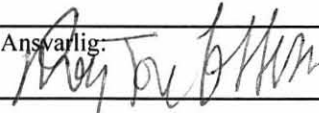


NGU Rapport 2011.035

Områder i Norge med naturlig høyt
bakgrunnsnivå (over normverdi) – betydning for
disponering av masser

| | | | |
|--|----------------------------|-----------------------------------|---|
| Rapport nr.: 2011.035 | | ISSN 0800-3416 | Gradering: Åpen |
| Tittel: Områder i Norge med naturlig høyt bakgrunnsnivå (over normverdi) – betydning for disponering av masser | | | |
| Forfatter: Andersson, M.; Eggen, O.; Finne, T.E. og Ottesen, R.T. | | Oppdragsgiver: Klif | |
| Fylke: Hele landet | | Kommune: | |
| Kartblad (M=1:250.000) | | Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) | |
| Forekomstens navn og koordinater: | | Sidetall: 43 Kartbilag: | Pris: 145,- |
| Feltarbeid utført: | Rapportdato: 20.05.2011 | Prosjektnr.: 341600 | Ansvarlig:  |
| Sammendrag: | | | |
| <p>Norges geologiske undersøkelse (NGU) har, basert på eksisterende geokjemiske data fra berggrunn og løsmasser, angitt hvor i Norge det naturlige bakgrunnsnivået for arsen (As), kadmium (Cd), kvikksølv (Hg), krom (Cr), kobber (Cu), nikkel (Ni), bly (Pb) og sink (Zn) overskrider gjeldende normverdi.</p> <p>I berggrunnen er overskridelsene størst for krom, nikkel og arsen. Overskridelsene for krom og nikkel forekommer i vulkanske bergarter i Trøndelag og i Finnmark. Skiferbergarter kan ha forhøyet arseninnhold på Østlandet og i Rogaland. Berggrunnen er meget heterogen og det er vanskelig å angi nøyaktig avgrensning av områder med forhøyet bakgrunnsnivå.</p> <p>I løsmassene (flomsedimenter og morene) er det grunnstoffene krom, kobber, arsen og bly som overskrider normverdiene. Forhøyet innhold av krom opptrer i Trøndelag og Finnmark. Arseninnholdet er forhøyet i Sunnhordland, Valdres, deler av Nordland og Varangerhalvøya. På Sørlandet er det mulighet for overskridelse av normverdien for bly.</p> <p>Geokjemi har en fraktal dimensjon som vil si at en kartlegging setter krav til et antall prøver, uavhengig av arealet som skal kartlegges. Det betyr at de landsdekkende datasettene som benyttes i denne rapporten vanskelig kan brukes til å bestemme bakgrunnsverdier i lokalt skala.</p> <p>NGU anbefaler at den lokale naturlige bakgrunnen bestemmes i de største byene, der det aller meste av massedisponering gjøres.</p> | | | |
| Emneord: Arsen | | Tungmetaller | Naturlig bakgrunnsnivå |
| Berggrunn | | Løsmasser | |
| | | | |

Innholdsfortegnelse

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | INNLEDNING..... | 5 |
| 2. | GEOLOGIEN ER DEN NATURLIGE KILDEN TIL GRUNNSTOFFENE | 6 |
| 2.1 | Arsen..... | 8 |
| 2.2 | Bly | 8 |
| 2.3 | Kadmium | 8 |
| 2.4 | Krom..... | 8 |
| 2.5 | Kobber | 8 |
| 2.6 | Kvikksølv..... | 8 |
| 2.7 | Nikkel | 9 |
| 2.8 | Sink..... | 9 |
| 3. | HVORDAN ER LØSMASSENE DANNET? | 9 |
| 4. | DATAGRUNNLAG FOR Å VURDERE BAKGRUNNSVERDIER I NORGE | 13 |
| 4.1 | Landsdekkende prøver av berggrunn | 14 |
| 4.2 | Landsdekkende prøver av løsmasser | 14 |
| 4.2.1 | Flomsedimenter | 14 |
| 4.2.2 | Løsmasse (hovedsakelig morene og glasifluvialt materiale) | 15 |
| 4.3 | Prøver fra byområder..... | 15 |
| 5. | METODIKK..... | 15 |
| 6. | RESULTATER FOR PRØVER AV BERGGRUNN | 16 |
| 7. | RESULTATER FOR PRØVER AV LØSMASSER | 17 |
| 7.1 | Flomsedimenter | 17 |
| | Figur 8. Arsen i flomsedimenter i Norge | 18 |
| 7.2 | Morene..... | 19 |
| 7.3 | Flomsedimenter Svalbard..... | 19 |
| 8. | NATURLIG BAKGRUNN I BYER..... | 21 |
| 8.1 | Oslo..... | 22 |
| 8.2 | Trondheim | 22 |
| 9. | DATAKVALITET – NOEN KRITISKE BETINGELSER..... | 23 |
| 9.1 | Kornstørrelse | 24 |
| 9.2 | Prøveopplutning | 25 |
| 10. | KOMMENTARER TIL NORMVERDI | 25 |
| 11. | MOBILITET OG TILGJENGELIGHET AV ELEMENT | 25 |
| 12. | KONKLUSJON | 26 |
| 13. | REFERANSER | 27 |

| | |
|---|----|
| VEDLEGG 1:..... | 29 |
| Histogrammer og kumulative frekvensfordelinger for arsen og tungmetaller..... | 29 |
| Arsen | 30 |
| Bly | 32 |
| Kadmium..... | 34 |
| Kobber..... | 36 |
| Krom..... | 38 |
| Nikkel..... | 40 |
| Sink..... | 42 |

1. INNLEDNING

Forurensningsforskriftens kapittel 2 ble endret 1. juli 2009. Bakgrunnen for denne endringen var blant annet en utilsiktet strenghet for tilfeller der det naturlige, lokale bakgrunnsnivået var høyere enn de fastsatte normverdiene. Massene ville da være å anse som forurenset og ville måttet kjøres på deponi. Definisjonen for forurenset grunn ble endret slik at grunn der konsentrasjonen av uorganiske helse- eller miljøfarlige stoffer som ikke overstiger lokalt naturlig bakgrunnsnivå i området der et terrenginngrep er planlagt gjennomført, ikke skal anses som forurenset. Den endrede forskriften legger ikke begrensninger på adgangen til å disponere masser fra områder med naturlig høye bakgrunnsverdier – verken på gravetomta eller på andre eiendommer. Før forskriften ble endret ble det gitt dispensasjoner fra forskriftens § 2-5 for slike masser. Et av kravene som ble stilt i dispensasjonene var at slik masse skulle legges på et sted med tilsvarende forhøyede verdier. En begrunnelse for dette er at omplasseringen ikke må medføre en økt fare for forurensning, jf. forurensningsloven § 7.

I områder der enkelte bergarter har høye nivåer av stoffer, som for eks. fyllitt med forhøyet nivå av arsen, kan det være store forskjeller i konsentrasjonene på stedet der massene graves opp og stedet hvor massene skal legges. Dersom omdisponeringen representerer en forurensning som medfører nevneverdige skader eller ulemper er den ikke lovlig etter forurensningsloven § 8 tredje ledd, jf. § 7. Omplasseringen av masser krever i mange tilfeller også en søknad og tillatelse etter plan- og bygningsloven. For eksempel krever vesentlig terrenginngrep og anlegg av vei eller parkeringsplass søknad og tillatelse etter plan- og bygningsloven, jf. plan- og bygningsloven § 20-1. Omplasseringen må også være i tråd med annet aktuelt lovverk, herunder kulturminneloven og naturmangfoldloven. Omplassering av masser må også avklares med grunneier(e) der massene er tenkt disponert.

Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif) så et behov for å få utredet omfanget av grunn med naturlig forhøyet bakgrunnsverdier, og i hvilken grad omplassering av slike masser kan være et helse- og/eller miljøproblem. I den sammenheng ønsket Klif å få belyst;

- Hvilke deler av landet og hvilke bergarter har naturlig forhøyede bakgrunnsverdier?
- Hvilke stoffer er forhøyet for ulike bergarter, og i hvilke konsentrasjonsnivåer?
- Hvor stor mengde masse dreier det seg om? I graveprosjekter og for eksempel i berggrunn.
- Endres stoffenes mobilitet og tilgjengelighet når masser flyttes fra sitt opprinnelige utgangspunkt, og knuses/sprenges ut av fjell?
- Hvilke konsekvenser kan det ha at masser med naturlig forhøyede bakgrunnsverdier disponeres fritt, også på områder som ikke har tilsvarende verdier?
- Dersom fri disponering av masser med naturlig forhøyede bakgrunnsverdier kan ha uheldige konsekvenser, bør det settes grenseverdier for enkelte stoffer i forhold til om de kan disponeres fritt eller ikke? Kan evt. slike grenseverdier relateres til helsebaserte tilstandsklasser for jord?

Klif kontaktet Norges geologiske undersøkelse (NGU) og ba om et forslag til hvordan oppgaven kunne løses og hvilke data NGU har over kjemisk sammensetning av norsk berggrunn og løsmasser. Denne rapporten søker å besvare dette.

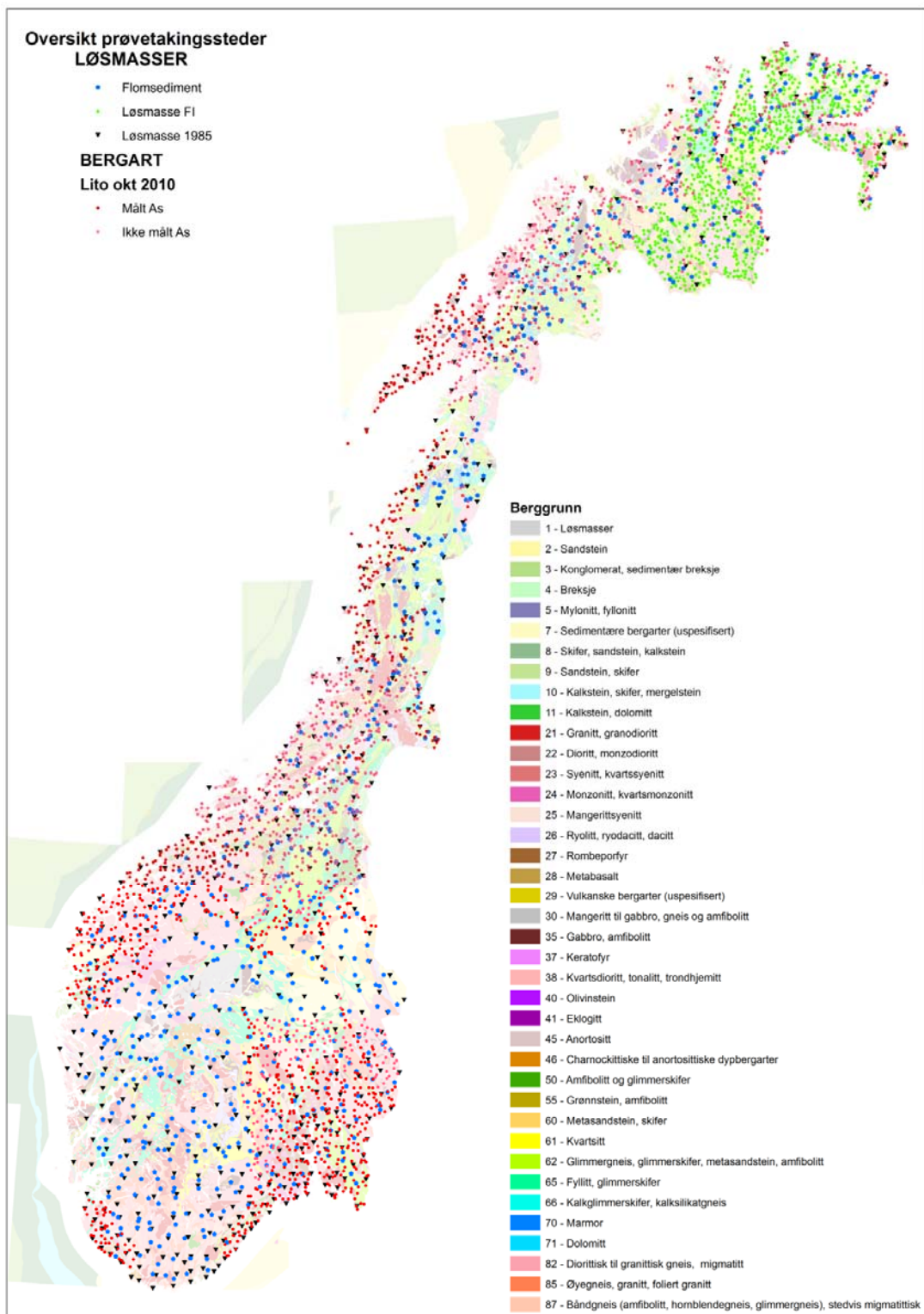
2. GEOLOGIEN ER DEN NATURLIGE KILDEN TIL GRUNNSTOFFENE

Jordskorpa er et tynt, hardt skall som flyter over jordas mantel på mange plater. Den er bygget opp av de 92 naturlig forekommende grunnstoff. De 8 viktigste er oksygen, silisium, aluminium, jern magnesium, kalsium, natrium og kalium (Mason, 1966). Sporelementene Ag, As, Bi, Cd, Cu, Hg, Pb, Sb og Zn er såkalte kalkofile grunnstoff som oftest binder seg til svovel og danner tungløselige sulfidforbindelser.

Dagens norske fjell er rester av gamle fjellkjeder, som er blitt erodert ned til havnivået og senere hevet. På utsiden tar klimaet hånd om nedbrytingen. Vind, vann og is eroderer og bryter ned både fjell og land, og transporterer materialet. Alle løsmasser har derfor sitt opphav i de bergarter som eksisterer i det aktuelle området (www.ngu.no). Figur 1 viser et geologisk berggrunnskart over Norge der også prøvelokalitetene som danner datagrunnlaget her er indikert.

Det er store variasjoner av kjemiske konsentrasjoner i de ulike etasjene av naturen i jordskorpa: bergarter, jord, vegetasjon og vann. Den geografiske variasjonen av et grunnstoff er resultat av en rekke prosesser som både kan konsentrere og tynne ut den kjemiske konsentrasjonen. Så godt som alle ulike materialer vi finner rundt oss er heterogene, ikke minst de naturlige materialene. Fargekontrastrer i ulike bergarter er et vitne om at ulike mineraler og bergarter har ulik kjemisk sammensetning. Når det gjelder løsmasser finnes tilsvarende eksempler; marin leire, som oftest har en grå-blågrå farge, har en helt annen kjemisk sammensetning enn sand på en lys strand. Begge disse eksemplene på heterogenitet er i hovedsak forårsaket av fysiske naturprosesser, men en del av resultatet er også kjemisk heterogenitet. Kjemiske naturprosesser er ofte betinget av vann, eksempelvis når nedbør siger gjennom vegetasjonslag og humus. Vannet blir surt i møte med biosfæren, og løser opp mineraler i løsmassene på vei nedover i jordprofilet. Etter hvert endres de kjemiske betingelsene, og fra det ionerike vannet feller en del av grunnstoffene ut igjen. Resultatet er dannelse av et jordprofil som er veldig vanlig i vår del av verden; podzoljord.

