtidens gruva – teknisk
utveckling och innovations-
policy i växelverkan**

Utgivare: Vinnova – Sveriges innovationsmyndighet

Titel: Framtidens gruva – teknisk utveckling och innovationspolicy i växelverkan

Författare: Daniel Johansson

Utgiven: Januari 2023

Förord

Vinnova utvecklar sin roll och sin insatsportfölj för att starkare kunna bidra till nödvändiga samhällsomställningar, inte minst för att motverka pågående klimatförändring. Som ett led i detta arbete har Vinnovas funktion för Strategisk omvärldsanalys genomfört ett mindre antal kartläggningar av "systeminnovationsresor" där storskaliga och ambitiösa demonstrationsprojekt banat väg för tillämpning av teknik med potential att ställa om storskaliga sociotekniska system. Denna rapport är resultatet av en av dessa studier och fokuserar på automatiserad, elektrifierad, och digitaliserad gruvdrift. Analysen ska ses tillsammans med två parallella studier, dels en om koldioxidfri ståltillverkning, dels en kartläggning om elektrifierad mobilitet. Tillsammans speglar de viktiga transformativa förändringar av industriella produktionssystem, samhällelig infrastruktur och samhället överhuvudtaget. De har alla dessutom bäring på den industriella omdaning av norra Sverige som just nu pågår och där Vinnova är särskilt engagerat.

Denna studie handlar alltså om vad man skulle kunna kalla "framtidens gruva". Den har ett visst fokus på SIMS- och NEXGEN-SIMS-projekten, koordinerade av den svenska tillverkaren av gruvutrustning Epiroc och finansierade under EU:s ramprogram Horisont 2020. För att ge en välgrundad förståelse av projektens tillkomst så är emellertid den utvecklingsresa som beskrivs här både längre och bredare än specifikt dessa bägge projekt. Dock utan att ge en fullständig bild av gruvbranschens utveckling och heller inte en komplett bild av Vinnovas insatser inom gruvområdet. Rapporten syftar istället till att belysa viktiga skeenden, inte minst teknisk utveckling och policyinsatser, i de bägge projektens förhistoria. Den visar också hur projektresultaten börjat påverka omställningen till en mer hållbar gruvdrift.

Rapporten bygger på ett tämligen omfattande samlingsarbete, där ett flertal sakkunniga inom svensk gruvnäring och på Vinnova bidragit till underlagen. Författaren vill rikta ett varmt tack till alla som bidragit med sin erfarenhet och sitt djupa kunnande - ingen nämnd, ingen glömd. Var rapporten baserar sig på vilket bidrag redovisas i fotnoter och källförteckning. Rapportens slutsatser är författarens egna och endast under dennes ansvar.

Sverige är en av EU:s främsta gruvnationer och svenska tillverkare av utrustning för mineralbrytning är världsledande. Inom landet finns också några av världens främsta företag inom branscher som telekom, industriell automatisering och tunga arbetsfordon. Var och en av dessa är i sig ytterst viktiga för Sverige som industri- och exportnation. I skärningen mellan dessa företags verksamhetsfält är gruvan en krävande, men på flera sätt intressant testmiljö för tekniska lösningar som idag är på god väg att omdefiniera både näringsliv och samhälle utanför gruvbranschen. Drivkraften för gruvföretagen själva har varit behovet att öka både produktivitet och attraktivitet som arbetsgivare,

samtidigt som brytning sker allt djupare ner i jordskorpan. Tillkommer gör ett allt viktigare behov av klimateffektivisering. Automatisering, digitalisering och elektrifiering av gruvdriften har erbjudit attraktiva lösningar på svåra utmaningar.

Utvecklingen som studien belyser har i flera avseenden varit ett växelspel mellan privata och offentliga initiativ. Vinnova har ungefär sedan millennieskiftet varit starkt engagerat, inte minst genom först det strategiska gruvforskningsprogrammet och sedan via (det ännu pågående) SIP Swedish Mining Innovation. För Vinnova är denna historia viktig. Den är ett exempel på en transformativ utveckling som tjänar som avstamp för viktiga reflektioner kring såväl Vinnovas myndighetsuppdrag, som förutsättningarna för transformativ förändring överhuvudtaget. Genom att belysa en utveckling som spänner över i alla fall femton år sätts enskilda insatser i ett sammanhang. Insatserna, och de effekter de över tid ger upphov till, kan därmed förstås på ett sätt som inte är möjligt när de betraktas var och en för sig. På så vis har analysen viktiga implikationer för Vinnovas utveckling av resultatuppföljning och effektutvärdering. Denna utvecklade förståelse har tillsammans med förståelsen av Vinnovas roll i utvecklingsresan varit viktiga motiv till studien, bredvid intresset att överhuvudtaget kartlägga "systeminnovationsresan".

Rapporten mynnar ut i en sammanfattande reflektion (avsnitt 3) kring betydelsen av den systemomställning som gruvnäringens transformation innebär, vad som möjliggjort den och Vinnovas roll under utvecklingens gång. Det avsnittet går att läsa tämligen fristående från övriga avsnitt.

Grunden för resonemanget läggs dels genom en översikt av de drivkrafter kring gruvnäringen som gett impuls till utvecklingen (avsnitt 1). Dels läggs det genom en mer konceptuell översikt av innovationspolicy (avsnitt 1 likaså), med fokus på senare års utveckling mot innovationspolicy som ett instrument i storskalig samhällsomställning.

Avsnitt 2 beskriver själva utvecklingsresan som sådan, från det tidiga 2000-talets agendaarbete till idag. Perspektivet växlar mellan lokalt, nationellt, europeiskt och globalt.

Sammanfattning

Med ett ökat fokus på innovationspolicy som del av en bredare samhällelig policyagenda med sikte på samhällelig omställning växer behovet att förstå innovationspolitiska insatser inom ramen för sådana bredare policyprocesser. Med omställning förstås då förändringar för att möta dagens storskaliga utmaningar i form av t.ex. klimatförändring och digitalisering. Behovet är också fortsatt stort att förstå hur innovationspolicy samverkar med de industriella utvecklings- och uppskalningsprocesser som skapar de materiella förutsättningarna att genomföra dessa förändringar.

Gruvnäringen har sedan flera decennier bedrivit ett aktivt utvecklingsarbete i riktning av ökad digitalisering, automatisering och elektrifiering i syfte att öka produktivitet, värna arbetsmiljön och förbättra branschens klimatprestanda. Aktörer inom det världsledande svenska gruvklustret är idag därför på god väg att omdefiniera hur gruvverksamhet bedrivs. Det finns fog för att påstå att branschen genomgår en transformation. Ett tydligt tecken på detta, och ett viktigt led i skeendet, är de mycket omfattande demonstrationsprojekt som just nu genomförs under ledning av svenska aktörer med finansiering under EU:s ramprogram för forskning och utveckling. Denna gruvnäringens transformation får inte endast betydelse för branschen i sig utan också, givet den betydelse som mineralbrytning har för den bredare samhällelige omställningen, för samhället i stort. Inom gruvverksamheten testas också lösningar som kan få tillämpning även utanför gruvnäringen.

I denna rapport visas hur entreprenörskap inom branschen skapat de grundläggande förutsättningarna för denna utveckling. Liksom hur samling kring gemensamma agendor för forskning och utveckling bidragit till att frigöra resurser för den mobilisering som krävs. Samt hur storskaliga demonstrationsprojekt skapat förtroende för nya lösningar, vilket öppnat upp nya marknader för svenska utrustningsleverantörer. Vinnova har spelat en viktig roll i att förstärka ett i grunden redan starkt innovationssystem. Fler av de agendor som format utvecklingen har finansierats av Vinnova. Vinnova har också varit en viktig aktör när samverkansprojekt lett till avgörande tekniska genombrott. Det strategiska innovationsprogrammet Swedish Mining Innovation innebar en betydande kraftsamling inom det för Sverige så viktiga gruvklustret. Det erbjöd också en plattform för att skapa det internationella konsortium som idag genomför EU-finansierade demonstrationsprojekt med en genomslagskraft som hade varit svår att uppnå inom Sveriges gränser.

Gruvnäringens omställningsresa har varit en växelverkan mellan privata och offentliga initiativ och är ett intressant exempel på hur omställningsförmåga kan leda till konkurrenskraft.

