

NGU Rapport 2003.016

Hydrauliske egenskaper i løsmasser og berggrunn
i Norge sett i sammenheng med EU-direktivet
om deponering av avfall

Rapport nr.: 2003.016		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Hydrauliske egenskaper i løsmasser og fjell sett i sammenheng med EU-direktivet for deponering av avfall				
Forfatter: Atle Dagestad, Louise Hansen, Alvar Braathen			Oppdragsgiver: Statens Forurensningstilsyn	
Fylke:		Kommune:		
Kartblad (M=1:250.000)		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)		
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 27	Pris: 120,-	
Feltarbeid utført:		Rapportdato: 10.03.2003	Prosjektnr.: 271221	Ansvarlig:
<p>Sammendrag:</p> <p>SFT har fått tildelt ansvaret for implementeringen og oppfølgingen av EUs Rådskonklusjon for deponering av avfall. I dette direktivet stilles det meget strenge krav til bunntetting for å forhindre forurensningen av sedimenter og grunnvann fra utlekking av sigevann fra deponiet. Det stilles ved deponering av ikke-farlig avfall blant annet krav om dobbelt sikring med både bunn- og sidemembran og en naturlig geologisk barriere. Totalvirkningen av den naturlige geologiske barrieren når det gjelder vern av jord, overflatevann og grunnvann skal minst tilsvare virkningen av et 1 meter mektig minerallag med hydraulisk konduktivitet $K \leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s. I de tilfeller der den naturlige geologiske barrieren ikke tilfredsstiller dette kravet kan det utbygges en kunstig geologisk barriere, med minimum 0,5 meter tykkelse, som gir tilsvarende vern. For å heve sin geofaglige kompetanse tilknyttet deponidirektivet ønsket SFT å få utarbeidet en beskrivelse av permeabilitet i løsmasser og berggrunn i Norge, og en vurdering av berggrunnens og løsmassenes potensial til å utgjøre en geologisk barriere i henhold til EUs deponidirektiv.</p> <p>Til grunn for denne beskrivelsen av løsmassenes og berggrunnens hydrauliske egenskaper er hovedsakelig NGUs geologiske kartdatabaser kombinert med informasjon fra NGUs Brønn database benyttet. Med den svært varierende og stedvis meget komplekse oppbygning og fordeling av både løsmasser og berggrunn i Norge er den gitte beskrivelsen av permeabiliteten av meget generell karakter. Ut fra NGUs vurdering vil de mest aktuelle lokaliteter for etablering av deponier være i områder under marin grense med sammenhengende homogene avsetninger av hav- og fjordavsetninger, eller i områder med forholdsvis mektige finstoffholdige moreneavsetninger. Disse avsetningstyper kan ha et potensial til å utgjøre en naturlig geologisk barriere i henhold til EUs deponidirektiv.</p> <p>Erfaringer og undersøkelser, kombinert med statistisk behandling av informasjon i Brønn databasen, viser at berggrunnen generelt er betydelig oppsprukket i Norge. Denne oppsprekningen gir berggrunnen hydrauliske egenskaper som gjør det vanskelig å finne egnede deponiområder på fjell som tilfredsstiller deponidirektivets krav, uten etablering av kunstig geologiske barrierer.</p> <p>For å kunne anbefale plassering av deponier må det, i tillegg til innhenting og sammenstilling av geologisk bakgrunnsinformasjon bla. i NGUs databaser, utføres omfattende geologiske grunnundersøkelser for å kartlegge undergrunnens hydrauliske egenskaper. På grunn av berggrunnens vanligvis inhomogene og til tider uforutsigbare oppsprekningsmønster vil det være en svært omfattende og utfordrende oppgave å dokumentere berggrunnens hydrauliske egenskaper.</p>				
Emneord: Grunnvann		Hydrogeologi		Deponi
				Fagrapport

INNHold

1. INNLEDNING.....	5
2. GENERELL BESKRIVELSE AV FORDELING OG SAMMENSETNINGEN AV LØSMASSENE I NORGE.....	6
2.1 Avsetningstyper og deres romlige variasjon i permeabilitet.....	6
2.2 Dalførene i kystområdene (under marin grense).....	10
2.3 De indre dalførene (over marin grense)	12
2.4 De indre fjellområdene.....	13
2.5 Avsetningenes hydrauliske egenskaper.....	13
2.6 Anbefalinger ved etablering av deponier på løsmasser.....	13
3. KARAKTERISTISKE HYDRAULISKE EGENSKAPER I BERGGRUNNEN I NORGE.....	14
3.1 Generelt	14
3.2 Hydrauliske egenskaper og vanngiverevne i berggrunnen i Norge	15
3.3 Hydrauliske egenskaper i ulike bergartstyper	17
3.4 Andre geologiske forhold av betydning for berggrunnens hydrauliske egenskaper	22
3.4.1 Sprekke-lineamenter.....	22
3.4.2 Landhevning.....	22
4. KONKLUSJON	26
Referanser:	27

FIGURER

- Figur 1.** Hydraulisk konduktivitet for ulike løsmassefraksjoner og morenetyper. Avsetninger med lave verdier, som kan utgjøre en naturlig geologisk barriere i henhold til retningslinjene i EUs deponidirektiv, er innrammet i rødt. Stiplet innramming viser avsetninger som ved betydelige mektigheter kan utgjøre en naturlig geologisk barriere (modifisert etter Carlsson & Gustafson 1984).
- Figur 2.** Kvartærgeologisk kart over Norge
- Figur 3.** Dalfører i kystområdet under den marine grense er angitt i blå. Marin grense er definert som den høyest registrerte havnivå etter siste istid og ligger mange steder betydelig over dagens havnivå som følge av landhevningen etter siste istid.
- Figur 4.** Typisk oppbygging av løsmasseavsetningene i et dalføre i kystområdet, samt tilhørende hydraulisk konduktivitet. Pilene angir grunnvannsbevegelsen og pilenes størrelse angir den relative strømningshastighet.
- Figur 5.** Vertikalt snitt gjennom løsmasser bestående av finkornige hav- og fjordavsetninger (blå) og grusige breelvavsetninger (oransje). Det kan finnes tynne sandlag i hav- og fjordavsetningene (gul). På det kvartærgeologiske kartet finnes de to avsetningstyper tilsynelatende ved siden av hverandre, mens det loddrette snittet viser at grusavsetningene faktisk kiler inn i de finkornige avsetninger.
- Figur 6.** Typisk oppbygging av avsetningene i et dalføre i innlandet, samt tilhørende hydraulisk konduktivitet. Pilene angir grunnvannsbevegelsen og pilenes størrelse angir den relative strømningshastighet.
- Figur 7.** Variasjon i hydraulisk konduktivitet for ulike løsmassetyper samt sedimentære og krystalline bergartstyper (Stuckmeier og Margat 1995).
- Figur 8.** Berggrunnsprovinser i Norge
- Figur 9.** Tabell fra Morland (1997) som viser hydrogeologiske egenskaper for forskjellige bergartstyper. Raden til høyre angir gjennomsnittlig brønnyttelse i liter per time per meter boret brønn.
- Figur 10.** Statistisk sammenstilling av brønnyttelse (liter/time) per meter boret brønn i fjell for ulike bergartsgrupper (Morland 1997). Datasettet er det samme som i figur 9. Forklaring til statistisk fremstilling i boksplokk er gitt i tekstboks. Merk at det er meget store variasjoner i brønnyttelsen innen de forskjellige bergartstypene. Tallene til venstre i figuren refererer seg til bergartstype fra figur 9 mens tallene til høyre viser antall observasjoner som ligger til grunn for beregningene.
- Figur 11.** Lineamentskart over Norge (Gabrielsen m.fl. 2002). Lineamentene utgjør soner i berggrunnen med høy grad av oppsprekning, og er derfor viktige for grunnvannsstrømning i fjell.

Figur 12. Oppbygning av sprekke-lineamenter, som kan beskrives med segmenter og distinkte soner. Hver av sonene B, C, D og E er karakterisert ved bestemte sett av brudd eller par av spekkese. A-sonen består av nedknust fjell.

Figur 13. (A) Konseptuell fremstilling av grunnvannsstrømning rundet et bruddlineament, vist i tverrsnitt av berggrunnen. Sonene B, C, D og E opptrer på begge sider av A-sonen, og har ulike konduktivitetsverdier. (B) Skjematisk kart av et asymmetrisk bruddlineament, hvor ekvipotensiallinjene (vinkelrett grunnvannsstrømmen) gjenspeiler topografien langs bruddlineamentet. Skråningen ned mot A-sonen er brattere på høyre side i forhold til på venstre side. Elva i midten følger lineamentets sentrale segment, som er karakterisert ved tett nedknust fjell. Legg merke til at en brattere skråning inn mot bruddlineamentet favoriserer størst strømning nærmere senteret av sprekke-lineamentet. Kryssene illustrerer beste plassering av grunnvannsbrønner. Figurene er modifisert fra Berg (2000).

Figur 14. XY-plott som viser forholdet mellom årlig landheving, fra kyst til innland i Sør-Norge, og brønnyttelse per meter brønn (fra Morland 1997).

TABELLER

Tabell 1: Vanlige avsetningstyper i Norge og deres egenskaper (Thoresen 1990). Rød firkant angir avsetningstyper med potensial til å utgjøre en naturlig geologiske barriere i henhold til retningslinjene i EUs deponidirektiv.

1. INNLEDNING

SFT har fått tildelt det ansvaret for implementeringen og oppfølgingen av EUs Rådskonklusjon for deponering av avfall på nasjonalt plan. Konklusjonen er implementert gjennom forskrift om deponering av avfall av 21.03.2002. I forskriften og konklusjonen stilles det meget strenge krav til bunntetting for å forhindre forurensningen av sedimenter og grunnvann fra utlekking av sigevann fra deponiet. Det stilles ved deponering av ikke-farlig avfall blant annet krav om dobbelt sikring med både bunn og sidemembran og en naturlig geologisk barriere. Totalvirkningen av den naturlige geologiske barrieren når det gjelder vern av jord, overflatevann og grunnvann skal minst tilsvare virkningen av et en meter mektig minerallag med hydraulisk konduktivitet $K \leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s. I de tilfeller der den naturlige geologiske barrieren ikke tilfredsstiller dette kravet kan det utbygges en kunstig geologisk barriere med tilsvarende vern. En konstruert geologisk barriere skal ha en tykkelse på minimum 0,5 meter. De strenge retningslinjene i deponikonklusjonen til bunn og sidetetting vil kreve betydelig kunnskap og stille store krav til dokumentasjon av undergrunns hydrauliske egenskaper. Settes deponikonklusjonens retningslinjer og krav opp mot tidligere praksis ved utforming av deponi for husholdningsavfall, vil etterlevelse av konklusjonen gi betydelig faglige og økonomiske utfordringer for aktører innen deponering av avfall.