Den naturlige kjemiske variasjonen målt som høyt/lavt spenner gjerne over en eller flere tierpotenser; det er med andre ord stor variasjon i "den naturlige bakgrunnsverdien". Det naturlige innholdet av tungmetaller (i naturen) er betinget de geologiske prosessene som beskrevet ovenfor. De dominerende bergartene i Norge inneholder lite tungmetaller. På grunn av metallenes toksiske egenskaper skal det likevel små mengder til før de blir skadelige. De mest prioriterte tungmetallene, som også er inkludert i denne rapport, er kadmium, kobber, krom, kvikksølv, nikkel, bly og sink. I tillegg inkluderes ofte arsen til denne gruppen, selv om arsen ikke per definisjon er et tungmetall. Tabell 1 viser hvordan innholdet av arsen og tungmetaller varierer mellom ulike bergartstyper.



Figur 1 Geologisk kart over Norge med lokaliteter for berggrunns- og løsmasseprøver indikert.

Tabell 1. Oversikt over typisk totalinnhold av arsen og tungmetaller i ulike bergarter i den øvre del av jordskorpen og hovedtyper av bergarter i jordskorpen (Reimann og Caritat, 1998). Litoprojektet (kap. 4.1) definerer typiske norske bergarter. Enhet mg/kg

| | Øvre kontinental -skorpe | Ultra- mafisk | Gabbro basalt | Granitt, gr.dioritt | Sand- stein | Skifer | Kalk- stein | Kull | Lito- prosjekt |
|---------------|--------------------------|---------------|---------------|---------------------|-------------|--------|-------------|------|----------------|
| As, Arsen | 2,0 | 0,70 | 0,70 | 3,0 | 0,50 | 13 | 1,5 | 10 | <5 |
| Pb, Bly | 17 | 0,05 | 4,0 | 20 | 10 | 22 | 5,0 | 20 | 13 |
| Cd, Kadmium | 0,10 | 0,05 | 0,20 | 0,10 | <0,04 | 0,25 | 0,1 | 1,0 | - |
| Cr, Krom | 35 | 2300 | 250 | 10 | 35 | 100 | 5,0 | 20 | 41 |
| Cu, Kobber | 14 | 40 | 90 | 12 | 2,0 | 45 | 6,0 | 20 | 11 |
| Hg, Kvikksølv | 0,06 | 0,004 | 0,01 | 0,03 | 0,01 | 0,18 | 0,02 | 0,10 | - |
| Ni, Nikkel | 19 | 2000 | 130 | 5,0 | 2,0 | 70 | 5,0 | 20 | 12 |
| Zn, Sink | 52 | 60 | 100 | 50 | 20 | 100 | 40 | 50 | 60 |

2.1 Arsen

Arsen er et halvmetall som forekommer i små mengder i jordskorpen, 2,0 mg/kg i øvre kontinentalskorpe. Skiferbergarter og kull inneholder mest arsen (Reimann og Caritat, 1998). Grunnstoffet opptrer ofte sammen med kvikksølv og antimon. Viktige vertsmineraler er arsenkis, løllingitt, realgar, blyulfosalter samt nikkel- og koboltmineraler.

2.2 Bly

Bly forekommer i små mengder (17 mg/kg) i den øvre del av kontinentalskorpen (Reimann og Caritat, 1998). Skiferbergarter inneholder mest bly (Reimann og Caritat, 1998). Viktigste vertsmineral er blyglans, men bly danner også sulfat- og karbonatholdige mineraler. Bly opptrer også som sporelement i kalifeltspat.

2.3 Kadmium

Kadmium er et metall som forekommer i meget små mengder i jordskorpen, (0,102 mg/kg) i øvre kontinentalskorpe. Skiferbergarter og kull inneholder mest kadmium (Reimann og Caritat, 1998). Viktige vertsmineraler er sinkblende, smithsonitt, biotitt og amfibol.

2.4 Krom

Krom er et metall som forekommer i middels høye konsentrasjoner (35 mg/kg) i øvre kontinentalskorpe (Reimann og Caritat, 1998). Ultramafiske bergarter, gabbro og basalt inneholder mest krom. Viktigste vertsmineraler er kromitt. Det opptrer også som sporelement i amfibol, pyroksen, glimmer, kloritt, spinell, granat og epidot.

2.5 Kobber

Kobber er et metall som forekommer i middels høye konsentrasjoner (14,3 mg/kg) i øvre del av kontinentalskorpen (Reimann og Caritat, 1998). Gabbro og basalt inneholder mest kobber. De vanligste kobbermineralene er kobberkis, bornitt og kalkositt, men kobber forekommer også i glimmer, pyroksen og amfibol.

2.6 Kvikksølv

Kvikksølv er et sjeldent metall (0,056 mg/kg) i øvre del av kontinentalskorpen (Reimann og Caritat, 1998). Skiferbergarter inneholder mest kvikksølv (Reimann og Caritat, 1998). Det

vanligste kvikksølvmineralet er sinober, men det forekommer også som sporelement i andre mineraler (amfibol, sinkblende og andre sulfider).

2.7 Nikkel

Nikkel forekommer i middels høye konsentrasjoner (18,6 mg/kg) i den øvre del av kontinentalskorpen (Reimann og Caritat, 1998). Ultramafiske bergarter, gabbro og basalt inneholder mest nikkel (Reimann og Caritat, 1998). Det viktigste vertsmineralet er magnetkis (pentlanditt), men nikkel forekommer også i olivin, pyroksen, amfibol, glimmer, granater og sulfider.

2.8 Sink

Sink opptrer i middels konsentrasjoner (52 mg/kg) i den øvre del av kontinentalskorpen (Reimann og Caritat, 1998). Gabbro, basalt og skiferbergarter inneholder mest sink. (Reimann og Caritat, 1998). De viktigste vertsmineralene for sink er sinkblende og smithsonitt, men sink forekommer også som sporelement i pyroksen, amfibol, glimmer, granat og magnetitt.

3. HVORDAN ER LØSMASSENE DANNET?

Løsmassene i Norge er meget unge i et globalt geologisk perspektiv. De ble i all hovedsak dannet under siste istid og er altså omtrent 10 000 år gamle i motsetning til den røde laterittjord i afrikanske land som har ligget åpen for nedbrytningsprosesser i flere millioner år. Løsmasser som dannes fra berggrunn blir dannet gjennom flere forskjellige prosesser. Alt land som er over havoverflaten utsettes for nedslitende krefter, det forvitres og eroderes. Forvitring er nedbrytning av bergarter, på stedet, under påvirkning av luft, vann, trykkavlastning og temperatursvingninger. Sedimentasjon kalles det når løsmasser avsettes etter å ha vært transportert av rennende vann, isbreer, bølger, havstrømmer, vind eller av tyngdekraften alene. Avsetningene kalles sedimenter i geologisk terminologi, mens ordet sediment ofte benyttes spesifikt om sedimenter som befinner under vann i forurensingsterminologi.

Løsmasser dannes under mange forskjellige prosesser og det er ikke alltid mulig å direkte bruke berggrunn som en indikasjon på løsmassenes kjemiske sammensetning. Den kjemiske sammensetningen forandrer seg i tillegg over tid gjennom ulike kjemiske og biologiske jordsmonnsprosesser.

Løsmasser kan deles i flere typer:

- Morene
- Forvittringsjord
- Glasifluviale masser
- Fluviale masser
- Flomsedimenter
- Leire

Morene (Figur 2) er løsmasser som har vært erodert fra berggrunnen, transportert av innlandsisen og blitt avsatt direkte fra den uten annen type transport. Morenematerialet består av en blanding av usorterte bergartsfragmenter av alle størrelser (blokk, stein, grus, sand, silt og leir). Morenematerialet har kantete partikler og er vår vanligste type løsmasse. Avhengig av isens bevegelser og nedsmelting skapes forskjellige landskapsformer og avsetninger.



Figur 2. Morene i Østerdalen

Forvittringsjord (Figur 3) ble og blir dannet ved kjemisk og fysisk nedbrytning av bergarter. Kjemien til forvittringsjord er i hovedtrekk lik den til opphavsbergarten.



Figur 3. Forvittringsjord

Glasifluviale (eller breelv-) avsetninger (Figur 4) er dannet av smeltevannselver fra breene. I Norge ble det avsatt store sand- og grusmasser foran brekanten under isens tilbaketrekning etter istiden, og de danner nå vide, flate moer, som f.eks. Eggemoen på Ringerike og sandmoene på Romerike. Prosessene er fremdeles aktive i forbindelse med isbreene våre.



Figur 4. Glasifluviale avsetninger

En fluvial avsetning (Figur 5) kan også kalles elve- eller bekkeavsetning. Fluviale masser er godt sortert (lite variasjon i korstørrelse) og ofte godt rundet. De kan være lagdelt med ulike kornstørrelser som skyldes årstidsvariasjoner i vannføring.



Figur 5. Fluviale avsetninger

Flomsedimenter: Når elvene går flomstore, er vannet grumset av små partikler som er revet løs fra mange kilder i dreneringsfeltet. Under flom oversvømmes elvebreddene, og når vannstanden går tilbake, vil oppslemmet materiale legges igjen som sedimenter på elveslettene (Figur 6). En prøve tatt av slike sedimenter vil representere de deler av vassdraget der erosjonen er aktiv under flommen. Elveløp endrer seg med tiden, og tidligere hadde elvesystemet andre sedimentkilder. Sedimenter fra disse kildene ble avsatt på tilsvarende måte på elveslettene, men senere begravet under yngre sedimenter. På denne måten er det bygd opp lag på lag av sedimenter på elveslettene over hundrevis av år. Disse sedimentene kaller vi for flomsedimenter eller elveslettensedimenter.



Figur 6. Flomsedimentavsetning

Marine leirer: I hav og fjorder avsettes finkornete partikler (leire og silt) på bunnen. Disse partiklene danner marine leirer. Landhevingen etter siste istid medfører at vi kan finne marine avsetninger over dagens havnivå, helt opp mot 221 moh, men høyeste marine grense varierer betydelig langs kysten (Figur 7).



Figur 7. Avsetninger med marine leirer er typiske i deler av Trøndelag

4. DATAGRUNNLAG FOR Å VURDERE BAKGRUNNSVERDIER I NORGE

Geokjemisk kartlegging brukes for å få oversikt over fordelingen av grunnstoffer for både store og små arealer. Geokjemisk kartlegging inneholder tre hovedelementer; prøvetaking, kjemisk analyse og kartfremstilling. En grundig undersøkelse legger stor vekt på empiri ved geokjemisk kartlegging. Det betyr et stort antall prøver og kjemiske analyser bak hver enkelt kartlegging. Omfattende empiriske data, statistiske analyser og fraktal geometri (Bølviken m.fl., 1992) har vist at:

- Det trengs 20-30 prøver fra et område for å få en reproducerbar medianverdi
- Det trengs 40-50 prøver fra et areal for å få en reproducerbar verdi for aritmetisk gjennomsnitt
- Det trengs minimum 300 (nærmere 1000) prøver for å få et reproducerbart kartbilde (uavhengig av arealstørrelse)

En følge av siste kulepunkt er at det ikke er mulig å ta ut mindre delområder av en større kartlegging til å lage nye geokjemiske kart og fortsatt opprettholde tilstrekkelig god kvalitet, med mindre minimumskrav til antall prøver opprettholdes.

Gjennom de siste 30 årene har NGU gjennomført en rekke regionale og landsomfattende geokjemiske undersøkelser i Norge og på Svalbard som danner datagrunnlaget til denne rapporten (Figur 1).

4.1 Landsdekkende prøver av berggrunn

NGUs Litoprosjekt ble startet i 2006 og har som mål å kartlegge de geokjemiske og petrofysiske egenskapene til alle kartlagte bergartsenheter i Norge (LITO, 2007). Til nå er 1615 prøver analysert for tungmetallene bly, kadmium, krom, kobber, nikkel og sink, og 1115 prøver er analysert for arsen. Disse blir lagt til grunn i drøftingen av det naturlige bakgrunnsnivået i berggrunn. Litoprosjektet samler borkjerner fra snaue 4000 lokaliteter på landsbasis for å skaffe et prøvesett som er geografisk uniformt og geologisk representativt. For hver 9x9km rute i hele landet finnes et prøvetakingssted som skal tilfredsstillende krav til tilgjengelighet med borrhull, bart fjell og til sammen utgjøre et representativt utvalg av de viktigste bergartene i landet, basert på landsdekkende berggrunnskart i målestokk 1:250000. Prøvetakingen gjennomføres med kjerneboring til 3m dyp, der den siste 1m lengde benyttes for måling av geofysiske parametre og uttak av materiale til kjemisk og mineralogisk analyse med en rekke teknikker.

Prøveprepareringen omfatter valg av 10 cm av kjernen, knusing og mølling til steinmel i agatmølle før preparering for måling av totalinnhold av 43 grunnstoffer ved hjelp av røntgenfluorescens (XRF), og ekstraksjon med HNO₃ før bestemmelse av 42 grunnstoffer ved hjelp av induktivt koblet plasma atomemisjonsspektroskopi (ICP-AES) og induktivt koblet plasma massespektrometri (ICP-MS). Prosjektet håndterer innkomne borkjerner i batcher á 500 prøver til analyse med de ulike teknikkene. Med et slik langsiktig prosjekt og stort antall prøver, kan det over tid oppstå små endringer i metoder på laboratoriet. Dette håndteres med kontroller mellom batchene, men det kan f.eks forekomme at bestemmelsesgrensen for det enkelte grunnstoff endres. Resultatene presenteres i kapittel 6.

4.2 Landsdekkende prøver av løsmasser

To nasjonale undersøkelser er lagt til grunn når det gjelder løsmasser. Rundt 690 prøver av flomsedimenter i Norge analysert for arsen og tungmetaller (Ottesen og medarbeidere, 2000). I forbindelse med en landsomfattende innsamling av humusprøver ble det i 1985 også tatt prøver fra C-horisont fra 494 lokaliteter. Disse ble analysert for bly, kadmium, kobber, krom, nikkel og sink (Njåstad og medarbeidere, 1994). Flomsedimentprøvene kan ses som samleprøve som dekker et større areal, mens moreneprøvene definerer kjemien i enkeltlokaliteter. Derfor kan disse prøvemediene ikke direkte sammenlignes eller slås sammen til et datasett.

4.2.1 Flomsedimenter

NGU samlet inn prøver av flomsediment fra hele landet gjennom feltsesongene 1984-85. Prøvene er tatt på elvesletter der elvene i flomsituasjoner avsetter noe av det suspenderte materialet. Prøven ble tatt som en samleprøve fra ca 10cm dyp og nedover i sedimentprofilen, for å unngå å få med materiale som kan reflektere de mest moderne sedimentkildene som fyllinger og andre gravemasser. Det ble samlet prøver fra 690 lokaliteter, som gir en prøvetakingstetthet på noe mer enn 1/500 km², og fra elver med dreneringsfelt mellom 60 og 300 km² (Ottesen og medarbeidere, 2000).

Prøvene ble tørket ved romtemperatur og preparert ved NGU med sikting på nylonsikt til kornstørrelse $<63\mu\text{m}$ før ekstraksjon med HNO_3 og analyse med ICP-AES og atomabsorpsjonsspektroskopi (AAS).

NGU deltok i et europeisk samarbeid (FOREGS) der det ble samlet inn en rekke prøvemedier. Det ble samlet inn flomsedimentprøver fra 47 lokaliteter i Norge i 1997. Disse prøvene er tatt med her, ettersom sedimentene også ble analysert på kvikksølv i dette prosjekt, i motsetning til prøvene fra 1984-85. Før analyse med kalddamp atomabsorpsjonsteknikk, ble kvikksølv frigjort fra prøven ved oppvarming til 850 C , konsentrert ved amalgamering med gull, og ny frigjøring ved oppvarming i forbindelse med analysen. For de andre grunnstoffene ble prøvene ekstrahert ved hjelp av kongevann (Salminen og medarbeidere, 2005).