Innehållsförteckning

1. Inledning – att förstå förändringsprocessen	8
1.1 Huvudsakliga utvecklingsområden och deras bakomliggande drivkrafter	8
1.2 Innovationspolitik och transformativa processer	9
2. Utvecklingen mot en transformerad gruvdrift	16
2.2 Teknikutvecklingen från 1980-tal	16
2.3 Stärkt FoU-samverkan i svenska gruvbranschen under 2000-talet	17
2.4 EU: Fokus på råvaror i en tid av geopolitisk konkurrens	19
2.5 Storskaliga testmiljöer genom SIMS-projekten	20
2.6 Sammanfattning av utvecklingssteg och drivkrafter	23
3. Gruvnäringens transformation - slutsatser ur ett Vinnova-perspektiv..	26
Referenser.....	29

1. Inledning – att förstå förändringsprocessen

För att förenkla den fortsatta läsningen av rapporten ger detta inledande avsnitt en kortfattad bakgrund. Dels kring gruvnäringens huvudsakliga utvecklingsområden, dels om begreppsapparaten som omgärdar transformativ innovationspolitik.

1.1 Huvudsakliga utvecklingsområden och deras bakomliggande drivkrafter

Gruvbranschen lever med ökande produktivetskrav som en ständig följeslagare. Drivkrafterna må vara många, och varierande över tid, men jakten på effektivisering av hela utvinningsprocessen från prospektering, via brytning och fram till anrikning är en konstant i verksamheten. Jakt på ökad produktivitet är knappast unik för gruvbranschen, men för gruvföretag får den en särskild dimension då fortsatt drift kan betyda brytning i mer lågvärdiga malmkroppar och/eller brytning på allt djupare nivåer. Detta för med sig ökad energiförbrukning, en mer utmanande arbetsmiljö och stegrade kostnader överhuvudtaget. Just arbetsmiljön har av förklarliga skäl länge varit ett prioriterat utvecklingsområde och i slutet av 1990-talet var situationen sådan att branschens framtida kompetensförsörjning i Sverige inte längre var självklar¹. Svenska gruvbolag har emellertid gått i bräschen med nolltolerans mot arbetsplatsolyckor med dödlig utgång. Ökad automatisering av gruvdriften har därför av flera skäl varit en långsiktig ambition sedan åtminstone 1980-talet.

Efter millennieskiftet har geopolitiken tillkommit som en viktig drivkraft för förändring. Kinas ekonomiska tillväxt och ökande efterfrågan på mineraler har stärkt intresset för mineralutvinning liksom intresset för inhemska mineraltillgångar. Denna utveckling har satt tydliga spår i politiken, inte minst på EU-nivå, vilket översiktligt kommer att belysas i avsnitt 3.3.

Behovet av klimatomställning har gett strävan efter effektivitetsvinster en ny och viktig dimension. Brytning och förädling av metaller står tillsammans för cirka 18 procent av de totala globala växthusgasutsläppen². Utvecklingen mot elektrifierade gruvfordon ska naturligtvis ses i ljuset av denna drivkraft, men den påverkas även av t.ex. behovet att förbättra luftkvaliteten under jord och viljan att slippa transportera in diesel till avlägset belägna gruvanläggningar.

¹ Bäckblom, Göran: Forskning och Framtid – Svensk gruvindustri i perspektiv (2016)

² Blue Institute Digitaliseringens konsekvenser på råvaru- och processindustrin (2020)

Miljökrav i bredare bemärkelse, tillståndsgivning, liksom överhuvudtaget samhällelig acceptans, har annars sedan länge varit ett avgörande randvillkor för gruvnäringen. Detta är dock ett utmaningsområde långt mer komplext än vad denna studie omfattar.

Ställd inför dessa utmaningar har målsättningen sedan åtminstone början av 2000-talet varit automatisering, digitalisering och elektrifiering. Över tid har denna utveckling kommit att innebära en gruvnäringens pivotering från en sekventiell process av brytning, bortforsling och anrikning, med en hög grad av manuellt arbete långt fram i produktionszonen, till att alltmer bli en kontinuerlig processindustri där den mänskliga närvaron under jord succesivt minimeras.

Några huvudsakliga utvecklingsspår har varit:

- Centrerung av processkontroll till ett enda kontrollrum, vilket bland annat kräver personal och utrustning försedda med sensorer, trådlös kommunikation under jord och avancerade beslutsstödsystem.
- Produktionszoner utan mänsklig närvaro, vilket bland annat kräver fjärr-styrda, eller autonoma, arbetsfordon och inspektion/övervakning med hjälp av drönare.
- Kontinuerlig snarare än sekventiell process, vilket bland annat kräver kontinuerlig mekanisk brytning istället för den traditionella salvcykeln med borrhning, laddning, sprängning, ventilering och lastning.
- Effektivare resurskartläggning, bland annat med hjälp av digital teknik.
- Förbättrad arbetsmiljö och minskad energiförbrukning genom elektrifiering av fordonsflottan. Detta medför energieffektivare maskiner, mindre för-oreningar och minskat behov av att ventileras gruvan, vilket i sig innebär en kraftig energibesparing.

Avslutningsvis är det värt att notera att dessa utvecklingsspår förvisso alla bygger på teknisk utveckling. Naturligtvis kommer de i samtliga fall också kräva (och bidra till) utveckling av organisation, ledningssystem och organisationskultur. Utan att belysa detta viktiga utvecklingsområde i detalj kommer det att framgå i den fortsatta rapporten att dessa faktorer framgångsrikt adresserats i den utvecklingsprocess rapporten belyser.

1.2 Innovationspolitik och transformativa processer

Vinnova utvecklar för närvarande sin myndighetsroll kopplat till transformativ samhällsförändring, med sikte på vad som ofta benämns "den tredje generationens innovationspolitik". Tredje generationen såtillvida att den bygger vidare på den första ("finansiering av grundläggande FoU som i linjära processer tillämpas ute i samhället")

och den andra ("innovationsprocesser är komplexa/icke-linjära och staten har en roll för att förstärka de system där de uppstår"). Denna tredje generation utgår ifrån att världen behöver ställas om för att möta globala utmaningar. Innovationspolitiken förväntas då allmänt växa in i en ny roll karakteriserad inte minst av "direktionalitet", dvs. riktning med bäring på att lösa samhällsutmaningar. Med andra ord förväntas innovationspolitiken, utöver att skapa förutsättningar för innovationer, också bidra till att innovationsprocesser tydligare bidrar till de samhällsomställningar som är nödvändiga för att möta de globala samhällsutmaningarna.

Direktionalitet är naturligtvis inget nytt för politiken i stort, det är snarare en av dess grundläggande beståndsdelar. Inte heller för forsknings- och innovationspolitiken är den ny. Det framgår tydligt av till exempel 1970-talets storskaliga satsningar på energiforskning med det uttalade syftet att ta fram ersättningar för fossila energibärare och kärnkraft. Eller av mer närliggande exempel i 2000-talets branschforskningsprogram och strategiska innovationsprogram (SIP), som alla i någon bemärkelse syftat till att ytterligare förstärka utvalda svenska styrkeområden. Vad som är nytt är ambitionen att bidra till samhällets omställning på ett mer fundamentalt plan än att exempelvis "endast" byta ut fossila energibärare. Direktionaliteten kan därmed bli mer omtvistad, och definitivt mer svåruppnådd, givet de storskaliga och komplexa sociotekniska system som då ska förändras. Därför uppkommer också frågan om hur detta låter sig göras i praktiken.

Hur denna tredje generations innovationspolitik ska utformas handlar i någon bemärkelse om två saker. Dels behöver vi förstå hur de mer etablerade policyverktygen från första och andra generationens innovationspolicy kan fås att effektivare bidra till nödvändig systemomställning. Dels handlar det om att förstå vilka helt nya uppgifter som en innovationsmyndighet kan och bör ha. För att ge några referensramar åt den fortsatta beskrivningen av utvecklingen mot framtidens gruva ska detta avsnitt ge en mycket översiktlig bild av några tankemodeller som bidragit till att forma framför allt andra och tredje generationens innovationspolitik.

Det svenska verket för innovationssystem, Vinnovas, myndighetsuppdrag bygger på förståelsen av betydelsen av flöden av teknik och information i de system där innovationer uppstår, dvs. innovationssystem (se t.ex. OECD 1997³). Begreppsbyggningen kring nationella innovationssystem utgör grunden för andra generationens innovationspolitik. Innovation och teknisk utveckling förstås här som resultaten av komplexa samspel mellan systemets aktörer, i synnerhet företag, universitet och forskningsinstitut. Staten har en viktig roll som går utöver att genom basanslag finansiera vissa viktiga institutioner i detta system, nämligen att förstå och åtgärda felfunktioner i innovationssystem. Policyinitiativen omfattar, men är inte begränsade till, att stimulera ökad samverkan, kunskaps spridning och personrörlighet.

