

NGU RAPPORT 2022.025

Nasjonale oversiktskart for geologiske
grunnundersøkelser for deponering av
radioaktivt avfall

GEOLOGI FOR SAMFUNNET
– KUNNSKAP FOR FRAMTIDA



NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE

- NGU -



NGU RAPPORT

Geologi for samfunnet – kunnskap for
framtida

Norges geologiske
undersøkelse
Postboks 6315 Torgarden
7491 Trondheim
Tlf. 73 90 40 00

Rapport nr.: 2022.025		ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)		Gradering: åpen	
Tittel: Nasjonale oversiktskart for geologiske grunnundersøkelser for deponering av radioaktivt avfall					
Forfatter: Brønner, M., Nordgulen, Ø., Böhme, M., van Boeckel, M., Dagestad, A., Erichsen, E., Gellein, J., Gunleiksrud, I., Høgaas, F., Noël, F., Olesen, O., Raness, A.				Oppdragsgiver: Norsk Nuclear Dekommisjonering (NND)	
Fylke: -			Kommune:		
Kartblad (M=1:250.000): Norge			Kartbladnr. og -navn (M1:50.000):		
Forekomstens navn og koordinater:			Sidetall: 45		Pris: 220
			Kartbilag:		
Feltarbeid utført: -		Rapportdato: 07.02.2023		Prosjektnr.: 388004	Ansvarlig: Siw Taftø
Sammendrag <p>Institutt for energiteknikk (IFE) har i samarbeid med norsk industri planlagt, bygd og drevet fire forskningsreaktorer, en i Halden, og tre på Kjeller ved Lillestrøm. I forbindelse med nedbyggingen av disse, har Norsk Nukleær Dekommisjonering (NND) fått i oppdrag å utrede mulige deponeringsløsninger for reaktorbrenselet og det radioaktive avfallet. Dette arbeid gjennomføres i henhold til bestemmelsene i statens prosjektmodell for større investeringer. Å finne best egnet plass for deponering av høy-radioaktivt avfall er fremdeles en utfordring, og forskjellige land i verden har valgt og utreder ulike metoder for dette. NND har ikke startet lokaliseringsarbeidet, men er i en forberedende fase. Generelt vurderes deponering i undergrunnen som den mest aktuelle løsningen for å lagre radioaktivt avfall over tid. NGU har på oppdrag fra NND utredet hvilke geologiske faktorer som må hensyntas i vurderingen av hvor avfallet bør lagres.</p> <p>Basert på eksisterende kart og databaser har NGU laget landsdekkende kart for de mest avgjørende geologiske faktorer. Det er sammenstilt seks ulike kart, som på en regional skala viser områders egnethet med tanke på deponering i undergrunnen. Kartene gir informasjon om berggrunn, løsmassetykkelse, seismisitet og ustabile fjellpartier. De viser også lokaliseringen av kjente og viktige ressurser som grunnvann, mineralressurser og byggeråstoffer som bør vernes mot forringelse. Disse kartlagene gir viktig geologisk bakgrunnsinformasjon for videre detaljundersøkelser i arbeidet med å finne egnet lokalisering av et deponi. Rapporten beskriver også begrensninger og usikkerheter ved tolkning av kartene, med utgangspunkt i hvordan kartene ble sammenstilt og kartenes oppløsning. De utarbeidete nasjonale kartene har ikke tilstrekkelig detaljnivå for å definere et område for deponering, men synliggjør regioner i Norge som er mer gunstig for deponering fra et geologisk ståsted.</p> <p>Alle data og kart som er utviklet i dette prosjektet er georeferert, og presentert digitalt i ArcGis. Ved behov for høyere detaljeringsgrad eller mer differensierte analyser, kan produktet utvides med eksisterende og nye data.</p>					
Emneord					
Berggrunn		Seismisitet		Grunnvann	
Mineralressurser		Ustabile fjellparti		Byggeråstoffer	
Løsmassetykkelse					

Innhold

1. Innledning.....	4
2. Resultater organisert i ArcGis proDUKt	5
3. Vurdering av berggrunnens egnethet for deponering av radioaktivt avfall.....	5
4. Oversikt for kjente forekomster av mineralressurser og byggeråstoffer	12
5. Løsmasser og sedimentmektighet i Norge.....	18
6. Grunnvannsforekomster i Norge.....	28
7. Aktsomhetskart for fjellskred i Norge	30
8. Jordskjelv og seismisitet i Norge.....	32
9. Konklusjon – et eksempel for bruk av kartbladene.....	35

Figurer

Figur 2.1. Skjerm bilde av ArcGis prosjektet med egnet berggrunn og kjente mineralforekomster i Sør-Norge.	5
Figur 3.1 Kart over Norges berggrunn Fargene viser til enhetens dominerende bergart.	7
Figur 3.2 Kart over Norges berggrunn. Tektonostratigrafisk inndeling av berggrunnen	8
Figur 3.3 Utvalgte områder fra NGUs regionale berggrunnskart symbolisert med farger etter bergartens tektonostratigrafiske tilhørighet.....	9
Figur 3.4 Utvalgte områder fra NGUs regionale berggrunnskart symbolisert med farger etter enhetens dominerende bergart.....	10
Figur 3.5 Berggrunnens enheter med en generell utvegelse av mest egnede bergarter.	11
Figur 4.1 Registrerte mineralressurser i hele Norge. Industrimineraler, naturstein og metaller	13
Figur 4.2. Registrerte mineralressurser i hele Norge, byggeråstoffene grus og pukk.....	14
Figur 4.3 Zoom inn til Halden og Aremark viser områdene ved Idd som skiller seg ut.....	17
Figur 5.1 Landsdekkende kart med relativt sedimentmektighet.....	19
Figur 5.2 Dekningskart over ulike kartleggingsmålestokker.....	20
Figur 5.3 Kvartærgeologisk kart over Norge.	21
Figur 5.4 Modellert dyp til fjell, basert på borehull- og løsmassedata med usikkerhetsanalyse.....	23
Figur 5.5 Kvartærgeologisk kart.	24
Figur 5.6 Temakartet løsmassemektighet.....	24
Figur 5.7 Temakartet grunnvannsbrønner og løsmassemektighet.	25
Figur 5.8 Utklipp fra NADAG databasen med geotekniske undersøkelser og dybde-til-fjell.....	25
Figur 6.1 Administrative grunnvannsforekomster for Sør-Norge registrert i portalen Vann-Nett.	29
Figur 6.2 Administrative grunnvannsforekomster for det sentrale østlandsområdet.....	29
Figur 7.1. Oversikt som viser ustabile fjellparti og flodbølgeområde.....	31
Figur 8.1 Forenklet jordskjelvkart over Norden for tidsrommet 1400-1980.....	33
Figur 8.2 A) Utsnitt av neotektonikk-kart for Norge og tilgrensende områder	34
Figur 8.3 Seismisk soneringskart for Norge.	35
Figur 9.1. Skjerm bilde med egnet berggrunn sammen med ustabile fjell og flodbølgeområder.....	36

1. INNLEDNING

Det norske atomprogrammet er avsluttet og de fire forskningsreaktorene, tre på Kjeller og en i Halden, er stengt og anleggene skal avvikles. Denne prosessen betyr at radioaktivt materiale og avfall må lagres på godkjente anlegg i Norge. Løsninger for trygg deponering av høy-radioaktivt avfall er utfordrende, og det er flere metoder i bruk verden over.

Deponeringsløsninger i undergrunnen står likevel fram som mest aktuelt. Vurderingen av hvilken type undergrunn og hvilke tekniske løsninger som velges, og om det planlegges grunn eller dyp deponering, har sammenheng med de varierende geologiske forholdene i ulike land. Eksempelvis vurderer land som er dekket med tykke lag med sedimentære avsetninger, å deponere avfallet i leirstein (Frankrike), pyroklastiske sedimenter som tuff (USA) eller i saltdiapirer (Tyskland). Land som har tilgang til grunnfjell med krystalline eller sterkt metamorfe bergarter, foretrekker gjerne deponering i slike bergarter, som oppfattes som tettere og mer motstandsdyktig mot bla. erosjon og omvandling (Sverige, Finland). Krystalline bergarter dominerer det meste av landskapet i Norge (men også i Sverige og Finland), enten eksponert på overflaten eller skjult under kvartære løsmasser av varierende mektighet.

Basert på tekniske krav i AINS-rapporten (Hagros o.a., 2021) for deponering av radioaktivt avfall, og forutsetninger gitt av NND, har NGU utarbeidet relevante oversiktskart. Kartbladene og leserveiledere beskriver med varierende oppløsning og nøyaktighet geologiens egnethet for deponering av radioaktivt avfall. Egnethet er rangert fra uegnet til egnet på et overordnet, nasjonalt nivå. På kartene er denne rangeringen visualisert ved bruk av fargeskala. Kartbladene kan sammenstilles med kart som beskriver samfunnsbehov, verneområder, infrastruktur osv.

Hovedleveransen i dette prosjektet er et ArcGis-produkt, der alle kart og informasjon er sammenstilt for videre bruk og analyser. Ved behov for et mer omfattende beslutningsgrunnlag, kan ArcGis-produktet utvides med flere typer informasjon og kart. Dette prosjektet danner derfor grunnlaget for eventuelle videre detaljerte geologiske vurderinger og grunnundersøkelser.

Kartet er en sammenstilling av en rekke geologiske tema, og gir en helhetlig forståelse av de geologiske forholdene:

1. Berggrunnsgeologi
2. Ustabile fjellparti
3. Grunnvann
4. Løsmassetykkelse
5. Mineralressurser (inkludert byggeråstoffer)
6. Seismisitet

Disse kartbladene er etablert uavhengig av hverandre, og senere sammenstilt. De faglige vurderingene som ligger til grunn for rangeringen av de ulike geografiske områdene, er beskrevet i leserveileder og følger hvert enkelt kartblad.

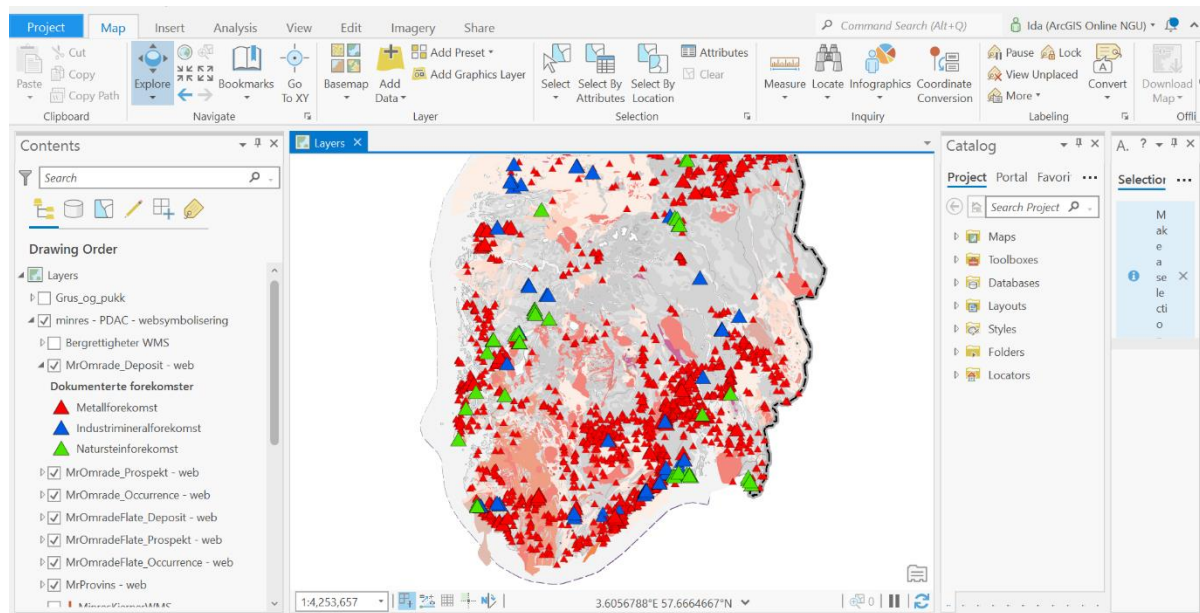
Datagrunnlag:

Kartene er basert på *eksisterende* geologiske data tilgjengelig fra NGUs regionale databaser og kart (per 2021). Dekning, oppløsning og usikkerhet varierer noe mellom de ulike kartene

og databasene. Datakvaliteten i de ulike kartbladene vil dermed legge grunnlaget for dekningen, oppløsningen og usikkerheten som kommer fram ved sammenstilling. Datakvaliteten er forsøkt dokumentert i leserveileder og/eller på kartet.

2. RESULTATER ORGANISERT I ARCGIS-PRODUKT

ArcGis-produktet (Fig. 2.1) viser alle data georeferert, og kan utvides med eksisterende (for eks. fra geodata.no) og nye data, ved behov for en mer differensiert eller detaljert data-analyse. De digitale kartene kan enkelt kombineres for samtolkning.



Figur 2.1. Skjermbilde av ArcGis-produktet med egnet berggrunn og kjente mineralforekomster i Sør-Norge.

3. VURDERING AV BERGGRUNNENS EGNETHET FOR DEPONERING AV RADIOAKTIVT AVFALL

Ida Gunleiksrud & Øystein Nordgulen

Kartlegging av Norges berggrunn er et kontinuerlig arbeid basert på feltarbeid med innsamling av data, bearbeiding, analyse og tolkning før sammenstilling til berggrunnsgeologiske kart. NGU har berggrunnsdata tilgjengelig i tre kartserier:

- 1) nasjonalt nivå (målestokk 1:1 350 000),
- 2) regionalt nivå (målestokk 1:250 000) og
- 3) lokalt nivå (målestokk 1:50 000).

Kartets målestokk har betydning ved vurdering av et geografisk område i henhold til kartdata. Målestokken sier noe om detaljgraden som ligger til grunn for kartleggingen, og hvor detaljert informasjon kartet gir om berggrunnen. Større målestokker (f.eks. 1:50 000) er basert på mer detaljert kartlegging og har høyere oppløsning enn kart med en mindre målestokk (f.eks. 1:250 000). I praksis betyr en målestokk på 1:250 000 at 1 mm på kartet tilsvarer 250 000

mm (=250 m) på jordas overflate. Berggrunnskart på nasjonalt og regionalt nivå er landsdekkende, mens ferdigstilte berggrunnskart på lokalt nivå mangler dekning i store deler av landet. I tillegg til de nasjonale kartseriene finnes det en del kart over spesielt utvalgte områder, kommuner eller regioner; se https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/.

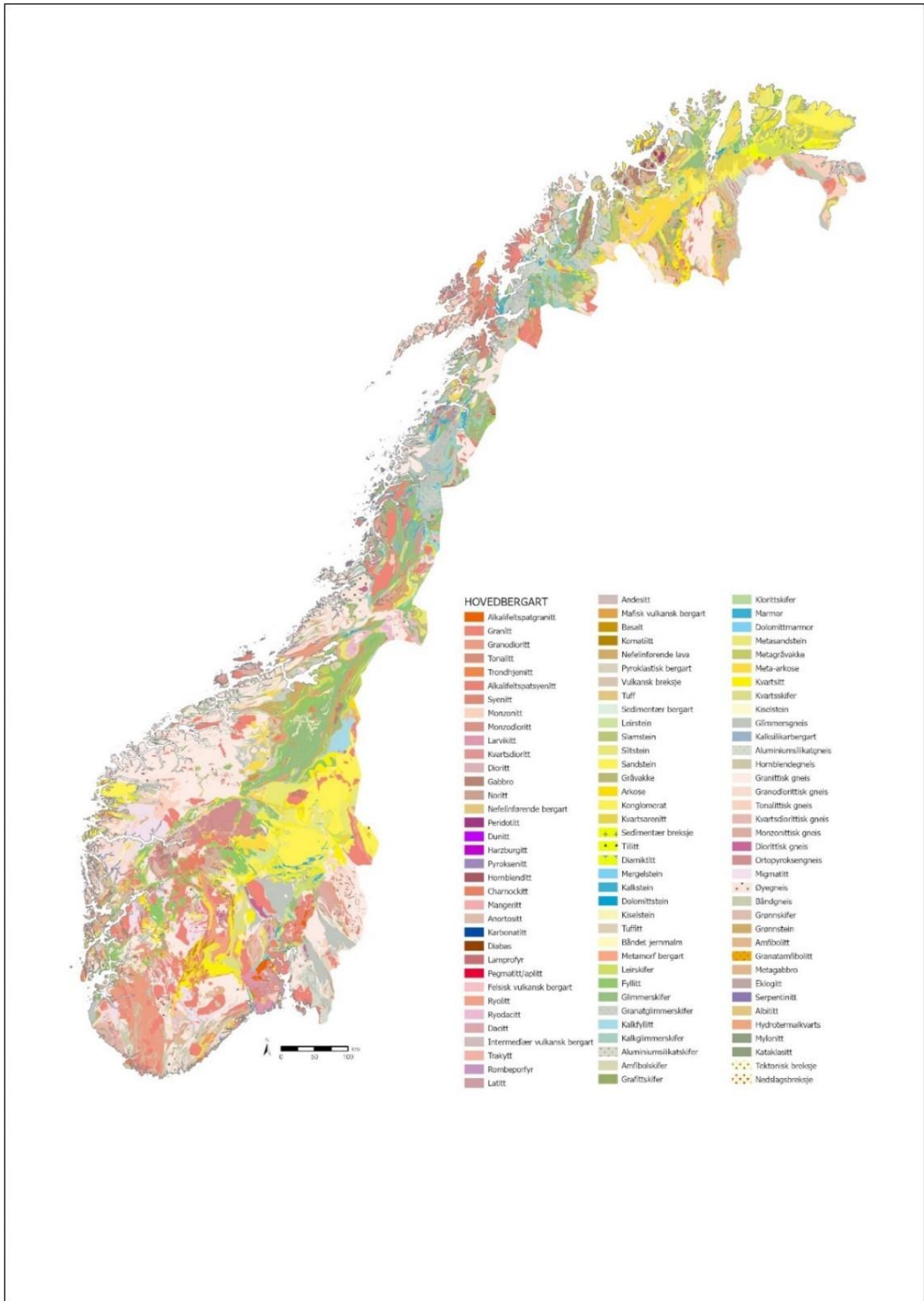
Berggrunnskartene er flatedekkende kart med tilhørende database som inneholder informasjon om bla. hvilke type bergarter som dominerer innenfor de ulike enhetene, alderen til disse, og hvilke overordnede tektonostratigrafiske enheter de tilhører. Bergartens tektonostratigrafiske tilhørighet sier noe om bergartstype, når og hvor den ble dannet, og hvordan den har blitt en del av Norges berggrunn slik den er i dag. Hver avgrensede flate har en tegnforklaringstekst som beskriver berggrunnsgeologien innenfor grensen. En avgrenset flate kan bestå av flere ulike bergarter, eller én homogen bergartstype. Kartet gir informasjon om den generelle orienteringen av bergartenes lagning og skifrihet/foliasjon. Symbolisering av grensene gir informasjon om usikkerhet til kartleggingen; f.eks. sikker, usikker, tolket under vann/løsmasser. Kartene inneholder også strukturgeologisk informasjon, det vil si inntegnede lineære strukturer som indikerer forkastninger, skjærsoner og sprekker i berggrunnen.

Vurderingen av berggrunnen for deponering av radioaktivt avfall er basert på landsdekkende berggrunnsdata fra NGU i målestokk 1:250 000. Berggrunnskartet symbolisert med farge etter hovedbergart er gitt i figur 3.1, og etter tektonostratigrafisk tilhørighet er gitt i figur 3.2. Ofte er de tektonostratigrafiske enhetene skilt med regionale tektoniske kontakter, og enkelte enheter kan ha langt høyere tetthet av sprekker og forkastninger enn andre. Dette henger dels sammen med hvilke bergarter de består av, og dels sammen med hvilke tektoniske hendelser de har blitt utsatt for. Sammensetningen av bergartstyper innenfor de ulike tektonostratigrafiske enhetene varierer også, der enkelte enheter er svært vekslende og heterogene.