4.2.2 Løsmasse (hovedsakelig morene og glasifluvialt materiale)

Sommeren 1985 ble det gjennomført en prøvetaking av løsmasser fra 494 lokaliteter over hele landet. Disse falt i stor grad sammen med samtidig prøvetaking av humus og mose i skogjord, med noe tettere prøvetaking på Sør- og Sørvestlandet enn områder lenger unna de tettere befolkede områdene på kontinentet. Prøvelokalitetene ble lagt utenfor tettbygde strøk for å unngå lokal antropogen påvirkning. Prøvene er fra et dyp i jordprofilen som i utgangspunktet ansees som upåvirket av den naturlige jordsmonnsutviklingens endring av kjemisk sammensetning.

Prøvene ble tørket, siktet og ekstrahert på samme måte som flomsedimentene, og analysene ble gjennomført med ICP-AES. Ytterligere beskrivelse av metode finnes i Njåstad og medarbeidere (1994).

Det eneste datasettet som har data for As i Finnmark er flomsediment-datasettet (det eksisterer ingen As-analyser fra berggrunnsprøvene i Finnmark). For å komplementere flomsedimentdatasettet er det brukt data fra prøvetaking av løsmasse i Finnmark tilsvarende den landsdekkende, men med en prøvetakingstetthet på 1 prøve/30-40 km^2 , mot ca 1 prøve/600 km^2 for den landsdekkende (Reimann, C., Finne T.E., Filzmoser, P. 2011). Prøvebehandlingen fram til ekstraksjon er som for de øvrige løsmassesettene, men det er benyttet kongevann (HNO_3 og HCl) for ekstraksjon. Ekstraksjonsutbyttet med kongevann er i samme størrelsesorden som med HNO_3 . Resultatene presenteres i kapittel 7.

4.3 Prøver fra byområder

I Oslo og Trondheim er det gjennomført systematisk boring og prøvetaking for å kartlegge naturlig innhold av arsen og metaller i løsmassene under byjorda. For Oslo finnes det resultater for 157 prøver fra naturlige masser (Eggen og Andersson, 2009) og for Trondheim finnes det 215 prøver (Ottesen og medarbeidere, 2000). Resultatene presenteres i kapittel 8.

5. METODIKK

Det er fremstilt kart for konsentrasjonen av de ulike kjemiske variable i berggrunn og løsmasser med berggrunn som basiskart ved bruk av ArcGIS. Den statistiske programvaren R med programpakkene rgr og StatDA er benyttet for å fremskaffe beskrivende statistiske

parametre, ved tegning av diagram og beregning av overskridelse av normverdi. Ved beregning av statistiske parametre for resultat under deteksjonsgrense (DL) er den halve deteksjonsgrenseverdien benyttet ($DL*0,5$) (Helsel, 1990).

6. RESULTATER FOR PRØVER AV BERGGRUNN

Krom, nikkel, arsen og kobber er de grunnstoffene som har flest verdier over normverdi i norsk berggrunn (Tabell 2). Geologisk sett er overskridelsene av disse elementene knyttet til forekomst av gabbro, basiske- og ultrabasiske bergarter. Geografisk er dette lokalisert i Trøndelag og Karasjokområdet i Finnmark (Tabell 3, Vedlegg 1). Overskridelsene for arsen er knyttet til skiferbergarter på Østlandet og i Rogaland. Det er overskridelser for bly i 4 av 1615 prøver. De fire prøvene er ikke knyttet til en spesiell bergartstype.

Tabell 2. Resultat fra Litoprojektet. Alle verdier i mg/kg.

| Element | Antall | Min. | 1.-kvartil | Median | Gjennomsnitt | 3.-kvartil | Maks. | Normverdi | n > norm | % > norm |
|---------|--------|-------|------------|--------|--------------|------------|-------|-----------|----------|----------|
| As | 1115 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,9 | 2,0 | 64 | 8 | 25 | 2,2 |
| Pb | 1615 | < 1,0 | < 1,0 | 2,2 | 3,9 | 5,0 | 203 | 60 | 4 | 0,2 |
| Cd | 1615 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 1,2 | 1,5 | 0 | 0,0 |
| Cr | 1615 | 0,10 | 1,7 | 11 | 31 | 38 | 712 | 50 | 329 | 20,4 |
| Cu | 1615 | 0,25 | 1,3 | 9 | 21 | 30 | 774 | 100 | 34 | 2,1 |
| Ni | 1615 | 0,50 | 1,9 | 10 | 26 | 29 | 1830 | 60 | 167 | 10,3 |
| Zn | 1615 | 0,50 | 23 | 40 | 44 | 61 | 421 | 200 | 1 | 0,1 |

Tabell 3. Geografiske områder med verdier i berggrunn som overskrider normverdier.

| Element | |
|---------|--|
| As | Deler av Oppland, Vestfold og Rogaland |
| Pb | Kun 4 prøver overskrider normverdi |
| Cd | - |
| Cr | Deler av Finnmark, Sør-Trøndelag og Nord-Trøndelag |
| Cu | Deler av Finnmark, Sør-Trøndelag og Nord-Trøndelag |
| Ni | Deler av Finnmark, Sør-Trøndelag og Nord-Trøndelag |
| Zn | Kun 1 prøve overskrider normverdi |

7. RESULTATER FOR PRØVER AV LØSMASSER

7.1 Flomsedimenter

Krom er det metallet som oftest overskrider normverdien, etterfulgt av arsen og bly (Tabell 4 og 5). Geografisk er disse overskridelsene lokalisert til Trøndelag og Finnmark (Tabell 6 og Vedlegg 1).

Overskridelsene for arsen er geografisk mer spredt, med de høyeste verdier i Sunnhordland, Valdres, Nasafjellområdet i Nordland samt Nordkynn og nordlige del av Varanger halvøya (Figur 8). På Sørlandet finnes de høyeste blyverdiene.

Tabell 4: Flomsedimenter i Norge. Alle verdier i mg/kg.

| Variabel | Antall | Min. | 1.-kvartil | Median | Gjennomsnitt | 3.-kvartil | Maks | Norm verdi | N > norm | % > norm |
|----------|--------|------|------------|--------|--------------|------------|------|------------|----------|----------|
| As | 680 | 0,07 | 1,1 | 2,5 | 4,1 | 4,77 | 58 | 8 | 95 | 14,0 |
| Pb | 681 | 1 | 11 | 16 | 22 | 24 | 157 | 60 | 33 | 4,6 |
| Cd | 690 | <1 | <1 | 0,5 | 1,0 | <1 | 5 | 1,5 | 12 | 1,7 |
| Cr | 690 | 2,6 | 18 | 27 | 33 | 41 | 246 | 50 | 104 | 15,1 |
| Cu | 690 | 1,3 | 15 | 22 | 27 | 33 | 346 | 100 | 11 | 1,6 |
| Ni | 690 | 2 | 11 | 18 | 23 | 27 | 1100 | 60 | 18 | 2,6 |
| Zn | 690 | 1,7 | 32 | 45 | 54 | 63 | 1000 | 200 | 8 | 1,2 |

Tabell 5. Flomsedimenter i Norge (FOREGS-prosjektet). Alle verdier i mg/kg.

| Variabel | Antall | Min. | 1.-kvartil | Median | Gjennomsnitt | 3.-kvartil | Maks | Norm verdi | N > norm | % > norm |
|----------|--------|-------|------------|--------|--------------|------------|------|------------|----------|----------|
| As | 47 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,9 | 2,5 | 12 | 8 | | |
| Pb | 47 | 1,5 | 5,5 | 7,0 | 12 | 12 | 116 | 60 | | |
| Cd | 47 | 0,05 | 0,15 | 0,20 | 0,31 | 0,32 | 1,9 | 1,5 | | |
| Cr | 47 | 6,0 | 15 | 21 | 27 | 35 | 75 | 50 | | |
| Cu | 47 | 4,0 | 12 | 17 | 22 | 23 | 139 | 100 | | |
| Hg | 47 | 0,002 | 0,007 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,1 | 1 | | |
| Ni | 47 | 2,0 | 13 | 19 | 19 | 25 | 50 | 60 | | |
| Zn | 47 | 12 | 34 | 46 | 53 | 59 | 200 | 200 | | |

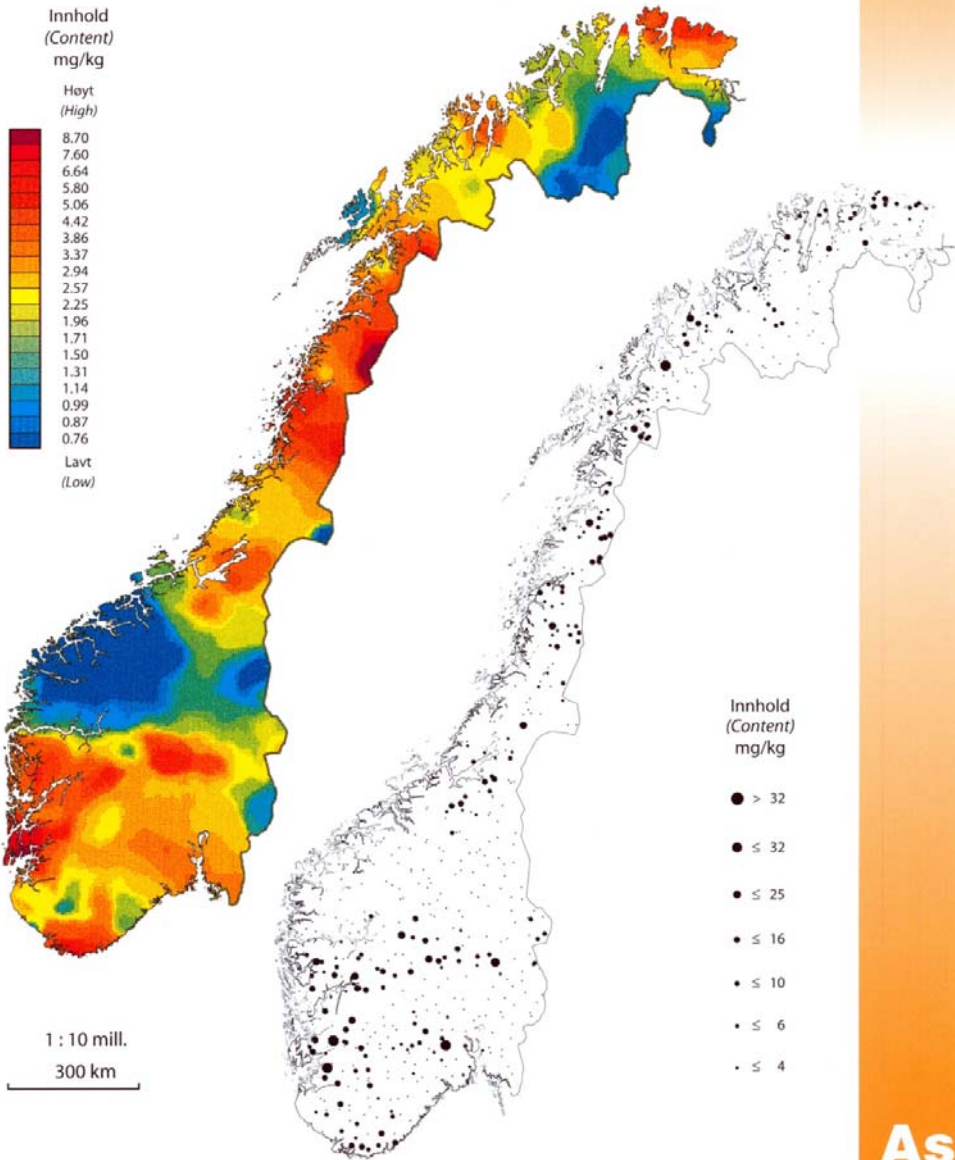
Tabell 6. Geografiske områder med verdier i flomsedimenter som overskrider normverdier.

| Element | |
|---------|---|
| As | Deler av Hordaland, Oppland, Nordland og Finnmark fylker |
| Pb | Sydligste deler av Aust- og Vest-Agder |
| Cd | |
| Cr | Deler av Sør-Trøndelag, Nord-Trøndelag og Finnmark fylker |
| Cu | |
| Hg | |
| Ni | Deler av Sør-Trøndelag, Nord-Trøndelag og Finnmark fylker |
| Zn | |

Arsen i flomsedimenter

Syreløselig del

(Arsenic in overbank sediments: Acid-soluble part)



Figur 8. Arsen i flomsedimenter i Norge

7.2 Morene

Krom, nikkel og kobber er de metaller med flest prøver over normverdi i morene (Tabell 7). Geografisk er overskridelsene av de andre metallene spredt ut over landet som enkeltpunkter (Vedlegg 1).

Tabell 7. C-horisont (Njåstad m.fl., 1985) Alle verdier i mg/kg.

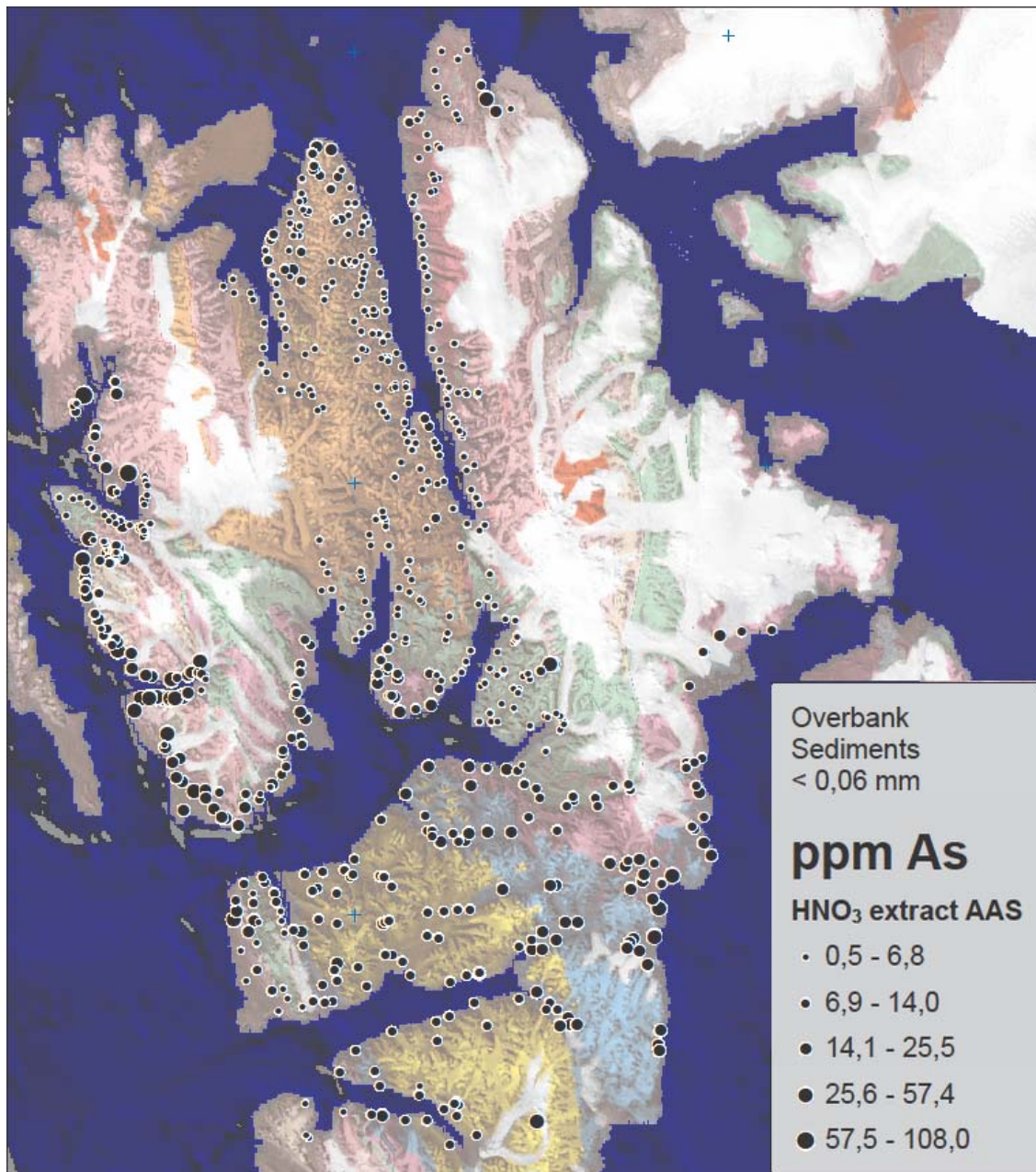
| Variabel | Antall | Min. | Median | Gjennom-snitt | 3.-kvartil | Maks | Norm verdi | N > norm | % > norm |
|----------|--------|------|--------|---------------|------------|------|------------|----------|----------|
| Pb | 494 | 2,5 | 13 | 17 | 20 | 196 | 60 | 10 | 2,0 |
| Cd | 494 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 2,2 | 1,5 | 2 | 0,4 |
| Cr | 494 | 1,0 | 27 | 37 | 47 | 388 | 50 | 115 | 23,3 |
| Cu | 494 | 2,6 | 27 | 41 | 50 | 324 | 100 | 40 | 8,1 |
| Ni | 494 | 1,0 | 19 | 28 | 36 | 435 | 60 | 46 | 9,3 |
| Zn | 494 | 4,7 | 41 | 48 | 61 | 644 | 200 | 2 | 0,4 |