³ OECD 1997: National Innovation Systems

Myndighetsuppgiften i denna förståelse av innovationspolitik handlar ytterst alltså om att stärka nationella innovationssystem. Syftet är att göra dem mer kapabla att lösa de uppgifter de ställs inför, inte sällan att bidra till nationellt välstånd.

De innovationssystem som då står i fokus har naturligtvis inte setts som statiska, och de innovationer de har gett upphov till har i vissa fall i grunden förändrat samhället. Begreppsbildningen kring teknologiska innovationssystem, TIS (se t.ex. Bergek 2019⁴) speglar förutsättningarna för sådana utvecklingsresor, bland annat med avseende på policyinterventioner för att främja dem. Även TIS-begreppet utgår från samspelet mellan aktörer och institutioner i ett system (*"a network of agents interacting in a specific economic/industrial area under a particular institutional infrastructure or a set of infrastructures and involved in the generation, diffusion and utilization of technology"*⁵). Emellertid läggs fokus i stor utsträckning på de funktioner, i form av emergenta subprocesser, som bidrar till teknologiska innovationer liksom till att en viss teknologi utvecklas och får spridning. Till dessa funktioner hör kunskapsbildning, entreprenöriellt experimenterande, mekanismer som påverkar sökprocesser, marknadsformering, legitimering, resursmobilisering och bildandet av positiva externaliteter.

Vår samtids storskaliga samhällsutmaningar, framför allt klimatförändringen men också t.ex. digitalisering och demografiska förändringar, har satt transformativ samhällsförändring i fokus. Transformativ förändring såtillvida att systemets komponenter, liksom interaktionen mellan systemkomponenter, förändras på ett grundläggande sätt och därmed systemfunktionen i sin helhet. Det systembegrepp som då som regel används är sociotekniska system. Utöver de företag, institutioner och individer som befolkar dessa, och som tidigare stått i fokus, ges nu även medborgare och slutanvändare en mer framträdande roll. Liksom för tidigare beskrivna modeller är systemkomplexiteten naturligtvis hög. Varje aktörs valmöjligheter och agerande bestäms i stor utsträckning av vad andra aktörer gör. Även om förmågan att påverka andra varierar mellan aktörer, finns aldrig någon aktör med förmåga att utöva någon form av "full" systemkontroll.

Som exempel kan man betrakta mobilitetssystemet och personbilar. Utvecklingen av katalysatorer för förbränningsmotorers avgassystem, och slutliga lagkrav på deras användning, ändrade inte mobilitetssystemet i grunden. Här har det snarare rört sig om en stegvis förändring som torde gå utmärkt att förstå med t.ex. teknologiska innovationssystem som utgångspunkt. Om däremot en stor andel, eller t.o.m. alla bilägare väljer elektriska fordon, kommer systemets bränsleförsörjning att förändras mer eller mindre fullständigt. Detta skulle möjligtvis kunna klassificeras som en systemtransformation. När systemets slutanvändare, dvs. fordonsanvändarna, har ändrat uppfattning om sina behov av transport, och agerar utifrån det, har en

⁴ Bergek 2019: Technological innovation systems: a review of recent findings and suggestions for further research.

⁵ Carlsson och Stankiewicz 1991, citerad i Bergek 2019

systemtransformation definitivt ägt rum. Som synes är det inte självklart när ett system transformerats. Det viktiga att förstå här är vad som får systemaktörer att agera på ett sätt som inleder en transformation.

Som tankestöd för denna förståelse har ett antal modeller föreslagits för sociotekniska system och deras transformation. Gemensamt för flertalet är att de beskriver olika systemnivåer från lägre till högre nivå, eller tvärtom:

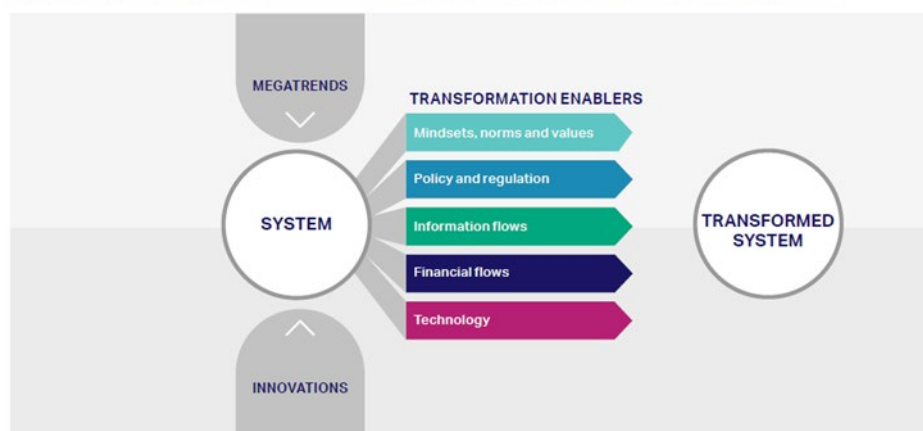
- På en lägsta nivå återfinns de lokala sammanhangen där individer, grupper och mindre organisationer verkar och interagerar med varandra. Nya sammanhang och idéer uppstår, exempelvis tekniker, affärsmodeller och metoder. De försvinner efter ett tag eller lever vidare och påverkar världen runt omkring. Här kan man tala om nischer⁶ eller innovationer⁷.
- På en mellannivå definieras "regimer" som det som upprätthåller systemens funktion över tid genom att skapa de incitament, ramvillkor etc. som i stor utsträckning styr aktörers agerande. Det kan då handla om påtagliga fenomen, som politiska institutioner eller produktstandarder, och mindre påtagliga fenomen, som individers värderingar och grupper och organisationers kulturer. Regimer går att påverka även om det som regel kräver både insikt, handlingskraft och tålamod.
- På en översta nivå finns de bredare sammanhang – landskap - som inte lika lätt låter sig påverkas, men som däremot ger grundläggande förutsättningar för de system vi vill förstå och påverka. De förändras långsamt i vad som ibland kallas megatrender.

Vad som då utgör själva "systemet" är inte självklart och det går att anlägga olika perspektiv på hur system kan och bör transformeras. Det internationella forsknings- och policynätverket Transformative Innovation Policy Consortium (TIPC) definierar mellannivån som "systemets regim" vilken behöver "öppnas upp" som ett led i systemtransformation. *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) definierar mellannivån som själva systemet, vilket är föremål för påverkanskrafter från både innovationer "nedifrån" och megatrender i landskapet "uppifrån". (Se Figur 1.) TIPC sätter i sin begreppsapparat stort fokus på det lokala initiativet ("nischen") som behöver vårdas och skalas upp för att slutligen, genom att "regimen öppnas", bli till det nya dominerande systemet. Eller det transformerade systemet, om man så vill. Betydelsen av den överliggande nivån ("landskapet") förblir vag i TIPC:s begreppsapparat. WBCSD utgår ifrån att systemet kan påverkas av både "megatrender" och "innovationer", dvs. både av förändringar nere på nischnivå och av att megatrender förändrar förutsättningarna att upprätthålla en given systemregim.

⁶ Se t.ex. Ghosh et al 2021

⁷ Se t.ex. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD): Unlocking systems transformation – Vision 2050 issue brief (2020)

Figure 1: Megatrends, innovations and enablers combine to bring about transformation of systems



Source: Based on the widely used multi-level perspective developed in Kemp and Rip 1998. Enablers adapted from systems change literature and expert interviews.

Figur 1: Schematisk skiss över drivkrafter och påverkansvägar vid systemomställning (WBCSD 2020).

TIPC erbjuder med sitt fokus på växande nischer en utmärkt begreppsapparat som stöd för att tänka i termer av "systemförändring nedifrån". I sitt forskningsarbete definierar TIPC⁸ tre makroprocesser inom transformativ förändring: "etablering och vård av nischer", "expansion och integrering av nischer" och "öppning och upplåsning av regimer" (se Tabell 1). Under dessa tre makroprocesser definieras totalt tolv "transformativa utfall" i ett försök att ge systematik till syftet med policyinterventioner. Skeenden kan uppfattas, och interventioner designas, i dessa termer.

⁸ Ghosh et al 2021

Tabell 1: Makroprocesser och transformativa utfall vid systemtransformation enligt TIPC.