For å ha et bedre faglig grunnlag og å heve sin geofaglige kompetanse tilknyttet deponikonklusjonen, ønsket SFT å få utarbeidet en beskrivelse av permeabilitet i løsmasser og berggrunn i Norge. På bakgrunn av denne beskrivelsen skulle det også gis en vurdering av berggrunnens og løsmassenes potensial til å utgjøre en naturlig geologisk barriere i henhold til EUs deponikonklusjon. Beskrivelsen og vurderingene av permeabilitetsforholdene skulle baseres på allerede eksisterende kunnskap og informasjon ved NGU og det er ikke utført nye undersøkelser eller feltarbeid i tilknytning til dette arbeidet.

På bakgrunn av de normalt betydelige forskjeller i oppbygging og hydrauliske egenskaper mellom løsmasser og berggrunn i Norge er det valgt å dele opp den generelle beskrivelsen av permeabilitetsforholdene i en løsmassedel og en berggrunnsdel. Det er gitt en samlet vurdering av permeabilitetsforholdene sett i sammenheng med retningslinjer i deponikonklusjonen i konklusjonen.

2. GENERELL BESKRIVELSE AV FORDELING OG SAMMENSETNING AV LØSMASSENE I NORGE

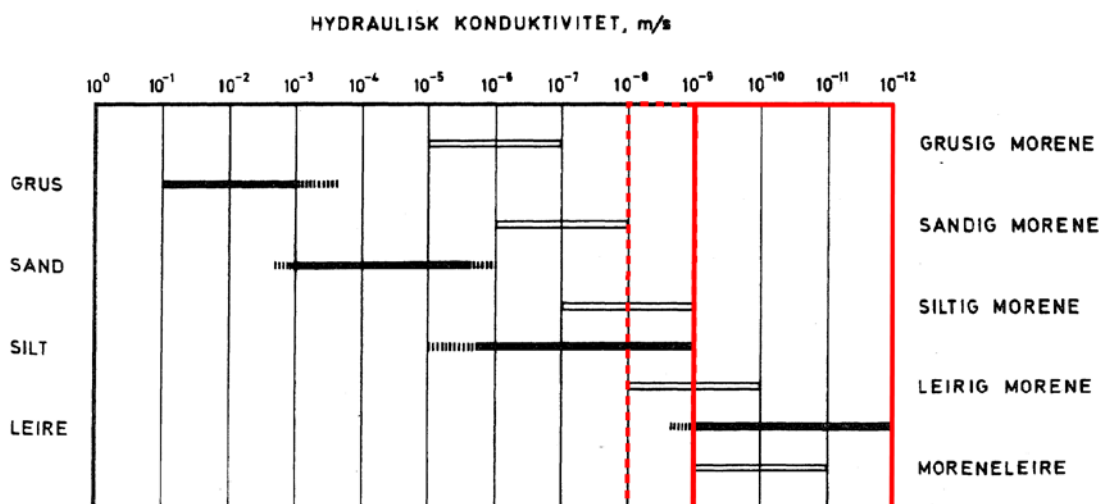
Løsmassedekkets tykkelse over grunnfjellet i Norge varierer betydelig. De største mektigheter finnes typisk i den sentrale del av de store dalene. Fjellpartiene mellom dalene har ofte tynnere eller ingen løsmassedekke, men tykkere dekker på fjellområdene forekommer i både Nord- og Sør-Norge. Utbredelse av løsmassene fremgår av kvartærgeologiske kart over Norge (fig. 2). Fargene på kartet viser hovedavsetningstypene som er klassifisert etter deres dannelse. Disse er kort beskrevet i tabell 1. En mer detaljert beskrivelse er gitt i Thoresen (1990), som også inneholder et kart over avsetningenes fordeling i 1:1.000.000. Det finnes også løsmassekart i mindre målestokk for store deler av Norge (fra 1:250.000 til 1:10.000). En oversikt over eksisterende kart finnes på NGUs hjemmeside www.ngu.no under Kartkatalogtjenester.

2.1 Avsetningstyper og deres romlige variasjon i permeabilitet

Det kvartærgeologiske kart viser løsmassenes beskaffenhet og utbredelse på jordoverflaten (fig. 2). Karter viser at det ofte finnes flere forskjellige typer avsetninger innenfor et mindre område. Disse har hver sine hydrauliske egenskaper i følge tabell 1 og figur 1.

Kvartærgeologiske kart forteller imidlertid lite om utbredelsen og mektighetene av avsetningstypene mot dypet, noe som har stor betydning for grunnvanns- og permeabilitetsforholdene i et gitt område. Derfor er det nedenunder beskrevet typiske eksempler på avsetningenes fordeling i tre dimensjoner i områder med tykt løsmassedekke. De tilhørende hydrogeologiske forhold beskrives kort.

De tre typiske områder er: 1) dalførene i kystområdene, 2) de indre dalførene, og 3) de indre fjellområdene. Da størsteparten av den norske infrastruktur er plassert i dalførene er det lagt vekt på en beskrivelse av disse. Dalfører som er plassert i kystområdet skiller kvartærgeologisk fra de indre dalfører av den såkalte marine grense, som viser den høyest mulige beliggenhet av strand-, fjord- og havavsetninger. Denne grensen vises i fig. 3.



Figur 1. Hydraulisk konduktivitet for ulike løsmassefraksjoner og morenetyper. Avsetninger med lave verdier, som kan utgjøre en naturlig geologisk barriere i henhold til retningslinjene i EUs deponidirektiv, er innrammet i rødt. Stiplet innramming viser avsetninger som ved betydelige mektigheter kan utgjøre en naturlig geologisk barriere (modifisert etter Carlsson & Gustafson 1984).

Tabell 1: Vanlige avsetningstyper i Norge og deres egenskaper (Thoresen 1990). Rød firkant angir avsetningstyper med potensial til å utgjøre en naturlig geologiske barriere i henhold til retningslinjene i EUs deponidirektiv.

Avsetningstype	Forekomst	Avsetningenes egenskaper
● Hav- og fjord avsetninger	Forkommer i dalførene i kystområdene (under 200 m nivået) og avsetningene kan noen steder være over 100 m tykt. Finnes ofte under (bre-)elvetavsetninger.	Består hovedsakelig av tette og kompakte lag av silt og leire men kan inneholde cm til m tykke lag av finsand. Permeabiliteten er liten for de finkornige avsetninger men tilstedeværelsen av sandlag (noen steder grovere avsetninger) øker permeabiliteten.
● Morene	Forkommer i sammenhengende og usammenhengende dekker i hele Norge. Sammenhengene, tykke lag av morenemateriale dekker mellom 25 og 30% av Norges landareal. De største områder finnes i de høyreliggende innlandsområdene i Sør- og Nord-Norge.	En blanding av leire, silt, sand, grus og blokk med lav eller høy rundingsgrad. Sammensetningen og dermed sorteringen, porøsiteten og permeabiliteten varierer fra område til område. I tillegg kan lag med forskjellig sammensetning forekomme over hverandre på det samme sted. Sprekker i morenedekket med høy permeabilitet kan forekomme.
● Randmorener	Forkommer som rygger i landskapet, som enkeltformer eller i belter. Ryggene kan være fra få meter til titalsmeter høye og brede. Alminnelige i både fjell og i fjord- og dalestrøk.	Består av morenemateriale (typisk for innlandet) eller sortert materiale av sand og grus (typisk for de mer kystnære områder under 200 m nivået), og porøsitet og permeabilitetsforhold varierer tilsvarende.
● Avsmeltingsmorene	Viktigst er langstrakte partier med rygger og hauger i dalfører i Sørøst-Norge og områder på Finnmarksvidda.	Det samme som for 'morene' men materialet inneholder typisk mindre finstoff. Kan ha større partier med sortert materiale og løsere pakningsgrad med god permeabilitet.
● Breeelv/bresjø avsetninger	Forkommer ofte som terrasseformer eller vifter i dalførene. Avsetningene kan være mange titals meter tykke, har store utbredelse og kan utgjøre en betraktelig del av noen dalfyllinger.	Består mest av sorterte lag av forskjellig kornstørrelse fra fin sand til stein og blokk med relativt høy rundingsgrad. Breeelvavsetninger har høy porøsitet og permeabilitet. Bresjøavsetninger er ofte mer finkornige og tilstedeværelse av silt og leirlag kan nedsette permeabiliteten.
● Esker og kame	Forkommer som rygger og hauger i daler og fjell og ofte der det finnes tykke morenedekker.	Som breeelv/bresjø avsetninger men ofte med forstyrrede lagfølger. Har normalt høy permeabilitet.
● Elv- og bekkeavsetninger	Finnes i bunnen av dalene langs dagens elver, i elveslettenes terrasser frem til de aktive deltaer i hav og innsjø. Vifteformer finnes der hvor mindre daler munnar ut i større.	Består mest av sorterte lag av forskjellig kornstørrelse men sedimentet er generelt noe bedre sortert og rundingsgraden bedre enn for breeelvavsetningene. Elveavsetningene har derfor stor porøsitet og permeabilitet. Det finnes ofte siltlag i eller nær toppen av avsetningene, hvilket nedsetter permeabiliteten i overflaten og kan forårsake lokale, sekundære grunnvannsspeil.
● Strandavsetninger	Finnes som et få meter tykt dekke over andre løsmasser eller over fjell. Opptrer primært i bukter og vikene i kystområdene under 200 m nivået.	Sammensetningen varierer men domineres av grus og sand. Finmaterialet er ofte fraværende. Er porøst og løst pakket og har derfor stor porøsitet og permeabilitet.
● Skredmateriale	Finnes i ur langs bratte dalsider. Alminnelig på Vestlandet og i trange daler og fjorder i de nordligste fylkene.	Variierende kornstørrelser fra silt til blokk. Porøsitet og permeabilitetsforhold varierer tilsvarende.
● Blokkhav (frostsprenget fjell)	Utbredte dekker finnes i nordlige kyst- og sentrale høyfjellsområder.	Konsentrasjon av kantede blokke, dårlig sortering, løs pakning, høy porøsitet
● Torv og myr	Er utbredt i kystområdene men ofte som små forekomster. Større dekker finnes i de indre strøk av Finnmark, sentralt i Sørøst-Norge og på noe av øyene.	Delvis nedbrutt organisk materiale. Porøst.