7.3 Flomsedimenter Svalbard

Nær halvparten av prøvene på Svalbard overskrider normverdien for arsen (Tabell 8). Overskridelsene opptrer på Vest-Spitsbergen, der bosetningene er (Figur 9).

Tabell 8. Flomsedimenter på Svalbard (Ottesen og medarbeidere, 2010). Alle verdier i mg/kg.

| Variabel | Antall | Min. | 1.-kvartil | Median | Gjennom-snitt | 3.-kvartil | Maks | Norm verdi | N > norm | % > norm |
|----------|--------|-------|------------|--------|---------------|------------|------|------------|----------|----------|
| As | 650 | 0,5 | 3,2 | 6,8 | 9,2 | 13 | 108 | 8 | 294 | 45,2 |
| Pb | 650 | 0,5 | 8 | 12 | 14 | 17 | 85 | 60 | 2 | 0,3 |
| Cd | 650 | 0,01 | 0,09 | 0,15 | 0,21 | 0,24 | 1,6 | 1,5 | 2 | 0,3 |
| Cr | 650 | 4,1 | 17 | 22 | 24 | 29 | 174 | 50 | 21 | 3,2 |
| Cu | 650 | 0,92 | 13 | 20 | 22 | 28 | 163 | 100 | 5 | 0,8 |
| Hg | 650 | 0,005 | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,25 | 1 | 0 | 0,0 |
| Ni | 650 | 5 | 20 | 28 | 31 | 38 | 158 | 60 | 40 | 6,2 |
| Zn | 650 | 11 | 50 | 68 | 67 | 83 | 169 | 200 | 0 | 0,0 |



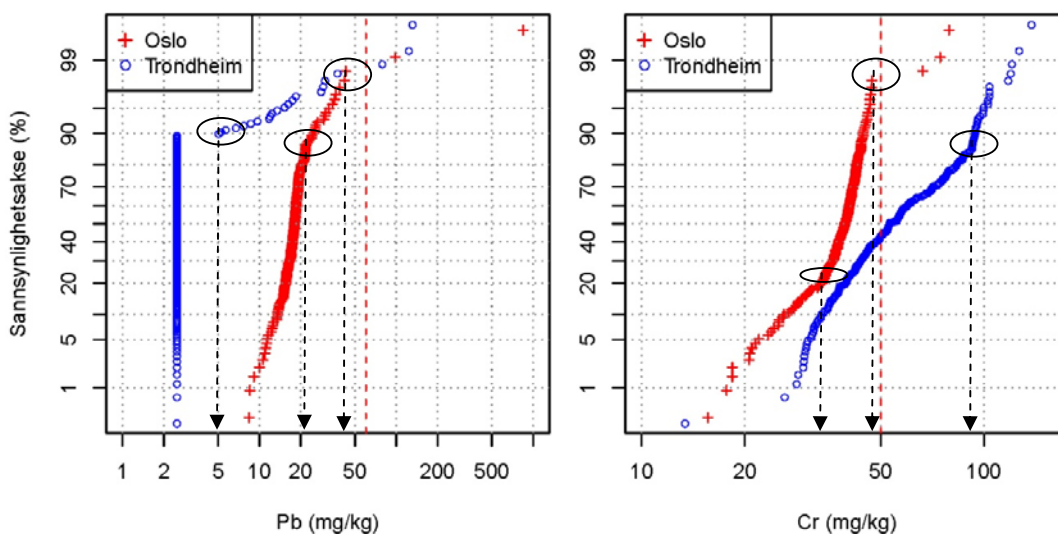
Figur 9. Arsen i flomsedimenter fra Spitsbergen (Ottesen og medarbeidere, 2010).

8. NATURLIG BAKGRUNN I BYER

Kjennskap til det naturlige bakgrunnsnivået er særlig viktig i byer, der den største andelen av gravevirksomhet finner sted. Man må ha kjennskap til den naturlige bakgrunnsverdien når man skal kunne gjøre vurderinger hvorvidt massene har en konsentrasjon som tilsvarer den naturlige bakgrunnsverdien eller om massene er forurenset.

Under grave- og byggearbeider er man lovpålagt å vurdere om det er forurenset grunn i området der terrenginngrepet er planlagt gjennomført. Dersom det er grunn til å tro at området er forurenset, skal det utføres nødvendige undersøkelser for å klarlegge omfanget av den eventuelle forurensningen (Forurensningsforskriftens kapittel 2). I byer med lengre urban og industriell historie, og dertil byjord (diffuse kilder til forurensning) og gamle industriområder (konkrete kilder til forurensning), vil man følgelig ofte ha ”grunn til å tro” at området er forurenset. Ved grave- og byggesaksbehandling i byene må derfor slike vurderinger ofte utføres med dårlig kjennskap til den lokale bakgrunnsverdien. Datagrunnlaget for Oslo og Trondheim kommer fra forskjellige byundersøkelser gjort av NGU.

Ved å benytte en grafisk statistisk metode er det mulig å vurdere om prøvene har sitt opphav i flere kilder. I et bymiljø kan de forskjellige kildene motsvare naturlig bakgrunn og antropogen påvirkning. En kumulativ frekvensfordelingskurve viser fordelingen av et element for alle prøver i én og samme kurve. Et knekkpunkt i kurven antyder skille mellom to ulike kilder til elementet (Bølviken, 1973). I et diagram for et tilstrekkelig antall prøver av antatt naturlige masser, er det rimelig å anta at et knekkpunkt i frekvensfordelingen viser skillet mellom de naturlige og de antropogent påvirkede prøvene, se Figur 10. Konsentrasjonen ved knekkpunktet (den sorte pilen i Figur 10) vil være den øvre grensen for det naturlige konsentrasjonsnivået til elementet i det undersøkte området.



Figur10: De kumulative frekvensfordelingene gir en indikasjon på den naturlige bakgrunnsverdien for Oslo og Trondheim. De to hovedbergartstypene i Oslo kan ses som to knekkpunkter mens Trondheim i hovedtrekk har en hovedbergartstype.

8.1 Oslo

Bestemmelse av byjordsområdet i Oslo baseres på resultater fra boreprøver i Oslo by som ble gjennomført i 2006 og 2008 (Eggen og Andersson, 2009) for å opprette et aktsomhetskart for forurenset grunn. Det ble tatt boreprøver ned til 3 meter, der det ble samlet én prøve for hver meter. Til sammen ble det boret ved 484 lokaliteter. I Oslo ble bakgrunnsverdien beregnet fra prøver som er tatt mellom 2 og 3 meters dyp. For å unngå at resultat fra masser som egentlig er fyllmasser tas med i beregningen, er det valgt ut de 157 prøver som i henhold til de originale boreloggene er definert som naturlige masser (inkludert marin leire). I Oslo er det fem av grunnstoffene der bakgrunnsverdiene overgår normverdiene: As (2,5% av prøvene overgår normverdien), Ni (1,9%), Cr (1,3%), Zn (1,3%) og Pb (0,6 %), som vist i Tabell 9.

Tabell 9. Naturlig innhold av arsen og tungmetaller i løsmasser i Oslo

| Variabel | Antall | Min. | Median | Gjennomsnitt | Maks | Norm verdi | % > norm |
|----------|--------|-------|--------|--------------|------|------------|----------|
| As | 157 | <2 | 5,0 | 5,0 | 13 | 8 | 2,5 |
| Pb | 157 | 8,4 | 18 | 19 | 98 | 60 | 0,6 |
| Cd | 157 | <0,10 | 0,05 | 0,11 | 0,9 | 1,5 | 0 |
| Cr | 157 | 16 | 40 | 38 | 79 | 50 | 1,3 |
| Cu | 157 | 8,8 | 28 | 28 | 93 | 100 | 0 |
| Hg | 157 | <0,01 | 0,03 | 0,03 | 0,17 | 1 | 0 |
| Ni | 157 | 17 | 43 | 43 | 145 | 60 | 1,9 |
| Zn | 157 | 51 | 91 | 93 | 280 | 200 | 1,3 |

Konsentrasjoner for marine leirer er presentert i Tabell 10. Resultatene viser ingen store forskjeller i konsentrasjon mellom marine leirer og summen av alle naturlige løsmasser i Oslo by. Hvis sammenligningen utføres mellom de prøver som definitivt kan tolkes som marin leire mot resterende, kan man se litt høyere konsentrasjoner av krom, kobber, nikkel og sink i de marine leirene. Mediankonsentrasjonen av arsen for marine leirer prøvetatt fra havbunn ved Troms og Finnmark er 6,0 mg/kg, gjennomsnittet 6,6 mg/kg (upublisert materiale, NGU).

Tabell 10. Naturlig innhold av arsen og tungmetaller i marine leirer i Oslo.

| Variabel | Antall | Min. | Median | Gjennomsnitt | Maks |
|----------|--------|-------|--------|--------------|------|
| As | 80 | 2,8 | 5,0 | 5,0 | 8,3 |
| Pb | 80 | 11 | 18 | 19 | 35 |
| Cd | 80 | <0,1 | 0,05 | 0,10 | 0,40 |
| Cr | 80 | 23 | 41 | 40 | 47 |
| Cu | 80 | 13 | 31 | 29 | 41 |
| Hg | 80 | <0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,09 |
| Ni | 80 | 19 | 46 | 43 | 60 |
| Zn | 80 | 51 | 93 | 93 | 163 |

8.2 Trondheim

For Trondheim er det tatt utgangspunkt i en bykartlegging som ble gjennomført i 2000 (Ottesen og medarbeidere, 2000). Fra boreloggene er det valgt ut de prøver som under

boringen er definert som naturlige masser (inkludert marin leire). I Trondheim er fire av grunnstoffene der bakgrunnsverdiene overgår normverdiene: As (2,3 %), Pb (1,4 %), Cr (57 %) og Ni (35 %) (Tabell 11). Konsentrasjoner for marine leirer er presentert i Tabell 12. Resultatene viser at marine leirer i Trondheim har høyere konsentrasjoner av arsen, krom, kobber, nikkell og sink enn summen av alle naturlige masser i Trondheim.

Tabell 11. Naturlig innhold av arsen og tungmetaller i løsmasser i Trondheim

| Variabel | Antall | Min. | Median | Gjennomsnitt | Maks. | Norm verdi | % > norm | Normverdi Trondheim | % > norm |
|----------|--------|--------|--------|--------------|-------|------------|----------|---------------------|----------|
| As | 215 | < 1,0 | 4,7 | 4,7 | 38 | 8 | 2,3 | 8 | 2,3 |
| Pb | 215 | <5 | 2,5 | 5,2 | 132 | 60 | 1,4 | 60 | 1,4 |
| Cd | 215 | < 0,02 | 0,08 | 0,09 | 0,42 | 1,5 | 0 | 1,5 | 0 |
| Cr | 215 | 13 | 53 | 60 | 138 | 50 | 56,7 | 100 | 0 |
| Cu | 215 | 3,8 | 30 | 31 | 73 | 100 | 0 | 100 | 0 |
| Hg | 215 | < 0,01 | 0,005 | 0,02 | 0,45 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Ni | 215 | 15 | 42 | 46 | 95 | 60 | 35,3 | 75 | 2,9 |
| Zn | 215 | 19 | 69 | 66 | 145 | 200 | 0 | 200 | 0 |

Tabell 12. Naturlig innhold av arsen og tungmetaller i marin leire i Trondheim

| Variabel | Antall | Min. | Median | Gjennomsnitt | Maks |
|----------|--------|-------|--------|--------------|------|
| As | 87 | 3,3 | 5,8 | 6,1 | 38 |
| Pb | 87 | <5 | 2,5 | 2,5 | 30 |
| Cd | 87 | 0,05 | 0,09 | 0,10 | 0,28 |
| Cr | 87 | 39 | 90 | 90 | 138 |
| Cu | 87 | 16 | 44 | 44 | 73 |
| Hg | 87 | <0,01 | 0,005 | 0,005 | 0,07 |
| Ni | 87 | 20 | 68 | 65 | 95 |
| Zn | 87 | 48 | 89 | 91 | 144 |

9. DATAKVALITET – NOEN KRITISKE BETINGELSER

De nasjonale datasettene vil danne et godt bilde over hvor det kan påregnes forhøyede bakgrunnsverdier i berggrunn og løsmasser samt regionale kjemiske forskjeller i nasjonal skala. De eksisterende datasettene gjør det likevel ikke mulig å beregne de arealer eller mengder masser som berøres av for høye bakgrunnsverdier ettersom resultatene er designet for å se kjemiske mønster i stor skala og geologien er veldig heterogen. For å kunne beregne areal/mengde masse som berøres av bakgrunnsverdier over normverdi kreves et tettere prøvegrunnlag enn regionale undersøkelser. For å kunne beregne pålitelige bakgrunnsverdier i en by er det nødvendig å bore 40-50 borhull for å prøveta naturlige masser. Man vil da kunne bestemme en reproducerbar gjennomsnittsverdi for byen under ett.

9.1 Kornstørrelse

Resultatene for kjemi av løsmasser er helt avhengig av hvilke kornstørrelse som er analysert. Samme prøve får helt forskjellig svar om fraksjonene < 0,06 mm og < 2 mm blir analysert. En finkornet prøve har et høyere innhold av arsen og metaller enn en grovkornet som presentert i Tabell 13 og 14. Derfor burde resultater fra analyser for prøver med forskjellige kornstørrelser ikke direkte sammenlignes.