Makroprocess	Transformativt utfall
Etablering och vård av nischer	Avskärmning (<i>shielding</i>)
	Lärande (<i>learning</i>)
	Stärkande av nätverk (<i>networking</i>)
	Hantering av målbilder och förväntningar (<i>navigating expectations</i>)
Expansion och integrering av nischer	Uppskalning (<i>upscaling</i>)
	Kopiering (<i>replicating</i>)
	Spridning (<i>circulating</i>)
	Institutionalisering (<i>institutionalising</i>)
Öppning och upplåsning av regimer	Bryta spår och återkopplingar (<i>dealigning and destabilising</i>)
	Kritiskt lärande (<i>un-learning and deep learning</i>)
	Stärkt interaktion regim/nisch (<i>strengthening regime-niche interactions</i>)
	Förändrade perspektiv på "landskapstryck" (<i>changing perceptions of landscape pressures</i>)

Sammanfattningsvis förändras sociotekniska system när växande nischer förmår att etablera sig som en konkurrent till dominerande system (istället för att leva som parallella men begränsade alternativ) och när regimen samtidigt öppnar upp sig.

Stora demonstrationsprojekt kan bidra till dessa skeenden genom att visa på hur (och att) alternativa lösningar fungerar i praktiken. De kan därigenom dels på-verka enskilda aktörers agerande, t.ex. genom nya inköspreferenser. De kan också påverka benägenheten för regimaktörer att börja öppna upp regimen för alternativa lösningar,

t.ex. genom att lagstiftare förbjuder vissa metoder och produkter. Vilken vikt man då lägger vid nischernas tillväxt genom t.ex. Fol-finansiering, eller vid förändring av systemregim med hjälp av t.ex. utvecklad lagstiftning och megatrendernas påverkan, är i mångt och mycket en perspektivfråga och beroende av betraktarens syfte.

Den andra och tredje generationens innovationspolitik delar i viktiga avseenden begreppsapparat. Givet systemiska utmaningar fäster den tredje dock större vikt vid:

- **Direktionalitet:** Önskad systemförändring är inte riktninglös utan ska bidra till ökad hållbarhet. Vad det innebär, liksom vem som definierar denna direktionalitet, och hur, är inte självklart. Detta är viktigt att ta fasta på även i denna studie av framtidens gruvdrift.
- **Systemkomplexitet:** Begreppsapparaten utgår från komplexa sociotekniska system, som behöver förändras med hjälp av direktionalitet. En given utgångspunkt då är att det är svårt eller omöjligt att förutsäga policyinterventionens resultat och detta behöver hanteras. Entreprenöriellt experimenterande är lika viktigt i den tredje som i den andra generationen. Perspektivet är dock systemets, och slutresultatet inte neutralt. Därför är det avgörande med ett mångfacetterat experimenterande. Samtidigt ställs det regelbundet i fråga om allt slags experimenterande är av godo.

Avslutningsvis finns det skäl att vara observant på själva nivån som ska förändras. Ett mindre systems transformativa förändring kan bli ett oönskat hinder för ett större systems transformering genom att man låser fast sig i något som blir effektivare. Det gäller även detta specifika fall där det går att fråga sig vad som sker ifall en effektivare brytning av primära metallmalmer binder samhället i linjära materialflöden, när det övergripande samhällsmålet var kretsloppssamhället? Ett viktigt svar på den invändningen är att vi för överskådlig tid kommer att behöva extrahera primära metaller för att klara den bredare samhälleliga transformationen, varför gruvdriften behöver förändras hur som helst. En annan fråga är ifall den större transformationen snarare borde vara att mänskligheten tar steget till gruvdrift på andra himlakroppar? Då är kanske den studerade transformationen ett nödvändigt delsteg? Vem äger transformationsagendan?

2. Utvecklingen mot en transformerad gruvdrift

Detta avsnitt beskriver översiktligt utvecklingsresan mot en automatiserad, digitaliserad och elektrifierad gruvdrift under 2000-talet. Ett visst fokus läggs av förklarliga skäl på Vinnovas initiativ. Beskrivningen av en huvudsakligen teknisk utveckling ges en fond i den bredare politiska utvecklingen med koppling till global konkurrens om begränsade råvarutillgångar liksom strävan att minska utsläppen av klimatpåverkande gaser.

Beskrivningen inleds med den underliggande tekniska utvecklingen och fortsätter med samverkansprojekt inom gruvbranschen, bägge med ett till stor del svenskt perspektiv. Via en utblick mot EU:s stärkta fokus på kritiska råvaror mynnar beskrivningen ut i de bägge SIMS-projekten.

2.2 Teknikutvecklingen från 1980-tal

Det ligger kanske nära till hands att beskriva utvecklingen mot digitaliserad, automatiserad och elektrifierad gruvdrift som en sammanhållen utvecklingsresa mot en framtida klimateffektiv, säker och produktiv mineralutvinning ("Framtidens gruva"). De olika komponenterna i denna utveckling har dock något olika drivkrafter och har inletts vid olika tidpunkter och omständigheter.

Visionen om en automatiserad gruvdrift går tillbaka till åtminstone 1980-talet. Boliden gjorde sedan slutet av detta decennium återkommande försök med WiFi-baserade lösningar i syfte att nå en mer kostnadseffektiv brytning av de lågvärdiga malmkroppar som bolaget förfogar över. Med dåtidens omogna teknik kom man dock inte längre än till försöksstadiet och det dröjde till 2004 innan man kunde inleda ett mer fokuserat utvecklingsarbete. Även LKAB utförde tidiga försök i slutet av 1990-talet, medan Sandvik hade ett ambitiöst utformat utvecklingsprogram inom området under tidigt 2000-tal, som emellertid även det bromsades av omogen teknik⁹. Svenska företag har i internationell jämförelse fokuserat förhållandevis mycket på automatisering av gruvdriften, drivna av höga kostnadslägen¹⁰.

År 2012 kröntes Bolidens utvecklingsarbete med framgång när företaget installerade världens första WiFi i en gruva. Hit nådde man delvis med hjälp av en framsynt rekrytering av ett antal telekomspecialister. Relativt snart insåg man emellertid WiFi-teknikens begränsningar under jord. Vid denna tid gick dock utvecklingen mot femte generationens telekomteknik raskt, med Ericsson i den globala utvecklingsfronten. I

⁹ Göran Bäckblom, personlig kommunikation

¹⁰ Margareta Groth, personlig kommunikation

syfte att hitta vertikala tillämpningar av telekomlösningar sökte Ericsson partners inom det svenska näringslivet. Boliden blev med sin automatiseringsambition en naturlig sådan. Även Vinnova adresserades i detta sökande med resultatet att ett ambitiöst utvecklings- och demonstrationsprojekt *Pilot for Industrial Mobile communication in Mining* (PIMM) kom att finansieras under det då relativt nystartade strategiska innovationsprogrammet (SIP) Processindustriell IT och Automation (PiiA)¹¹. Projektet hade som mål att driva tillämpning av telekom i industriell gruvdrift. Ur åtminstone Bolidens perspektiv var emellertid den allt överskuggande ambitionen att testa om en 3GPP-lösning (dvs. en mobiltelefonlösning) kunde appliceras under jord. Svaret blev ett tydligt "JA" och projektet anses allmänt vara en milstolpe i gruvnäringens automatisering, med betydande internationell uppmärksamhet¹². Vad som skedde här, sammanfattningsvis, var en utveckling driven av industriella behov (gruvdriftens automatisering) i kombination med de tekniska möjligheter som den nya telekomtekniken erbjöd och erbjuder. Vinnova utgjorde genom finansiering av PIMM-projekten en viktig facilitator.

2.3 Stärkt FoU-samverkan i svenska gruvbranschen under 2000-talet

1990-talet kom att innebära något av en vändning för svensk gruvrelaterad forskning och utveckling efter några decennier av sviktande fokus på dessa frågor. Kanske fanns där också ett något bristande statligt intresse för en gruvbransch som av somliga sågs som en avvecklingsverksamhet i Sverige. Vändningen karakteriserades av stärkt branschsamverkan och en rad nya initiativ från svenska statens sida. År 1987 initierades "Gruvteknik 2000", världens då största samlade gruvforskningsprogram i samverkan mellan industri, akademi, fackföreningsrörelse och stat. Under andra halvan av 1990-talet etablerades flera FoU-centra, finansierade av MISTRA, Strategiska forskningsstiftelsen och näringslivet. Ur en av dessa centrumbildningar växte "Gällivare Hard Rock Research" fram. 2005 ombildades det till Nordic Rock Tech Centre AB, ett branschägt FoU-bolag med syfte att driva branschgemensamma utvecklingsprojekt.