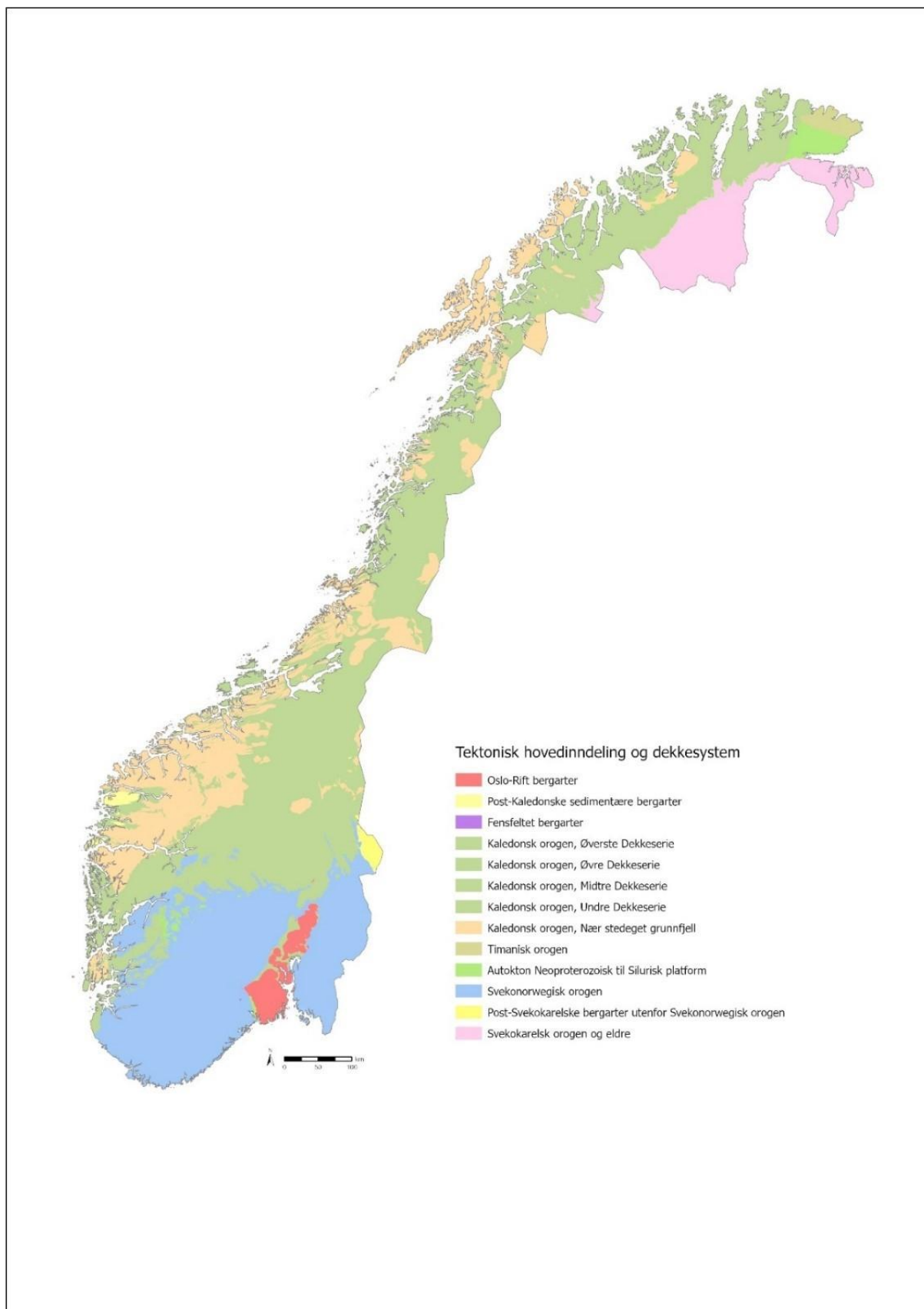
For å vurdere egnethet av berggrunnen til deponering av radioaktivt avfall er geografiske områder bestående av tektonostratigrafiske enheter, som generelt er kjennetegnet av heterogen og/eller oppsprukken berggrunn, fjernet. Berggrunnskartet gitt i figur 3.3, viser de gjenværende bergarter, tilhørende Svekonorvegisk orogen, Svekokarelsk orogen og nær stedegne bergarter i Kaledonsk orogen (symbolisert etter tektonostratigrafisk tilhørighet). I figur 3.4 er de symbolisert etter hovedbergart.

Videre er egnethet relatert til bergartstype vurdert etter bergartstyper som er kjennetegnet av relativt isotrope og homogene egenskaper (karakteristisk for krystalline dypbergarter og gneiser). For oversikt, se figur 3.5.

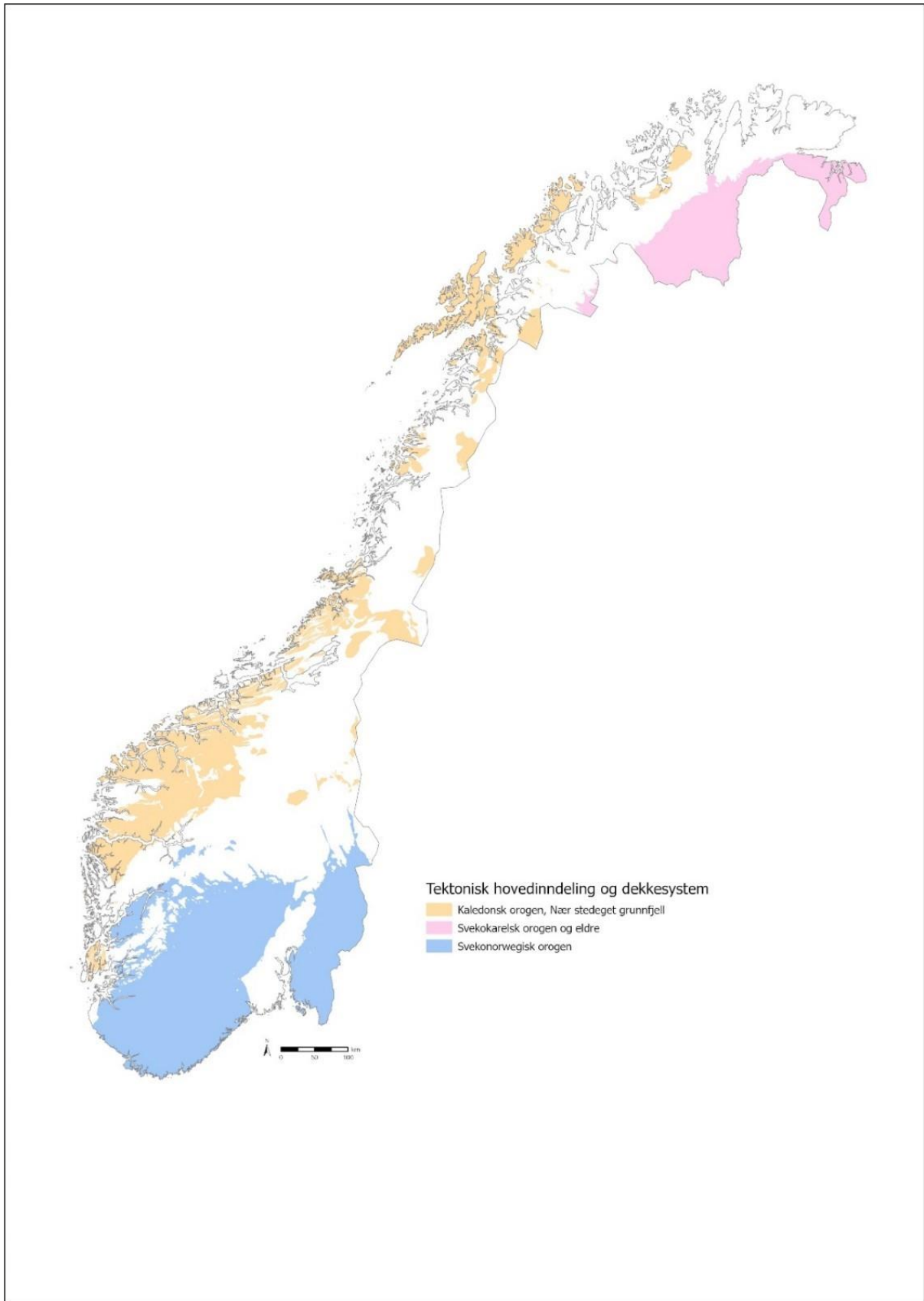
Merk at utført vurdering av egnet berggrunn er en relativt grov og generell utvelgelse, både mht. oppløsning (1:250 000) og karakterisering (som vist i figur 3.5). Det kan derfor finnes lokaliteter med egnet berggrunn innenfor områder som ikke er tatt med i denne utvelgelsen. For videre vurdering av aktuelle områder må det benyttes kart av høyere oppløsning (der dette er tilgjengelig), samt detaljert kartlegging i områder som er vurdert som egnet.



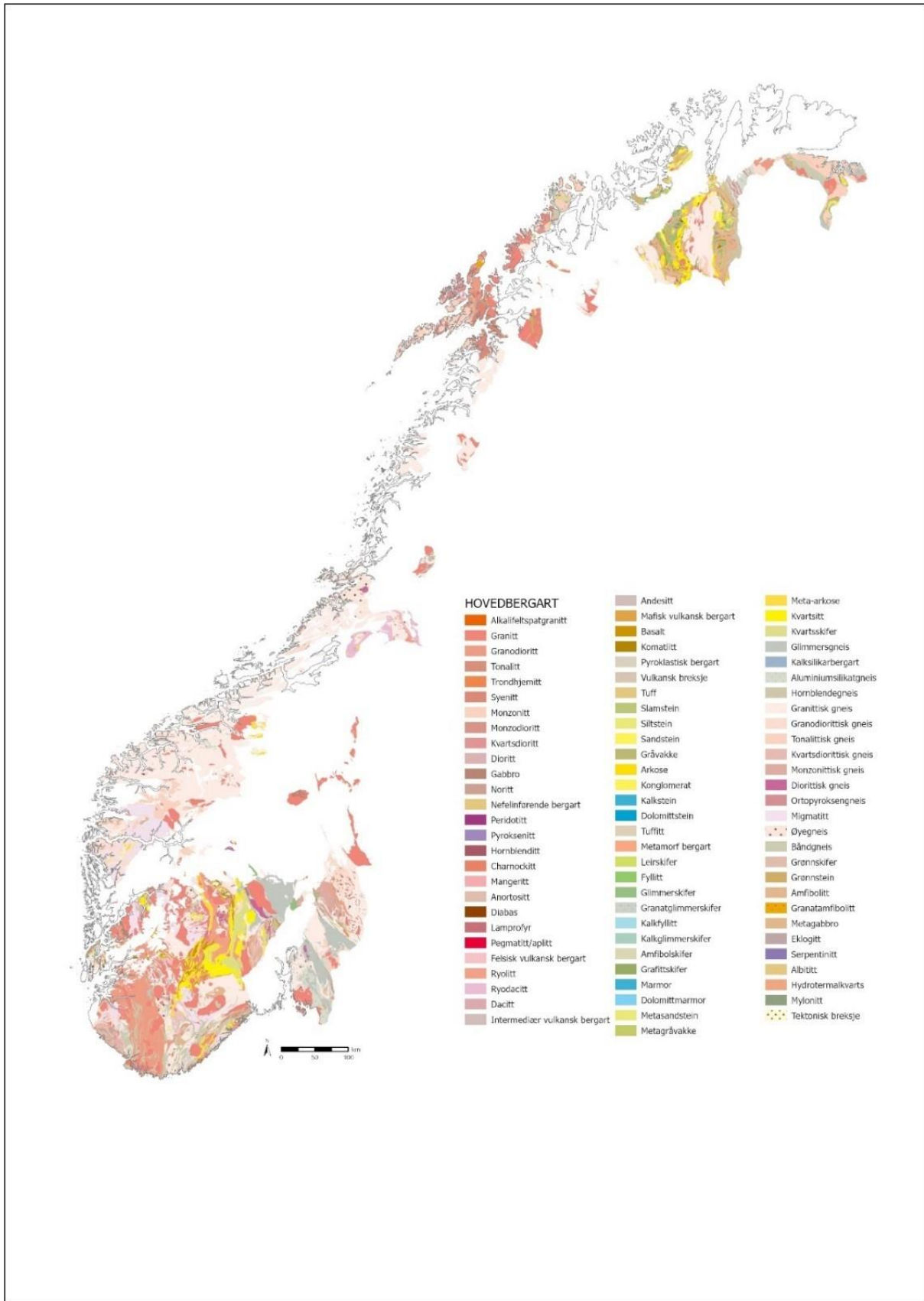
Figur 3.1 Kart over Norges berggrunn fra NGUs regionale kartserie med målestokk 1:250 000. Fargene på kartet viser til enhetens dominerende bergart (hovedbergart).



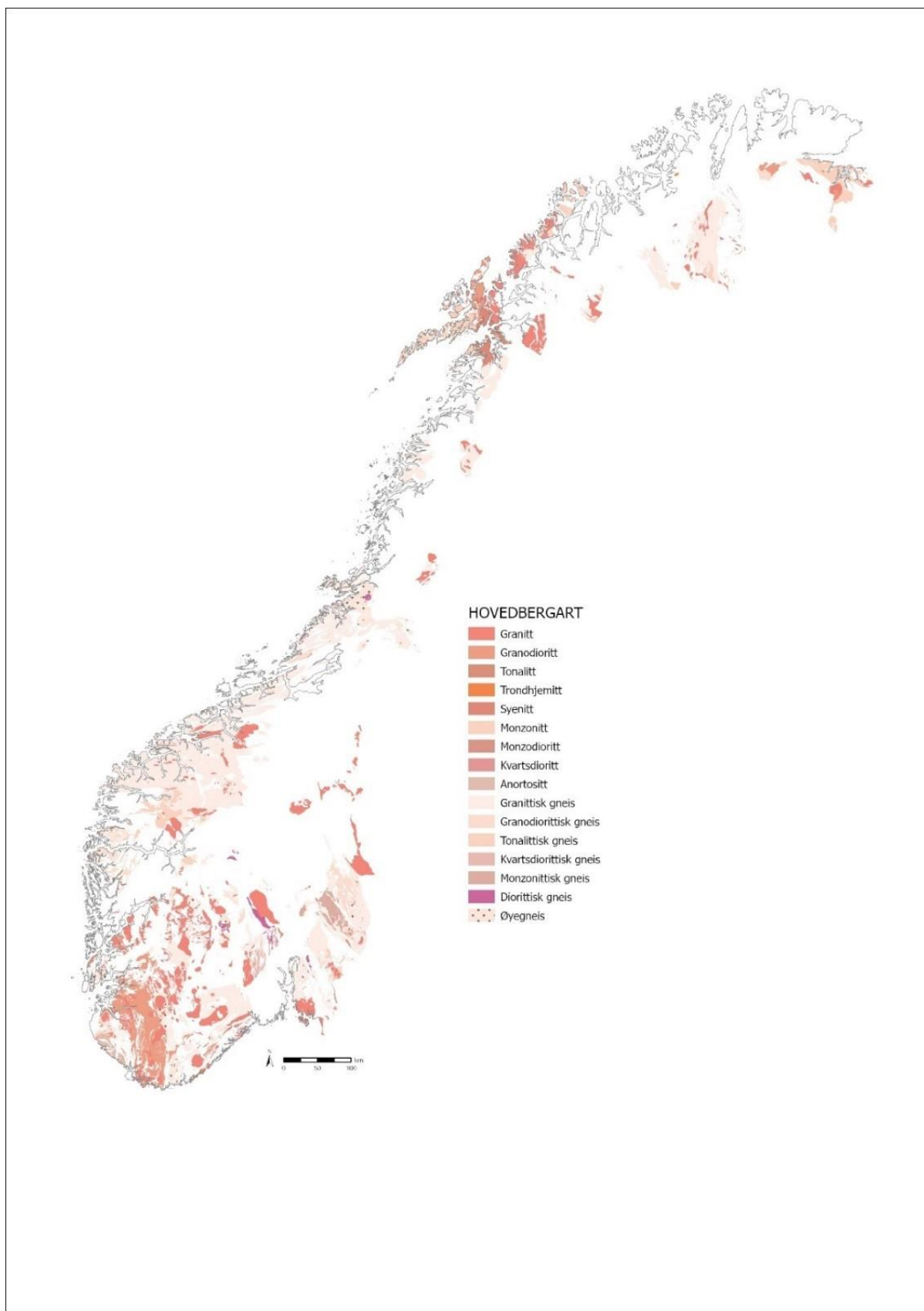
Figur 3.2 Kart over Norges berggrunn fra NGUs regionale kartserie med målestokk 1:250 000. Fargene på kartet viser en tektonostratigrafisk inndeling av berggrunnen basert på hvilken tektonisk hovedinndeling og eventuelt dekkesystem bergarten tilhører.



Figur 3.3 Utvalgte områder fra NGUs regionale berggrunnskart med målestokk 1:250 000 symbolisert med farger etter bergartens tektonostratigrafiske tilhørighet. Tektonostratigrafiske enheter som generelt er kjennetegnet av heterogen og/eller oppsprukken berggrunn er utelukket, og gjenværende bergarter tilhører Svekonorvegisk orogen, Svekokarelsk orogen og nær stedeagne bergarter i Kaledonsk orogen.



Figur 3.4 Utvalgte områder (tilsvarende figur 3.3) fra NGUs regionale berggrunnskart med målestokk 1:250 000 symbolisert med farger etter enhetens dominerende bergart (hovedbergart). Tektonostratigrafiske enheter som generelt er kjennetegnet av heterogen og/eller oppsprukken berggrunn er utelukket, og gjenværende bergarter tilhører Svekonorvegisk orogen, Svekokarelsk orogen og nær stedegne bergarter i Kaledonsk orogen.



Figur 3.5 Kartet viser en videre vurdering av berggrunnens egnethet, ved en generell utvalgelse av mest egnede bergarter fra figur 3.3 og 3.4. Utvelgelsen er basert på NGUs regionale berggrunnskart med målestokk 1:250 000, her symbolisert med farger etter enhetens dominerende bergart (hovedbergart). De utvalgte områdene består av krystalline dypbergarter og gneiser, tilhørende Svekonorveigisk orogen, Svekokarelsk orogen og nær stedegne bergarter i Kaledonsk orogen.