Tabell 13. Sammenligning av medianverdier for forskjellige kornstørrelser i løsmasser. Tallene som sammenlikner <0,063mm og <2mm fra samme prøvesett er fra Chekushin m.fl. (1993) og Reimann mfl. (2011)

| | Flomsediment Norge | C-horisont løsmasse Norge | C-horisont løsmasse Norge, Finland, Russland. N=45, 12000 km ² | | C-horisont løsmasse Nord-Troms. N=93, 21000 km ² | |
|---------|--------------------|---------------------------|---|----------------|---|----------------|
| | <0,063 mm fraksjon | < 0,063 mm fraksjon | <0,063 mm fraksjon | <2 mm fraksjon | < 0,063 mm fraksjon | <2 mm fraksjon |
| Arsen | | | 3,0 | 0,91 | 3,8 | 1,5 |
| Bly | 14 | 13 | 13 | 4,8 | 5,9 | 3,0 |
| Kadmium | <1 | <0,5 | <0,3 | 0,04 | 0,07 | 0,03 |
| Krom | 27 | 37 | 39 | 19 | 41 | 24 |
| Kobber | 22 | 41 | 25 | 16 | 42 | 20 |
| Nikkel | 18 | 28 | 19 | 11 | 29 | 20 |
| Sink | 45 | 48 | 34 | 20 | 48 | 30 |

Tabell 14. Endring i konsentrasjon av metaller som funksjon av kornstørrelse. I alt 45 prøver av morene fra skog i Osloområdet ble siktet til tre ulike kornfraksjoner og analysert etter ekstraksjon med HNO₃. (etter Sæther og medarbeidere, 2007).

| Variabel | Minimum | 1.-kvartil | Median | Gjennomsnitt | 3.-kvartil | Maks | Fraksjon [µm] |
|----------|---------|------------|--------|--------------|------------|------|---------------|
| As | 1,0 | 2,5 | 3,6 | 3,7 | 4,7 | 6,7 | <60 |
| Arsen | 1,0 | 1,0 | 2,6 | 2,4 | 3,2 | 5,2 | 250-60 |
| | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,7 | 2,3 | 4,0 | 2000-250 |
| Pb | 6,6 | 8,8 | 12 | 13 | 15 | 38 | <60 |
| Bly | 3,0 | 6,5 | 8,7 | 11 | 15 | 30 | 250-60 |
| | 4,0 | 5,7 | 6,9 | 10 | 13 | 36* | 2000-250 |
| Cd | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,07 | 0,05 | 0,19 | <60 |
| Kadmium | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,20 | 250-60 |
| | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,20 | 2000-250 |
| Cr | 2,8 | 13 | 18 | 20 | 23 | 67 | <60 |
| Krom | 1,5 | 9,6 | 13 | 14 | 17 | 33 | 250-60 |
| | 1,4 | 7,7 | 12 | 11 | 15 | 20 | 2000-250 |
| Cu | 0,25 | 2,6 | 5,2 | 5,4 | 7,7 | 13 | <60 |
| Kobber | 0,25 | 2,1 | 3,5 | 3,8 | 4,7 | 11 | 250-60 |
| | 0,25 | 1,7 | 3,0 | 3,4 | 4,3 | 15* | 2000-250 |
| Ni | 0,50 | 4,2 | 8,9 | 10 | 15 | 37 | <60 |
| Nikkel | 0,50 | 3,4 | 7,1 | 7,6 | 10 | 22 | 250-60 |
| | 0,50 | 3,5 | 6,8 | 7,3 | 11 | 16 | 2000-250 |
| Zn | 0,50 | 23 | 31 | 31 | 44 | 69 | <60 |
| Sink | 0,50 | 16 | 22 | 25 | 35 | 61 | 250-60 |
| | 1,4 | 16 | 21 | 23 | 27 | 45 | 2000-250 |

* prøven hadde seriens høyeste innhold av organisk karbon i alle fraksjoner.

Selv om flomsedimentprøvene som presenteres i denne rapporten er siktet til < 0,063 mm inneholder prøvene ikke noe av den aller fineste fraksjonen, nemlig leire. C-horisont løsmasse har derfor en litt annen kornfordeling. Denne vil variere fra sted til sted, mens flomsedimentene har en mye mer likeartet kornfordeling på forskjellige lokaliteter. Denne faktor må derfor tas hensyn til når resultatene vurderes. Ved miljøundersøkelser blir vanligvis løsmassene ikke siktet og analysen utføres på en bulkprøve. Man kan da forvente seg en elementkonsentrasjon som er nærmere 2 mm fraksjonen enn den finere fraksjonen.

9.2 Prøveopplutning

Mange jordprøver blir innsamlet i Norge i forbindelse med undersøkelse av forurenset grunn. En viktig faktor som påvirker analyseresultatet er hvordan prøven blir oppluttet, dvs hvilke syre og syrestyrke som benyttes, samt opplutningsmetode:

- Autoklav
- Mikrobølgeovn
- Kongevann
- Salpetersyre

Det bør settes klare krav til prøvebehandling og analysemetoder når en jordprøve skal sammenlignes med normverdi eller tilstandsklasse.

10. KOMMENTARER TIL NORMVERDI

Normverdien er en grenseverdi som forteller om grunnen kan innebære en forureningsrisiko eller ikke. Konsentrasjoner under normverdien utgjør ingen risiko for helse eller miljø, mens konsentrasjoner over normverdien *kan* utgjøre en risiko for helse eller miljø. Begrepet normverdi knyttes til den risikoen stoffet representerer og er uavhengig av områdets arealbruk. Ved fastsetting av normverdien er det for noen stoffer også til en viss grad tatt hensyn til bakgrunnskonsentrasjoner i norsk jord. Dette gjelder særlig arsen, sink og krom.

I definisjonen av forurenset grunn er det tatt hensyn til både normverdi og bakgrunnsnivå, jf. forureningsforskriften kap. 2, § 2-3a. Normverdiene følger som vedlegg 1 til denne forskriften.

11. MOBILITET OG TILGJENGELIGHET AV ELEMENT

Mobiliteten av et element har sammenheng med kornfordelingen av materialet. Finfordelt materiale med et høyt overflateareal gir et høyere utlekkingspotensial enn en større blokk av samme bergart. En annen faktor som påvirker mobiliteten er eksponering for vann og oksygen samt hvilke mineraler metallene opptrer i. Noen mineraler omdannes og oppløses lettere enn andre. Forvittringsmineraler kan ha et annerledes utlekkingspotensiale enn primærmineraler.

Arsen og tungmetaller avsatt i løsmasser på grunn av antropogen aktivitet opptrer ofte i biotilgjengelig form som karbonat eller jern-manganforbindelser. De samme grunnstoffene er mye vanskeligere biotilgjengelige i sin naturlige opptredelsesform, ettersom metaller i naturlig opptredelsesform opptrer inkludert i mineralgitteret (Chlopecka og medarbeidere 1996, Mielke og medarbeidere 2011).

12. KONKLUSJON

I berggrunnen er overskridelsene størst for krom, nikkel og arsen. Overskridelsene for krom og nikkel forekommer i vulkanske bergarter i Trøndelag og i Finnmark. Skiferbergarter kan ha forhøyet arseninnhold på Østlandet og i Rogaland. Berggrunnen er meget heterogen og det er vanskelig å angi nøyaktig avgrensning områder med forhøyet bakgrunnsnivå.

I løsmassene (flomsedimenter og morene) er det grunnstoffene krom, kobber, arsen og bly som overskrider normverdiene. Forhøyet innhold av krom opptrer i Trøndelag og Finnmark. Arseninnholdet er forhøyet i Sunnhordland, Valdres, deler av Nordland og Varangerhalvøya. På Sørlandet er det mulighet for overskridelse av normverdien for bly.

På Svalbard inneholder løsmassene betydelig høyere arsenkonsentrasjoner enn tilsvarende materiale på fastlandet. 45,2 prosent av prøvene overskrider normverdien på 8 mg/kg.

Hovedparten av dagens massedisponering foregår i og rundt de største byene. De naturlige bakgrunnsnivåene bør bestemmes ordentlig i de største byene. Slik kan det gis et bedre bestemmelsesgrunnlag i bygge- og gravearbeider der lokale variasjoner må tas i betraktning.

13. REFERANSER

- Bølviken, B. 1973. Statistisk beskrivelse av geokjemiske data. Norges geologiske undersøkelse Skrifter 3, nr 285.
- Bølviken, B., Stokke, P.R., Feder, J. og Jössang, T., 1992. *The fractal nature of geochemical landscapes*. Journal of Geochemical Exploration, 43, s. 91-109.
- Chekushin, V.A.; Bogatyrev, I.V.; Finne, T.E.; Misund, A.; Niskavaara, H.; Pavlov, V.A.; Volden, T.; Äyräs, M. 1993. Report on Joint Ecogeochemical Mapping and Monitoring in the Scale of 1:1 million in the West Murmansk Region and the Contiguous Areas of Finland and Norway. NGU report 93.152
- Clhopecka, A.; Bacon, J.R.; Wilson, M.J. og Kay, J. 1996. Forms of cadmium, lead and zinc in contaminated soils from south-west Poland. Journal of environmental quality, 25:69-79.
- Eggen, O., Andersson, M. 2009. Aktsomhetskart for forurenset grunn i Oslo - Geokjemiske kart for arsen, tungmetaller og organiske miljøgifter. NGU-rapport 2009.055.
- Helsel, D.R, 1990. *Less than obvious – statistical treatment of data below the detection limit*. Environmental Science and Technology, 24, s.1766-1774.
- LITO, http://www.ngu.no/lito/bakgrunn_status.htm, besøkt 6.mai 2011.
- Mielke, H., Alexander, J., Langedal, M og Ottesen, R.T. 2011. Children soil and health: How do polluted soils influence childrens health?. In EDS: C. Johnsen, A. Demetriades, J. Locutur og Ottesen , R.T.: Mapping of the chemical environment of urban areas, 134- 150.
- Reimann, C., Finne T.E., Filzmoser, P. 2011. Nye geokjemiske data fra en samling moreneprøver fra Nordland, Troms og Finnmark. NGU-rapport 2011.044.
- Mason, B. 1966. Principles of Geochemistry. John Wiley and Sons. New York, 329 sider.
- Njåstad, O., Steinnes, E., Bølviken, B. og Ødegård, M. 1994. Landsomfattende kartlegging av elementsammensetning i naturlig jord: Resultater fra prøver innsamlet i 1977 og 1985 oppnådd ved ICP emisjonsspektrometri. NGU Rapport 94.027.
- Ottesen, R.T., Langedal, M., Cramer, J., Elvebakk, H., Finne, T.E., Haugland, T., Jæger, Ø., Longva, O., Storstad, T.M., Volden, T. 2000. Forurenset grunn og sedimenter i Trondheim kommune: Datarapport. NGU-rapport 2000.115.
- Ottesen, R.T., Volden, T. 1999. Jordforurensning i Bergen. NGU-rapport 99.022.
- Ottesen, R.T., Bogen, J., Bølviken, B., Volden, T. og Haugland, T. 2000. Geokjemisk atlas for Norge. Del 1: Kjemisk sammensetning av flomsedimenter. NGU, 140 sider.
- Ottesen, R.T., Bogen, J., Finne, T.E., Andersson, M., Dallmann, W., Eggen, O.A., Jartun, M., Lundkvist, Q., Pedersen, H. R. og Volden, T., 2010. Geochemical atlas of Norway. Part 2: Geochemical atlas of Spitsbergen. Chemical composition of overbank sediments. 160 sider.
- Reimann, C., Caritat, P., 1998. Chemical Elements in the Environment. Springer. 398 sider.

Salminen, R., Batista, M.J., Bidovec, M., Demetriades, A., De Vivo, B., de Vos, W., Duris, M., Gilucis, A., Gregorauskiene, V., Halamic, J., Heitzmann, P., Lima, A., Jordan, G., Klaver, G., Klein, P., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mazreku, A., O'Connor, P.J., Olsson, S.Å., Ottesen, R.T., Petersell, V., Plant, J.A., Reeder, S., Salpeteur, I., Sandström, H., Siewers, U., Steenfelt, A., Tarvainen, T. 2005. Geochemical atlas of Europe, part 1. Background information, methodology and maps. Geological Survey of Finland. 526 sider.

Sæther, O.M., Finne, T.E. , Flem, B. , Åberg, G. , Steinnes, E. 2007. Antropogent bly i skogjord i Oslo-feltet. NGU-rapport 2007.063 96 sider.

VEDLEGG 1:

Histogrammer og kumulative frekvensfordelinger for arsen og tungmetaller.

For alle elementene, unntatt kvikksølv, vises to diagram for hvert av de aktuelle prøvemediene (flomsediment, C-horisont og berggrunn). Ingen prøver overskrider normverdien for kvikksølv. Den horisontale x-aksen viser i begge diagrammene konsentrasjonen av elementet. De vertikale, stiplede, røde linjene angir normverdien.

Det venstre diagrammet er en sammenslåing av tre måter å fremstille resultat på, alt i et diagram.

Det øverste histogrammet viser densiteten av resultat i bestemte konsentrasjonsintervall, hvor antallet konsentrasjonsintervall er avhengig av datasettet.

Boksen rett under histogrammet er et endimensjonalt scatterdiagram der alle prøver er indikert ved en tilfeldig valgt plassering vertikalt mens punktenes plassering horisontalt reflekterer konsentrasjonen.

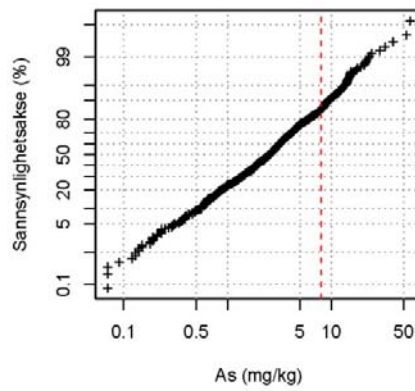
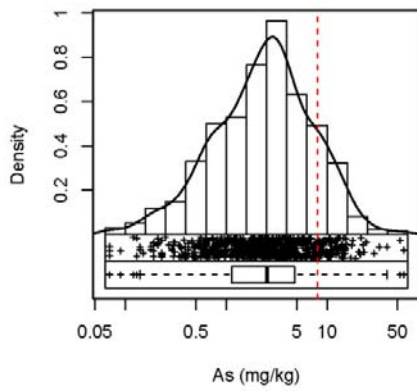
Nederst ligger et horisontalt liggende boksplo. Boksplottet er en visuell presentasjon av dataene: Den sentrale boksen viser spredningen mellom den 1. og den 3. kvartilen, mens den tykke linjen i boksen representerer medianen i datasettet. Nedre grense (til venstre om den sentrale boksen) defineres som: $1. \text{ kvartil} - 1,5 * (3. \text{ kvartil} - 1. \text{ kvartil})$. Øvre grense defineres som: $3. \text{ kvartil} + 1,5 * (3. \text{ kvartil} - 1. \text{ kvartil})$. Utover grensene ligger ekstremverdiene fremstilt som +.