En kritiskt viktig fråga för branschen vid denna tid var framtida kompetensförsörjning, med lågt söktryck och nedläggningshot vilande över utbildningarna inom gruv- och metallurgiteknik vid Luleå tekniska universitet (LTU). I kölvattnet på "Vision 2010 – ett nationellt program för svensk bergindustri" tillkom emellertid fyra nya professorer i Luleå, finansierade av staten och näringslivet. Kompetens-försörjning har sedan dess varit ett bärande element i snart sagt alla utvecklingsinitiativ kopplade till det tidiga

¹¹ Projektet fick en uppföljare i PIMM-DMA, varför det i praktiken rör sig om två PIMM-projekt

¹² Jenny Greberg, personlig kommunikation

2000-talets FoU-propositioner och de strategiska innovationsprogrammen från 2013 och framåt.

Ett annat viktigt spår för branschen var att motarbeta fragmentering av dess FoU-verksamhet. Arbetet fick vind i seglen av att det vid denna tid växte fram en allmän insikt om att gruvnäringen långt ifrån att vara en avvecklingsverksamhet, tvärtom var både teknikdrivande och strategiskt viktig i tider av tilltagande geopolitisk konkurrens. (Se vidare nedan.) En forskningsagenda togs fram i samverkan mellan Bergforsk, Jernkontoret och Vinnova. Agendan blev 2006 grund för det strategiska gruvforskningsprogrammet (2006-10), ett av flera branschforsknings-program etablerade i spåren av 2004 års FoU-proposition.

Vid ungefär samma tid, några år in på 2000-talet, upplevde flera inom branschen att gruvbolagens och utrustningsleverantörernas FoU-agendor inte matchade varandra tillräckligt väl i det tilltagande förändringstrycket. Nordic Rock Tech Centre kallade därför 2008 till en workshop med sikte på en branschgemensam FoU-agenda. Resultatet blev en ansökan till Vinnovas strategiska gruvforsknings-program om en idéstudie om framtidsgruvan – Mine of the Future (MIFU). Idéstudien hade ett huvudsakligt fokus på automatisering av gruvdrift och genomfördes med Vinnova-finansiering 2009–10¹³. Arbetet fortsatte därefter inom gruvbranschen (under namnet Sustainable Mine of the Future – SMIFU) och resulterade i en omfattande FoU-agenda. Denna agenda blev enligt flera branschföreträdare också något av en milstolpe i kraft av den branschsamverkan den medförde¹⁴. Även det sätt på vilket agendan kom att föra samman och dokumentera en bredd av utvecklingsspår som vid denna tid följdes inom olika delar av branschen hade inverkan. Projektparter i Vinnovas projekt var, utöver Nordic Rock Tech Centre AB, Boliden Mineral AB, Atlas Copco (senare Epiroc), Georange, Hitachi Energy Sweden AB, LKAB, Metso Minerals AB, NCC, Sandvik, ÅF Construction AB och Luleå tekniska universitet (LTU). Genom Sandviks medverkan tillkom en finländsk deltagare och genom LKAB:s goda relationer med polska KGHM, fick konsortiet även en stark polsk komponent. Denna internationella uppkoppling skulle visa sig viktig när agendan och konsortiet senare, direkt och indirekt, kom att ge avtryck på europeisk nivå.

Vad som sedan följde var nämligen sinsemellan påverkande händelsekedjor, såväl i Sverige som ute i Europa. Enskilt viktigast var möjligtvis den SIO-agenda som gruvbranschen tog fram när Vinnova, tillsammans med Energimyndigheten och Formas, 2012 inledde förberedelserna av en ny insatsform, som med tiden kom att benämnas strategiska innovationsprogram (SIP). SIO-agendan lade grunden för SIP STRIM, idag SIP Swedish Mining Innovation. Samtidigt som den inkorporerade insikterna från (S)MIFU utgjorde den också den första FoU-agendan som tog ett helhetsgrepp om branschens omställning och FoU-utmaningar. Med SIO-agendan som

¹³ Smart Mine of the Future (Nordic Rock Tech Centre, November 2010)

¹⁴ Mikael Ramström och Göran Bäckblom, personlig kommunikation

avstamp kunde svensk gruvnäring agera aktivt i utformningen av det europeiska innovationspartnerskapet (EIP Raw Materials) och av de gruvrelaterade delarna av Horisont 2020 (se vidare nedan). Detta skulle visa sig vara en viktig vektor för kommande uppskalning.

Syftet med de strategiska innovationsprogrammen var att genom samverkan inom områden som är strategiskt viktiga för Sverige skapa förutsättningar för hållbara lösningar på globala samhällsutmaningar och bidra till ökad internationell konkurrenskraft. I detta sammanhang är det viktigt att poängtera att insatsformen baseras på en hög grad av initiativkraft ifrån ”systemaktörer”. Avstampet var agendautlysningarna 2012–13 genom vilka de konsortier växte fram som sedan kom att etablera programkontor för de olika SIP:arna.

2.4 EU: Fokus på råvaror i en tid av geopolitisk konkurrens

I november 2008 publicerade EU-kommissionen EU:s råvaruinitiativ ”Råvaruinitiativet – att uppfylla våra kritiska behov av tillväxt och arbetstillfällen i Europa”¹⁵. Initiativet följde på flera års politiskt fokus på försörjningen av kritiska råvaror i spåren på inte minst Kinas tillväxt och ökade ekonomiska inflytande på t.ex. råvaruexporterande länder. Till initiativet knöts en expertgrupp (*the EU Raw Materials Supply Group*) och i initiativets efterföljd har EU-kommissionen vart tredje år publicerat en lista över kritiska råvaror (*”Critical Raw Materials List”*).

Detta uthålliga politiska fokus på råvaror har starkt påverkat FoU-finansieringen under EU:s ramprogram. När EU-kommissionen 2010 lanserade det nya konceptet innovationspartnerskap (*European Innovation Partnerships – EIP*), kom ett av partnerskapen att ägnas åt råvaror (*EIP Raw Materials*). Finansieringen av råvarurelaterad FoU under det sjunde ramprogrammet 2007-13 uppgick till 180 MEUR. Under det nyligen avslutade Horisont 2020 (2014-20) uppgick den till 600 MEUR, dvs. mer än en tredubbling. Under EIP Raw Materials utformas utlysningar av råvarurelaterad FoU-finansiering under ramprogrammen. EIP Raw Materials blev en viktig arena för ekosystemet av organisationer kring de svenska gruvagendorna – se vidare nedan. Även det *”knowledge and innovation community”* (KIC) för råvaror som 2014 etablerades under det europeiska institutet för innovation och teknik (EIT), EIT Raw Materials, var på sätt och vis en efterföljare till dessa agendor-. EIT Raw Materials programförklaring var till betydande del baserad på den svenska SIP-agendan¹⁶.

¹⁵ KOM(2008)699

¹⁶ Jenny Greberg, personlig kommunikation

2.5 Storskaliga testmiljöer genom SIMS-projekten

Redan från start i det strategiska innovationsprogrammet SIP STRIM 2013 fanns ambitionen hos programmets aktörer, såväl akademi som näringsliv, att få till stånd breda och ambitiösa demonstrationsprojekt i gruvor i drift. Man ville visa på potentialen i de utvecklingslinjer som följts under då snart tio års agenda- och utvecklingsarbete. Att byta utrustning i en gruva är en jättelik investering. Förtroende behövde skapas för helt nya lösningar. Ett prioriterat område var då batteridrift av gruvfordon och att visa att det går att uppnå samma produktionseffektivitet med batteridrift som med diesel. För det krävs storskaliga demonstratorer. Det stod klart att den riktigt potenta finansieringen av sådana projekt fanns att få under EU:s ramprogram.

För att kunna genomföra ett storskaligt demonstrationsprojekt krävdes ett projekt-konsortium. De svenska aktörerna kring SIP STRIM sökte aktivt upp potentiella parter i ett flertal europeiska länder¹⁷. Tretton organisationer tillfrågades, alla var intresserade och hela elva kom i slutänden att engagera sig. Ett flertal av dessa fanns med sedan MIFU-projektets tid. Man ville ha med gruvbolag med testkapacitet för att säkra test- och demo-miljöer på ett flertal platser i syfte att kunna renodla olika aspekter av "smart mining". En annan anledning var att säkerställa tillgång till testmiljöer i operativa gruvor, knappast en självklarhet i konkurrens med den dagliga gruvdriften. Utöver LKAB, Boliden och KGHM, som alla deltagit i MIFU och senare agendaarbete, engagerades även det finländska dotterbolaget till kanadensiska Agnico Eagle. Bolaget hade ett särskilt intresse av att testa batteridrivna gruvfordon på grund av dess utmaningar med att flyga in diesel till gruvdriften i kanadensiska Arktis¹⁸. Även tyska K+S, vars gruvdrift fokuserar på brytning av kalium och salt, engagerades. På den akademiska sidan fick LTU sällskap av tyska *Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH)* i Aachen som hade ett väletablerat samarbete sedan tidigare med flera av konsortiedeltagarna. Slutligen ville man ha ledande utrustningstillverkare och fann dessa uteslutande inom Sveriges gränser. ABB och Epiroc hade medverkat i MIFU-projektet och till dessa anslöt Ericsson, Mobilaris, iGW Europe och Wolfit.