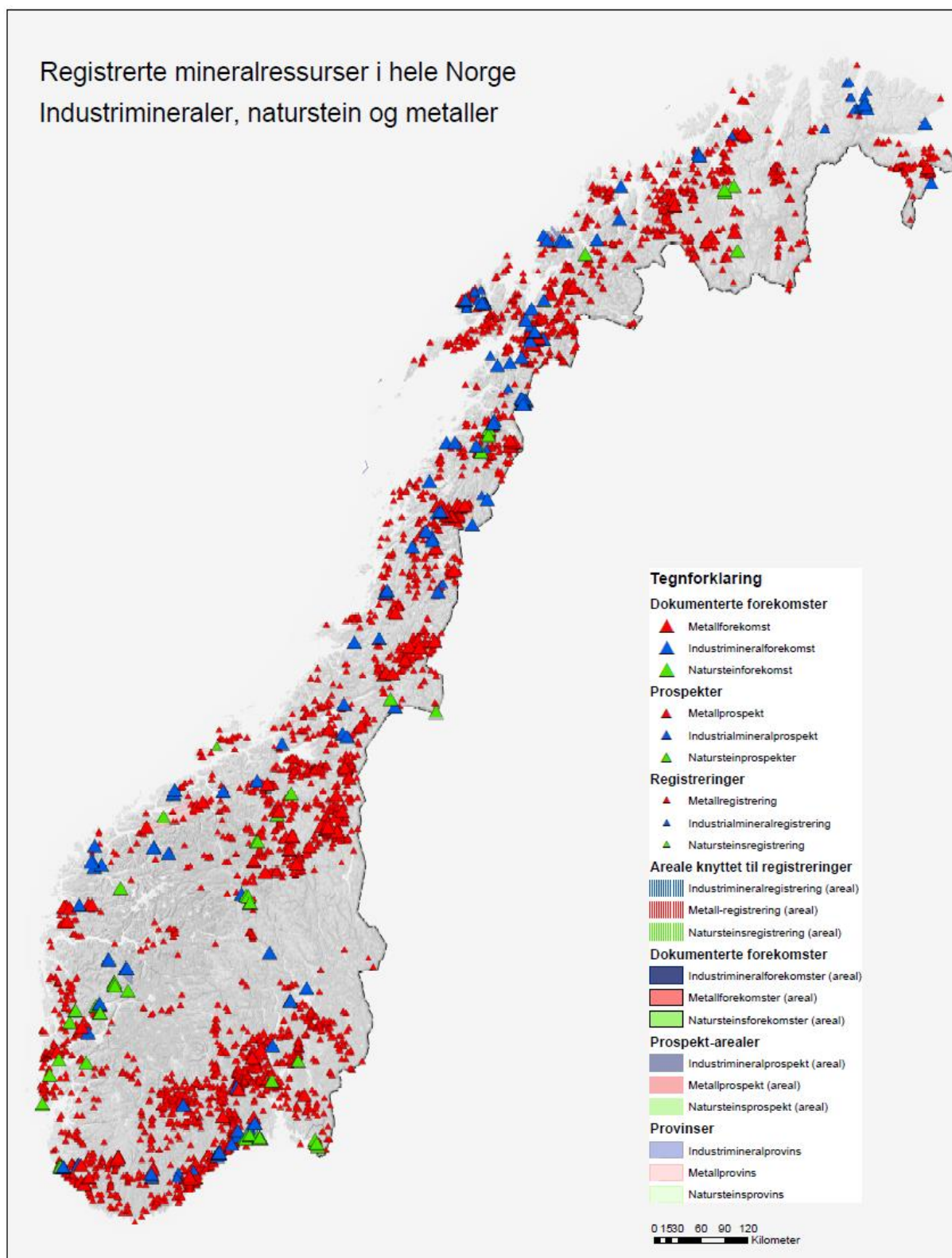
4. OVERSIKT FOR KJENTE FOREKOMSTER AV MINERALRESSURSER OG BYGGERÅSTOFFER

Agnes Raaness & Eyolf Erichsen

Mineralressurser og byggeråstoffer er en viktig ressurs i Norge, både for næringsutvikling og utbyggingsprosjekter. I forbindelse med det grønne skifte er fokuset på å finne flere mineralforekomster i Norge økende. Samtidig er det etablert store infrastrukturprosjekter rundt omkring i landet, som krever store mengder byggeråstoffer, et material som i kost-nytte perspektiv bør være korttransportert. Med dette bakteppet bør arealer i eller i nærheten av denne type forekomster ikke nedbygges for å etablere et deponi for radioaktivt avfall.

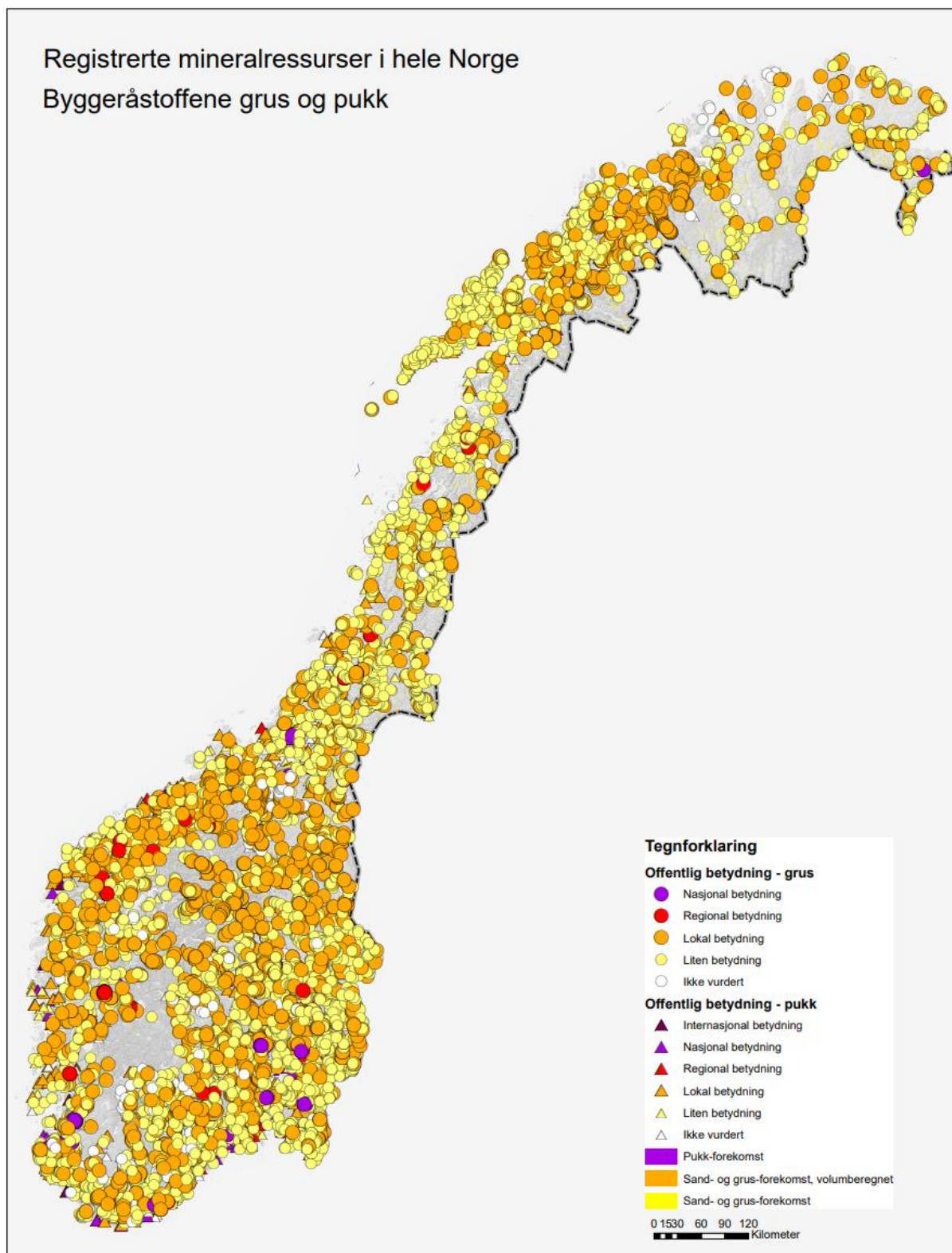
Datasettene (Figur 4.1, 4.2 og 4.3) illustrerer hvor det per i dag er registrert ulike typer mineralske råstoffer for industrimineraler, metaller og naturstein (mineralressurser), og pukk (knust berg), steintipper og grus (byggeråstoffer). Registreringene består av både punkt- og arealdata. Datasettene er landsdekkende, men ikke uttømmende, slik at det kan finnes mulige ressurser også i områder som ikke er markert.

Registrerte mineralressurser i hele Norge
 Industrimineraler, naturstein og metaller



Figur 4.1 Registrerte mineralressurser (industrimineraler, naturstein og metaller) i Norge.

Registrerte mineralressurser i hele Norge Byggeråstoffene grus og pukk



Figur 4.2. Registrerte mineralressurser Norge, byggeråstoffene grus og pukk (knust berg).

Merk at dataene vil inneholde en viss grad av tolkning og usikkerhet, og at mengde data for hver oppføring vil variere og endres over tid. Innholdet i databasene ajourføres og oppdateres kontinuerlig, og ny informasjon legges inn fortløpende etter hvert som informasjon tilgjengeliggjøres for NGU.

Viktige begreper (Med unntak av prospekt gjelder disse begrepene også for byggeråstoffene):

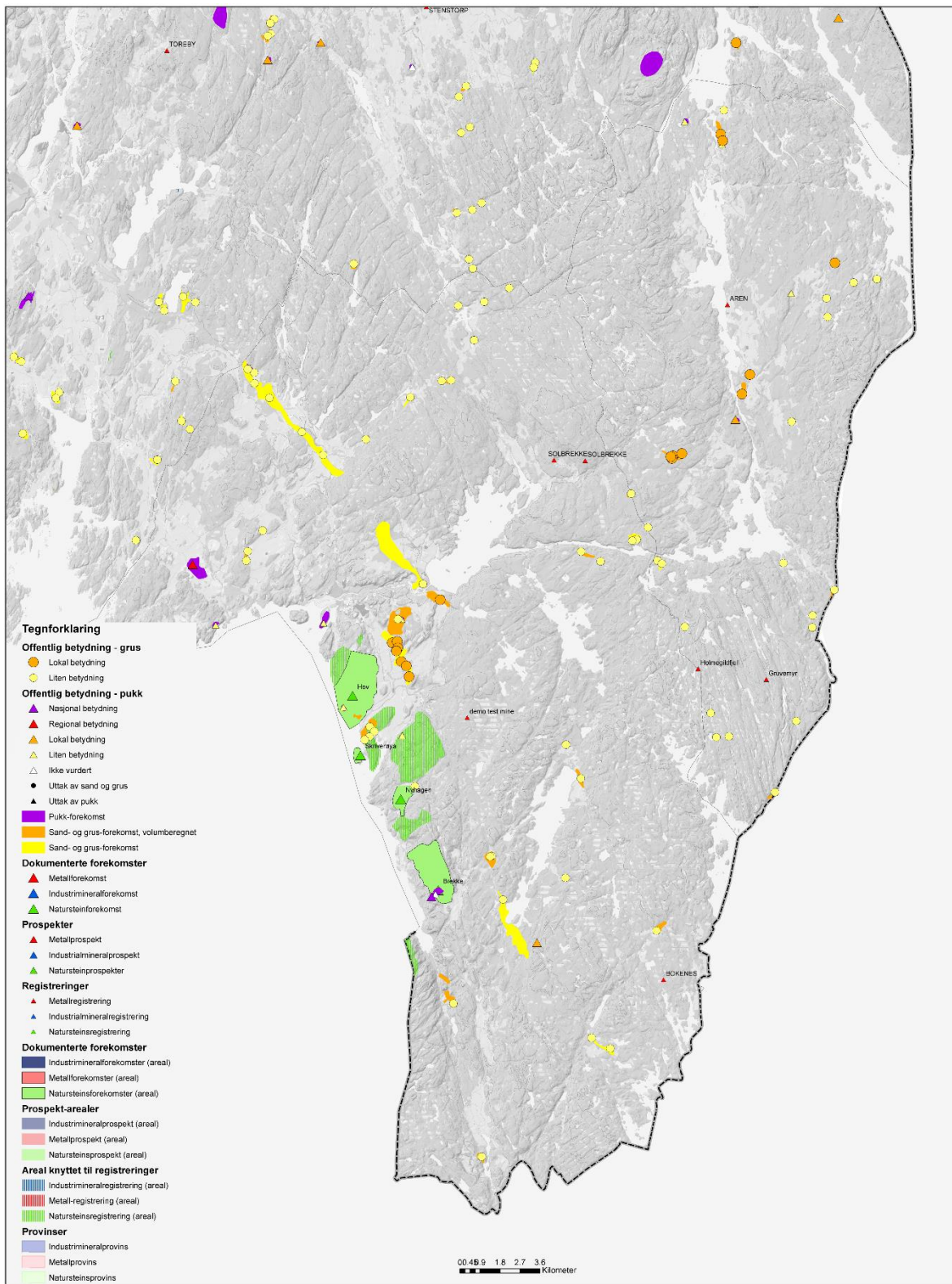
Forekomst: Et punkt med et arealfestet område (polygon) der det finnes en dokumentert ressurs, som antas å være økonomisk interessant og som enten er eller kan være utnyttbare i framtida. Klassifiseres etter offentlig betydning, basert på et sett standard kriterier. Klassene er internasjonal betydning, nasjonal betydning, regional betydning, lokal betydning og ikke vurdert. NGU anbefaler at siste kategori blir vurdert før annen arealbruk fastsettes.

Prospekt: Et punkt med et arealfestet område (polygon) med høy sannsynlighet for funn av hittil lite eller ikke-dokumenterte økonomisk interessante mineralressurser. Et prospekt er et område der NGU vil anbefale nærmere ressursgeologiske undersøkelser før annen arealbruk fastsettes.

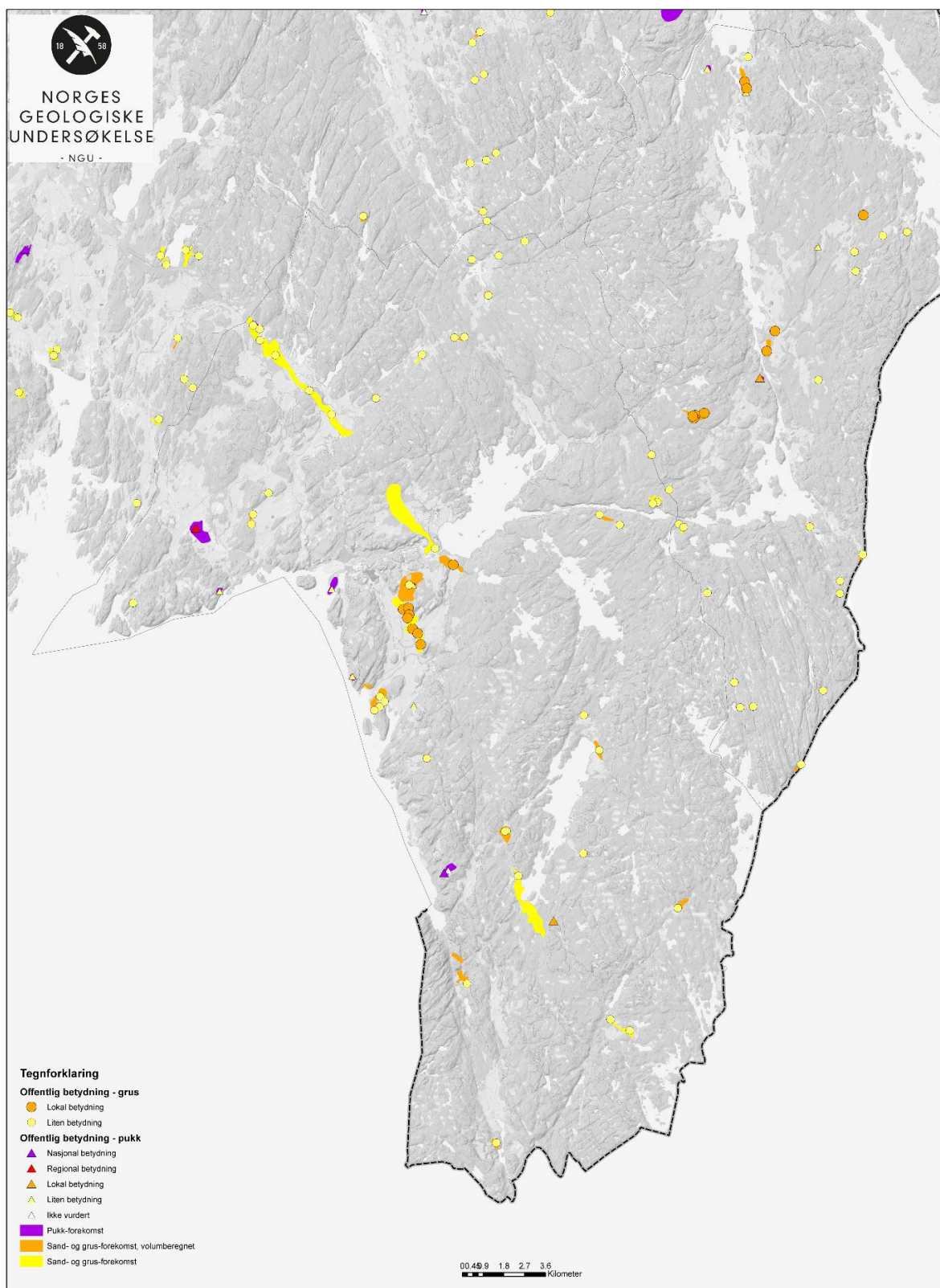
Registrering: Et punkt med eller uten et arealfestet område (polygon), der det er observert og/eller analysert forhøyede verdier av utvinnbare mineraler. Kan inneholde lite eller mye informasjon, og kan også inkludere gamle skjerp, nedlagte gruver og massetak.

Provins: En mineralprovins er et eller flere arealfestede områder (polygoner) der det finnes forhøyede muligheter for funn av angitte mineralressurser. En mineralprovins kan omkranse en eller flere forekomster, prospekter og registreringer. For flere detaljer, se [NGU rapport 2018.008](#).

I kommunene Halden og Aremark, er det særlig områdene ved Idd som skiller seg ut (viktige områder for naturstein, samt noe pukk). I tillegg ligger det en rekke dokumenterte (volumberegnete) grusforekomster i området, som er viktige for lokale formål.



A

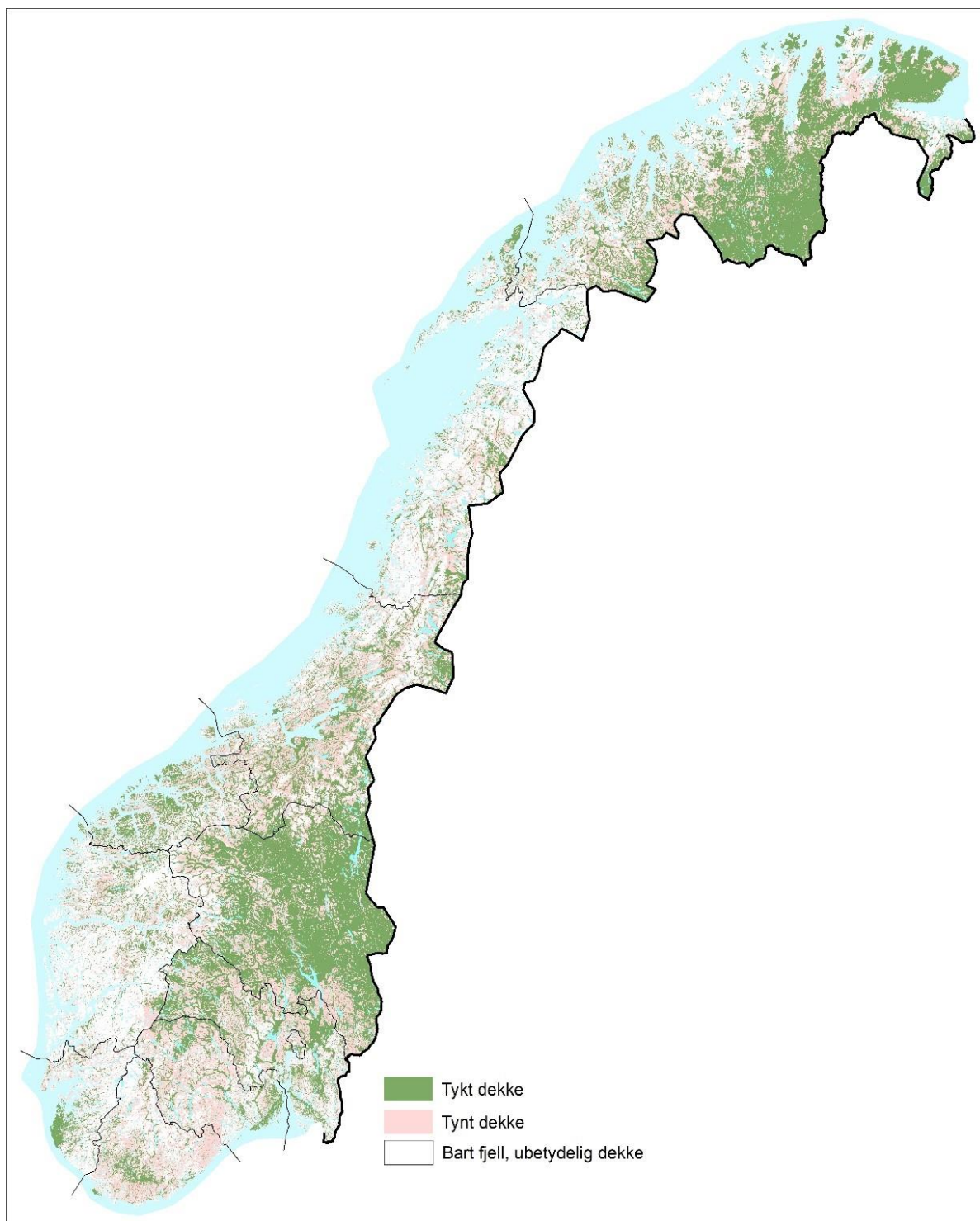


Figur 4.3 Zoom inn til Halden og Aremark viser områdene ved Idd som skiller seg ut (figur 4.2A). Figur 4.2B viser ellers en rekke spredte dokumenterte forekomster.