Det høyre diagrammet er en kumulativ frekvensfordelingskurve som viser fordelingen av et element for alle prøver i én og samme kurve: Hver prøve motsvarer et tegn på kurven. Y-aksen motsvarer %-andelen prøver. Man kan derfor også her lese av f eks medianen ved å gå ut mot kurven fra 50% på y-aksen. Den konsentrasjon som kan avleses på x-aksen under berøringspunktet motsvarer medianen. Et knekkpunkt i kurven kan antyde et skille mellom to ulike kilder til elementet (Bølviken, 1973).

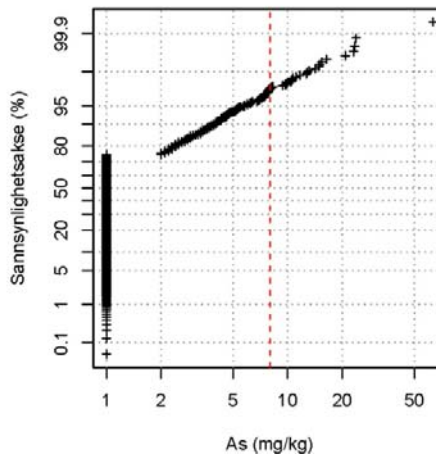
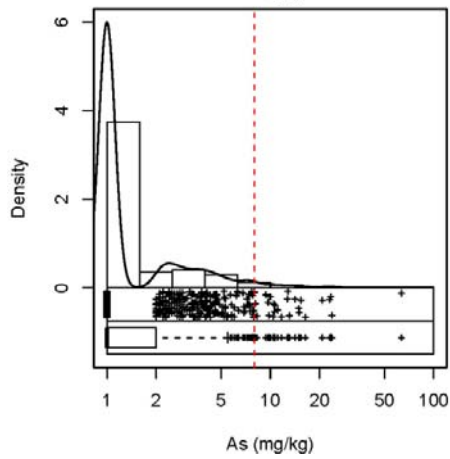
Arsen

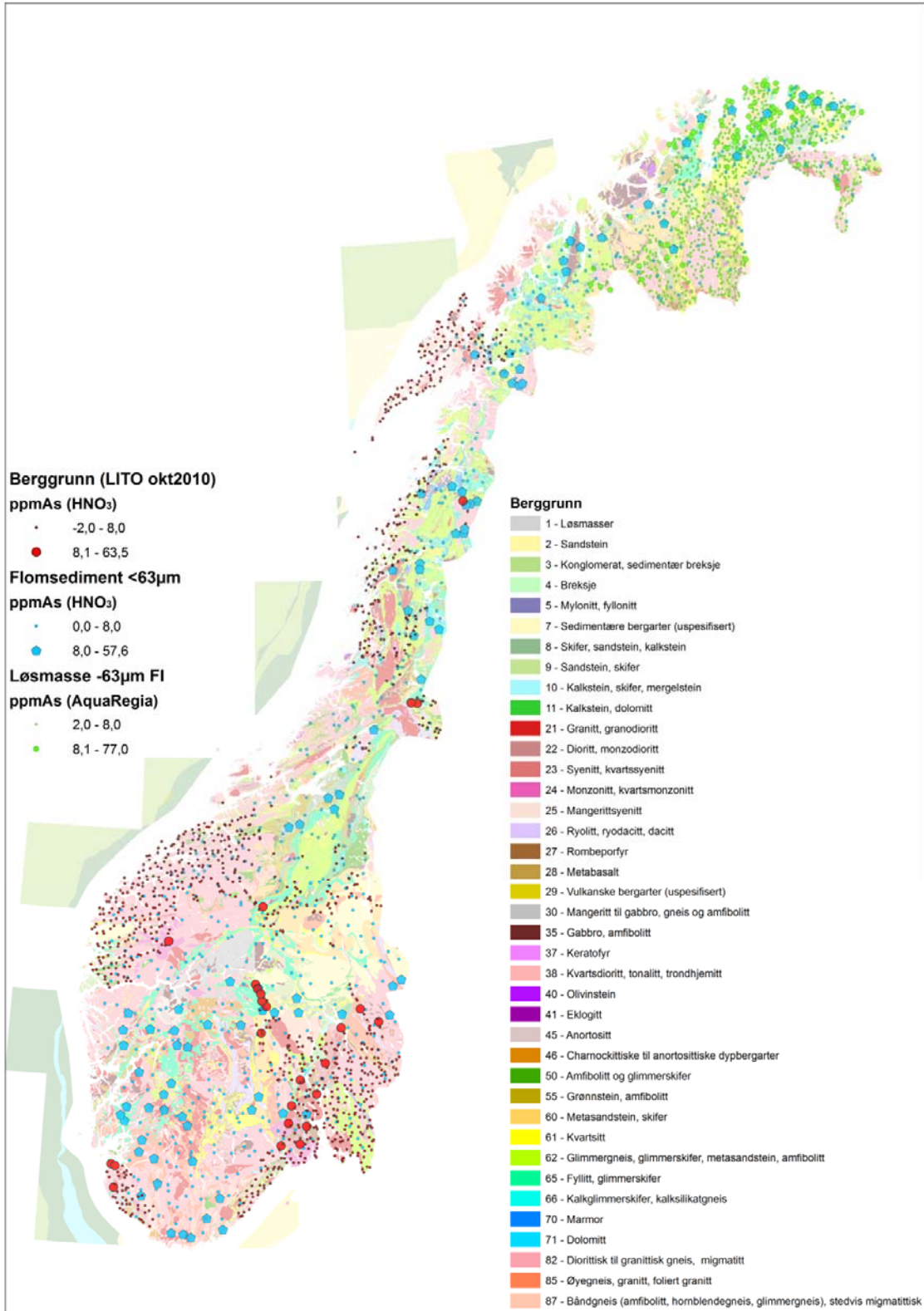
| | Andel over normverdi (%) |
|----------------------------------|--------------------------|
| Løsmasse (flomsediment) Norge | 14,0 |
| Løsmasse (flomsediment Svalbard) | 45,2 |
| Løsmasser (morene) | - |
| Berggrunn | 2,2 |

As i flomsediment



As i berggrunn

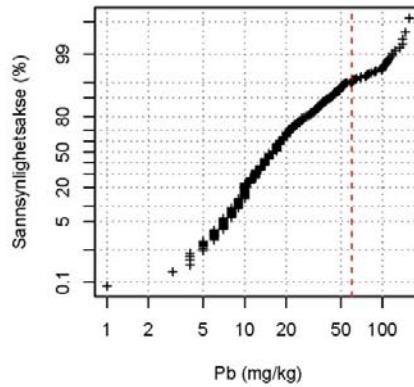
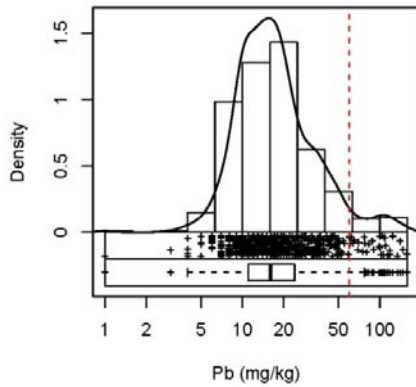




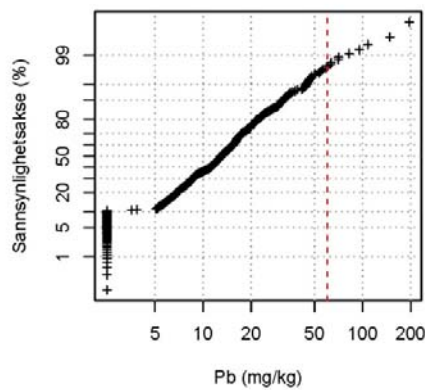
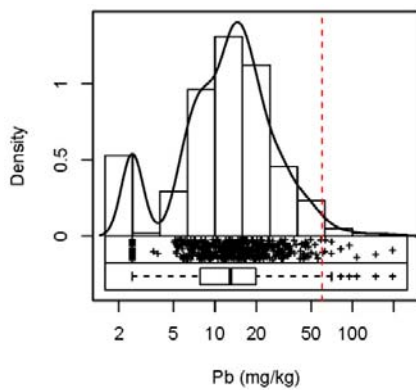
Bly

| | Andel over normverdi (%) |
|----------------------------------|--------------------------|
| Løsmasser, flomsediment, Norge | 4,2 |
| Løsmasse, flomsediment, Svalbard | 0,3 |
| Løsmasser, C-horisont | 0,4 |
| Berggrunn | 0,2 |

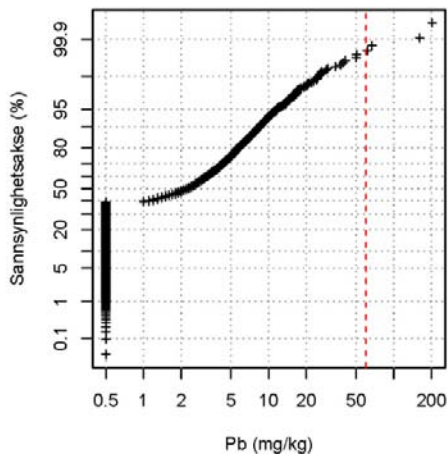
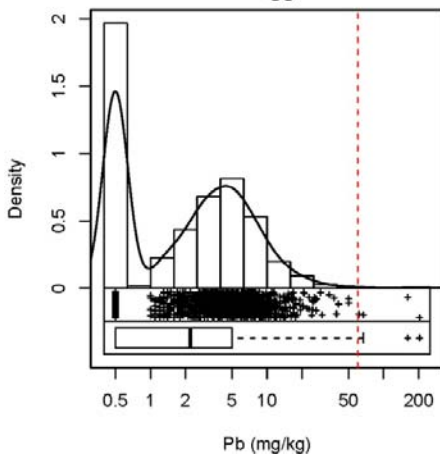
Pb i flomsediment

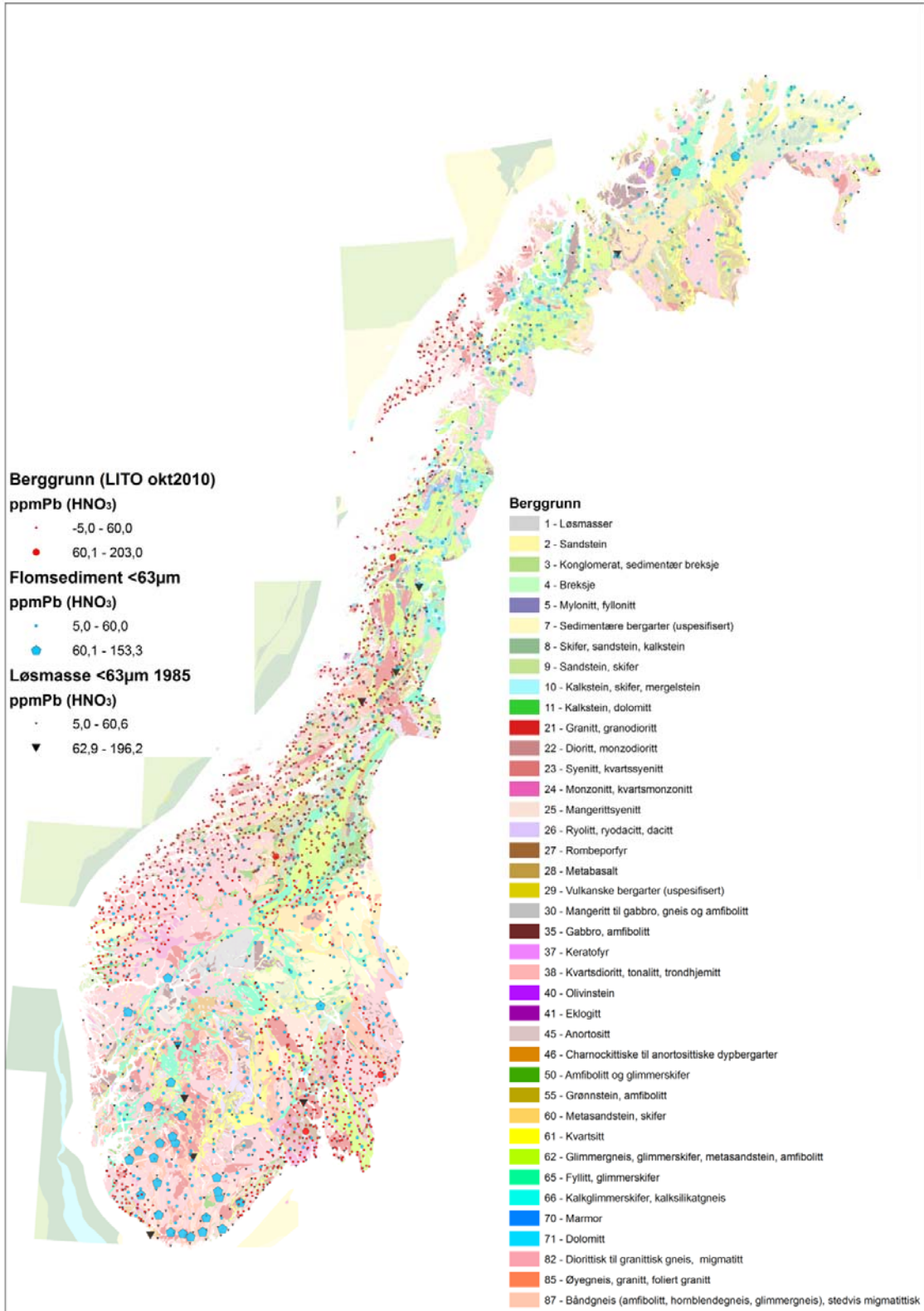


Pb i C-horisont



Pb i berggrunn

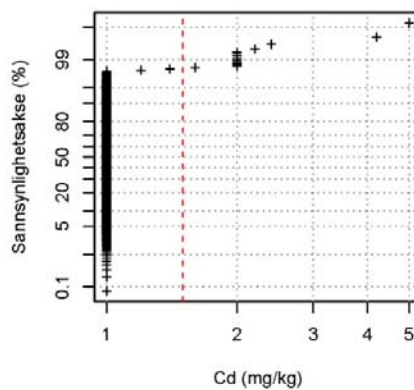
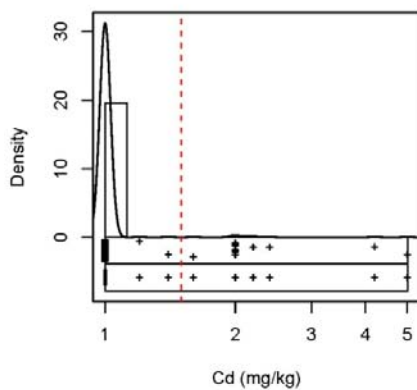




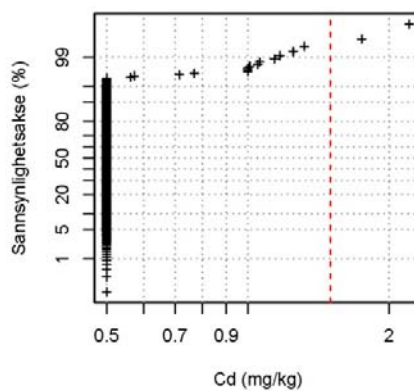
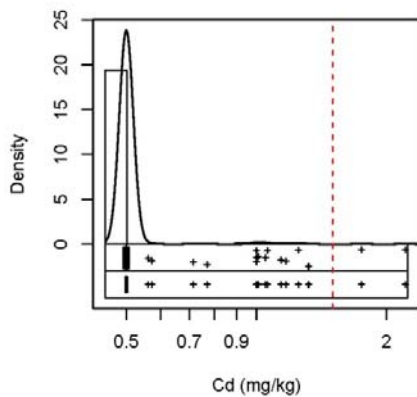
Kadmium

| | Andel over normverdi (%) |
|----------------------------------|--------------------------|
| Løsmasser, flomsediment, Norge | 1,7 |
| Løsmasser, flomsediment Svalbard | 0,3 |
| Løsmasser, C-horisont | 0,4 |
| Berggrunn | 0 |