Med konsortiet på plats var det dags att förbereda en ansökan till ramprogrammet. Vinnovas projektfinansiering möjliggjorde anställning av en medarbetare på programkontoret vars huvuduppgift kunde bli att skriva projektansökan. Siktet från programkontoret och projektkoordinatören, den svenska tillverkaren av gruvutrustning Epiroc, var inställt på ett brett projektupplägg. Detta var sannolikt en nödvändighet givet ramprogrammets inriktning på detta område, men var också den ansats man följt under agendaarbetet inom framför allt SIO/SIP och det europeiska innovationspartnerskapet EIP.

¹⁷ ibid

¹⁸ Göran Bäckblom, personlig kommunikation

2.5.1 Horisont 2020 och 2016 års utlysning inom Raw Materials

Gruppen kring Epiroc och LTU blev en inflytelserik aktör när utlysningsprogrammet för råvaruområdet inom Horisont 2020 utformades. Bakgrunden låg inte minst i ett väl genomfört förarbete i en serie agendaprojekt. Gruppdeltagarna visste vart de ville och vad de talade om. Man hade också tillgång till ett välutvecklat europeiskt nätverk och engagerade sig aktivt i partnerskap och programkommittéer. Till sin hjälp hade gruppen senior expertis med permanent basering i Bryssel, vilket öppnade många dörrar. Detta medförde såväl inflytande på innehållet i utlysningarna som flerårig framförhållning på de utlysningar som skulle komma. Det vill säga längre än vad man annars skulle kunna få via läckta utkast av arbetsprogram, och framför allt med en bättre detaljförståelse av EU-kommissionens prioriteter.

Gruppen siktade därför på en specifik utlysning inom ramprogrammet. Det strategiska innovationsprogrammet SIP STRIM finansierade två pilotprojekt¹⁹ med syfte att förbereda en projektansökan till Horisont 2020. (Eftersom ramprogramsansökan var en tvåstegsprocess i mars och september 2016 genomfördes förberedelsen i två steg.)

Topic SC5-14-2016-2017²⁰ hade fokus på "*innovative pilot actions*" ("innovativa pilotinsatser") för uppskalning och demonstration av lovande produktionstekniker. Syftet var att finansiera demonstration av att råvaror kan utvinnas på innovativa och uthålliga sätt, och att sådana innovationer kan leda till kommersialisering. SIMS-konsortiets ansökan beviljades och blev det enda projektet med inriktning mot integrerade lösningar för "smart mining" som kom att finansieras under aktuellt topic.

2.5.2 Projektgenomförande och huvudsakliga resultat

SIMS-projektet inleddes officiellt den 1 maj 2017 och avslutades den 30 april 2020. Det omfattade såväl ett flertal delmoduler som en handfull test- och demonstrationsmiljöer i aktiva gruvor.

De resultat som lyfts fram i projektets slutrapportering är:

- Fullt elektrifierade gruvfordon (borrhög, gruvtruck och lastare), kommersialiserade redan vid tiden för projektets avslutning. Elektrifiering av fordons-flottan innebär kraftig förbättring av luftkvaliteten under jord och därmed minskat ventilationsbehov med medföljande energibesparingar.
- VR-applikationer för träning, utbildning och kommunikation, även de tillgängliggjorda vid tiden för projektslut.

¹⁹ 2016-01904 mars-april 2016, med LTU som projektkoordinator, och 2016-02915 juni-oktober 2016, med Epiroc som projektkoordinator.

²⁰ "Topic" är ett begrepp inom EU:s ramprogram som beskriver utlysningens tematiska inriktning

- Robotisering i form av bland annat fordonsladdare och drönare för obemannad inspektion i gruvgångar. Uppstarts företaget bildat i anslutning till projektet.
- Tekniktillämpning för intelligenta bergbultar med 60 procent effektivitetshöjning, kommersialiserade vid projektslut.
- 5G-baserade kommunikationsnätverk för integrering av röstdata och data från sensorer på människor och utrustning. Projektet demonstrerade bland annat att ventilation kan optimeras på basis av sådan sensordata med substantiella energibesparingar som resultat.
- Vidareutveckling av Mobilaris Onboard-system för navigering i gruva på samma sätt som med en vanlig fordonsnavigator. Kommersialiserad vid tiden för projektslut. (Kommentar: Epiroc köpte under projektets gång en tredjedel av Mobilaris MCE-division och förvärvade den fullt i november 2021.)

Inom SIMS-projektet ville man också bättre förstå de organisatoriska och kulturella förutsättningarna för att införa ny teknologi. Därför genomfördes också arbete kopplat till dessa leverabler inom projektet. Man ville också förstå hur detta kunde påverka branschens attraktivitet som arbetsgivare. Forskare knutna till framför allt Luleå tekniska universitet publicerade en rad akademiska artiklar baserade på resultat inom SIMS-projektet. Det är som alltid svårt att peka på konkreta tillämpningar för denna typ av "mjuka" målsättningar, men programkontorchefen för SIP Swedish Mining Innovation²¹ betonar att det efter SIMS-projektet blivit normaliserat att frågor kopplade till exempelvis organisationskultur och ledarskap hanteras hand-i-hand med de tekniska frågorna på ett integrerat vis. I det uppföljande NEXGEN-SIMS-projektet ingår en modul "*Blueprint for the future miner*" med syfte att definiera vem denna framtida gruvarbetare är och hur vederbörande utbildas och vidareutvecklas.

SIMS blev ett globalt mycket uppmärksammat projekt. Detta inte endast för att det var ett av få storskaliga demonstrationsprojekt som integrerade ett flertal dimensioner av "framtidens gruvdrift", utan också för att det var först ut med att demonstrera dessa nya funktioner i gruvor i drift. Investeringar i den utrustning som demonstrerades är, som redan antytts, ett synnerligen stort åtagande för ett gruvbolag. Ett byte från t.ex. diesel- till eldriven fordonsflotta är "ett hopp ut i det okända"²². SIMS gjorde onekligen skillnad här och för Epiroc innebar SIMS-projektet ett kraftfullt steg framåt för företagets utveckling av batteridrivna fordon²³. Att SIMS blev en sådan framgång bör rimligen ha medverkat till att Epiroc fick förtroende att koordinera ett uppföljningsprojekt, NEXGEN-SIMS, där projektkonsortiet från SIMS i stora drag är kvar med några modifieringar. Projektet startade den 1 maj 2021 och kommer att avslutas den 30 april 2024. Några resultat är ännu inte tillgängliga, men projektupplägget omfattar både uppskalning och fokusering. Uppskalning såtillvida att de moduler som i SIMS ännu bedrevs som

²¹ Jenny Greberg, personlig kommunikation

²² ibid

²³ Mikael Ramström, personlig kommunikation

separata projekt nu förs samman till sammanhållen demonstration²⁴. Fokusering såtillvida att såväl automatiserings- som elektrifieringsarbetet koncentreras till den lastningsfas i brytningskedjan där de främsta effektiviseringsvinsterna förväntas²⁵.

2.6 Sammanfattning av utvecklingssteg och drivkrafter

Mineralbrytning under jord är på god väg att bedrivas på ett fundamentalt annorlunda sätt än vad som var fallet för cirka 20 år sedan. Till exempel är batteridrivna fordon idag kommersiellt tillgängliga. Så är även navigeringssystem, där sensorer till utrustning och människor, tillsammans med trådlös kommunikation och AI-stödda back-end-system, möjliggör avancerad överblick av gruvdriften, såväl i kontrollrum som ute i produktionszonen. "Framtidens gruva" är ännu inte här. Den fullständigt automatiserade och kontinuerliga processdriften ligger ännu i just framtiden, men flera investeringsbeslut är t.ex. tagna för afrikanska gruvor med lärdomarna från SIMS i ryggen²⁶. Gruvnäringen är idag långt inne i en innovationsresa som runt 2010 ännu ansågs som en djärv vision.

Ambitionen att åstadkomma denna förändring har i första hand varit branschens egen, pådriven av de produktivitetskrav och den vilja till bättre arbetsmiljö som beskrevs tidigare i rapporten. Den växande insikten om behovet att förbättra branschens klimatprestanda har också skyndat på förändringsprocesserna. Teknisk innovation, både i form av ny teknik och nya kombinationer av teknik, har berett vägen för nya metoder för gruvdrift under jord. FoU-arbete inom såväl näringsliv som akademi, och i samverkan dem emellan, har lagt grunden. Storskaliga test- och demonstrationsprojekt har visat hur olika tekniker och delsystem kan fungera tillsammans, och har sporrat ytterligare utvecklingssteg liksom bidragit till en bredare legitimitet för nya lösningar. Demonstrationsprojekten har också stärkt förtroendet för de företag som levererar systemen.