5. LØSMASSER OG SEDIMENTMEKTIGHET I NORGE

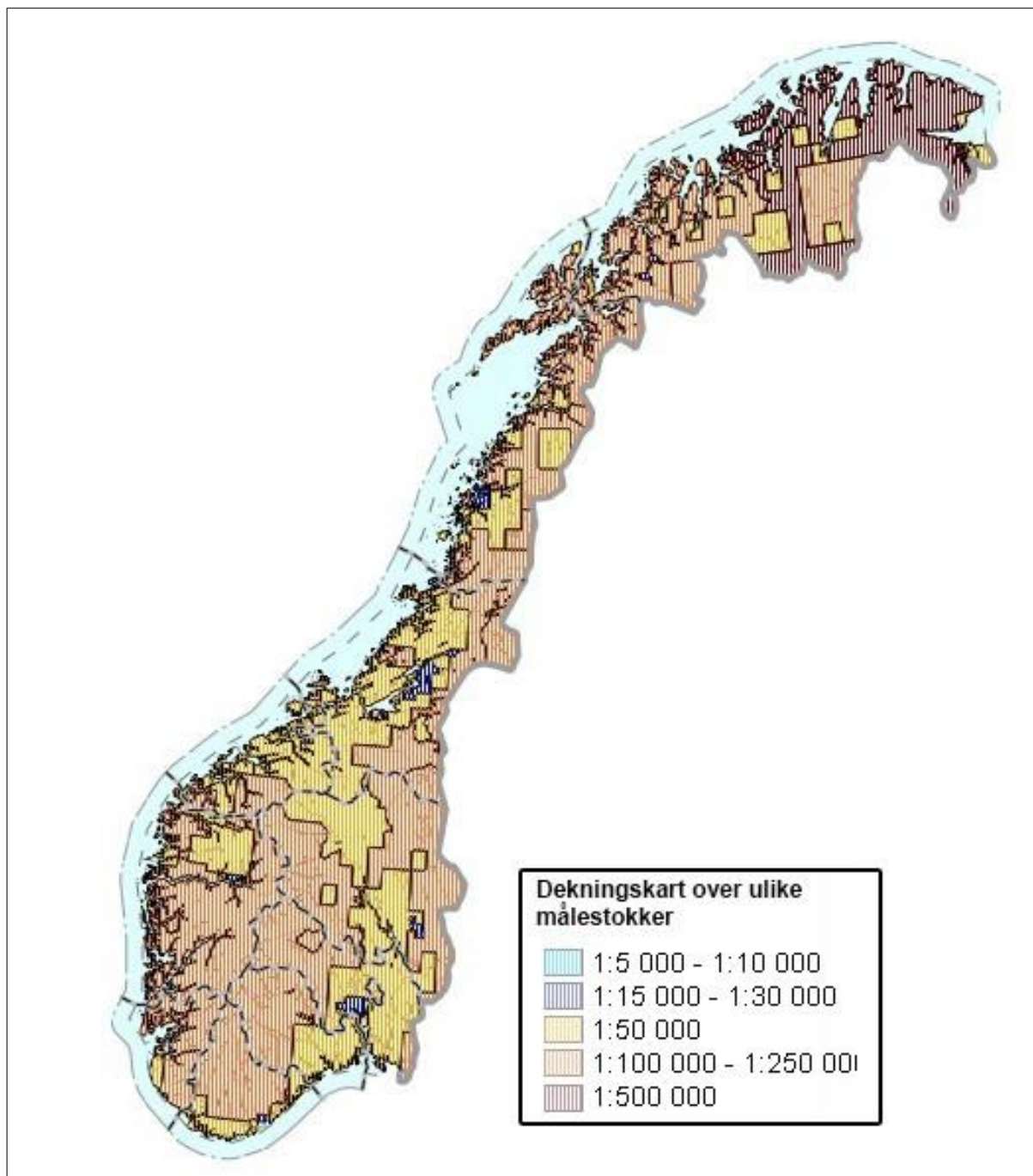
Fredrik Høgaas & Mikis van Boeckel

Relativ sedimentmektighet sammensatt ut fra best tilgjengelig kartlegging i de ulike områdene er vist i figur 5.1. Sedimentmektighet grupperes i tykt (>1 m mektighet), tynt (0-1 m mektighet) og ubetydelig (bart fjell) dekke. Sedimentmektigheten innenfor det som defineres som tykt dekke kan være fra noen få meter til mange titalls eller hundretalls meter. Merk at områder gruppert som «tykt dekke» ikke sjelden har en sedimentmektighet mellom 1-10 m. Det er derfor viktig å ikke automatisk utelate områder utelukkende basert på grupperingen «tykt dekke», men utføre mer detaljerte undersøkelser, som for eksempel et dybde-til-fjell-kart, dersom arealene samlet sett er interessante.



Figur 5.1 Landsdekkende kart med relativ sedimentmektighet.

Det er ikke etablert sedimentmektighet for hele landet, men i mange tilfeller data som gir indikasjoner på dyp til fjell. En oversikt over dekningsgrad mht. kartlegging for løsmasse er vist i figur 5.2. Kartet er presentert i skala 1:1 million, og er produsert ved en grov generalisering av løsmassene. Målestokken (1 millimeter på kartet=1 km i terrenget) gir en pekepinn på hvor grovt fremstilt det er. Kartet bør kun brukes for å få en oversikt over løsmasser i Norge, og har ellers liten praktisk nytte.



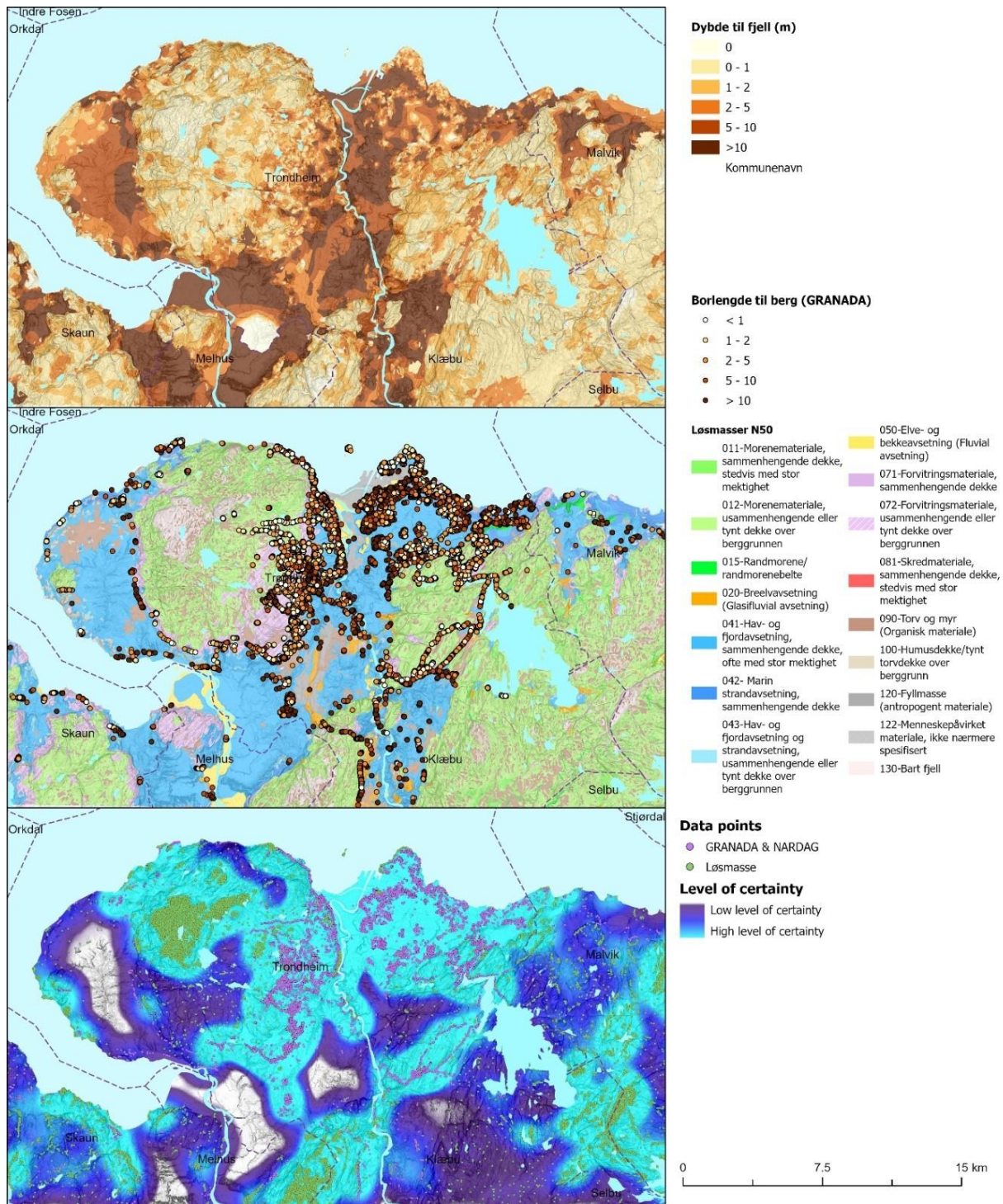
Figur 5.2 Dekningskart over ulike kartleggingsmålestokker (Kilde: http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/).

Fylkeskart utgjør neste detaljgrad, gjerne i 1:250 000 til 1:500 000 skala. I noen tilfeller er det satt sammen kart over fylker, basert på eksisterende kartlegging og tolkning ved hjelp av flyfoto og LiDAR. Kartene er også her grovt generaliserte, og gir kun en generell oversikt over løsmassene innenfor et større område. Både for det nasjonale kartet og fylkeskartene oppgis det ikke stratigrafipunkter og lignende, som kan gi indikasjoner på dyp til fjell.

Detaljkartlegging av løsmasser foregår på 1:50 000 skala eller finere. Førstnevnte er den mest utbredte skalaen og den mest hensiktsmessige med tanke på balansen mellom arealkartlegging og geologisk forståelse av et større område. Det er ofte blitt utført kartlegging innenfor spesifikke kartblad, slik de ble definert i Kartverkets M711-serie. Hvert kartblad er om lag 700 km² stort og det gjenstår store arealer før Norge er kartlagt i denne målestokken. Finere skala inkluderer 1:20 000 til 1:5000 og er som regel utført i områder utsatt for skredhendelser eller i forbindelse med skredproblematikk innenfor mindre områder. Slik detaljert kartlegging er som regel utført i svært begrensede geografiske områder. For detaljkartlegging (1:50 000 og finere) av løsmasser forekommer det stratigrafipunkt med sedimentlagfølger, og eventuelt dyp til fjell, der hvor denne informasjonen er tilgjengelig.

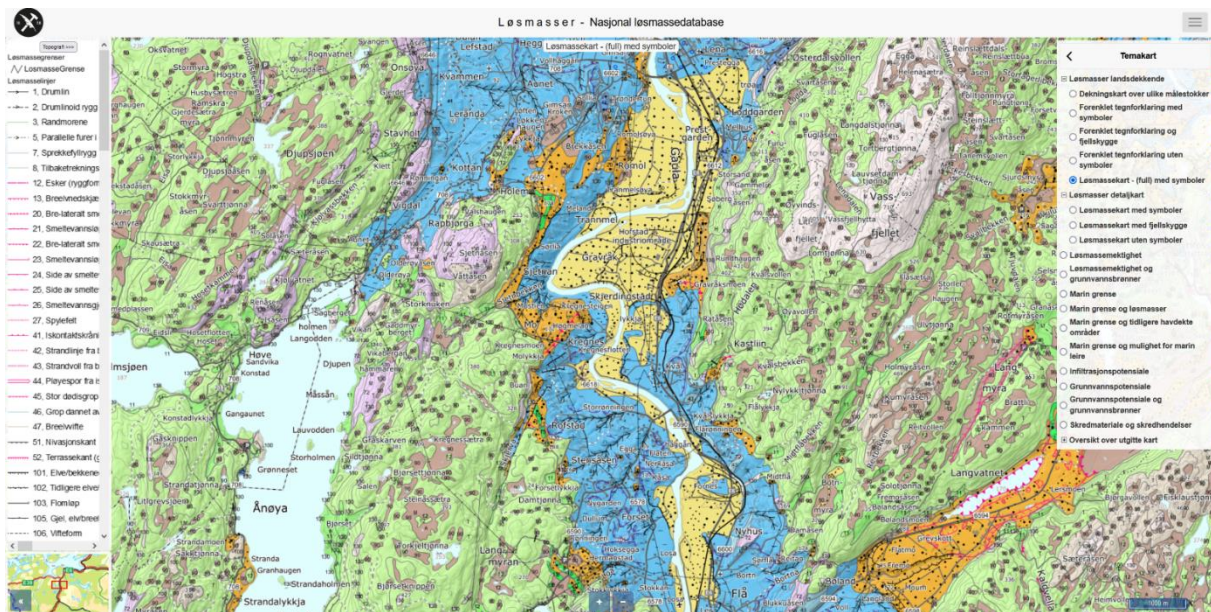
Vi anslår at mindre enn 30% av fastlands-Norge er dekket i målestokk 1:50 000 eller finere (detaljkartlegging, inkludert stratigrafipunkt med sedimentlag, og eventuelt dyp til fjell, der denne informasjonen er tilgjengelig). Et nasjonalt dekningskart over ulike målestokker er gitt i NGUs løsmassedatabase (http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/) -> temalag «Dekningskart over ulike målestokker».

Ved behov for økt detaljeringsgrad innenfor spesifikke områder, kan det utarbeides sedimentmektighetskart avledet fra borehullsdata fra den nasjonale grunnvannsdatabasen, GRANADA (https://geo.ngu.no/kart/granada_mobil/) og den nasjonale databasen for grunnundersøkelser, NADAG (<https://geo.ngu.no/kart/nadag/>), bakkegeofysikk (https://geo.ngu.no/kart/geofysikk_mobil/) og løsmassekart (se Figur 5.4). Disse kildene vil gi et omtrentlig bilde av dyp til fjell, i og med at kartet er et resultat av interpolering mellom datapunktene som finnes.



Figur 5.4 Konsept av modellert dyp til fjell (øverst), basert på borehulls-, geotekniske- og løsmassedata (midten) med usikkerhetsanalyse (nederst). Utarbeidet av Mikis van Boeckel, NGU.

I NGUs løsmassedatabase (http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/) vil detaljeringsgraden/ andelen tilgjengelige data øke ved zooming til riktig nivå (for eksempel, se Figur 5.5)



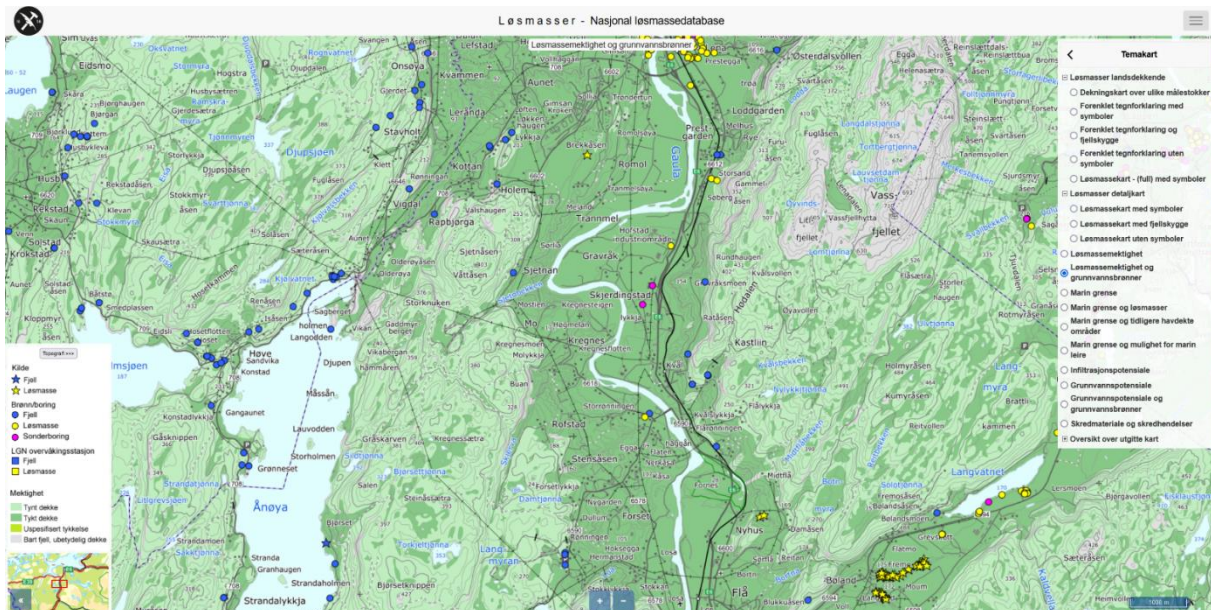
Figur 5.5 Kvantærgeologisk kart (Kilde:NGUs løsmassedatabase)

I samme database finnes temakartet «Løsmassemektighet» (se figur 5.6) Dette er et temakart som er avledet av data gitt i figur 5.4. Merk overlapp i sonene mellom de ulike temakartene, samt at det ikke defineres «hvor tykke» eller «tynne» de respektive sonene er.