Kvartærgeologisk kart over Norge

250 kilometer



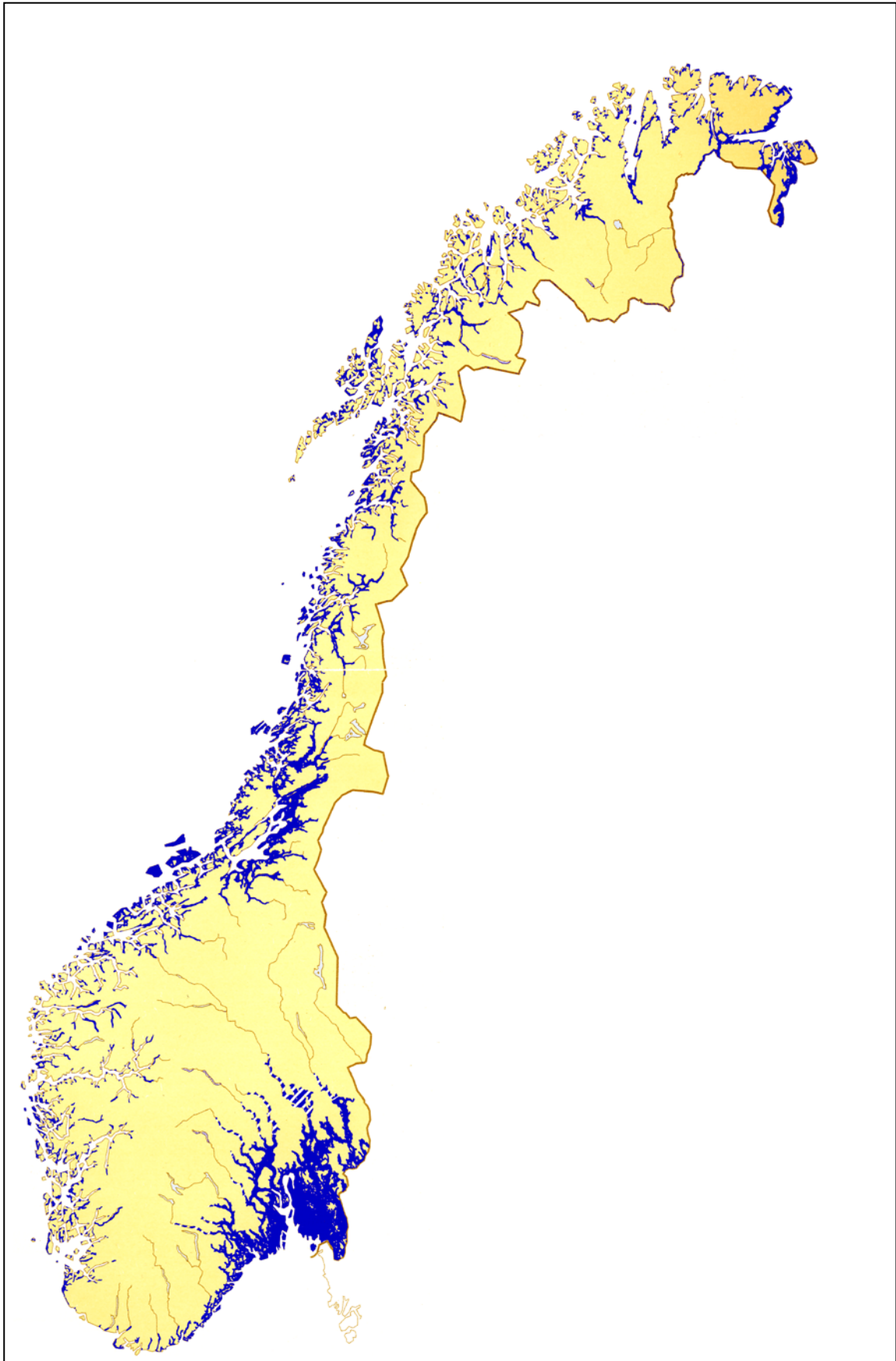
Tegnforklaring

- Randmorene
- Esker

Legend

- Morenemateriale, tykt dekke
- Avsmeltingsmorene
- Bresje- og/eller breelavsetning, uspesifisert
- Hav- og fjordavsetning, tykt dekke
- Marin strandavsetning, tykt dekke
- Elve- og bekkeavsetning, uspesifisert
- Blokkhav
- Skredmateriale, tykt dekke/ur
- Torv og myr (organisk materiale)
- Bart fj. og fj. m/tynt el., usam.h. løsm.

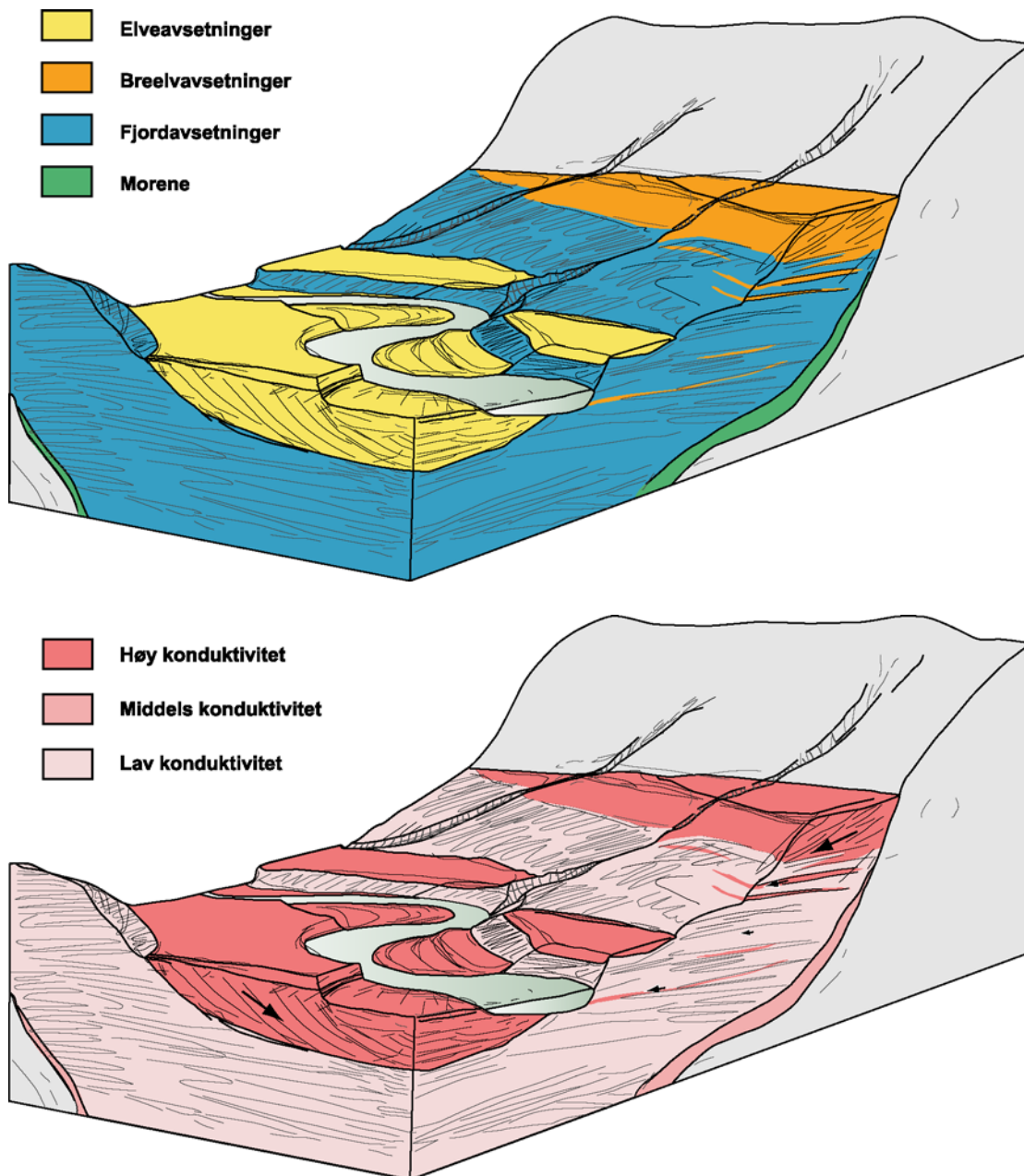
Figur 2. Kvartærgeologisk kart over Norge



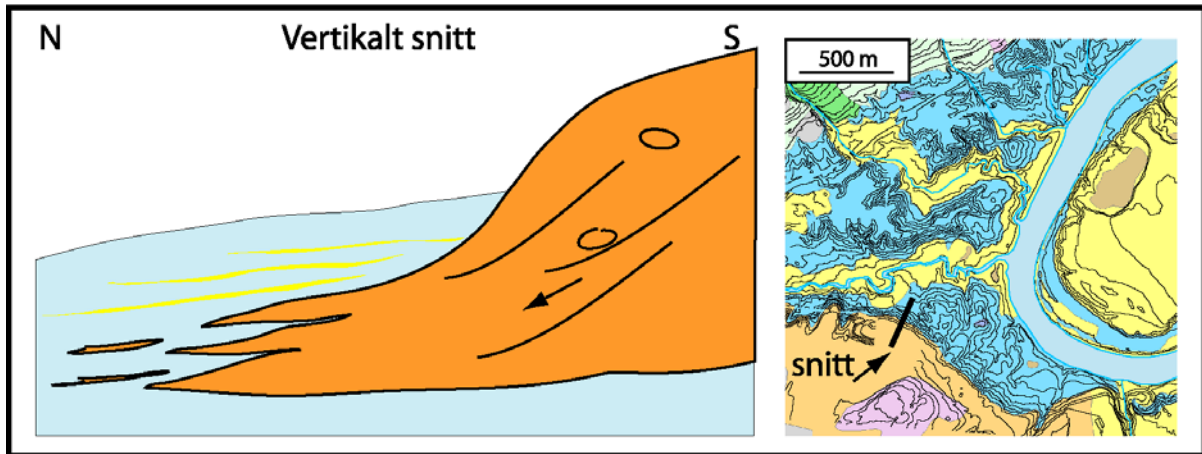
Figur 3. Dalfører i kystområdet under den marine grense er angitt i blå. Marin grense er definert som den høyest registrerte havnivå etter siste istid og ligger mange steder betydelig over dagens havnivå som følge av landhevingen etter siste istid.