Idag innehåller därför gruvnäringens innovations- och produktionssystem telekom- och IT-baserade företag i en utsträckning som inte var fallet runt millennieskiftet. Systemens kompetensförsörjning är annorlunda i motsvarande grad. En tilltagande batteridrift förändrar förvisso inte produktionssystemets energiförsörjning i grunden, men innebär likväl en betydande förändring. Det finns sammantaget goda skäl att hävda att dessa system är långt inne i en transformativ process.

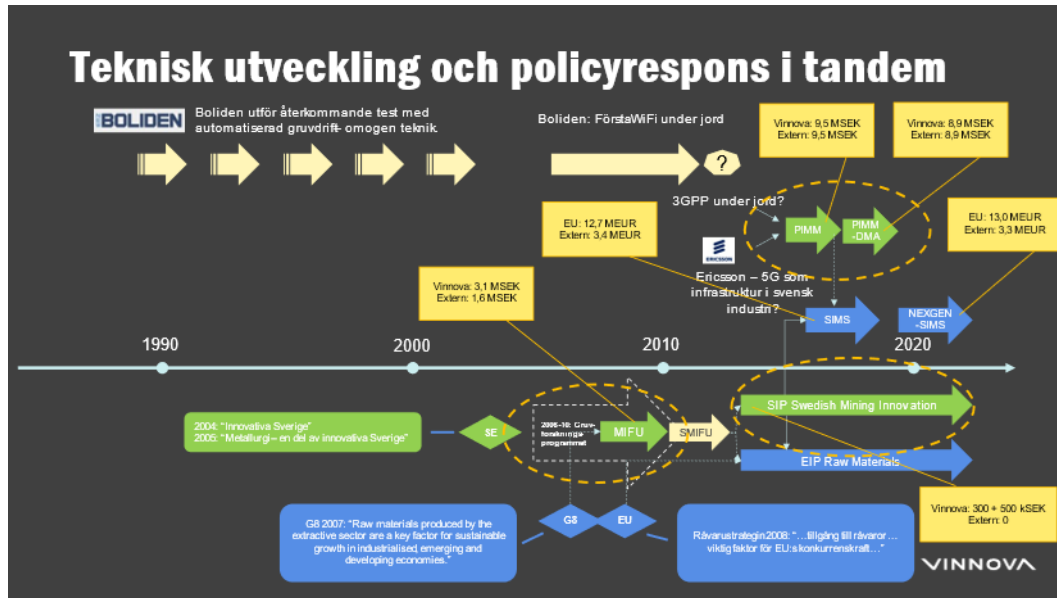
Det finns några avgörande utvecklingssteg som är värda att lyfta fram. Nedan (Figur 2) ges en schematisk bild av stegen som tagits sedan omkring millennie-skiftet och som

²⁴ Pär-Erik Martinsson, personlig kommunikation

²⁵ Jenny Greberg, personlig kommunikation

²⁶ Pontus Westrin och Tobias Kampmann, personlig kommunikation

beskrivs i rapporten, här sammanfattade med ett särskilt fokus på statens och specifikt Vinnovas roll.



Figur 2: Schematisk översiktsbild av den beskrivna utvecklingsresan (Vinnova ppt-material).

Vad som höll kvar gruvnäringen ”i en gammal regim” av traditionell teknik, metod och kultur tycks i första hand ha varit brist på fungerande tekniska alternativ. Så till exempel trådlös kommunikation under jord, tillräckligt kraftfull batteridrift, kapacitet att processa stora mängder data för att nämna några av vikt. FoU och entreprenöriellt experimenterande inom gruvbranschen och utrustningstillverkare ändrade dessa förutsättningar. Vinnova och dess föregångare har spelat en roll genom att finansiera FoU-projekt inom både akademi och näringsliv. Det är förvisso svårt att slå fast exakt vilken betydelse som ska ges Vinnovas insatser i detta skede. Men en styrka med offentlig finansiering av FoU-projekt, som återkommande förts fram av branschföreträdare i samband med denna studie, är den stabilitet i finansieringen som den medför. Offentlig finansiering är ofta kopplad till fleråriga åtaganden från bägge sidor²⁷. Det skiljer den från kundfinansierade utvecklingsprojekt som naturligtvis är föremål för den dynamik som ofta kännetecknar affärsrelationer. Denna kan betyda påtagligt ändrade förutsättningar under projekts genomförande. Avskärmning för att använda TIPC:s begreppsapparat. Det är också viktigt att lyfta fram Vinnovas finansiering av FoU inom små och medelstora företag (SMF). Mobilis opositionering från trafikpositioneringssystem till industriella positioneringssystem, som fått en avgörande roll i denna innovationsresa, fick en rejäl skjuts genom ett Forska & Vax-projekt 2013²⁸.

²⁷ Mikael Ramström och Peter Burman, personlig kommunikation

²⁸ Lindholm-Dahlstrand et al 2019

I detta sammanhang ska man inte glömma bort att det gjordes viktiga offentliga och privata investeringar i gruvnäringens svenska innovationssystem från slutet av 1980-talet fram till det tidiga 2000-tal som är starten för denna studies fokus. Staten hade en viktig roll i de FoU-miljöer som etablerades under 1990-talet, liksom i de ambitiösa satsningarna i spåren av 2004 och 2008 års FoU-propositioner. Dessa bidrog inte minst till att stärka Luleå som ett akademiskt centrum för gruvnäringen.

Avgörande innovationer uppstod också i mötet mellan gruvbolagens behov att effektivisera verksamheten och telekombolagens önskan att hitta industriella tillämpningar för den nya generationens telekomteknik. Även om initiativet till denna branschöverskridande samverkan kom från industrin så spelade Vinnova en avgörande roll genom att med PIMM-projekten erbjuda en plattform för kunskapsutbyte, utveckling och demonstration som kom att få avgörande påverkan.

Agendaprocesserna runt 2010 innebar både kunskapsspridning, lärande, målbildshandling liksom att nätverk stärktes påtagligt. Här uppstod inte endast ett accentuerat informationsflöde utan också en mobiliserande kraft som skapade uthålligt engagemang. Detta engagemang var viktigt när de medverkande aktörerna senare kunde frigöra resurser som möjliggjorde till exempel det strategiska innovationsprogrammet STRIM och de bägge SIMS-projekten. Återigen kom mycket av initiativkraften från näringslivet. Men Vinnova pilotfinansierade den viktiga (S)MIFU-agendan liksom den närmast banbrytande SIO-agenda som senare kom att bli grundplattan för SIP STRIM, idag SIP Swedish Mining Innovation. Denna kom i sin tur att ge ett starkt avtryck på EU-nivå.

SIP Swedish Mining Innovation har åstadkommit mycket och har varit föremål för både tre- och sexårsutvärdering från Vinnova. Sett specifikt ur den här innovationsresans perspektiv, utgjorde programkontoret en helt avgörande "mobiliseringsyta" när branschklustret kring den svenska gruvnäringen samlades för att skriva en ramprogramsansökan och skapa ett konsortium.

Slutligen har det första SIMS-projektet varit mycket viktigt för legitimering och en efterföljande framväxt av nya marknader.

Det går, slutligen, inte att bortse ifrån att denna utveckling sannolikt inte hade fått den politiska uppbackning som den fått, framför allt i termer av FoU-finansiering, om vissa megatrender inte påverkat några viktiga institutioners agerande. Hit hör inte minst Kinas tillväxt och tilltagande konkurrens om knappa råvarutillgångar liksom, naturligtvis, det ökade fokuset på att motverka den globala klimatförändringen.

3. Gruvnärings transformation - slutsatser ur ett Vinnova-perspektiv

Denna studie beskriver en inledd transformation av gruvnäringen, vilken har inneburit en förstärkning av det för Sverige och Europa så viktiga svenska gruvklustret. Den industriella drivkraften bakom har varit ambitionen att med bibehållen eller ökad produktivitet, med högre personalsäkerhet, och med ökad klimateffektivitet kunna bryta allt lågvärdigare och/eller djupare belägna malmkroppar.