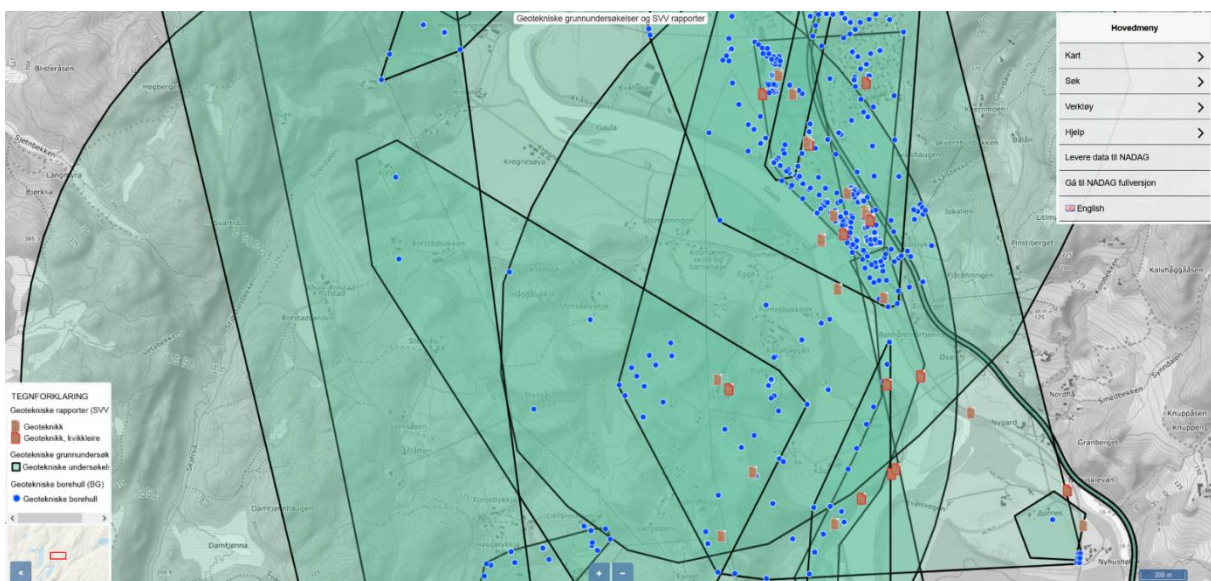
Figur 5.6 Temakartet løsmassemektighet (Kilde:NGUs løsmassedatabase).

For temalaget «Løsmassemektighet og grunnvannsbrønner» i samme database, se figur 5.7. Her inkluderes blant annet grunnvannsbrønner i kartbildet. Hver punktregistrering har undersøkelsesrapporter tilknyttet, der blant annet dyp til fjell framgår. Grunnvannsbrønnene kan også ses i GRANADA-databasen (https://geo.ngu.no/kart/granada_mobil/)



Figur 5.7 Temakartet grunnvannsbrønner og løsmassemengde (Kilde:NGUs løsmassedatabase).

Nasjonal database for grunnundersøkelser (NADAG - http://geo.ngu.no/kart/nadag_mobil/) kan også inneholde relevant informasjon (Figur 5.8). Databasen inkluderer en rekke geotekniske undersøkelser og rapporter fra ulike aktører.



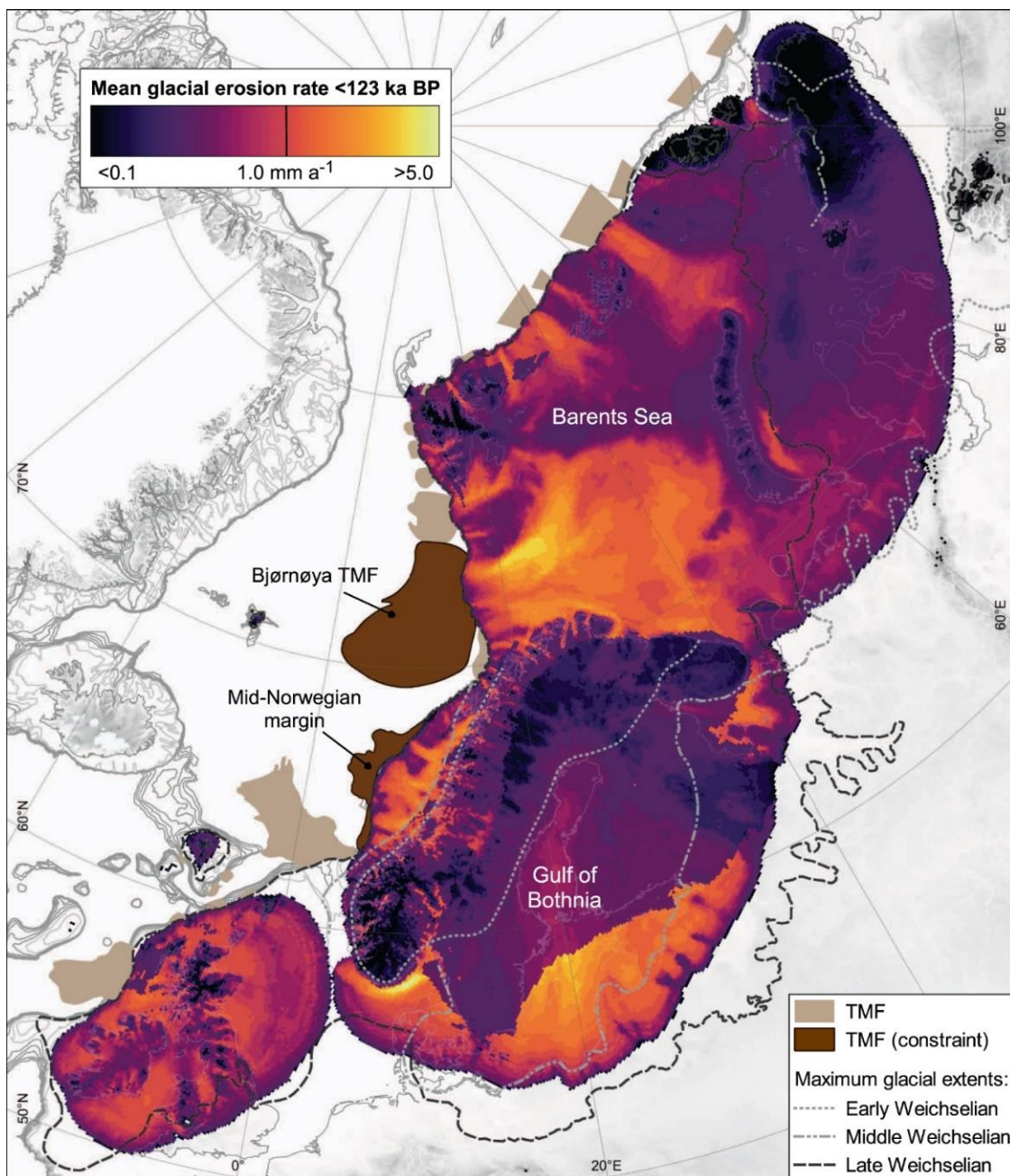
Figur 5.8 NADAG inkluderer en rekke geotekniske undersøkelser og rapporter fra ulike aktører, ofte med informasjon om dybde-til-fjell.

5.1 Glacial erosjon

Isbreer kan i mange tilfeller erodere landskapet kraftig, og har i løpet av istidene dannet dype innsjøer, daler og fjorder. Bre-erosjon er kraftigst under «temperert» is, noe som innebærer at temperaturen under breen er over trykksmeltepunktet. Inni og under tempererte breer renner det dermed vann og breene «sklir» over landskapet. Bre-erosjonen er mindre kraftig under «kald-basert» is, noe som gjenspeiler at temperaturen under breen er under trykksmeltepunktet og at breene er frosset fast til underlaget. Temperatur-regimet i tidligere isbrekker har variert, og erosjonen under breene har variert deretter. Innenfor få kilometer

kan bre-erosjonen ha vært helt forskjellig, noe som over tid kan gi store utslag i landskapsformer. Å forstå hvordan bre-erosjon har foregått i fortiden er dermed viktig informasjon for å forstå hvordan erosjonen vil te seg under kommende istider.

Figuren nedenfor viser gjennomsnittlig bre-erosjon i ulike sektorer av isbrekappen under siste istid (Weichsel). Utbredelsen av isdekket i ulike perioder av Weichsel er angitt med stiplede linjer. I områdene innenfor maksimal utbredelse (uten fargekode) var det en netto akkumulasjon av materiale. Resultatene fra denne studien viser at det var store geografiske forskjeller med tanke på glacial erosjon under Weichsel. Deler av sokkelen og i fjorder og daler viser opp mot 5 mm erosjon per år, mens mange innlandsområder har ned mot 0,1 mm erosjon per år.



Figur 5.9. Gjennomsnittlig breerosjon over den siste istiden (Weichsel), fra Patton et al. (2022).

Halden og Aremark kommuner ligger nær (<50 km) starten på den undersjøiske fordypningen «norskerenna», som rommet en gigantisk isstrøm under siste istid. I norskerenna var den glasiøse erosjonen svært høy, mens den i områdene rundt var mer beskjeden. Hvordan breerosjonen under neste istid vil utvikle seg her, er ukjent. Ut fra en enkel beregning basert på de modellerte erosjonsratene fra siste istid, vil den totale erosjonsdybden for fremtidige istider for Halden og Aremark variere mellom noen få til flere ti-talls meter, avhengig av varigheten av isdekket og lokale forhold. Det er imidlertid ikke usannsynlig at det oppstår tilbakeskridende erosjon mot øst i norskerenna, noe som fører til at erosjonsdybden for fremtidige istider i kommunene kan bli langt høyere. Effekten av breerosjon avhenger imidlertid av en rekke ulike faktorer og det kreves mer inngående undersøkelser for å få oversikt over hvordan erosjonen vil foregå under fremtidige istider.

6. GRUNNVANNSFOREKOMSTER I NORGE

Atle Dagestad

Over alt i undergrunnen i Norge finnes det grunnvann. Sammenliknet med mange andre land i Europa er grunnvannsforekomstene og vannforsyningspotensialet i Norge betydelig mindre. Dette har sammenheng med at berggrunnen i all hovedsak består av tilnærmet tette krystalline bergarter uten primær porøsitet (til forskjell fra sandsteiner), der grunnvannet strømmer og lagres i sprekker og forkastninger i berget. Det finnes også begrenset med store løsmasseavsetninger i Norge, noe som har sammenheng med at landet har vært nediset i flere periode i nyere geologisk tid, der de glasiære prosesser har erodert og transportert løsmasser ut i de omliggende havområdene.

De største og viktigste grunnvannsforekomstene i Norge finnes i fluviale løsmasser avsatt i forbindelse med nedsmeltingen av den store innlandsisen som dekket landet under siste istid. Store breelver transporterte og avsatte isranddelta og randåser med grov sand og grus i front av brearmene (eks. Gardermoavsetningen). Etter hvert som landhevingen skred fram under og etter nedsmeltingen av innlandsisen kunne disse breelvavsetningene igjen bli erodert av elver, og nye lavereliggende elveavsetninger bli avsatt. De fleste større breelv og elveavsetninger finnes langs dalganger og innerst i fjorder der elvene møtte havet. Der disse avsetningene ikke er drenert, men står i kontakt med vassdrag eller innsjøer, kan de utgjøre en betydelig grunnvannsforekomst.

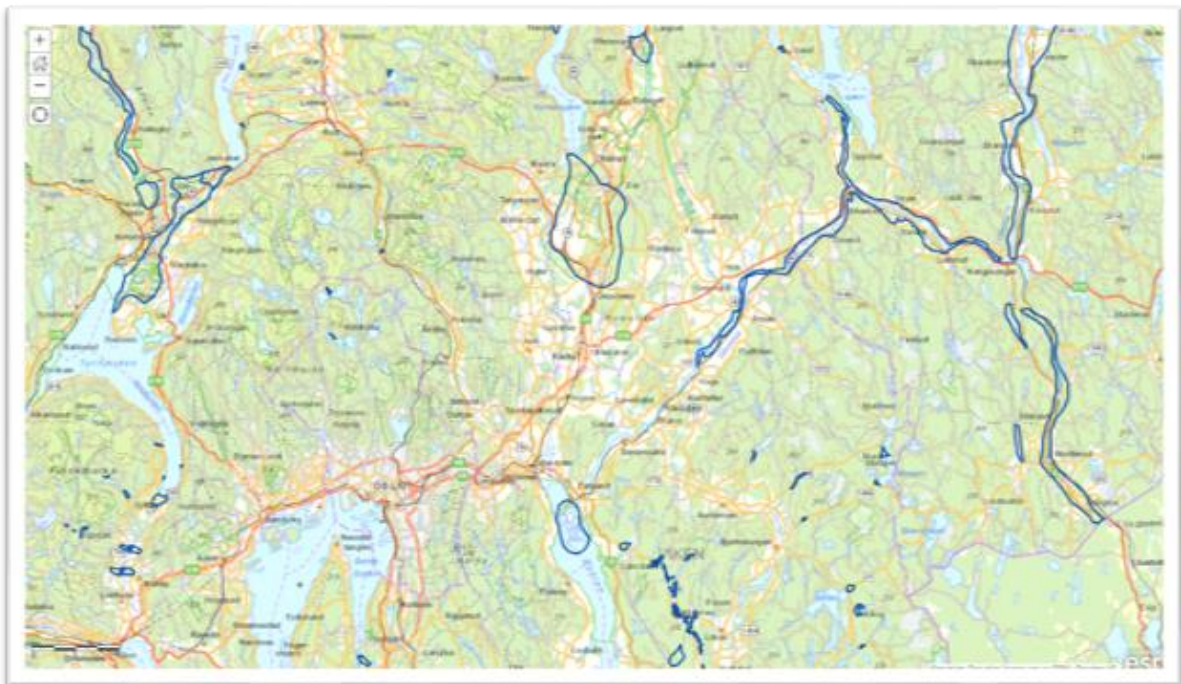
NGU har over tid kartlagt og undersøkt mange grunnvannsforekomster, hovedsakelig for å finne egnede områder for uttak av grunnvann til drikkevannsforsyning eller industrielle formål. Denne kartleggingen har vært fokusert til avgrensede områder av større grunnvannsforekomster, gitt av stedege forhold som lokalt vannbehov og tilgang til egnete arealer uten forurensingsbelastning fra ulike aktiviteter (eks. jordbruk, infrastruktur og urbanisering). Som følge av dette er det bare begrensede områder innen større grunnvannsforekomster som på nasjonalt nivå er tilstrekkelig kartlagt for å avgrense romlig utstrekning og estimere vanngevingspotensialet.

Implementeringen av EUs vanddirektiv i norsk vannforvaltning, og påfølgende utarbeidelse av den nasjonale [Vannforskriften](#), medførte krav om å kartlegge kjemisk tilstand og avgrense samtlige grunnvannsforekomster i landet. Manglende nasjonal kartlegging på grunnvannsforekomstnivå, kombinert med et betydelige antall små grunnvannsforekomster i Norge, medførte behov for forenkling gjennom sammenslåing av flere mindre grunnvannsforekomster til større, regionale administrative grunnvannsforekomster. Den største forenklingen var likevel å utelukke grunnvannsforekomster i berggrunnen og kun fokusere avgrensingen av grunnvannsforekomster i elv- og breelvavsetninger. På bakgrunn av disse forenklingene og sammenslåingene er det utarbeidet et nasjonalt kart over administrative grunnvannsforekomster, og hver enkelt forekomst kan søkes opp på nettsiden [Vann-Nett](#).

Det vedlagte kartgrunnlaget (Figur 6.1 og 6.2) med anviste grunnvannsforekomster i Norge er basert på grunnvannsforekomster registrert i Vann-Nett (www.vann-nett.no/portal/) per mai 2022.



Figur 6.1 Administrative grunnvannsføremster for Sør-Norge registrert i portalen Vann-Nett.



Figur 6.2 Administrative grunnvannsføremster for det sentrale østlandsområdet registrert i portalen Vann-Nett.

7. AKTSOMHETSKART FOR FJELLSKRED I NORGE

Francois Noël & Martina Böhme

For de fleste skredprosesser (snøskred, steinsprang og jord- og flomskred) eksisterer det aktsomhetskart som er åpent tilgjengelig via NVE Atlas. Derimot finnes det per i dag ingen landsdekkende aktsomhetskart for fjellskred. NGU har siden 2005 systematisk kartlagt ustabile fjellparti i Norge på oppdrag fra, og i samarbeid med, NVE. Målet med kartleggingsaktiviteten er å identifisere alle ustabile fjellparti der en katastrofal kollaps er mulig. Dette har resultert i en omfattende database med kjente ustabile fjellpartier. Databasen som har blitt brukt i denne leveransen inneholder 504 ustabile fjellpartier over hele landet. Merk at ikke alle områder i Norge har blitt systematisk analysert, og det kan finnes flere ustabile fjellpartier som ikke er inkludert i datasettet her. En systematisk analyse av ustabile fjellpartier har per i dag bare blitt gjennomført i Møre og Romsdal, Rogaland og de gamle fylkene Sogn og Fjordane og Troms.

Leveransen (Figur 7.1) inneholder kjente ustabile fjellpartier med utløps- og flodbølgeområder, samt et lag som viser områder som har den nødvendige topografien som teoretisk trengs for å utvikle ustabile fjellparti. Beregningen til utløps- og flodbølgeområdene har blitt utført med konservative metoder og er ment for en grov oversiktskartlegging (~1:250 000). Områdene kan ikke brukes til å planlegge plassering av et anlegg i detalj. Når et relevant område er valgt, må det undersøkes i detalj for eventuell skredproblematikk.

Innhold i leveransen:

Topografisk aktsomhet – Ustabil fjellparti: Dekker alle områder som tilfredsstillende nødvendige topografiske kriterier som teoretisk må ligge til grunn for at et ustabil fjellparti kan utvikles. I alle områder som ligger nedenfor et mulig ustabil fjellparti må det utvises aktsomhet for fjellskred. Det betyr at det bør utføres en analyse av fjellssidene med fokus på tegn til endringer (gravitativ deformasjon).

Analysen er basert på en høydemodell med 10 m oppløsning. Som topografiske kriterier er det brukt skråningsvinkel og lokalt relieff. Terskelverdier har blitt definert ved å analysere de topografiske kriteriene for alle registrerte ustabile fjellparti.

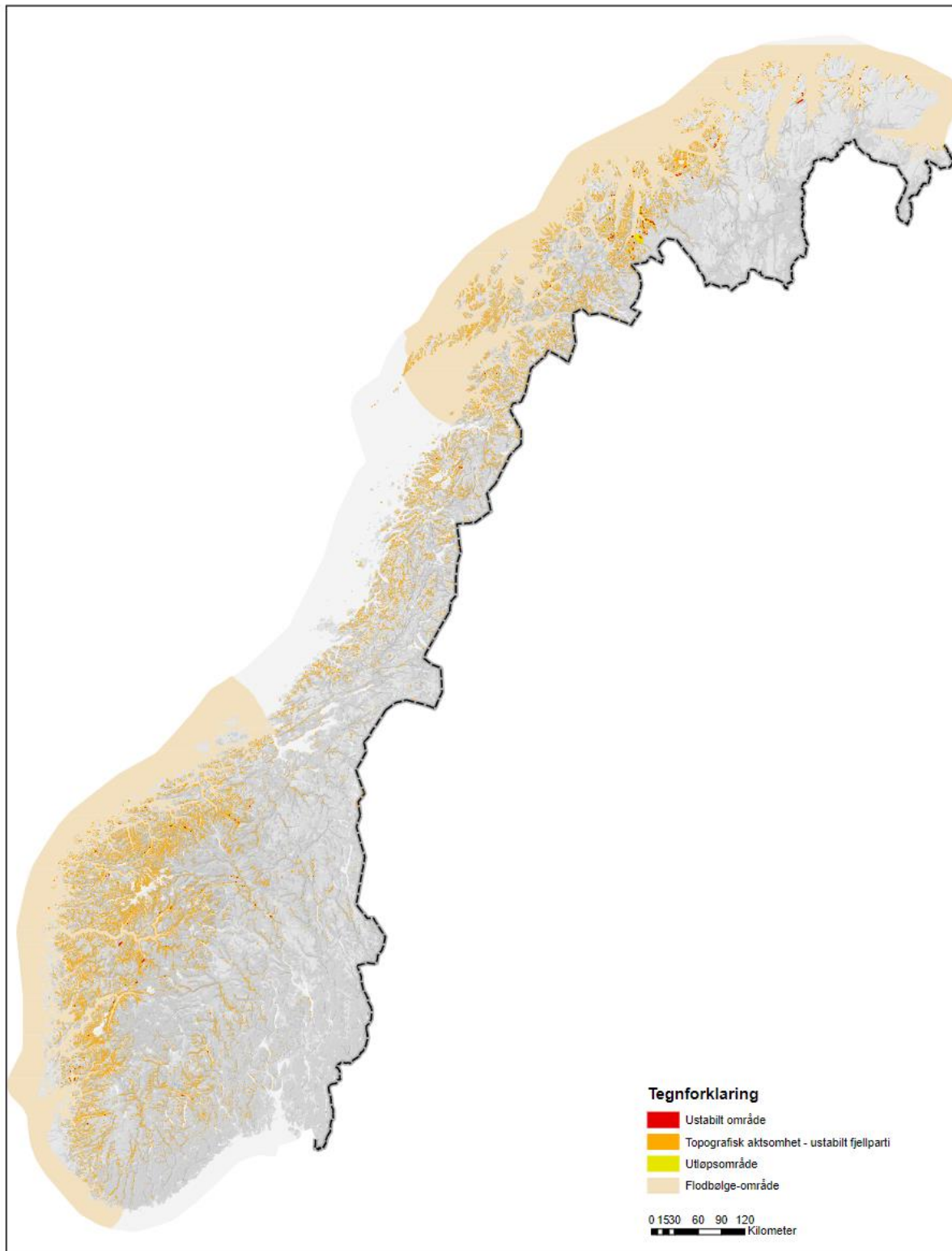
Ustabil område: Omtrentlig utstrekning av alle registrerte ustabile fjellparti (504 per januar 2022). Områdene har blitt kartlagt basert på flybilder, høydemodell (1 m oppløsning) og InSAR data.