2.2 Dalførene i kystområdene (under marin grense)

Dalførene i kystområdene inneholder finkornige hav- og fjordavsetninger som i mange tilfelle er veldig leirrike. Avsetningene er avtegnet med lys blå på det kvartærgeologiske kartet. Avsetningene er imidlertid ofte mer utbredt enn angitt på det kvartærgeologiske kart da de ofte finnes under sandige og grusige elve- og breelvavsetninger (fig. 4). Noen steder er hav- og fjordavsetningene helt dekt av grovere avsetninger. Grusige, glaciofluviale avsetninger kiler ofte inn i de finkornige hav- og fjordavsetninger som vist på figur 5.



Figur 4. Typisk oppbygging av løsmasseavsetningene i et dalføre i kystområdet, samt tilhørende hydraulisk konduktivitet. Pilene angir grunnvannsbevegelsen og pilenes størrelse angir den relative strømningshastighet.

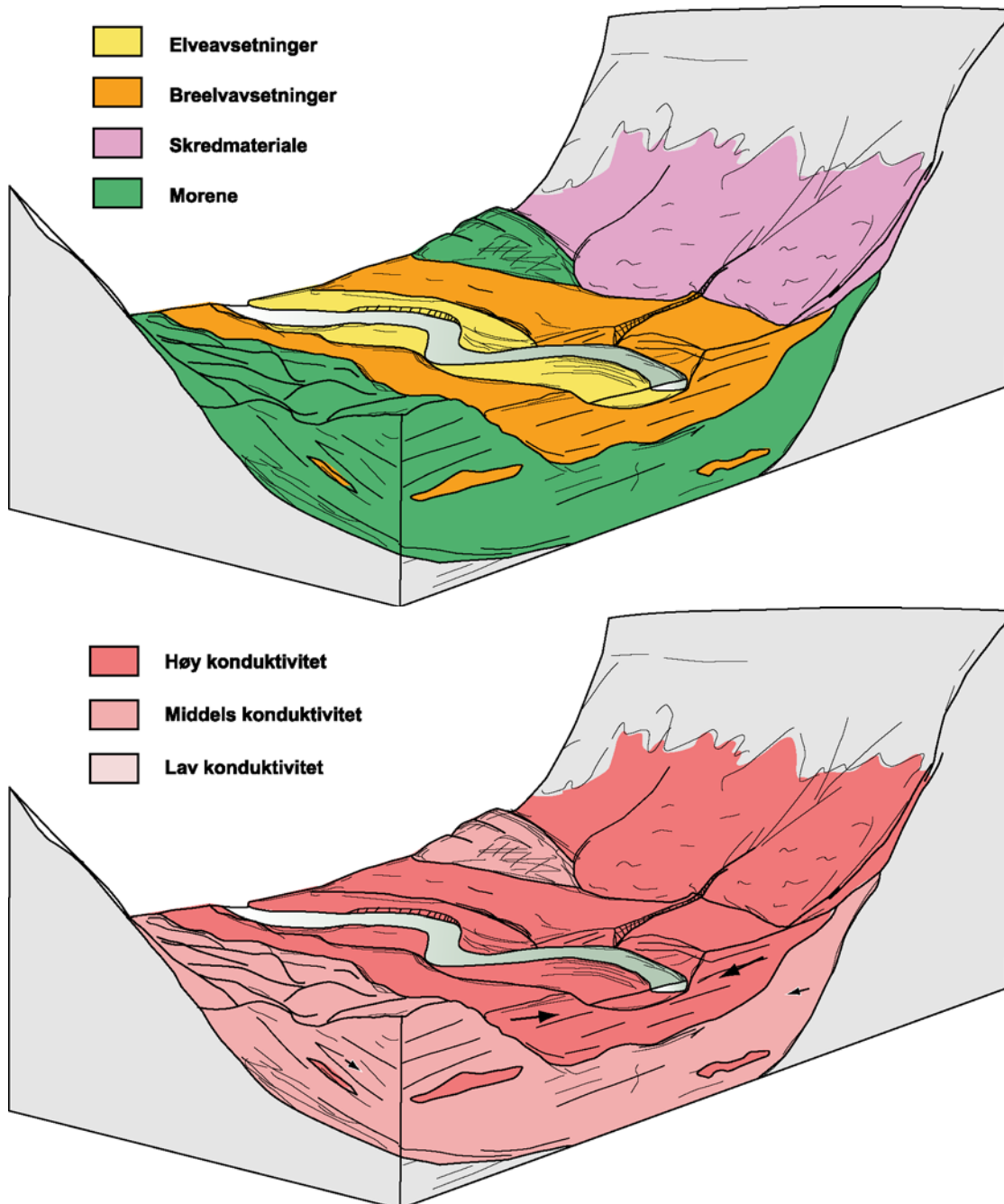


Figur 5. Vertikalt snitt gjennom løsmasser bestående av finkornige hav- og fjordavsetninger (blå) og grusige breelvavsetninger (oransje). Det kan finnes tynne sandlag i hav- og fjordavsetningene (gul). På det kvartærgeologiske kartet finnes de to avsetningstyper tilsynelatende ved siden av hverandre, mens det loddrette snittet viser at grusavsetningene faktisk kiler inn i de finkornige avsetninger.

Sand og grusavsetninger har høy permeabilitet, ofte med høy strømningshastighet på grunnvannet som angitt med store piler i figur 4. De sandige og grusige avsetningene er derfor generelt dårlig egnet for avfallsdeponering spesielt der avsetningene står i nær kontakt med elver, hvor forurensning hurtig ville kunne spres langs elveløpet. Hav- og fjordavsetninger bestående av leire har derimot lav permeabilitet og grunnvannsbevegelsen er derfor langsom. Dette er angitt med små piler i figur 4. Spredning av forurensning er derfor langsom i disse avsetninger og områder med ren leire har derfor potensial som naturlig geologisk barriere for avfallsdeponi. Dette gjelder også leirrike områder med et tynt overdekke av sandige elveavsetninger. Det skal fremheves at leirige hav- og fjord avsetninger i noen områder domineres av silt og finsand, noe som gir en forholdsvis høy permeabilitet. Det er også viktig å nevne at selv mektige heldekkende leirrike avsetninger kan inneholde sand- og gruslag som øker permeabiliteten. Et eksempel på dett er vist i figur 5. Kartlegging av mulige innhomogenitetsforhold krever derfor gode forundersøkelser.

2.3 De indre dalførene (over marin grense)

Dalførene over marin grense inneholder ingen finkornige hav- og fjordavsetninger. Derimot kan dalene inneholde morenemateriale som kan opptre som sammenhengende dekker under elve- og breelvavsetninger som vist på den tredimensjonale modell i figur 6. Leirrike morenedekker kan være tette og egnet som naturlig geologisk barriere for avfallsdeponi, men sandige og grusige avsetninger i kontakt med morenen kan øke gjennomstrømning av grunnvann, slik at forurensning hurtig kan spres. Morenemateriale kan også inneholde linser av sand og grus eller sprekker som øker grunnvannsstrømningen betraktelig. Også her vil gode forundersøkelser være viktig for å avklare inhomogenitetsforholdene.



Figur 6. Typisk oppbygging av avsetningene i et dalføre i innlandet, samt tilhørende hydraulisk konduktivitet. Pilene angir grunnvannsbevegelsen og pilenes størrelse angir den relative strømningshastighet.

2.4 De indre fjellområdene

De indre fjellområder er flere steder dekket av tykke løsmasser dominert av morene. Sammensetningen og tykkelsen av morenematerialet varierer fra område til område. Det er alminnelig at sandige og grusige avsetninger finnes i kontakt med morenematerialet og kan forekomme over større arealer eller som linser i og under morenen.

Leirrike morenedekker kan være tette og egnet som naturlig geologisk barriere for avfallsdeponi, men sandige og grusige avsetninger i kontakt med morenen, kan øke gjennomstrømning av grunnvann slik at en forurensning hurtig kan spres. Morenemateriale kan også inneholde linser av sand og grus eller sprekker som øker grunnvannsstrømningen betraktelig. En avklaring av disse inhomogenitetsforholdene krever derfor gode forundersøkelser.

2.5 Avsetningenes hydrauliske egenskaper

Størsteparten av avsetningene i tabell 1 inneholder løsmassefraksjonene leir, silt, sand eller grus eller en kombinasjon av disse. Avsetningenes totale porøsitet, permeabilitet og hydrauliske ledningsevne avhenger av sammensetningen, herunder hvor enskornige sedimentene er og om det finnes lagdeling av forskjellige sedimenttyper. Figur 1 gir en oversikt over typiske verdier for den hydrauliske konduktivitet for de ulike løsmassefraksjonene samt ulike typer morener. Rene leiravsetninger har de laveste verdier. Legg merke til at sammensetningen av morenemateriale kan varierer mye. Derfor varierer den hydrauliske konduktivitet tilsvarende og kun leirrike/siltige moreneavsetninger har lave verdier.

2.6 Anbefalinger ved etablering av deponier på løsmasser

Det finnes i Norge muligheter til å anlegge avfallsdeponi på tilnærmet tette løsmasser med begrenset grunnvannsgjennomstrømning. Egnete områder er der det finnes heldekkende fjord- og havavsetninger eller leirig og/eller siltig morenemateriale med tilstrekkelig mektighet. Disse avsetningstyper har potensial til å utgjøre en naturlig geologisk barriere i henhold til retningslinjer i EUs deponidirektiv. Det er i vurderingen av løsmassers egnethet som mulig naturlig geologisk barrierer også viktig å ta løsmassemektigheten med i betraktningene ved at en noe høyere konduktivitetsverdi i henhold til retningslinjene kan kompenseres ved økt mektighet på løsmassene. Teoretisk sett vil en løsmasseavsetning med hydraulisk ledningsevne $K = 5 \cdot 10^{-8}$ m/s ha tilstrekkelig tilbakeholdelsesevne for å innfri kravene i forskriften hvis mektigheten er 2 meter eller mer. Detaljert kartlegging av løsmassenes type og utbredelse, både horisontalt og vertikalt, er imidlertid absolutt nødvendig i en vurdering av muligheten for anlegging av avfallsdeponi i slike områder. Det er hensiktsmessig å studere eksisterende kvartærgeologiske kart, samt å få oversikt over utførte grunnundersøkelser for det interessante område, før mer detaljerte kvartærgeologiske, geotekniske og hydrogeologiske undersøkelser planlegges. Det er spesielt viktig å undersøke om det finnes grovere vannførende lag i eller i nær forbindelse med egnete lavpermeable løsmasser da både hav- og fjordavsetninger og morene materiale varierer i sammensetning. Leirig morenemateriale kan dessuten inneholde høypermeable sprekker. Det er også viktig å undersøke om hav- og fjordavsetningene inneholder kvikkleire. Utlekking av deponi og fyllmasser på kvikkleireholdige sedimenter kan forverre stabiliteten med utglidninger og i verste fall store leirskred som resultat.