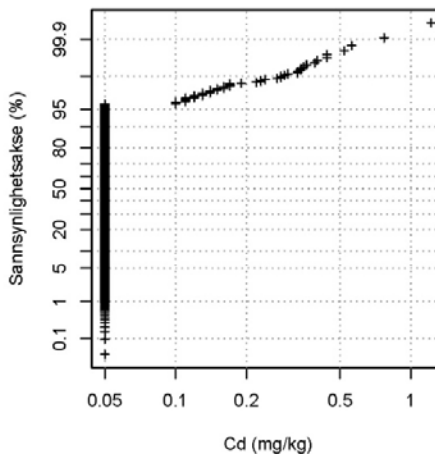
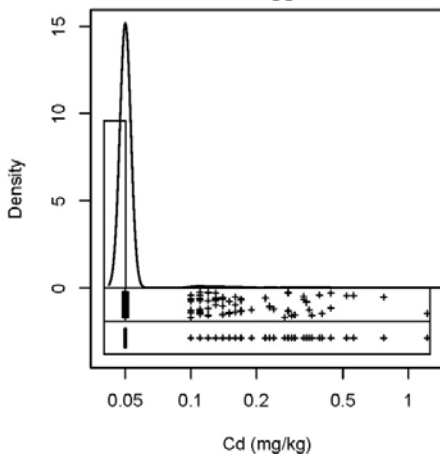
Cd i flomsediment

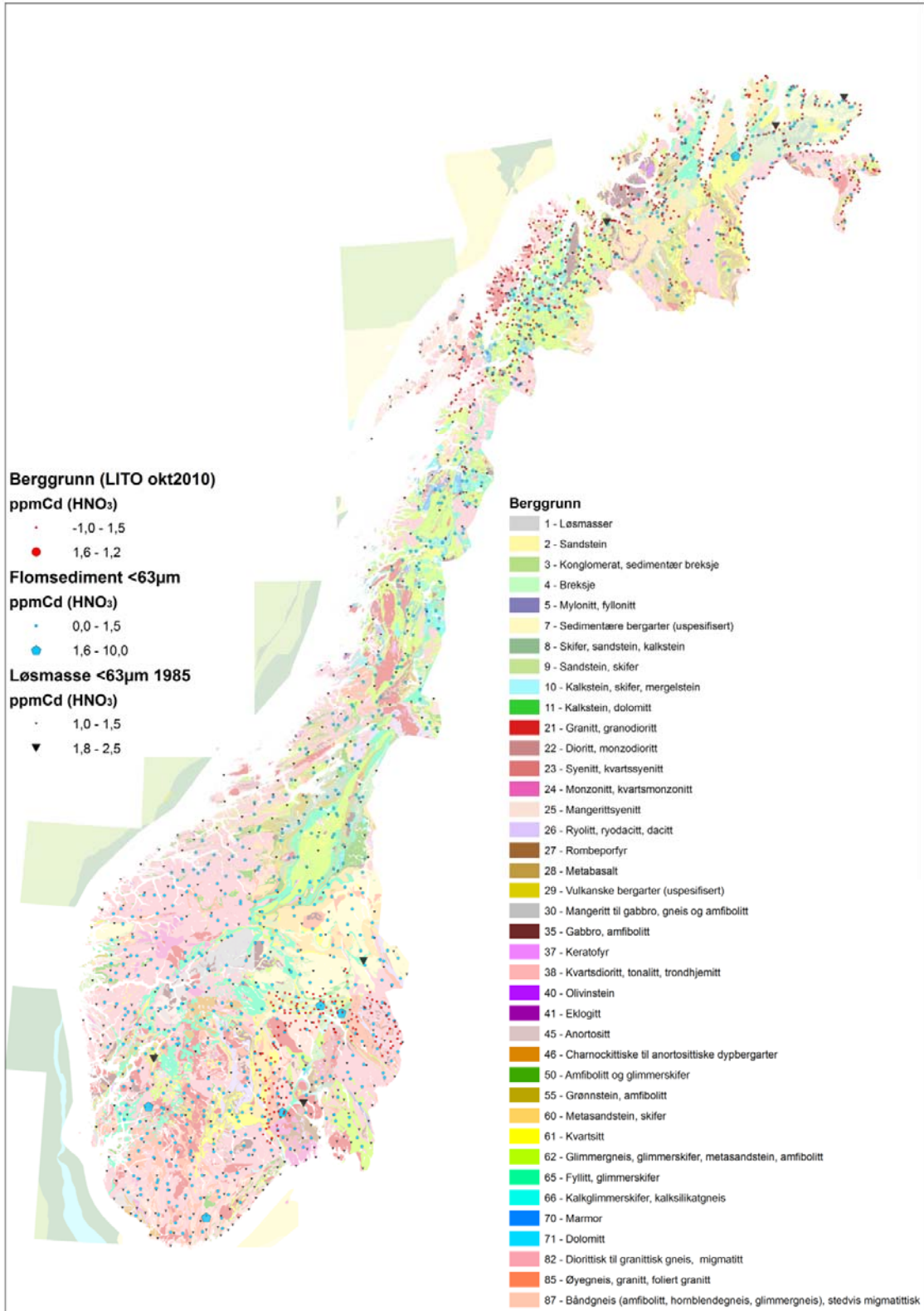


Cd i C-horisont



Cd i berggrunn

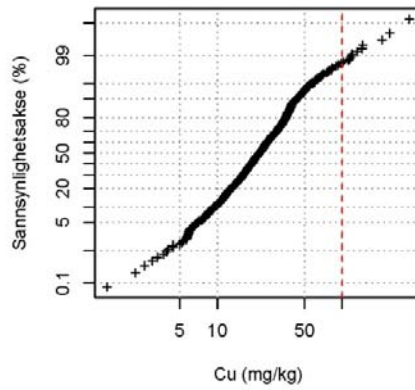
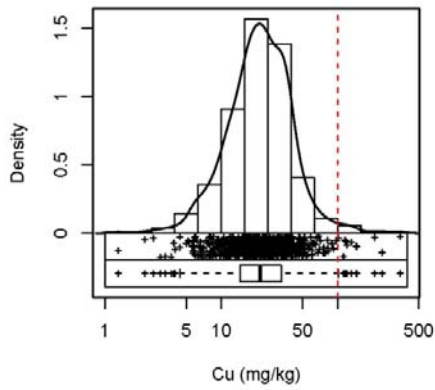




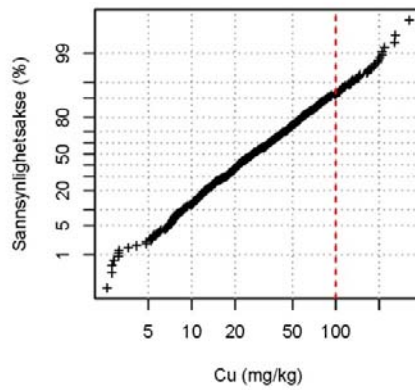
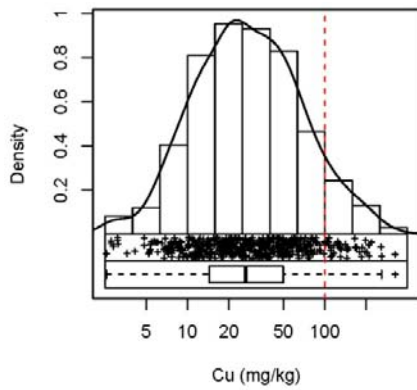
Kobber

| | Andel over normverdi (%) |
|----------------------------------|--------------------------|
| Løsmasser, flomsediment Norge | 1,6 |
| Løsmasser, flomsediment Svalbard | 0,8 |
| Løsmasser, C-horisont | 8,1 |
| Berggrunn | 2,1 |

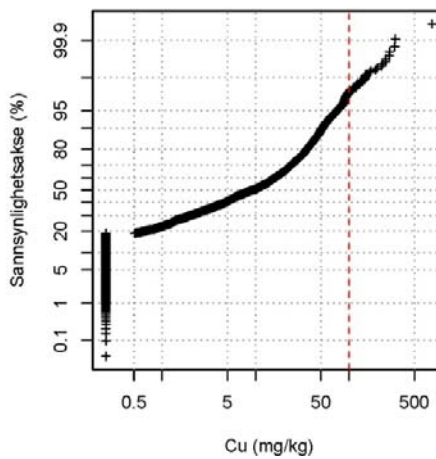
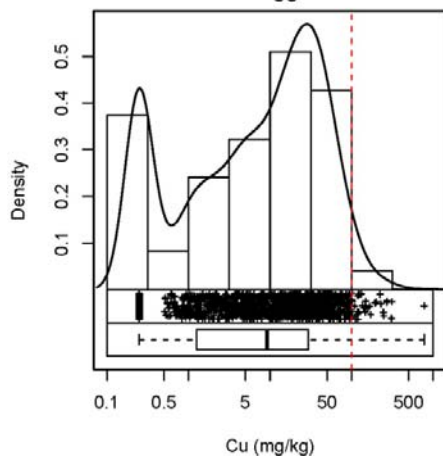
Cu i flomsediment

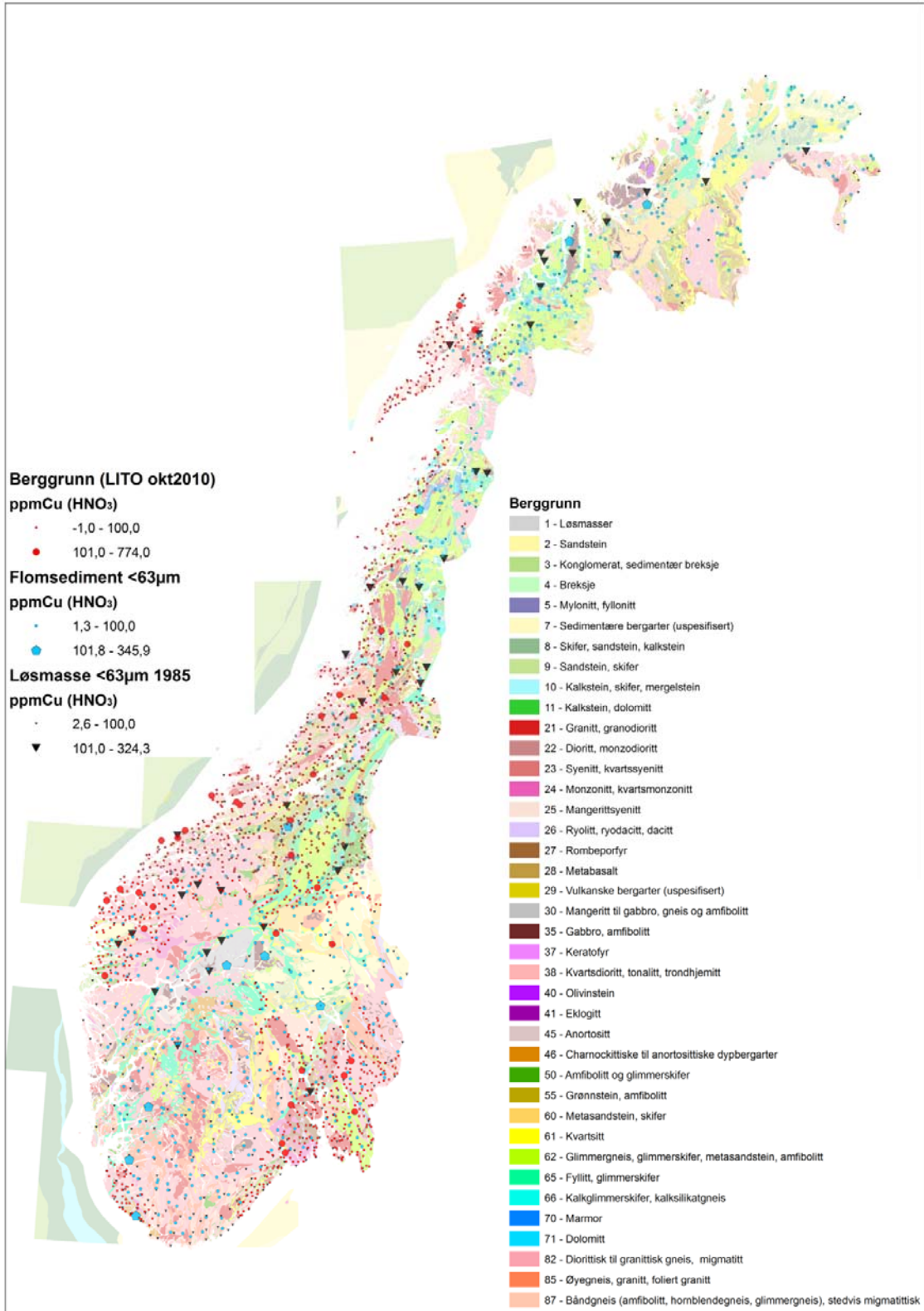


Cu i C-horisont



Cu i berggrunn

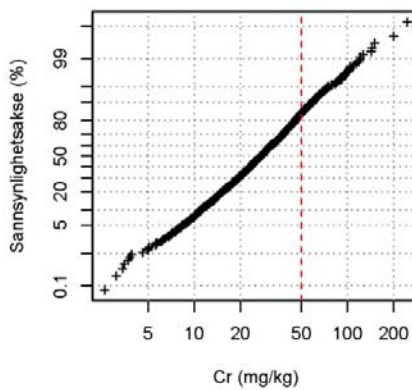
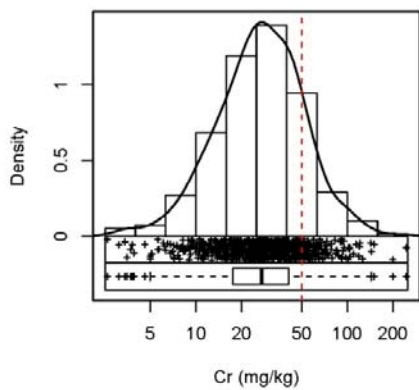




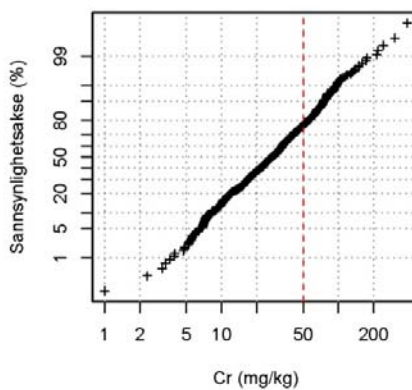
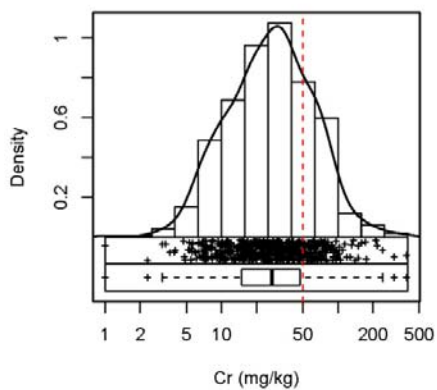
Krom

| | Andel over normverdi (%) |
|-------------------------|--------------------------|
| Løsmasser, flomsediment | 15,1 |
| Løsmasser, C-horisont | 23,3 |
| Berggrunn | 20,4 |