Utløpsområde: Området nederst i skredbanen, der skredet bremses opp og stopper. Utløpsområdet til alle registrerte ustabile fjellparti (per januar 2022) er basert på en enkel vurdering med programvaren Flow-R 2 (Horton o.a., 2013). Modelleringen er basert på nasjonal 10 m høydemodell. Utløpsrekkevidde er basert på en enkel volumestimering til det ustabile fjellpartiet og Scheidegger ligningen (Corominas, 1996).

Flodbølgeområde: Indikerer fjorder som kan berøres av en flodbølge ved kollaps av et av de registrerte ustabile fjellpartiene.

Det er benyttet en empirisk modell til å beregne bølgehøyden (SPLASH - Oppikofer o.a., 2019). Områdene er begrenset til en minste bølgehøyde på 3 m. Det maksimale skredvolumet som når fjorden er begrenset til 50 millioner m³, selv om enkelte ustabile

fjellpartier har et større volum. Oppskyllingsområdene på land og mulig nedstrøms flom som kan oppstå fra flodbølger i innsjøer, er ikke vurdert.



Figur 7.1. Oversikt som viser ustabile fjellparti, kartlagt basert på flybilder, høydemodell (1 m oppløsning) og InSAR data, sammen med flodbølgeområde beregnet ved bruk av den empiriske modellen SPLASH.

8. JORDSKJELV OG SEISMISITET I NORGE

Odleiv Olesen & Jomar Gellein

Norge har liten og middels jordskjelvaktivitet (Bungum o.a. 2000, Lindholm 2017). Figur 8.1A og 8.1B viser registrerte jordskjelv i Norden i periodene 1400-1980 og 1980-2011. Kartet for den første perioden (1400-1980) er i stor grad basert på rapporterte skjelv fra befolkningen, og har derfor flest skjelv i Sør-Norge og Sør-Sverige. Kartet for den seneste perioden (1980-2011) er basert på registreringer fra digitale seismometre og er derfor mer pålitelig.

Tidsperioden er derimot mer begrenset, og dette kartet har derfor også en usikkerhet. Figur 8.1B viser at Sør-Øst-Norge har middels seismisitet. De fleste jordskjelv i Norge opptrer på kysten av Vestlandet og Nordland.

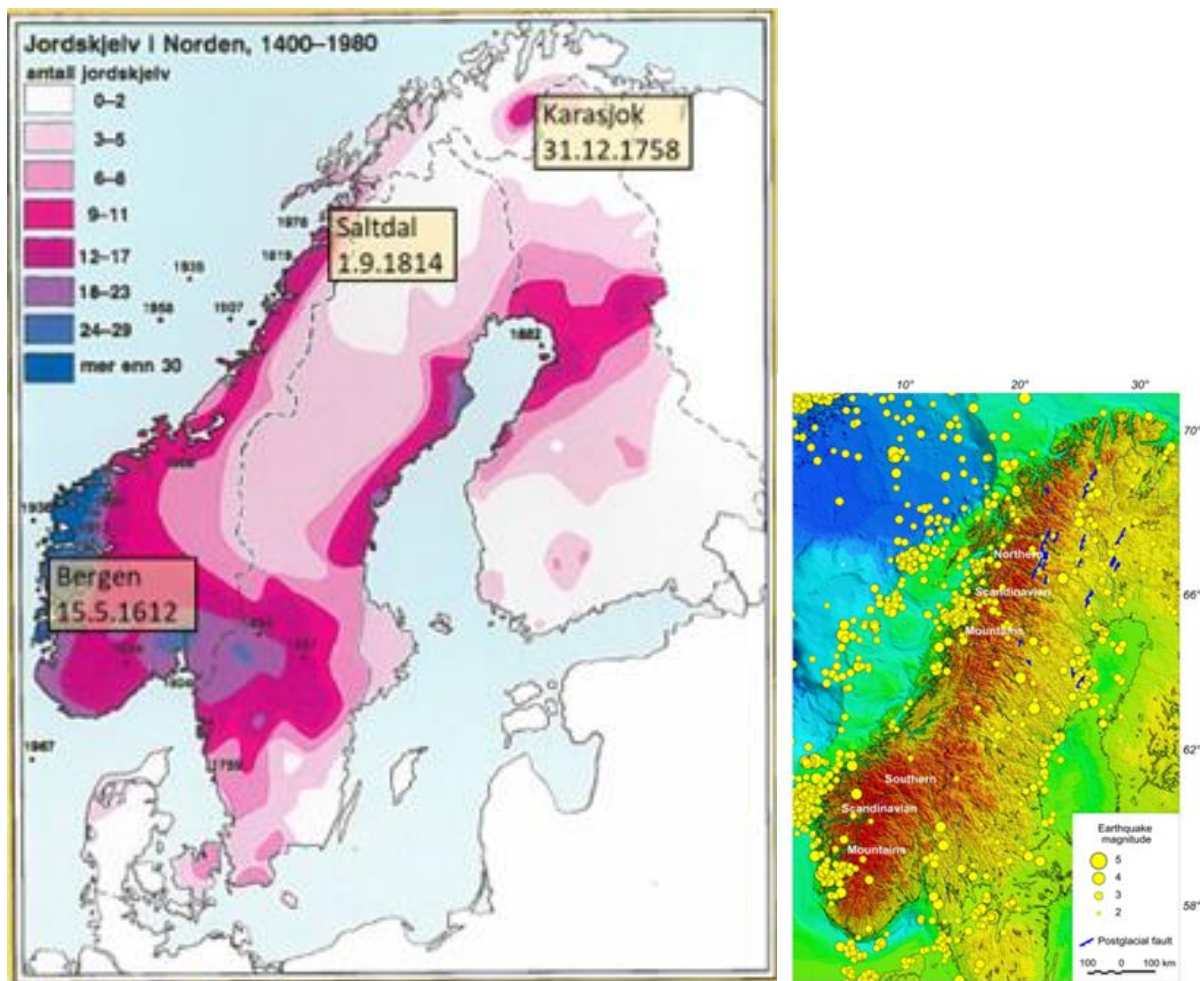
Figur 8.2 viser skjelv med styrke på mer enn 2 på Richters skala og inneholder flere detaljer. Kartet viser flere skjelv i størrelsesorden 3 på Richters skala i området omkring Halden. Det nest største kjente skjelvet i Norge skjedde ute i havet utenfor Halden (Fig. 8.1A og Bungum o.a. 2009), den 24. oktober 1904 og hadde en beregnet styrke på 5,4 på Richters skala. Rystelsene fra jordskjelvet var sterkest innenfor trekanten Moss, Fredrikstad, Tønsberg, men med kraftige rystelser også i Oslo, som på den tiden var det tettest befolkede området. Jordskjelvet ble følt over et område fra Namsos i nord til Polen i syd og over hele Sør-Norge til Helsinki i øst. Fra Id kirke ved Halden (nær senteret) beskrives følgende:

«Presten stod netop for alteret og messede, da det første stød merkedes som et rystende bulder med underjordiske dybe drøn. Straks derefter saaes den metertykke altergavl at synke, og en aabning paa 4-5 tommer blev synlig oppe ved taggesimsen. Derpaa løftedes atter muren, pressedes opp mot loftet, og sten og kalk fæg indover alteret og gulvet, samtidig med at langvæggene svaiede sterkt; hele alterpartiet gyngedes og syntes at synke i grus. Menighed og prest styrtede til udgangen og merkelig nok, ingen kom synderlig tilskade, men kirken er i den grad ramponert, at den ikke mere lader seg restaurere.»

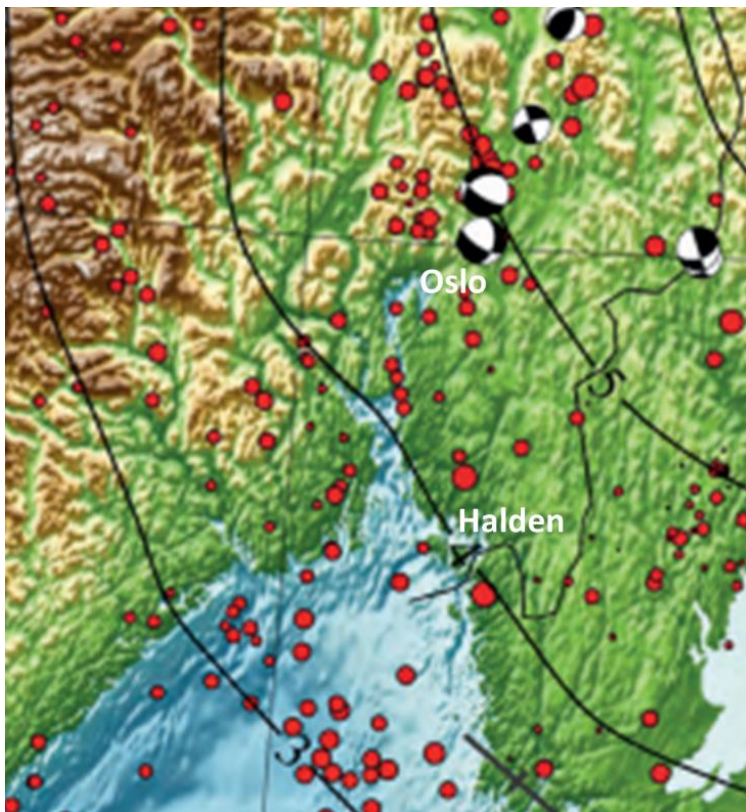
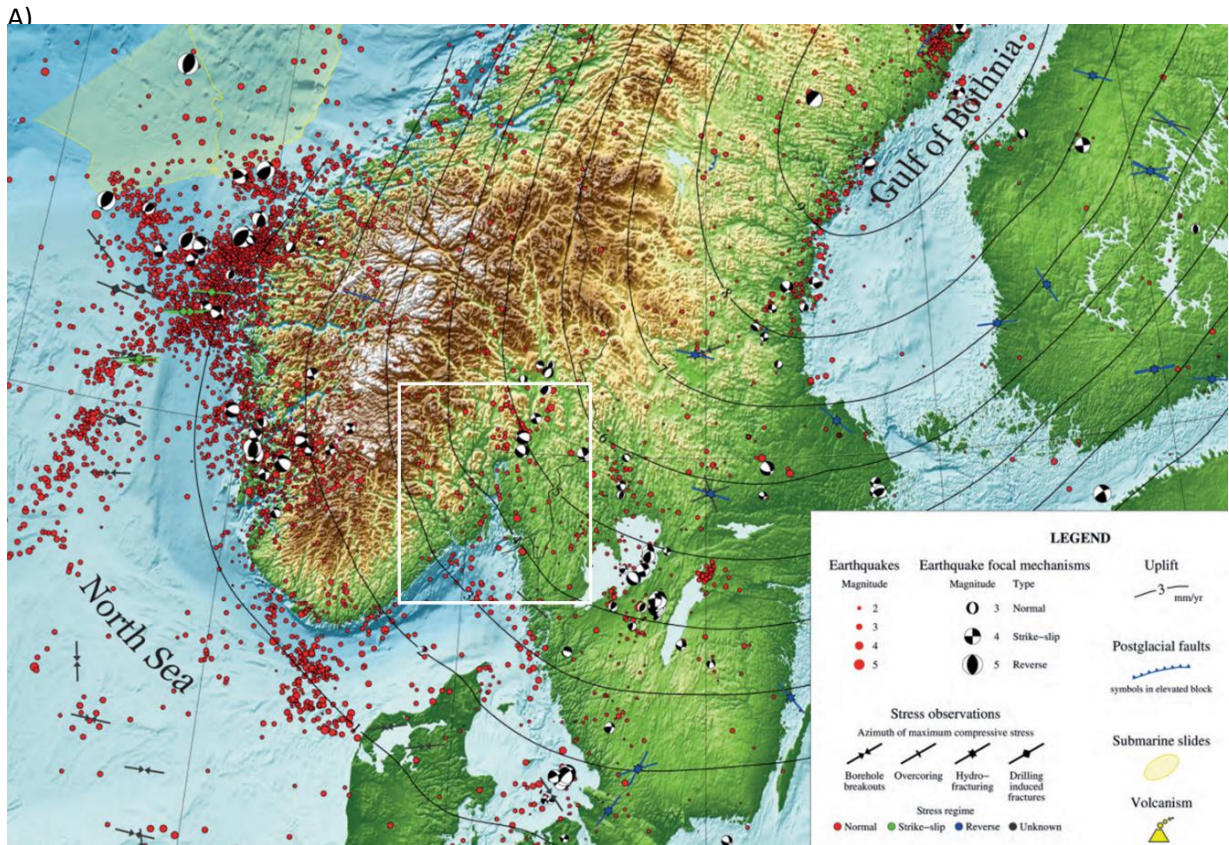
På morgenen den 12. mars i år skjedde to jordskjelv på svensk side av riksgrensen øst for Halden. Berit Marie Storheim ved Jordskjelvstasjonen i Bergen, som drives av Universitet i Bergen opplyste til [Halden Arbeiderblad](#) at det ene skjelvet hadde en styrke på omtrent 2,2 på Richters skala og det andre på 2,7.

Figur 8.3 viser et seismisk soneringskart for Norge (Bungum o.a. 2000). Kartet viser maksimum akselerasjon (peak ground acceleration, PGA i m/s^2) med en 0.0021 pr. år sannsynlighet for overskridelse (475 års periode for gjentakelse av jordskjelv). For Halden-området er denne akselerasjonen beregnet til å ligge mellom 0.4 og 0.6 m/s^2 . Maksimum beregnet akselerasjon er beregnet på kysten av Sogn og Fjordane der den er ca. 1 m/s^2 .

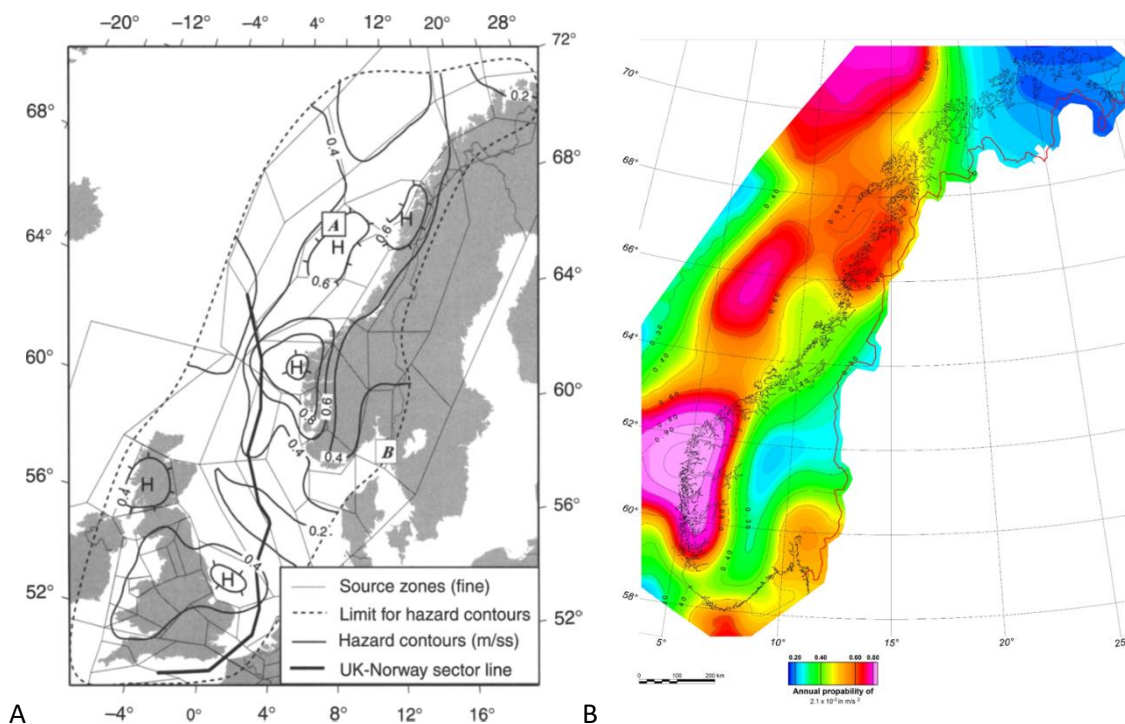
Seismisk soneringskart for Norge er stort sett baser på regionale observasjoner og NGU anbefaler detaljert studium av seismisk risiko, dersom de har valgt et eller flere mulig område for deponering av radioaktivt avfall.



Figur 8.1 Forenklet jordskjelvkart over Norden for tidsrommet 1400-1980 (modifisert etter Spjeldnæs 1984). Fargene viser antall jordskjelv. Årstallene med liten skrift markerer jordskjelv på mer enn fem på Richters skala. De tre gule rammene viser første rapporterte jordskjelv i Norge (Bergen 15.5.1612), i Nord-Norge (Karasjok 31.12.1758) og i Nordland (Saltdal 1.9.1814). Denne informasjonen er hentet fra det skandinaviske jordskjelvarkivet (Woo & Muir Wood 1985). B) Jordskjelvkart for Norge og tilgrensende områder i tidsrommet 1980-2011 (Olesen o.a. 2013). Sirkel-størrelsen angir styrke på Richters skala. For å utelukke eksplosjoner er bare skjelv med styrke mer enn 2.5 vist.



Figur 8.2 A) Utsnitt av neotektonikk-kart for Norge og tilgrensende områder (Keiding o.a. 2018). Røde sirkler viser jordskjelv i tidsrommet 1980-2012. Sirkel-størrelsen angir styrke på Richters skala. For å utelukke eksplosjoner er skjelv med styrke mindre enn 2.0 ekskludert. Svarte konturer viser årlig landhevning i mm. B) Utsnitt av kartet viser detaljer i sørøstlige Norge og tilgrensende områder i Sverige.



Figur 8.3 A) Seismisk soneringskart for Norge (Bungum o.a. 2000, Lindholm 2019). B) Samme kart som vist i Figur 8.3A framstilt i farger.