3. KARAKTERISTISKE HYDRAULISKE EGENSKAPER I BERGGRUNNEN I NORGE

3.1 Generelt

For å vurdere berggrunnens potensial som en naturlig geologisk barriere i henhold til EUs deponidirektiv, er det nødvendig å ha en forståelse av hvordan vanntransport foregår i berggrunnen. Det er i den sammenheng viktig å ha klart for seg skillet mellom bergarter hvor væskestrømning kontrolleres av primær porøsitet (porøse akviferer), der væskestrømningen kan sammenliknes med væskestrømning i homogene løsmasseavsetninger, og bergarter hvor strømning hovedsakelig foregår i komplekse nettverk av sprekker og kanaler (sprekkeakviferer). Den arealmessige fordelingen av de to akvifertyper i berggrunn i Norge er:

- *Porøsitetskontrollerte* permeable berggrunnsenheter – hovedsakelig sedimentære og vulkanske bergarter med primær porøsitet. De er lite utbredt på land i Norge, og utgjør kun ca. 2% av berggrunnens overflateareal.
- *Sprekkekontrollerte* permeable berggrunnsenheter – hovedsakelig krystalline metamorfe/omvandlete bergarter og dypbergarter uten primær porøsitet. De utgjør over 98 % av norsk berggrunn.

Ut fra denne arealfordelingen er det fokusert på sprekk kontrollert væskestrømning i den videre beskrivelsen av berggrunnens hydrauliske egenskaper i Norge. Dette gjør samtidig oppgaven mer komplisert fordi væskestrømning i oppsprukket fast fjell er beheftet med langt større usikkerhetsfaktorer enn vannstrømning i porøse medier. Det teoretiske grunnlaget og det matematiske formelverk som benyttes for å karakterisere væskestrøm i porøse medier vil ikke kunne benyttes på væskestrøm i oppsprukket fjell (sprekkeakvifer) uten at det innføres et sett av forutsetninger og betydelige forenklinger.

Ut fra et forurensningsperspektiv, der vannets strømningshastighet på sprekkplan og potensiell spredningshastighet av forurensninger er viktige forhold, vil det ikke være riktig å benytte materialeparameteren hydraulisk konduktivitet (K) for å beskrive berggrunnens vannføringsegenskaper. Der konduktivitetsverdier likevel er benyttet for å estimere oppsprukket fjells hydrauliske egenskaper, forutsetter dette en homogen isotrop oppsprekking av berggrunnen med like strømningsegenskaper langs samtlige sprekkplan (diskretisering).

Undersøkelser og observasjoner av berggrunnen i Norge viser at oppsprekningen er langt fra homogen eller isotrop. Den svært variable romlige oppsprekkingsfrekvensen som observeres er styrt bla. av foliasjon eller lagdeling i fjellet samt nåværende og tidligere tektoniske spenningsforhold i berggrunnen med forkastninger og knusningssoner som de mest fremtredende fenomener. Væskestrømmen langs antatt like sprekkplan, eller langs et og samme sprekkplan, kan også være svært variabel. Sprekkeåpningen kan variere, som følge av uregelmessig oppsprekking, og sprekkplanet kan være helt eller delvis gjentettet som følge av leirfyllinger eller utfelling av mineraler på sprekkplanet. Samlet påvirker disse forholdene i betydelig grad berggrunnens hydrauliske egenskaper slik at væskestrøm i oppsprukket fjell må betraktes som væskestrøm langs foretrukne strømningsveier på et fåtall av fjellets totale antall sprekker.

Hydraulic conductivity [m · s ⁻¹]	Rocktype		
	unconsolidated rocks	hard sedimentary rocks	igneous and metamorphic rocks
1		<i>karstified</i>	
10 ⁻¹	gravel		lava
10 ⁻²	<i>coarse</i>		
10 ⁻³	sand	limestone	
10 ⁻⁴			
10 ⁻⁵	<i>fine</i> loess		<i>fissured</i>
10 ⁻⁶		<i>fissured</i>	
10 ⁻⁷			
10 ⁻⁸	moraine,	<i>compact</i>	
10 ⁻⁹	clayey drift deposits		basalt
10 ⁻¹⁰			granite, gneiss metamorphic rocks
10 ⁻¹¹	clay	slate	
10 ⁻¹²		shale	
10 ⁻¹³			<i>compact</i>

Figur 7. Variasjon i hydraulisk konduktivitet for ulike løsmassetypene samt sedimentære og krystalline bergartstyper (Stuckmeier og Margat 1995).

For sammenlikningens del er det vist en sammenstilling mellom konduktivitet i fjell og løsmasser i figur 7. Det er i denne sammenstilling viktig å ha forståelse for de overnevnte forutsetninger og forenklinger som ligger bak estimeringen av berggrunnens konduktivitet i figuren.

3.2 Hydrauliske egenskaper og vanngiverevne i berggrunnen i Norge

For å kunne si noe generelt om hydrauliske egenskaper i heterogen berggrunn som den vi finner i Norge, kreves det et stort datagrunnlag for å estimere statistisk signifikante gjennomsnittsverdier. Ved NGU har vi tre typer nasjonale (regionale) datasett som kan benyttes i vurderinger rundt væskestrømning i berggrunnen:

- NGU's *Berggrunnsdatabase*, som beskriver utbredelsen av forskjellige bergarter.
- NGU's *Strukturdatabase*, som beskriver lineære svakhetssoner i berggrunnen hovedsaklig betinget av intens oppsprekning.
- NGU's *Brønndatabase*, med informasjon fra ca. 19.000 brønner som er boret i fjell.

Statistiske analyser av NGUs Brønndatabase sammenholdt med de to andre databasene (se Morland 1997, for metoder og begrensninger), gir en god regional oversikt over vanngiverevnen i Norges berggrunn. Basert på et utvalg på over 12.000 fjellbrønner i Brønndatabasen er den typiske vanngiverevnen (medianverdi) i disse brønner ca. 600 l/t. Med et gjennomsnittlig brønndyp på 56 meter gir dette en gjennomsnittlig normalisert vanngiverevne Q_n på ca. 12 liter per time per meter borehull (Morland 1997). For å kunne omgjøre normalisert gjennomsnittlig vanngiverevne (Q_n = liter/time per meter borehull) til gjennomsnittlig konduktivitet i berggrunnen (dvs liter/sekund per kvadratmeter brønnvegg), må det innføres en del forutsetninger og forenklinger:

- Først må det forsettes at brønnene er vannførende i hele brønnens dyp
- Den hydrauliske gradient $dh/dl = 1$ under kapasitetstesten av brønnene (dh/dl = helling på grunnvannspeilet inn mot brønnen)
- Gjennomsnittlig brønndiameter på 130 mm på utvalget av brønner.

Ut fra disse forutsetningene og datautvalget fra Brønndatabasen gir dette en gjennomsnittlig konduktivitet for norsk berggrunn på **$K_m = 8 \times 10^{-6} \text{ m/s}$** .

Ved siden av usikkerhetene ved å innføre de overnevnte forutsetninger er det også viktig å trekke fram andre begrensninger og usikkerheter ved å benytte data fra Brønndatabasen for å estimere gjennomsnittlig konduktivitet i norsk berggrunn:

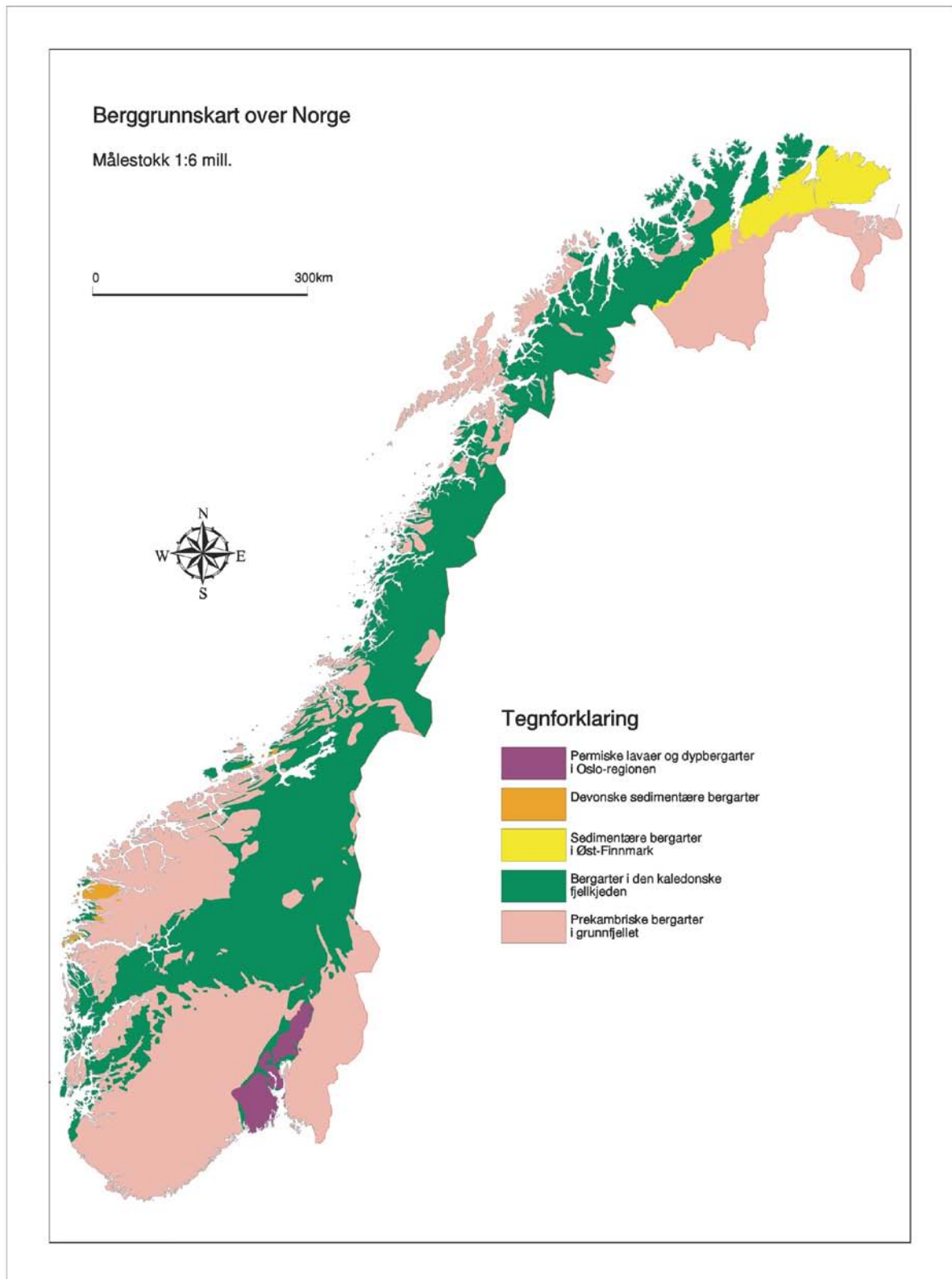
1. Data i Brønndatabasen relaterer seg til brønner som er forsøkt plassert optimalt i forhold til svakhetssoner og fjellets oppsprekking for å oppnå høyest mulig vanngiverevne i brønnene. Dette vil forventningsvis gi en høyere gjennomsnittlig vanngiverevne og konduktivitet for berggrunnen enn om brønnene hadde vært boret vilkårlig.
2. Brønnene er etablert for uttak og ikke infiltrasjon av grunnvann. Det vil si data som er benyttet til å beregne fjellets hydrauliske egenskaper relaterer seg til en væskestrøm som hovedsakelig foregår i den vannmettede sonen, ofte flere 10-talls meter under overflaten der sprekkefrekvensen og vannføringsevnen normalt er betydelig lavere enn i den dagnære umettete sonen. Ved ikke å innkalkulere den dagnære umettete sonens vannførende kapasitet i de statistiske bergningene vil dette gi en for lav gjennomsnittlig konduktivitet i berggrunnen i Norge.
3. Det er også i beregningene forutsatt at brønnen er vannførende i hele brønnens lengde. Dette er imidlertid en betydelig forenkling da dypet til grunnvannet i brønnene kan variere betydelig avhengig av topografiske forhold og grunnvannsuttak. Ved å forsette at brønnene er vannførende i hele brønnens lengde vil i de statistiske bergningene gi en for lav gjennomsnittlig konduktivitet i berggrunnen i Norge.

Til tross for usikkerhetene tilknyttet de statistiske beregningene viser estimert gjennomsnittlig hydraulisk konduktivitet K_m at berggrunnen i Norge normalt ikke vil utgjøre en naturlig geologisk barriere i henhold til forskriftens krav. Ved etablering av deponier direkte på fjellgrunn vil dette vanligvis kreve supplerende tett tiltak som etablering av en kunstig geologisk barriere i kombinasjon med tett bunnmembran.

3.3 Hydrauliske egenskaper i ulike bergartstyper

Selv om væskestrøm i oppsprukket fjell må betraktes som en til dels uforutsigbar strømning langs et fåtall foretrukne strømningsveier, har sammenstilling av de tre tidligere nevnte store nasjonale datasett vist at det statistisk sett kan være store forskjeller i hydrauliske egenskaper mellom ulike bergartstyper. De samme datasett viser også at det innen samme bergartstype er store variasjoner i hydrauliske egenskaper. Med utgangspunkt i den regionale fordelingen av bergarter som utgjør fastlands-Norges berggrunn (se berggrunnskart på www.ngu.no; Sigmond et al. 1984), kan Norge deles inn i regioner med bergartstyper som har visse fellestrekk med hensyn til hydrauliske egenskaper (Figur 8, 9 og 10). Følgende hovedenheter hører naturlig sammen (Morland 1997):

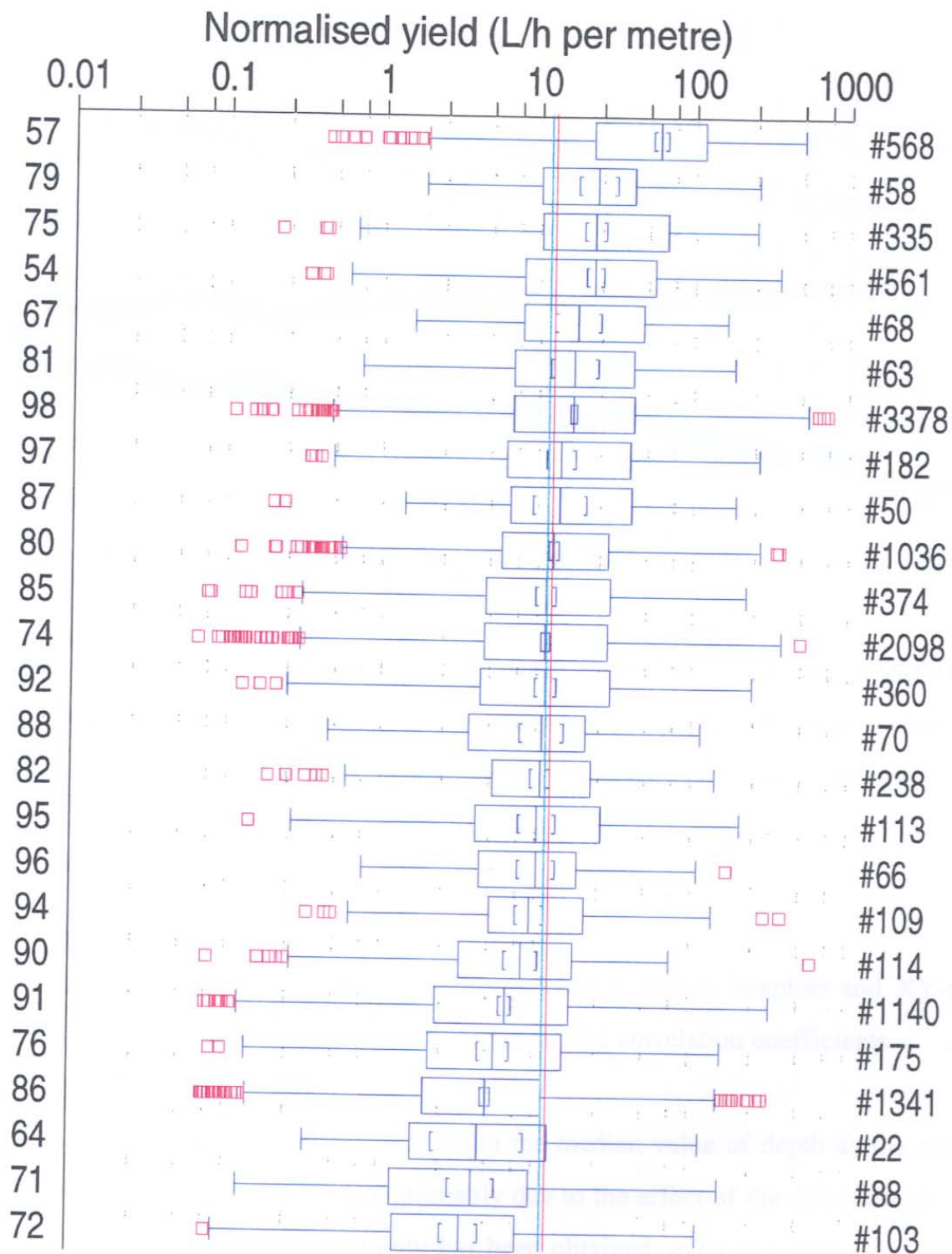
1. Prekambriske bergarter, hovedsakelig gneiser. Disse har regional utbredelsen.
 - Utgjør 68,5% av berggrunnen
 - Bergartskode 87, 98, 97, 92, 88, 95, 90, 96 og 94 i figur 9
 - Gjennomsnittlige normaliserte verdier på vanngiverevne som er typiske for norsk berggrunn, med $Q_n = 9 - 13$ l/t per meter borehull som gir $K = 6 - 9 \times 10^{-6}$ m/s.
2. Bergarter kraftig påvirket av den kaledonske fjellkjededannelsen. Hovedtyngden består av omvandlete kambro-siluriske sedimentære og vulkanske bergarter. De har en regional utbredelse.
 - Utgjør 29,2% av berggrunnen
 - Bergartskode 75, 67, 80, 85, 74, 82, 91, 76, 86, 71 og 72 i figur 9
 - Gjennomsnittlige normaliserte verdier på vanngiverevne varierer en god del, med høye verdier rundt $Q_n = 17$ l/t per meter borehull ($K = 1 \times 10^{-5}$ m/s) for en del sandsteiner og kalksteiner, og lav $Q_n = 4$ l/t per meter borehull ($K = 2 \times 10^{-6}$ m/s) for grønnsteiner og enkelte dypbergarter.
3. Devonske sedimentære bergarter, som er omvandlet. Disse opptrer kun nord for Bergen og lokalt langs kysten av Nordvestlandet.
 - Utgjør kun 0,4% av berggrunnen
 - Bergartskode 64 i figur 9
 - Har meget lave verdier på vanngiverevne, rundt 4 l/t per meter borehull ($K = 2 \times 10^{-6}$ m/s).
4. Permiske vulkanske bergarter, samt noen lite omvandlede sedimentære bergarter, som i mange tilfeller har primær porøsitet. Disse finnes hovedsaklig i Oslo-regionen samt i Øst-Finnmark på Varanger-halvøya.
 - Utgjør totalt 1,9% av berggrunnsarealet
 - Bergartskode 79 i figur 9
 - Har svært høy vanngiverevne med gjennomsnittlige verdier opp mot $Q_n = 60$ l/t per meter borehull ($K = 4 \times 10^{-5}$ m/s).