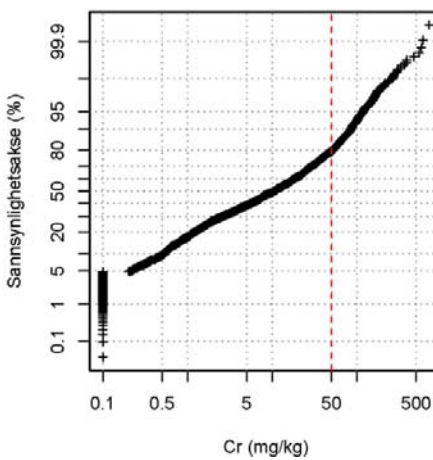
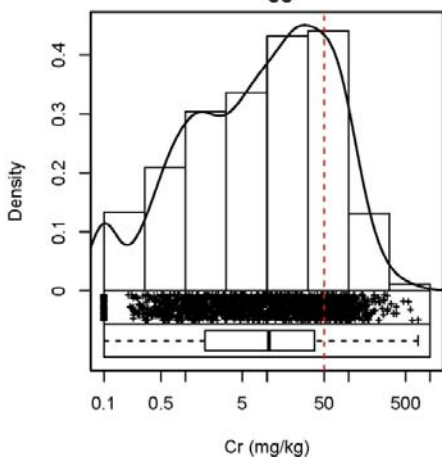
Cr i flomsediment

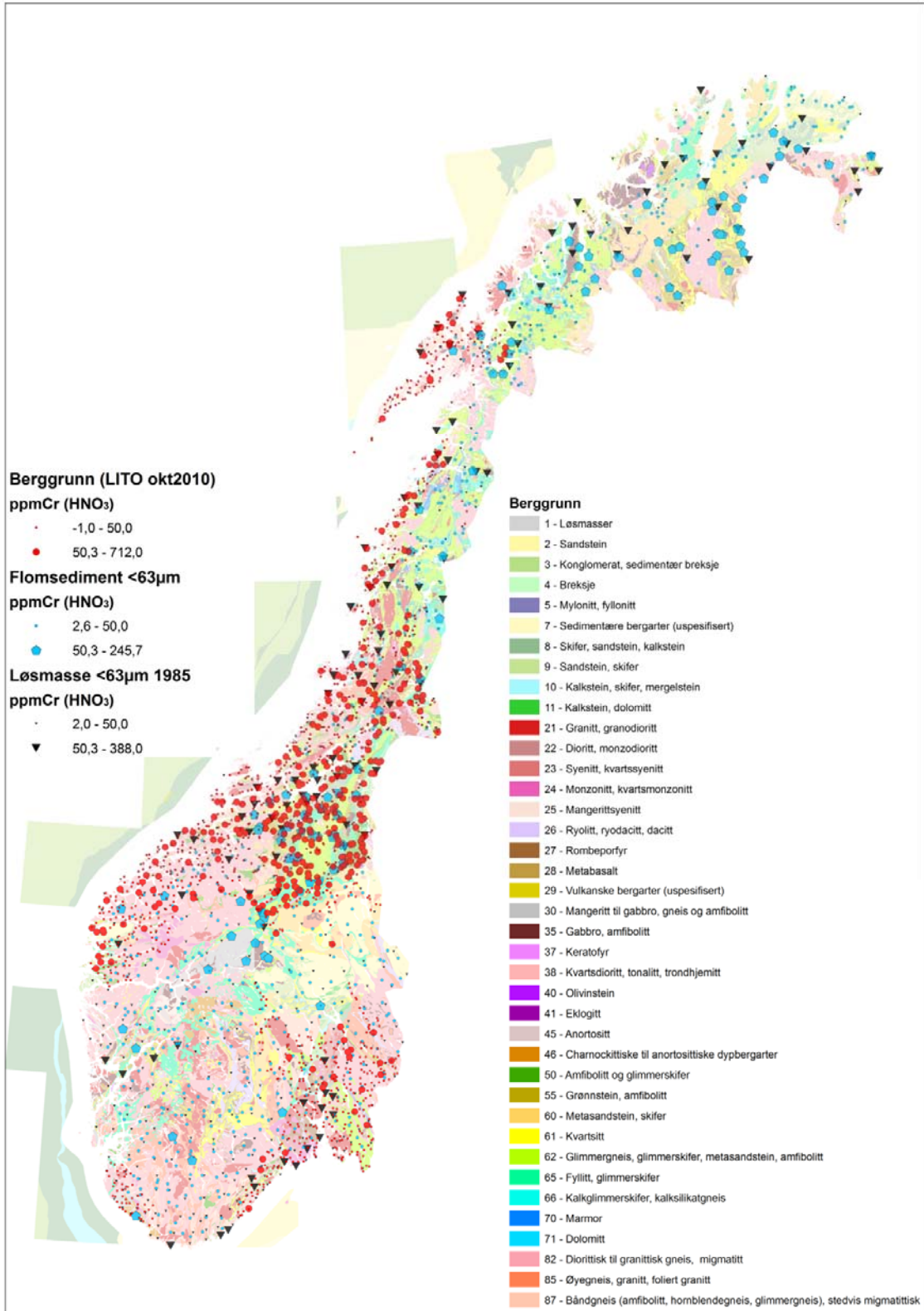


Cr i C-horisont



Cr i berggrunn

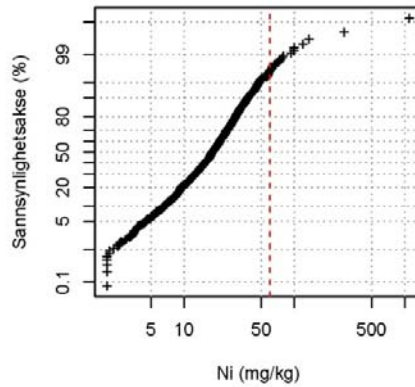
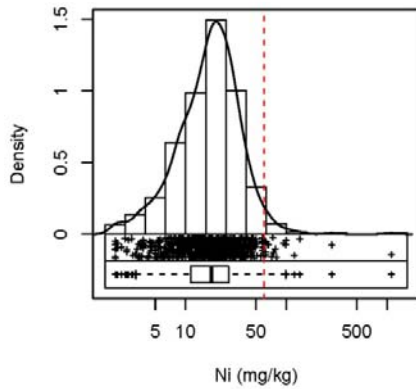




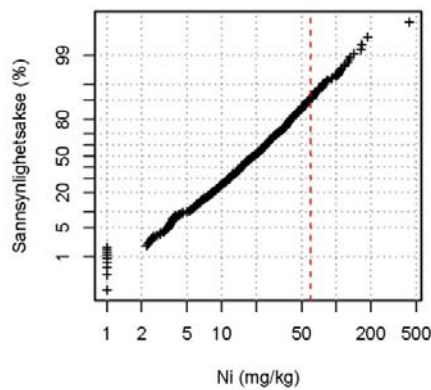
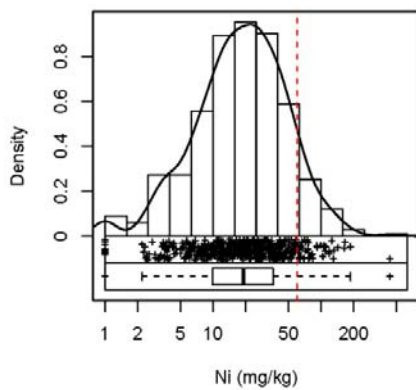
Nikkel

| | Andel over normverdi (%) |
|----------------------------------|--------------------------|
| Løsmasser, flomsediment Norge | 2,6 |
| Løsmasser, flomsediment Svalbard | |
| Løsmasser, C-horisont | 9,3 |
| Berggrunn | 10,3 |

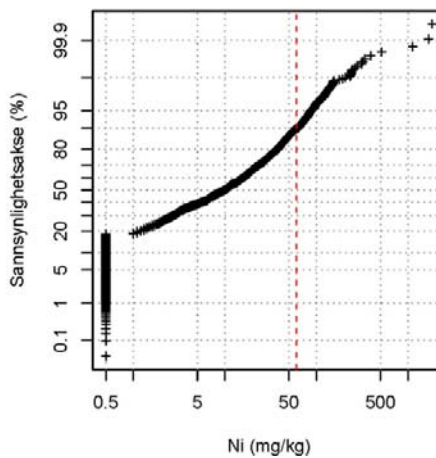
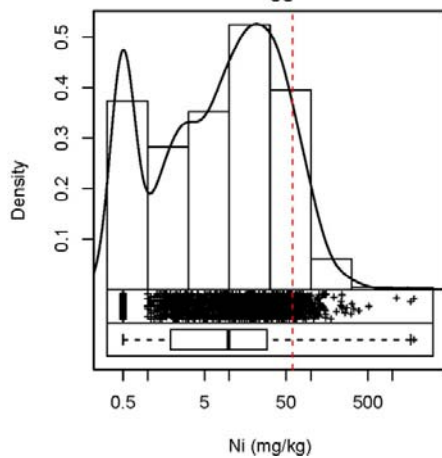
Ni i flomsediment

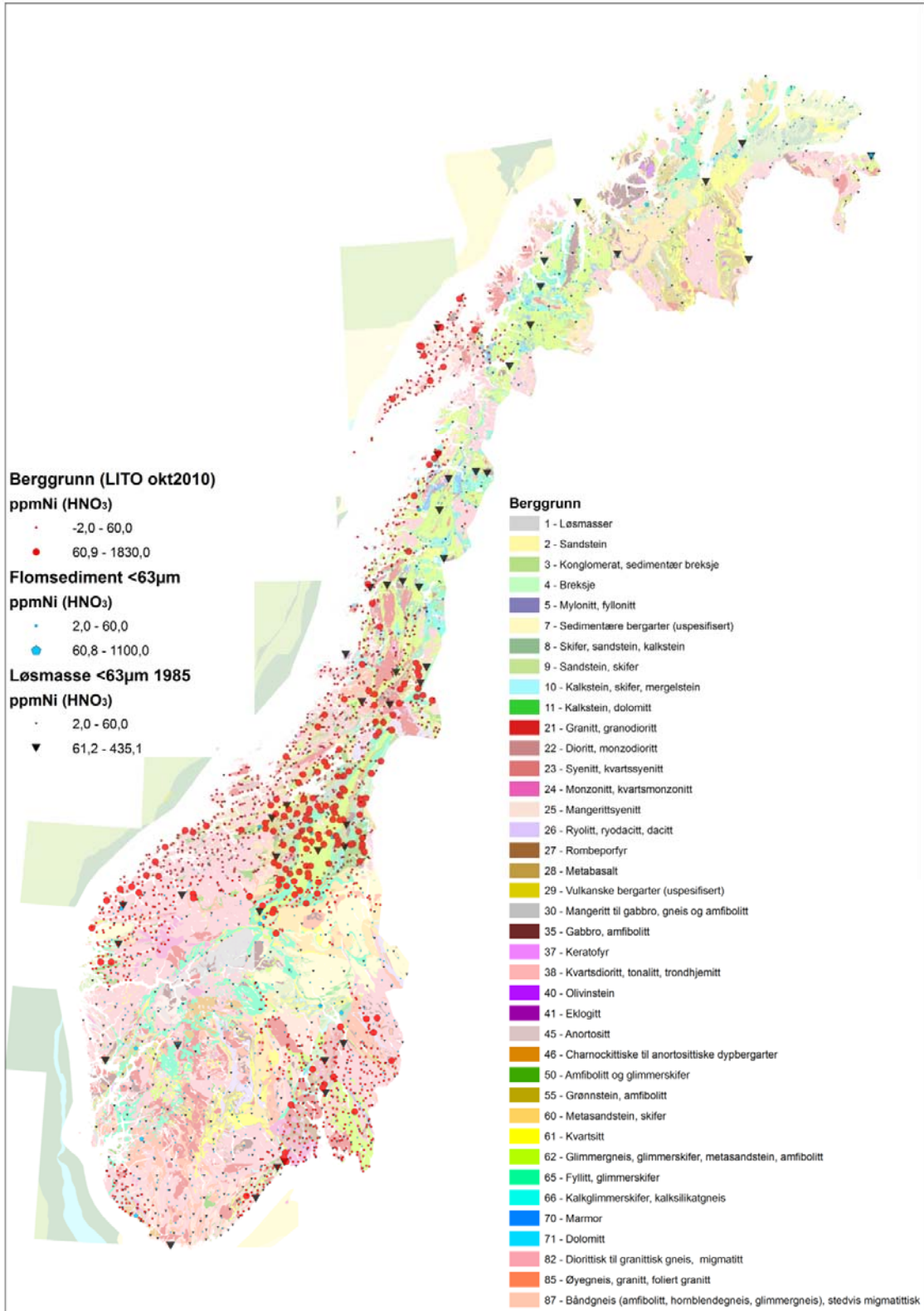


Ni i C-horisont



Ni i berggrunn

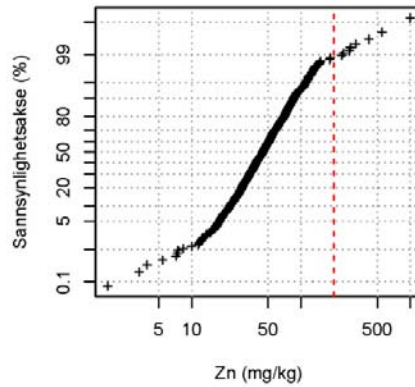
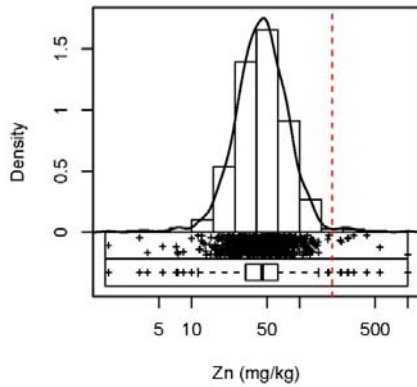




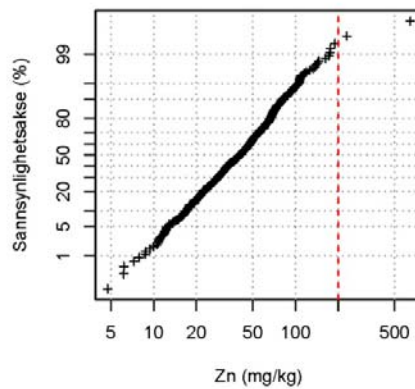
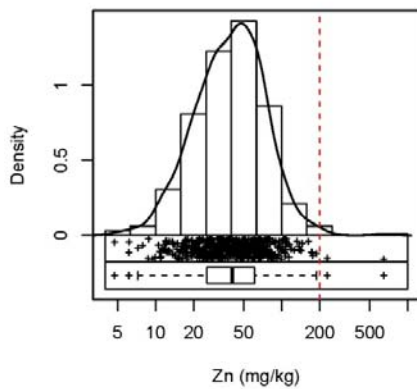
Sink

| | Andel (%) over normverdi på 200 mg/kg |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| Løsmasser, flomsediment Norge | 1,2 |
| Løsmasser, flomsediment Svalbard | 0 |
| Løsmasser, C-horisont | 0,4 |
| Berggrunn | 0,1 |

Zn i flomsediment



Zn i C-horisont



Zn i berggrunn