9. KONKLUSJON – ET EKSEMPEL FOR BRUK AV KARTBLADENE

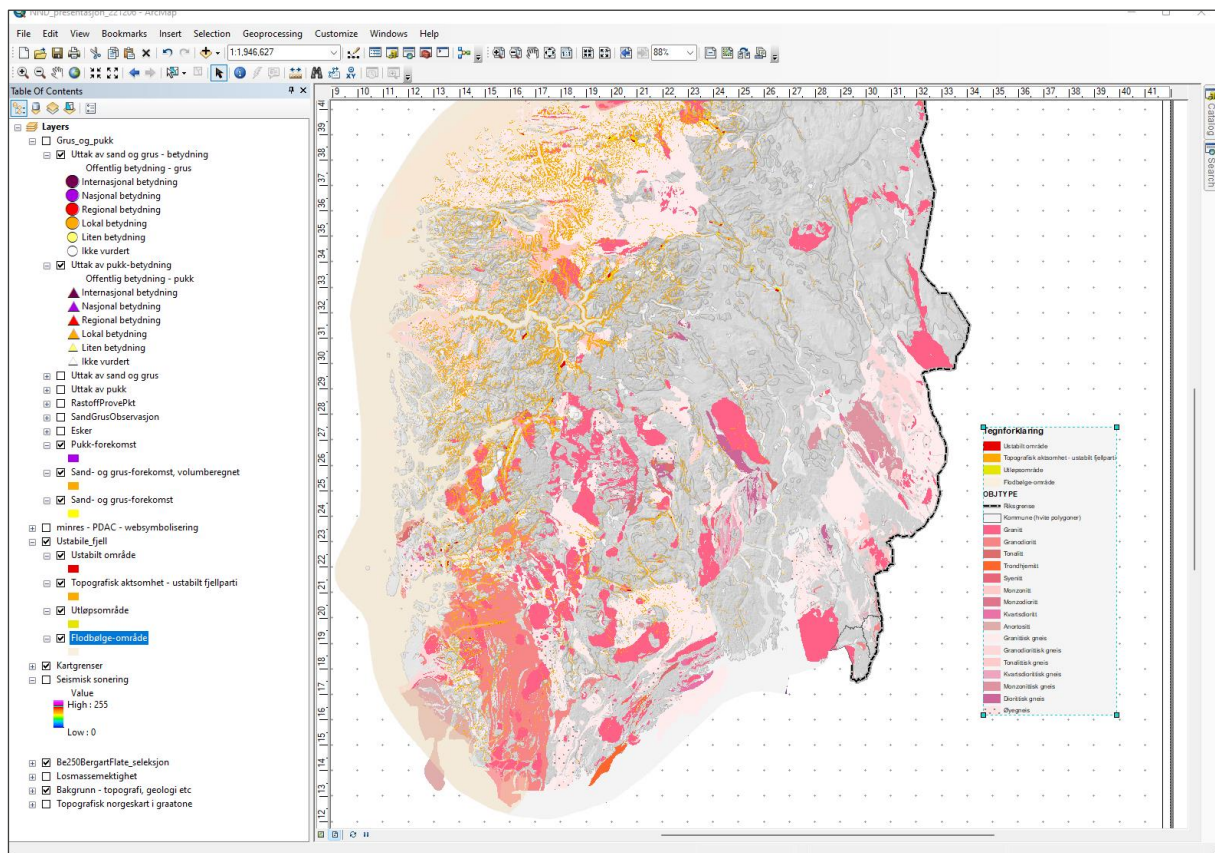
De sammenstilte kartlagene må sees som supplerende til AINS-rapporten (Hagros o.a. 2021), hvor ulike geogene forutsetninger og utfordringer mht. deponering av høy-radioaktivt avfall i Norge er framstilt. Ved å sammenligne de ulike karttemaene, kan man på et nasjonalt nivå gjøre en prioritering av geografiske områder, og videre konsentrere prosessen til områder med de mest gunstige geologiske forutsetninger.

En gjennomgang av berggrunnsgeologi viser at krystalline dypbergarter og gneiser (tilhørende Svekonorvegisk orogen, Svekokarelsk orogen og nær stedege bergarter i Kaledonsk orogen), er mest egnet for deponering av radioaktivt avfall. Disse bergartene forekommer langs hele kysten, i Finnmark, Sør-Norge og Østlandet (Figur 3.5).

Ved å inkludere kartet for ustabile fjellpartier og flodbølgeområder (Figur 7.1), er det tydelig at hele kysten og høyfjellsområdene har høy risiko, eller i det minste krever utredning på lokalt nivå (Figur 9.1). Eksempelvis viser lokale utredninger av risiko relatert til mulig etablering av deponi for farlig avfall ved Rausand i Møre og Romsdal, at området kan ha relativt stabile forhold mht. geofare og tett berggrunn (Rønning o.a., 2019).

Ved inkludering av seismisitetkart (Fig. 8.3) i kartlagene, tydeliggjøres det at områdene langs kysten, spesielt Vestlandet og Nordland, er usikre mht. framtidens geologiske forhold. Andre områder med moderat økt seismisitet er Oslo graben-området og Østfold, mens østlige Innlandet virker minst utsatt med tanke på seismisitet og geofare. I Innlandet er det i likhet med sørlige Finnmark trolig stor løsmassemekthet og derfor stor dybde til fjell (Figur

5.1). Slike forhold kan være teknisk og økonomisk krevende (Hagros o.a. 2021). Også her må det gjennomføres detaljerte lokale undersøkelser, spesielt for å sjekke ut usikkerheter knyttet til løsmassekart.



Figur 9.1. ArcGis skjerm bilde med egnet berggrunn sammenstilt med ustabile fjell og flodbølgeområder. Figuren avdekker at egnet berggrunn i kyst- og fjordområdene ofte er utsatt for økt fare for flodbølge.

Samlet sett viser tilgjengelige data at områder i de østlige delene av Midt- og Sør-Norge, og de østlige og sørøstlige delene av Finnmark er mest stabile, selv om moderat seismisitet i Østfold er observert. Flere begrensende faktorer som mineral- og grunnvannsførekoster, men også løsmassekart, er relevante på et høyere detaljnivå og må kartlegges. Sannsynligvis finnes det stabile områder også i nedprioriterte geografiske områder, eksempelvis i kystområdene. Usikkerheten her er særlig relatert til at framtidens geologiske prosesser i disse områdene er vanskelig å forutsi. Flere prosesser langs Norges kontinentalmargin, og en fremdeles pågående landhevning etter istiden gjør området lite forutsigbart.

ArcGis-produktet som sluttproduktet i dette arbeidet, er utviklet slik at flere kartblad kan legges til ved behov. Den samlede analysen kan på denne måten få en stadig høyere detaljeringsgrad. Andre ikke-geologiske data kan også legges til for å utvide analysene med andre samfunnstema. Dette kan innebære at tidligere konklusjoner basert på geologiske data må revurderes, eller utredes med høyere detaljeringsgrad, slik eksempel fra Rausand viser.

REFERANSER

- Bungum, H., Lindholm, C.D., Dahle, A., Woo, G., Nadim, F., Holme, J.K., Gudmestad, O.T., Hagberg, T. & Karthigeyan, K., 2000: New Seismic Zoning Maps for Norway, the North Sea, and the United Kingdom. *Seismological Research Letters* 71, 6, November/December 2000. 687-697. <https://doi.org/10.1785/gssrl.71.6.687>
- Bungum, H., Pettenati, F., Schweitzer, J., Sirovich, L. & Faleide, J.I., 2009: The 23 October 1904 MS 5.4 Oslofjord earthquake: Reanalysis based on macroseismic and instrumental data. *Bulletin of the Seismological Society of America* 99, 5, 2836–2854, October 2009, doi: 10.1785/0120080357
- Corominas, J., 1996. The angle of reach as a mobility index for small and large landslides. *Canadian Geotechnical Journal*, 33(2), 260–271. <https://doi.org/10.1139/t96-005>
- Hagros, A., Engelhardt, J., Fischer, T., Gharbieh, H., Hautojärvi, A., Hellä, P., Häkkinen, I., Ikonen, A., Karvonen, T., Keto, P., Rinta-Hiiro, V., Schatz, T., Wanne, T., Ärväs-Tuovinen, T., 2021: Host Rock Target Properties for Norwegian National Facility, AINS Group technical report, pp. 211
- Horton, P., Jaboyedoff, M., Rudaz, B., & Zimmermann, M., 2013: Flow-R, a model for susceptibility mapping of debris flows and other gravitational hazards at a regional scale. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(4), 869–885. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-869-2013>
- Keiding, M., Olesen, O. & Dehls, J., 2018: Neotectonic map of Norway and adjacent areas, Scale 1:3 million, Geological Survey of Norway. Lindholm, C. 2017: Jordskjelv – budbringere fra jordens indre. *Naturen* 2017, 4, 177- 186. DOI: 10.18261/issn.1504-3118-2017-04-06
- Lindholm, C., 2019: Jordskjelv i Norge [Earthquakes in Norway]. In S. Bjørn, H. Wiig, V. Woldsengen and S. Engen, eds., *Fjellsprengningsdagen [Rock Blasting Day]*. Oslo, 21 november 2019. Norsk forening for fjellsprengningsteknikk, Norsk Bergmekanikkgruppe & Norsk Geoteknisk Forening, pp. 8.1–8.13. nff.no/wp-content/uploads/sites/2/2020/05/198431-Fjellsprengningsbok-2019-minnepenn-web.pdf
- Olesen, O., Bungum, H., Lindholm, C., Olsen, L., Pascal, C. & Roberts, D., 2013: Neotectonics, seismicity and contemporary stress field in Norway – mechanisms and implications. In: Olsen, L. Fredin & Olesen (eds.) *Quaternary Geology of Norway*. Geological Survey of Norway Special Publication 13, 145-174.
- Oppikofer, T., Hermanns, R. L., Roberts, N. J., & Böhme, M., 2019. SPLASH: semi-empirical prediction of landslide-generated displacement wave run-up heights. *Geological Society, London, Special Publications*, 477(1), 353–366. <https://doi.org/10.1144/SP477.1>
- Patton, H., Hubbard, A., Heyman, J. Alexandropoulou, N., Lasabuda, A.P.E., Stroeven, A.P., Hall, A.M., Winsborrow, M., Sugden, D.E., Kleman, J. og Andreassen, K., 2022. The extreme yet transient nature of glacial erosion. *Nat Commun* 13, 7377. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-35072-0>
- Raanes, A. M., Aasly, K. A., Schiellerup H., 2018. Mineralske ressurser og vindkraft. [NGU rapport 2018.008](https://www.ngu.no/rapport/2018.008). pp. 14

Rønning, J.S., Baranwal, V., Brønner, M., Elvebakk, H., Fabian, K., Haase, C., Rueslåtten, H., Schielerup, H.; 2019: Grunnundersøkelser ved Raudsand, Nesset kommune i Møre og Romsdal. Supplerende undersøkelser i 2019. [NGU rapport 2019.003](#), pp.39

Spjeldnæs, N., 1984: Geologisk utvikling. I Gjessing, J., Myklebost, H. & Solerød, H. (red.) Norge Land og miljø. J.W. Cappelens Forlag, Oslo, 86-127.

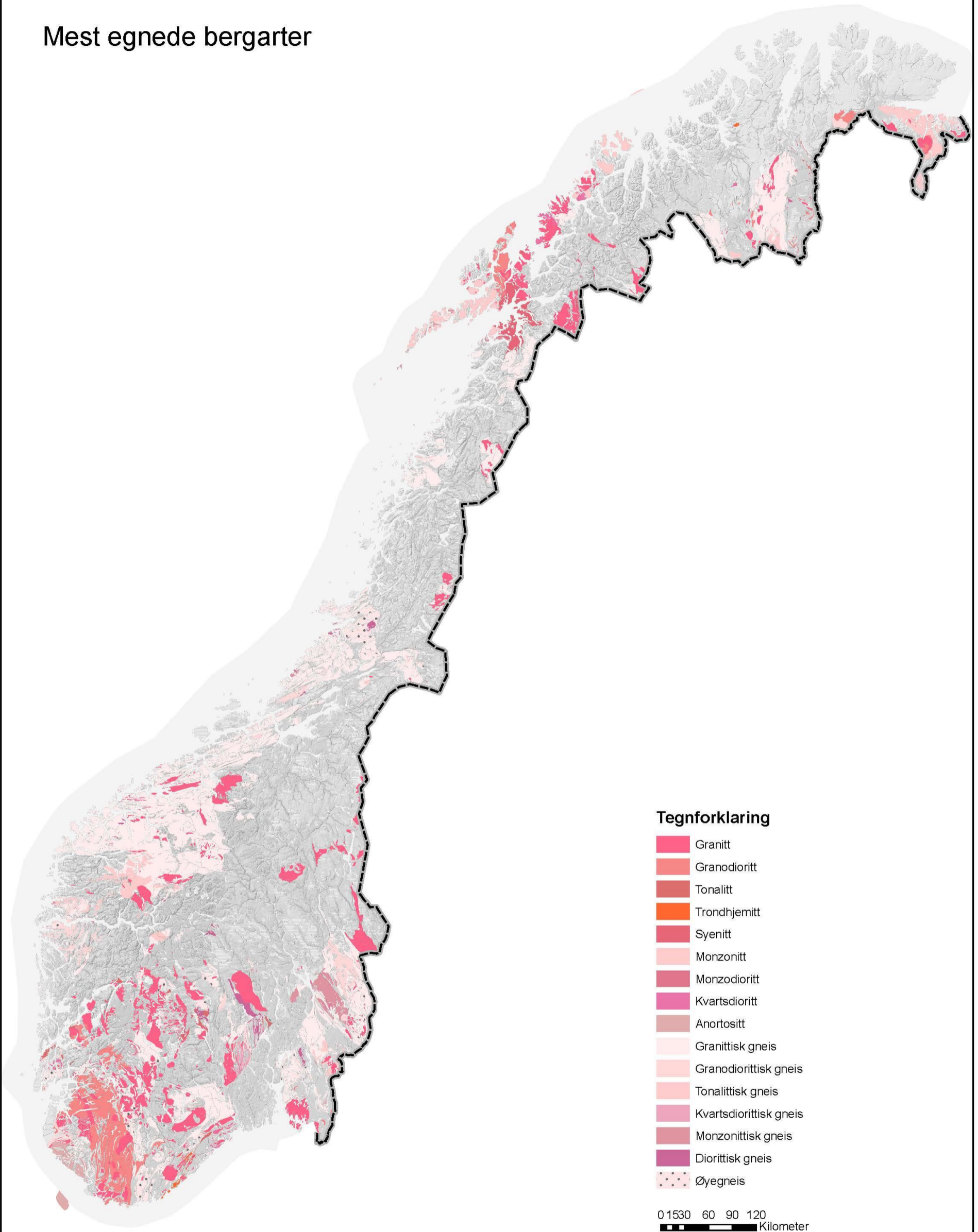
Wo, G. & Muir Wood, R., 1985: Scandinavian earthquake archive, Principa Mechanica and NORSAR.

VEDLEGG

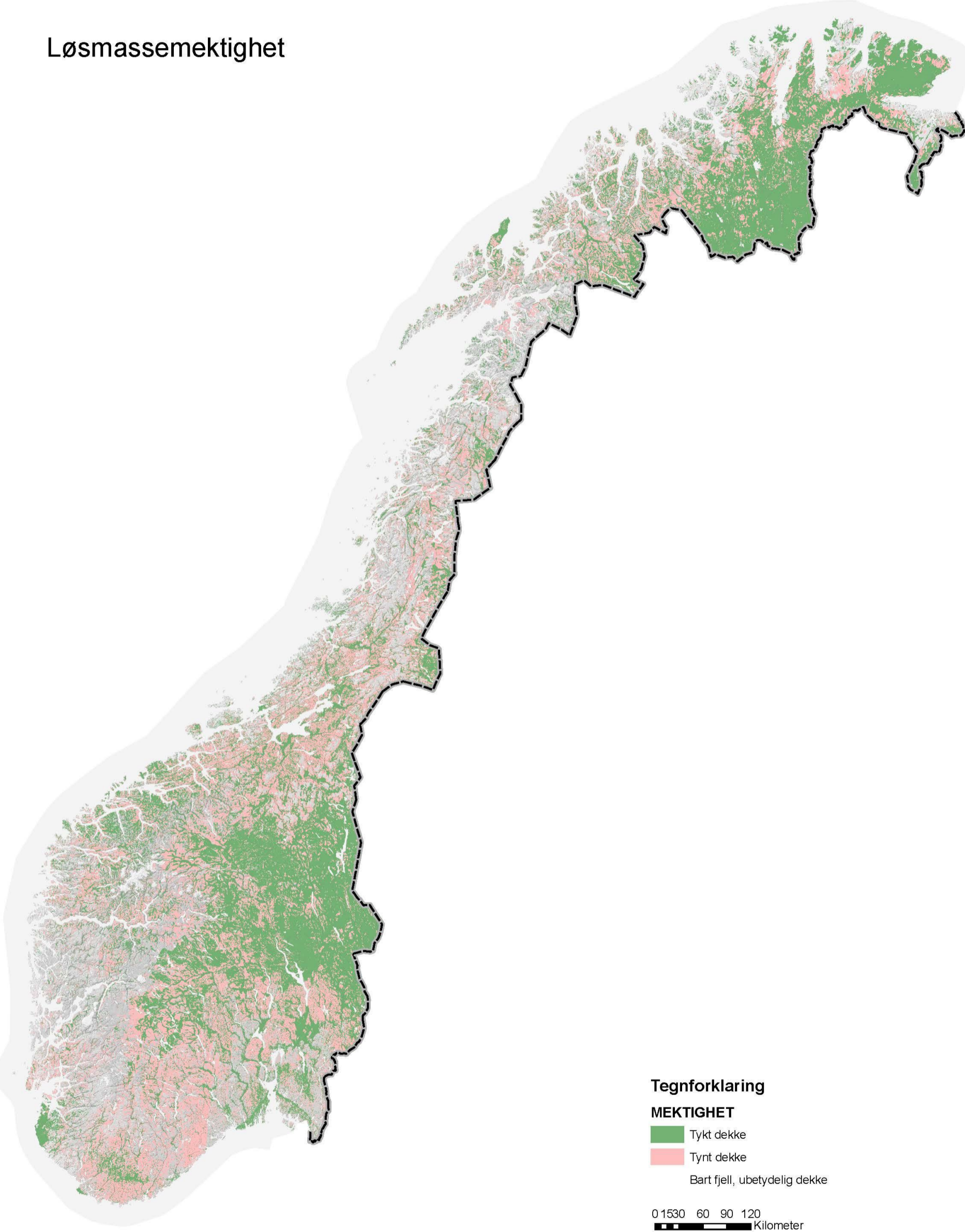
All landsdekkende kart som presentert her i pdf format