Figur 8. Berggrunnsprovinser i Norge

Rock-type	Definition	Number of boreholes	Median yield	Median depth	Median normalised yield
57	Permian volcanic rocks, with subordinate sedimentary rocks (Oslo Region)	568	2500	45	58.3
79	Upper Precambrian quartz sandstone	58	1020	50	23.2
75	Cambro-Silurian limestone and marble	335	1000	45	22.5
54	Permian plutonic rocks (Oslo Region)	561	1000	50.5	22.4
67	Upper Silurian sandstone	68	1000	63.5	17.6
87	Precambrian granite to tonalite	50	800	61	13.8
98	Precambrian gneiss, migmatite, foliated granite, amphibolite	3378	750	48	16.7
81	Upper Precambrian limestone, shale	63	700	41	16.8
97	Precambrian metarhyolite, metarhyodacite	182	700	54.5	14.0
80	Upper Precambrian sandstone, shale, conglomerate	1036	600	50	12.7
85	Precambrian rocks of different origin in Caledonian nappes	374	600	57	11.4
74	Cambro-Silurian meta-sediments of the Caledonian mountain chain and the Oslo Region	2098	600	57	11.4
82	Upper Precambrian metasandstone, mainly meta-arkose and quartz schist	238	600	61	10.7
92	Precambrian autochthonous granite to tonalite	360	590	53	11.4
88	Precambrian amphibolite, gneiss	70	575	68	10.9
95	Precambrian metasandstone, mica schist, conglomerate, supracrustal gneisses	113	550	58	10.3
90	Precambrian metamorphosed sedimentary and volcanic rocks, gneiss	114	525	73.5	8.3
96	Precambrian metabasalt, meta-andesite, amphibolite	66	500	67.5	10.3
94	Precambrian autochthonous gabbro, amphibolite, ultramafic rocks	109	420	55.5	9.4
91	Precambrian gneiss, migmatite, foliated granite, amphibolite (north-western gneiss region)	1140	420	71	6.6
76	Cambro-Silurian greenstone, greenschist, amphibolite, meta-andesite	175	360	65	5.6
86	Caledonian charnockitic to anorthositic rocks	1341	310	71	5.1
71	Caledonian granite to tonalite	88	300	78.5	4.1
64	Devonian sedimentary rocks, mainly sandstone and conglomerate	22	290	67	4.5
72	Caledonian gabbro, diorite, ultramafic rocks	103	250	80	3.5

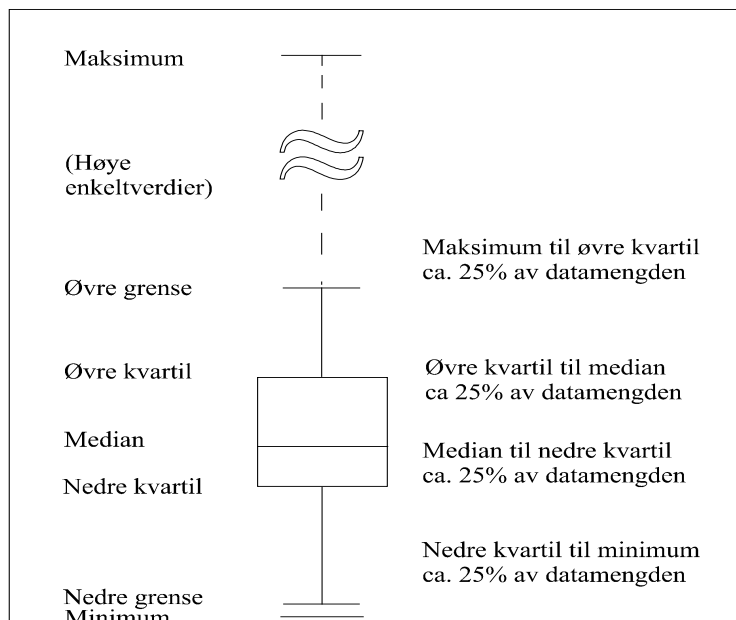
Figur 9. Tabell fra Morland (1997) som viser hydrogeologiske egenskaper for forskjellige bergartstyper. Raden til høyre angir gjennomsnittlig brønnyttelse i liter per time per meter boret brønn.



Figur 10. Statistisk sammenstilling av brønnyttelse (liter/time) per meter boret brønn i fjell for ulike bergartsgrupper (Morland 1997). Datasettet er det samme som i figur 9. Forklaring til statistisk fremstilling i boksploott er gitt i tekstboks. Merk at det er meget store variasjoner i brønnyttelsen innen de forskjellige bergartstypene. Tallene til venstre i figuren refererer seg til bergartstype fra figur 9 mens tallene til høyre viser antall observasjoner som ligger til grunn for beregningene.

Boksploott

Boksploott er en fremstillingsmåte som gir en rask oversikt over dataenes fordeling og sentrale statistiske parametere. Den egner seg derfor meget godt der en ønsker å sammenligne to eller flere datasett. For at et boksploott skal kunne lages og for at meningsfulle medianverdier kan sammenlignes, kreves det minst fem verdier i datasettet.



Grafisk forklaring av boksploott

Medianen er den midterste verdien i tallsettet, dvs at halvparten av verdiene er høyere og halvparten er lavere. Medianen angis ved en strek som deler selve boksen i to.

Øvre kvartil representerer den verdien i datasettet der 75 % av verdiene er lavere og 25% er høyere. Tilsvarende er 75 % av verdiene høyere og 25% av verdiene lavere enn **nedre kvartil**. Øvre og nedre kvartil fremstilles som henholdsvis toppen og bunnen av selve boksen. Boksen inneholder dermed de midtre 50% av datasettets verdier og størrelsen på boksen gir et bilde av spredningen i disse verdiene.

Strekene (kalt "whiskers" dvs. værhår) viser spredningen av dataene utenfor boksen. I geokjemiske data er det vanlig at noen få verdier er mye høyere (eller eventuelt mye lavere) enn de midterste 50%. I boksploott settes det en øvre grense for streken når verdien plottes lengre fra øvre kvartil enn 1,5 ganger boksens lengde. Høyere verdier plottes som enkle punkt og utelukkes av og til fra grafiske fremstillinger fordi de trekker ut skalaen og reduserer oppløsningen. Tilsvarende er nedre grense for streken satt 1,5 ganger boksens lengde fra nedre kvartil, og lavere verdier enn dette vil bli plottet som enkle punkt. Antall prøver (#) som danner grunnlaget for boksplottet er angitt over boksen. Dersom antallet prøver er lavere enn 5 vil alle verdiene bli plottet som enkle streker.