Startpunkten för resan var teknisk innovation sprungen ur entreprenöriellt experimenterande inom såväl större etablerade företag som i mindre och yngre. Exempelen i rapporten är framför allt hämtade från större industriföretag, men inom ramen för den innovationsresa som skissas har också flera mindre företag gjort intressanta utvecklings- och tillväxtresor. Vinnovas finansiering av Fol-projekt i små och medelstora företag har i åtminstone ett fall, Mobilaris, haft avgörande betydelse när företaget ställde om från trafikpositioneringssystem till industriella positioneringssystem²⁹. Därefter växte företaget in i en central roll i det svenska gruvutrustningsklustret. SIP Swedish Mining Innovation har erbjudit en stor mängd motsvarande möjligheter som inte kunnat täckas inom ramen för denna rapport. En viktig dimension av experimenterandet, och de innovationer det gav upphov till, har varit kombination av teknologier. Initiativen har kommit från industrin, till exempel lade framsynta rekryteringar från gruvföretag grunden för telekomteknikens tillämpning under jord. De Vinnova-finansierade PIMM-projekten innebar avgörande steg i just denna riktning. Projekten utgjorde sammantagna en milstolpe. Även om initiativet till projektkonsortiet kom från näringslivet, spelade Vinnova en viktig roll som finansör och legitimator av bred och nydanande samverkan mellan företag från skilda branscher och mellan näringsliv och forskningsinstitutioner. En annan viktig dimension av offentlig FoU-finansiering är den stabilitet som en offentlig finansiering ger och den avskärmning från stundtals fluktuerande målbilder som ofta förekommer i kommersiellt finansierade Fol-projekt. Vinnova har alltså genom finansiering av Fol-projekt spelat en viktig roll i att förstärka och komplettera det redan starka innovationssystem som det svenska gruvklustret utgör.

Starka innovationssystem kännetecknas av effektiva informationsflöden. Ett aktivt arbete med FoU-agendor löper som en röd tråd genom denna historia, från det tidiga 2000-talets Bergforsk-agenda, via MIFU-projektet och fram tills idag. Avstampet för MIFU var det upplevda behovet av en branschgemensam målbildshantering. Agendaarbetet effekter blev - utöver målbildshantering - både kunskapsspridning, riktningsgivning och mobilisering av såväl befintliga och nya aktörer som finansiering. Vinnova har aktivt förespråkat arbete med FoU-agendor, inte endast inom

²⁹ Lindholm-Dahlstrand et al 2019

gruvbranschen, och har vid avgörande tillfällen i detta sammanhang (MIFU-piloten och SIO-agendan) också finansierat agendaarbete.

Internationella kontakter, samarbeten, personalrörlighet och kunskapsutbyten – kortfattat internationell uppkoppling - är ytterst viktigt, inte minst för kompetensförsörjning, uppskalning och marknadsformering. Det svenska gruvklustret är sedan länge fast förankrat på globala marknader och framför allt utrustningstillverkarna har en mycket solid global marknadsposition³⁰. Att MIFU-konsortiet fick en tydlig icke-svensk komponent, vilket starkt bidrog till agendaarbetets senare genomslag på Europeanivå, beror till betydande del på denna internationella uppkoppling. Likväl innebar SIMS-projektet i sig något av ett kvantsprång uppåt i internationell lyskraft för denna utvecklingsresa. Denna studie visar tydligt att demonstrationsprojekt av den storlek som SIMS utgjorde (och NEXGEN-SIMS utgör) är viktiga för legitimering och marknadsformering. EU:s ramprogram erbjuder en mycket viktig källa till finansiering av sådana projekt. Att ett projektkonsortium kunde formeras, och en omfattande ansökan till EU:s ramprogram skrivas, bygger i grunden på Vinnovas finansiering av ett SIP-programkontor. Avgörande viktig var också den riktade finansieringen av två stycken förberedelseprojekt som gjorde det möjligt att anställa en dedikerad medarbetare på programkontoret. Programkontoret torde också ha spelat en viktig roll för det påverkansarbete som krattade manegen för den framgångsrika ansökan.

Sammanfattningsvis har Vinnova genom ett uthålligt engagemang sedan myndighetens etablering, på ett stundtals avgörande sätt, kunnat bidra till ett starkare och effektivare innovationssystem kring det svenska gruvklustret. Växelspelet mellan privata och offentliga initiativ har varit en viktig motor i händelseutvecklingen. Aktörerna i detta innovationssystem är på god väg att transformera hur mineralbrytning bedrivs. Detta har medfört potentiellt vidsträckta implikationer för såväl tillgången till kritiska mineralresurser som svenskt näringslivs konkurrenskraft.

Om man nu lyfter perspektivet till innovationspolitiska paradigmer så har denna utvecklingsresa till stor del skett under en myndighetsuppgift som sätter just bidrag till effektiva innovationssystem i centrum, dvs. "andra generationens innovationspolitik". Inslag i den beskrivna utvecklingsresan återfinns förvisso som bärande komponenter inom både andra och tredje generationens innovationspolitik, t.ex. effektiva informationsflöden, avskärmning (av utvecklingsprojekt) och uppskalning. Idag utvecklas Vinnova mot en myndighetsuppgift (mer) kännetecknad av en tydligare roll i en samlad politisk ansats vars yttersta utflöde är direktionalitet. Direktionalitet med sikte på mer eller mindre genomgripande samhällsomställning. Det kan vara på sin plats att fråga sig om och hur ett sådant direktionellt bidrag kunde ha gestaltats i den nu beskrivna innovationsresan, eller i framtiden bör gestalta sig i andra motsvarande utvecklingsskeenden. Studien erbjuder dock inte någon tydlig lärdom för hur en

³⁰ Blue Institute 2020

innovationsmyndighet bidrar till direktionalitet, utöver den som branschen själv ger sig genom sitt eget ansvarstagande och på-verkat av den bredare politiska agendan. Även om Vinnova och andra statliga aktörer har utfört uppgifter längs utvecklingsresans växelspel mellan privata och offentliga insatser, som andra aktörer skulle haft svårt att utföra, kom själva för-ändringsimpulsen ifrån branschen själv.

En tydlig lärdom finns dock och det är den tid som krävs för denna typ av processer. Från Bergforsks agendaarbete i samband med forskningspropositionen 2004, samtida med de första fokuserade projekten för automatisering under jord, till slutförandet av det integrerade NEXGEN-SIMS-projektet kommer det att ha gått ganska exakt 20 år. Ändå är transformationen endast inledd och mycket tillämpningsarbete och synnerligen stora investeringar återstår. Det tar tid att ställa om industriella produktionssystem och i den mån dessa cykler går att korta vore mycket vunnet ur samtliga perspektiv som studien belyser.

Referenser

Blue Institute: Digitaliseringens konsekvenser på råvaru- och processindustrin (2020)

Burman, Peter (Boliden): personlig kommunikation (8 mars, 2022)

Bäckblom, Göran: Forskning och Framtid – Svensk gruvindustri i perspektiv (2016).

Bäckblom, Göran (fd. VD Bergforsk och Nordic Rock Tech Centre): personlig kommunikation (28 mars 2022).

Carlsson, B & Stankiewicz, R: On the nature, function and composition of technological systems, *Journal of Evolutionary Economics*, 1 (2), 93-118 (1991)

Ghosh, B., Kivimaa, P., Ramirez, M., Schot, J. & Torrens, J.: Transformative outcomes: assessing and reorienting experimentation with transformative innovation policy (2021).

Greberg, Jenny (LTU): personlig kommunikation (17 dec 2021).

KOM(2008)699: Råvaruinitiativet – att uppfylla våra kritiska behov av tillväxt och arbetstillfällen i Europa

Lindholm-Dahlstrand. Å., Nilsson M & Politis D.: Entreprenöriellt experimenterande och samverkan i innovationssystem (2019).

Martinsson, Pär-Erik (LTU): personlig kommunikation (10 mars 2022).

NEXGEN-SIMS, projektdokumentation: NEXT GENERATION CARBON NEUTRAL PILOTS FOR SMART INTELLIGENT MINING SYSTEMS | NEXGEN-SIMS Project | Fact Sheet | H2020 | CORDIS | European Commission (europa.eu)

Nordic Rock Tech Centre: Framtidsgruvan – en idéstudie (projektansökan till Vinnova) (2008).

Nordic Rock Tech Centre: MIFU – Smart Mine of the Future, Conceptual Study 2009-2010 (slutrapport till Vinnova) (2010).

Ramström, Mikael (Epiroc): personlig kommunikation (10 mars 2022).

SIMS, projektdokumentation: Sustainable Intelligent Mining Systems | SIMS Project | Fact Sheet | H2020 | CORDIS | European Commission (europa.eu)

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD): Unlocking systems transformation – Vision 2050 issue brief (2020)