ArcGis prosjekt med alle landsdekkende kart

Mest egnede bergarter



Løsmassemektighet



Tegnforklaring

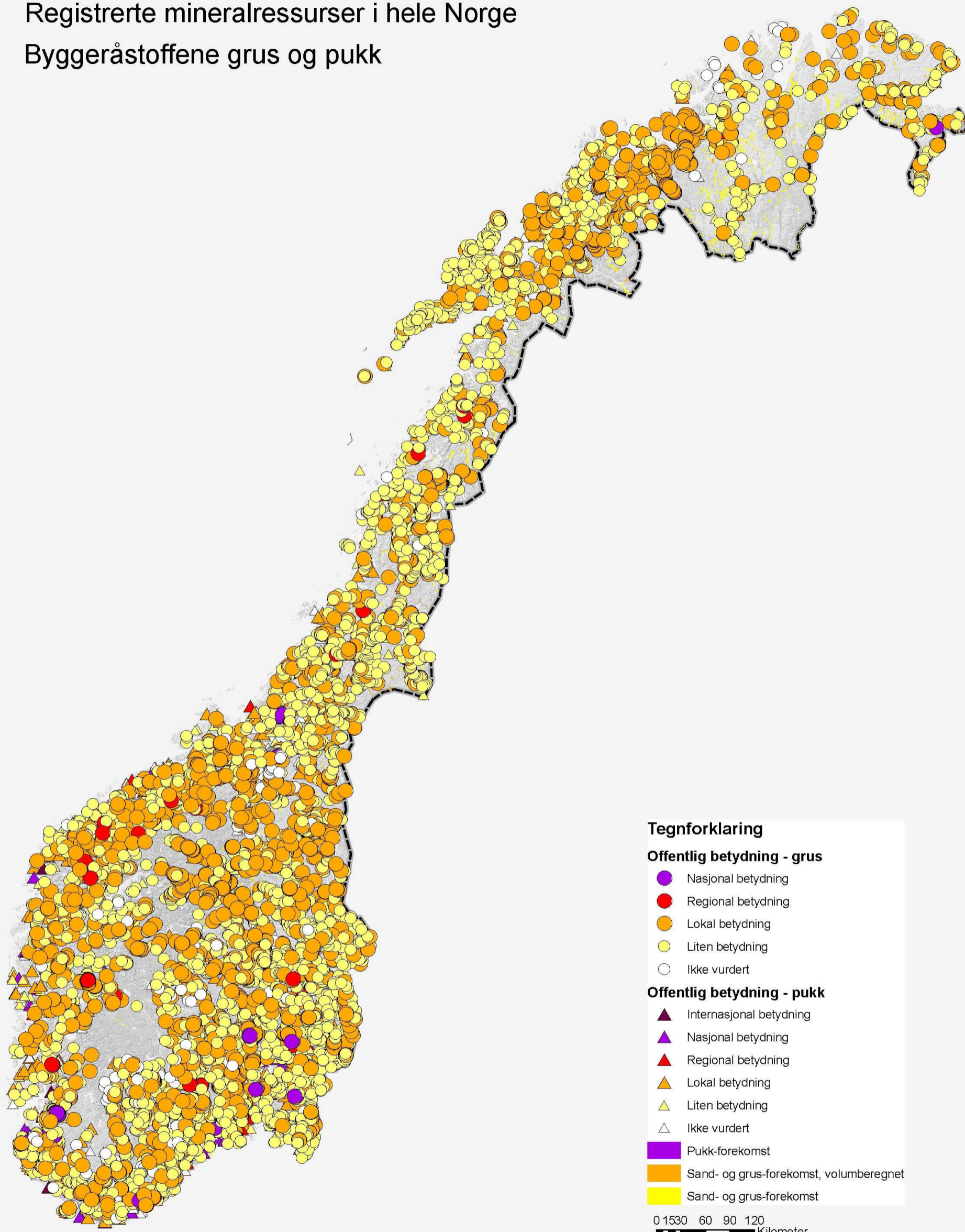
MEKTIGHET

- Tykt dekke
- Tynt dekke
- Bart fjell, ubetydelig dekke

0 15 30 60 90 120
Kilometer

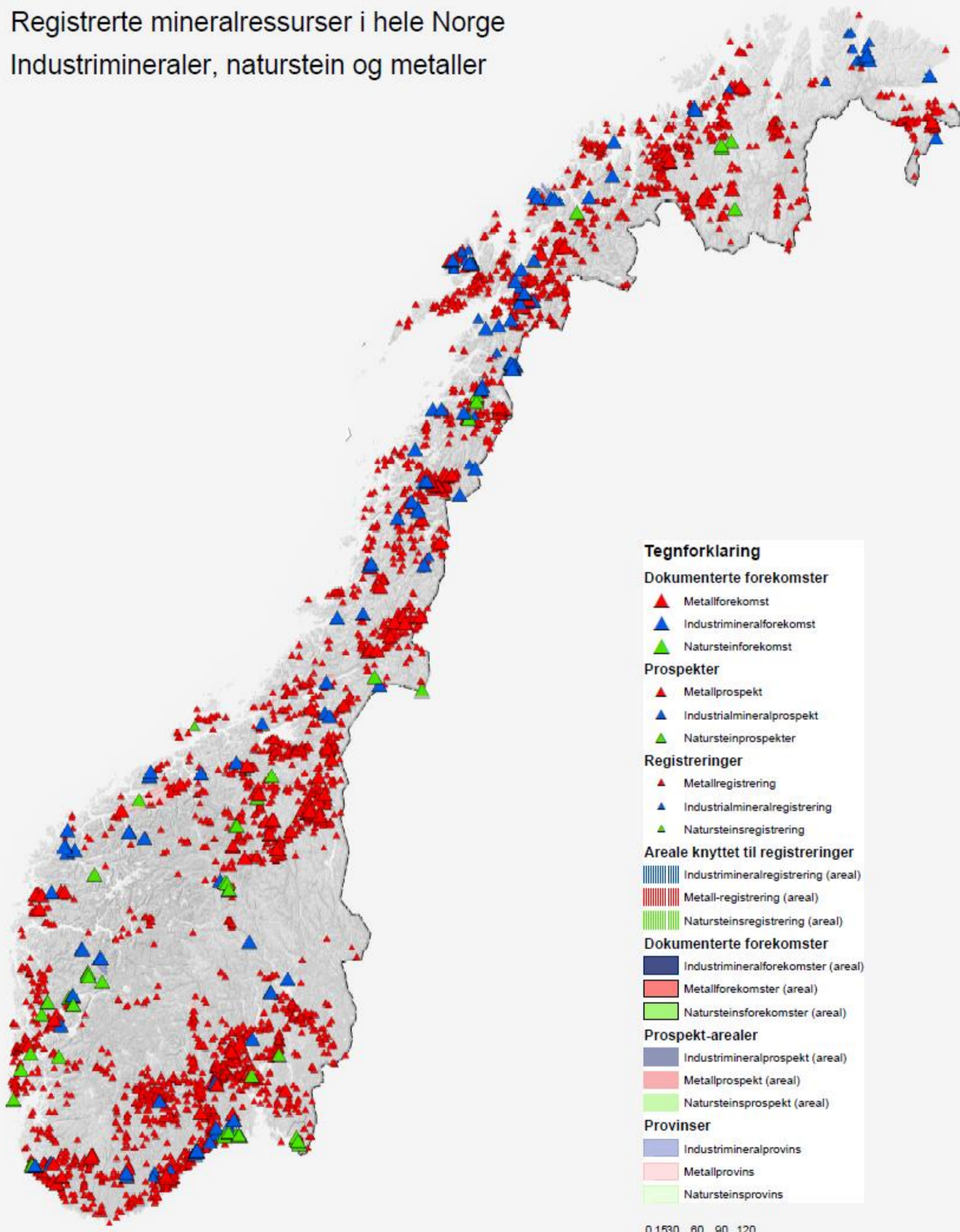
Registrerte mineralressurser i hele Norge

Byggeråstoffene grus og pukk



Registrerte mineralressurser i hele Norge

Industrimineraler, naturstein og metaller

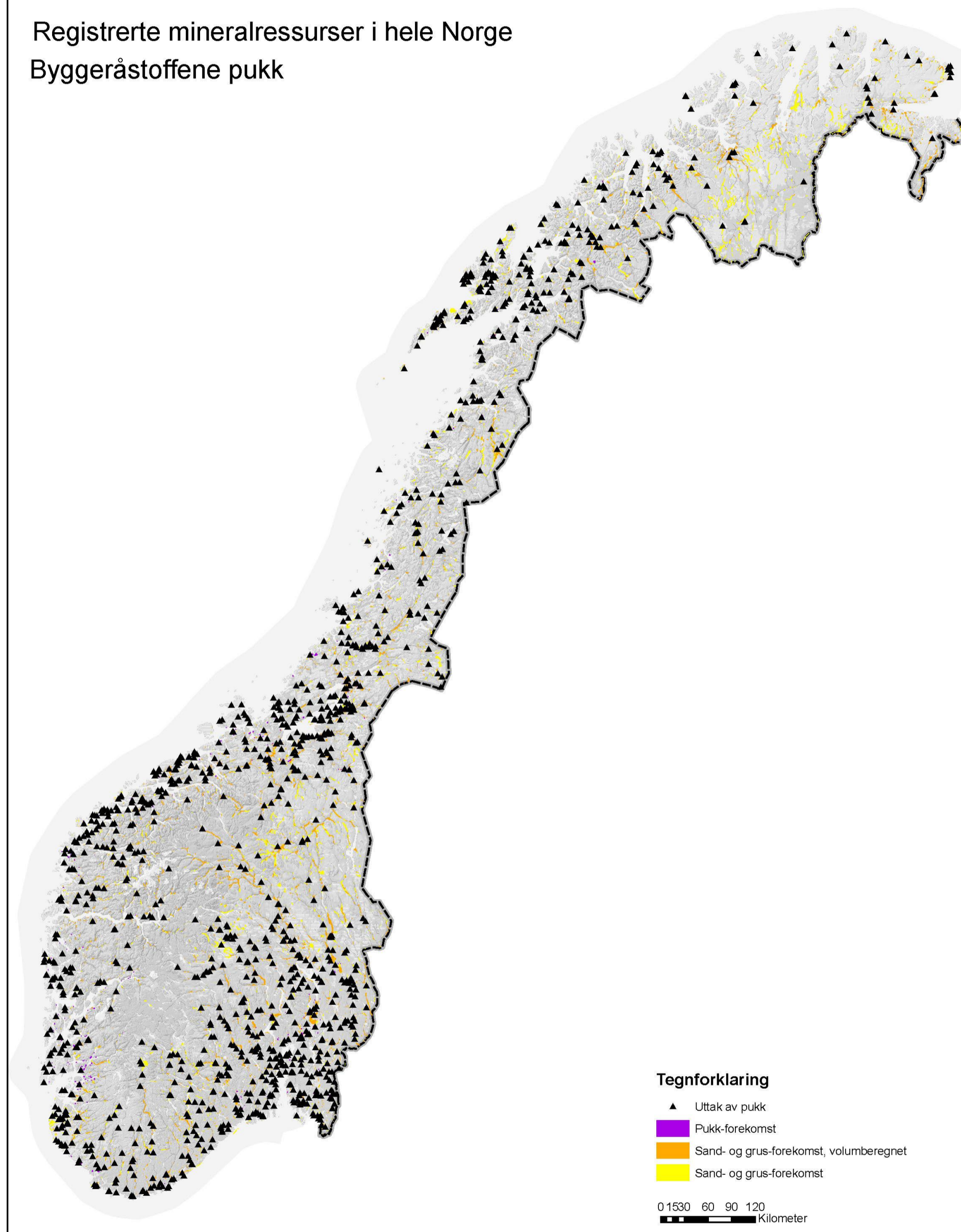


- Tegnforklaring**
- Dokumenterte forekomster**
- ▲ Metallforekomst
 - ▲ Industrimineralforekomst
 - ▲ Natursteinforekomst
- Prospekter**
- ▲ Metallprospekt
 - ▲ Industrimineralprospekt
 - ▲ Natursteinprospekter
- Registreringer**
- ▲ Metallregistrering
 - ▲ Industrimineralregistrering
 - ▲ Natursteinsregistrering
- Areale knyttet til registreringer**
- ▨ Industrimineralregistrering (areal)
 - ▨ Metall-registrering (areal)
 - ▨ Natursteinsregistrering (areal)
- Dokumenterte forekomster**
- Industrimineralforekomster (areal)
 - Metallforekomster (areal)
 - Natursteinsforekomster (areal)
- Prospekt-arealer**
- Industrimineralprospekt (areal)
 - Metallprospekt (areal)
 - Natursteinsprospekt (areal)
- Provinser**
- Industrimineralprovins
 - Metallprovins
 - Natursteinsprovins

0 150 60 90 120
 Kilometer

Registrerte mineralressurser i hele Norge

Byggeråstoffene pukk

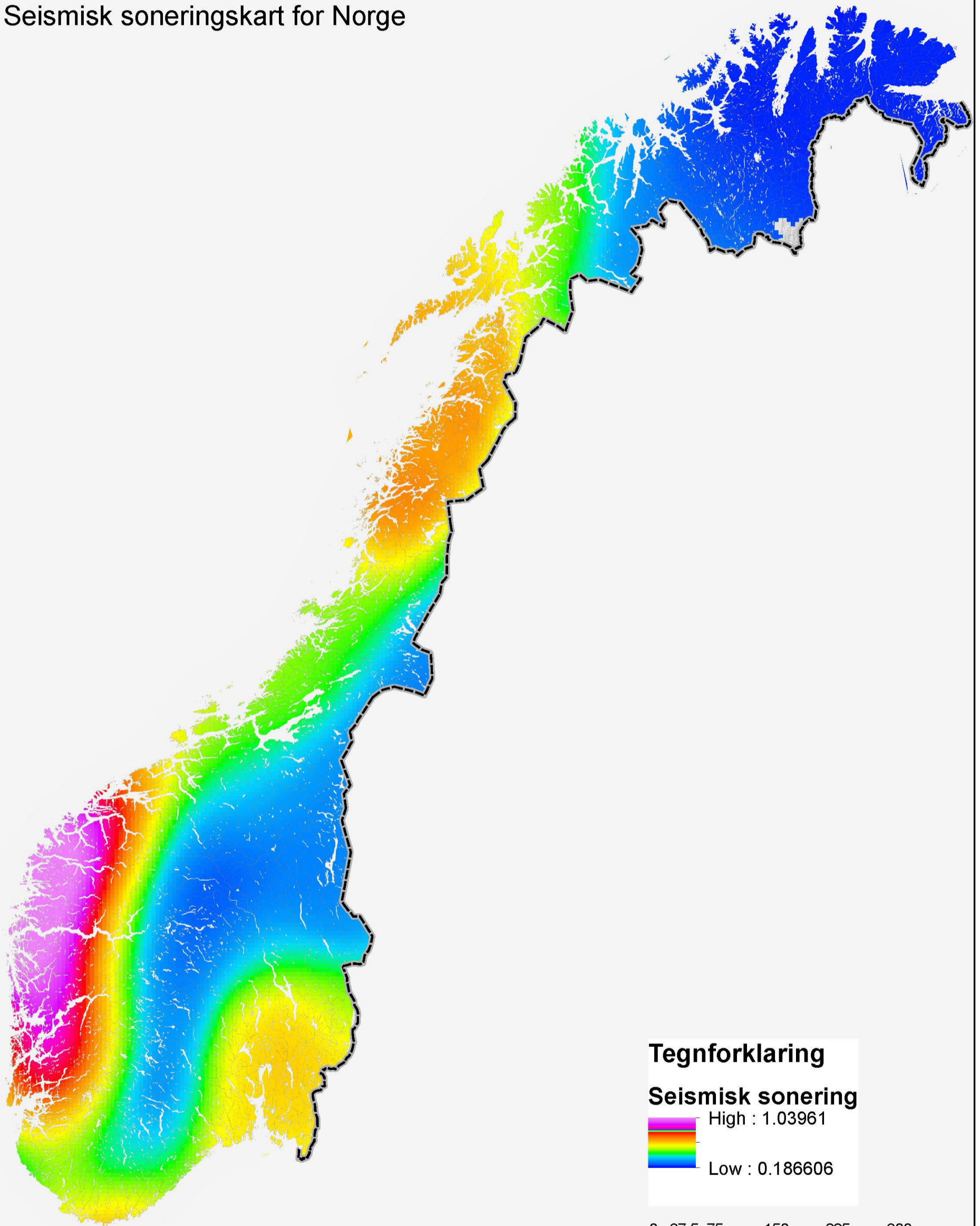


Tegnforklaring

- ▲ Uttak av pukk
- Pukk-forekomst
- Sand- og grus-forekomst, volumberegnet
- Sand- og grus-forekomst

0 15 30 60 90 120
Kilometer

Seismisk soneringskart for Norge

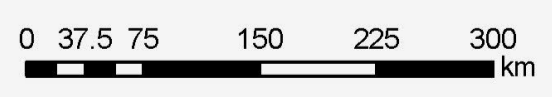


Tegnforklaring

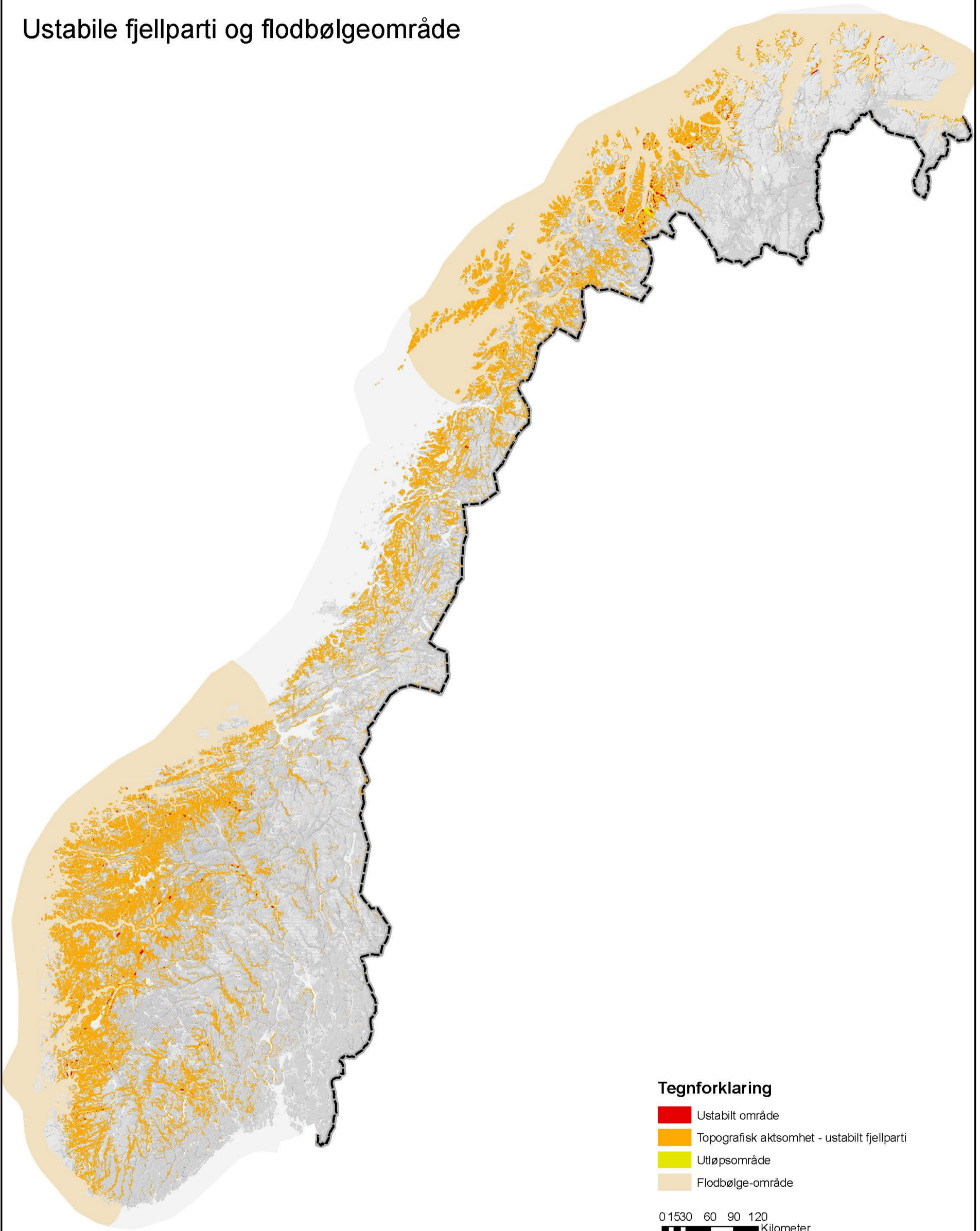
Seismisk sonering

High : 1.03961

Low : 0.186606



Ustabile fjellparti og flodbølgeområde





NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE

- NGU -

Norges geologiske undersøkelse
Postboks 6315, Sluppen
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse
Leiv Eirikssons vei 39
7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00
E-post ngu@ngu.no
Nettside www.ngu.no