3.4 Andre geologiske forhold av betydning for berggrunnens hydrauliske egenskaper

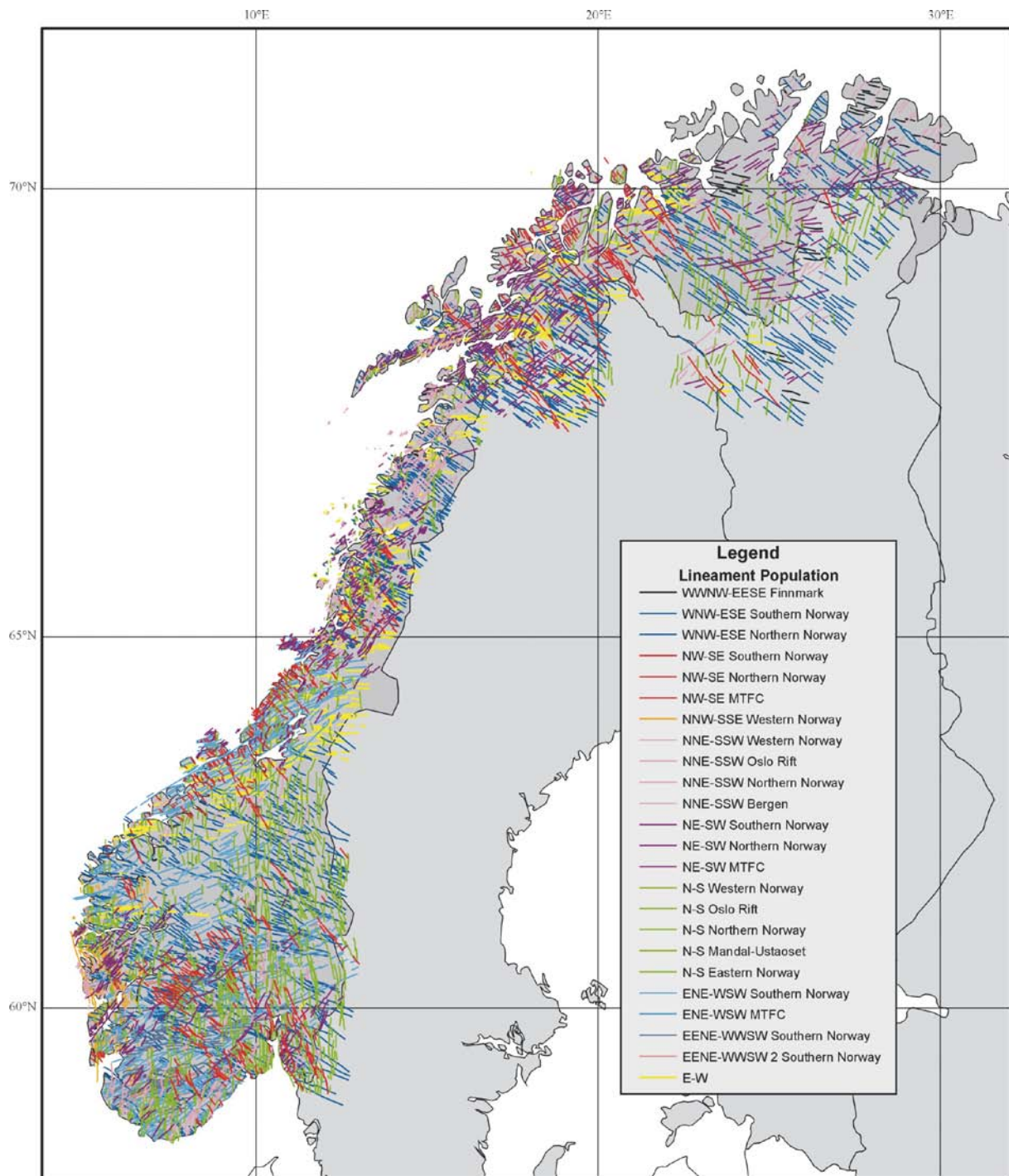
3.4.1 Sprekke-lineamenter

Norsk fjell er gjennomskåret av store sprekker/svakhetssoner også kalt lineamenter. Dette kan ses tydelig på satellittbilder, hvor langstrakte, nærmest snorrette daler, vassdrag og kløfter står fram som lineære soner, også kalt lineamenter (Fig. 11). I større detalj, på flybilder eller spesielt når en besøker området til fots, vil en se at disse topografiske forsenkningene er betinget av svakt fjell, som oftest i form av partier med meget høy grad av oppsprekning. De inneholder også linser med nedknust fjell karakterisert ved fjellbiter i en leirig grunnmasse (Fig. 12). Dette er soner i fjellet hvor det har vært bevegelse (forkastninger). Omkring slike soner er det vanlig å finne avtagende grad av oppsprekning, men selv i områder mellom lineamenter er fjellet svakt oppsprukket. Med andre ord; alt fjell er oppsprukket, men kun i avgrensede soner (lineamenter) finner en stor tetthet av sprekker. Ut fra den generelle fordelingen av sprekker synes det klart at det er større grunnvannsstrømning rundt lineamenter enn ellers i berggrunnen, dette fordi høy sprekketetthet gir større strømningspotensial (Figur 13). Enkelte meget gode brønner nær lineamenter gir ytelsesverdier opp mot $Q_n = 100$ l/t per meter borehull ($K = 70 \times 10^{-3}$), men det er langt vanligere med brønner som ligger nær gjennomsnittsverdien på $Q_n = 12$ l/t per meter borehull (Morland 1997).

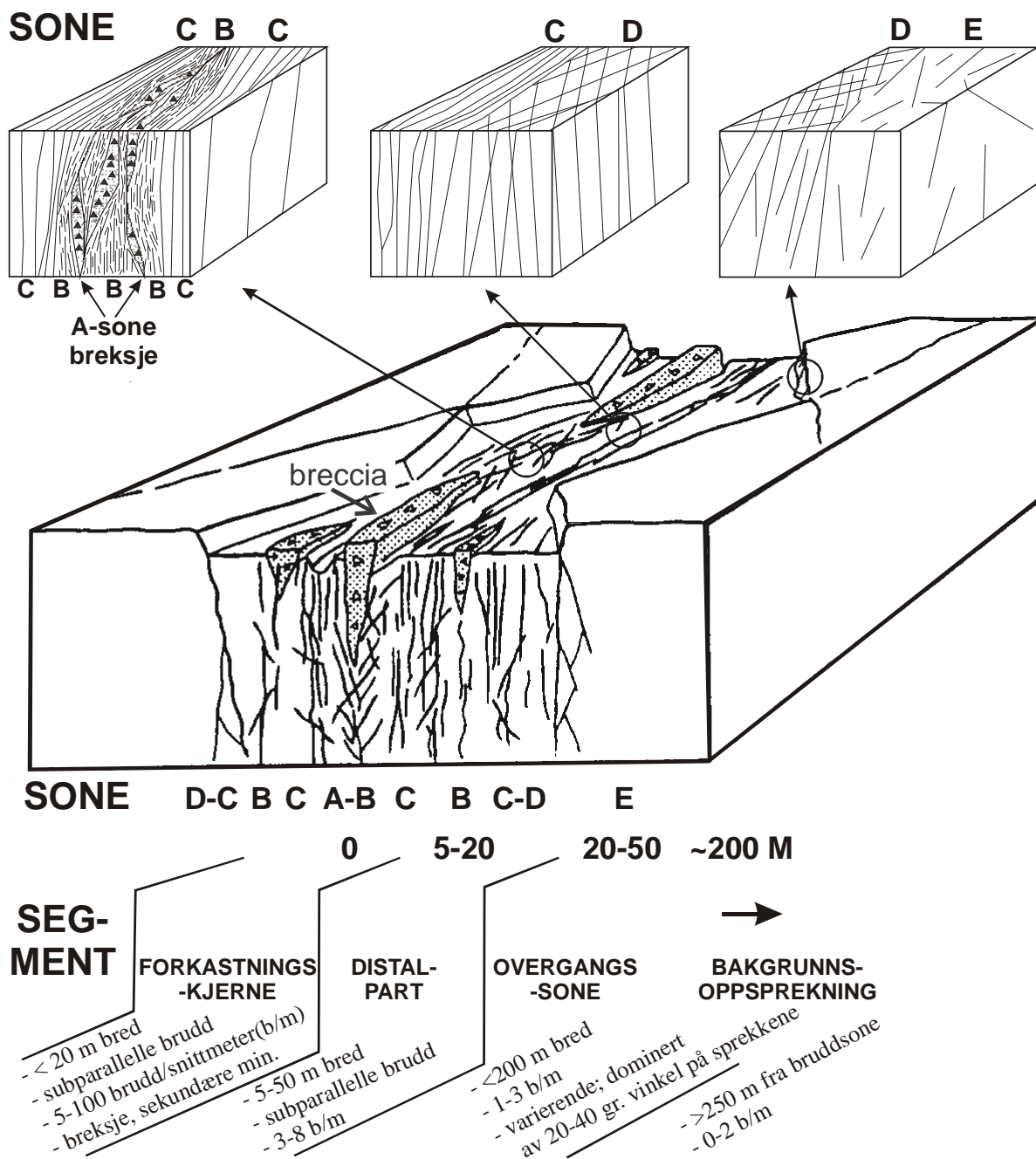
Mange av dagens avfallsdeponier er plassert i større og mindre dalforsenkninger i terrenget bla. for å skjerme omgivelsene for innsyn og gjøre aktiviteten mindre utsatt for vær og vind. Ut fra forvissningen om at disse kan være betinget av svakhetssoner eller mer intens oppsprekning av berggrunnen vil disse dalsenkningene normalt være lite egnet for deponering av avfall.

3.4.2 Landhevning

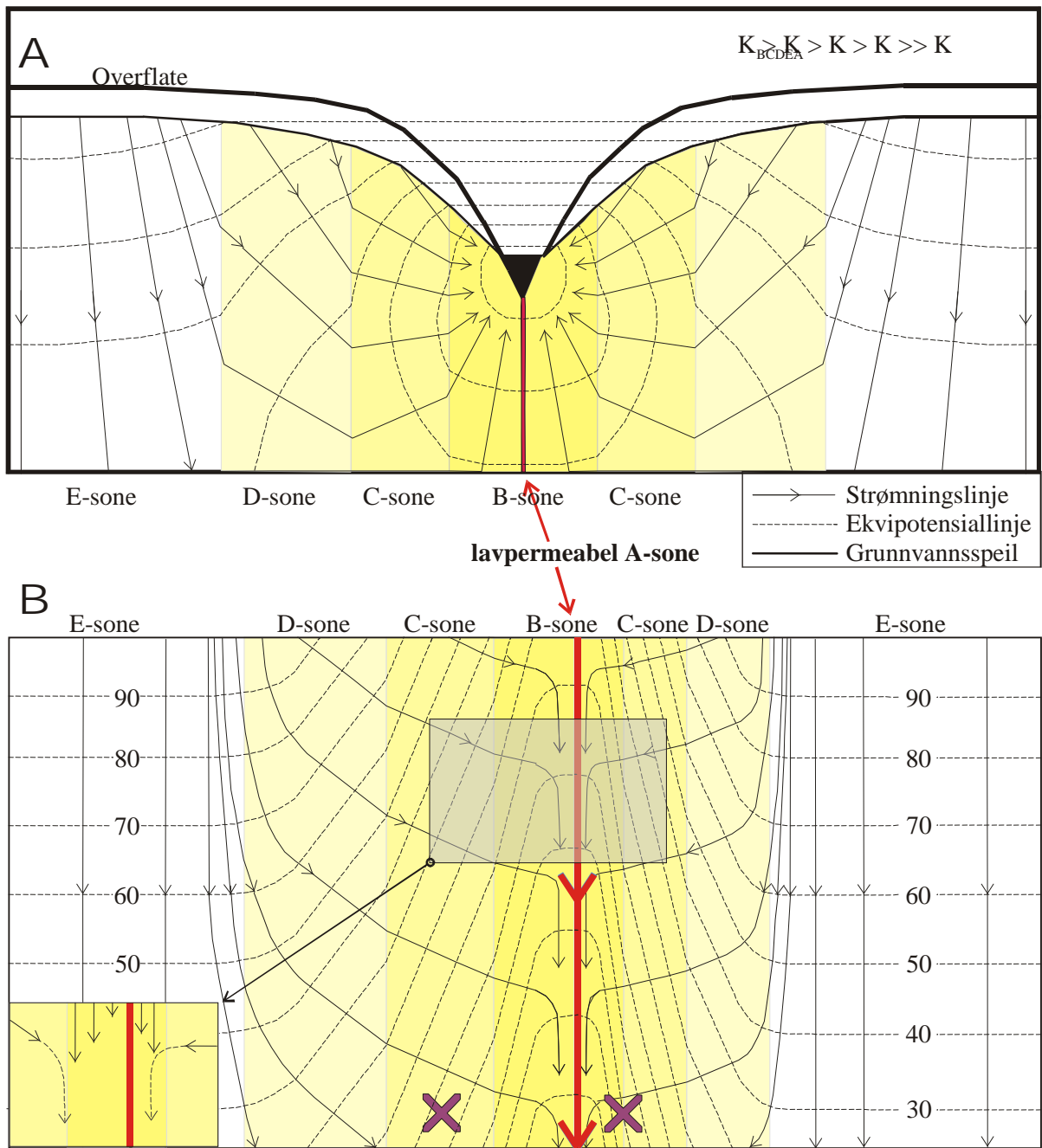
Som tidligere nevnt, genereres sprekker av bevegelser i jordskorpa. Av jordskorpebevegelser i nyere tid er landhevningen som etterfulgte siste istid vært svært viktig for berggrunnens hydrauliske egenskaper. Den landhevingen som forstst pågår varierer fra rundt 0 til 1mm per år nær kysten til over 5mm per år i grensestrøkene mot Sverige på Østlandet (Figur 14). Hevningen har utsatt de øverste 100 meterne av berggrunnen for strekkspenninger, som har kunnet åpne eldre sprekker (Gudmundson 1999). Dette er også vist i studier av forholdet mellom variasjoner i landhevning og brønnytelse (Rohr-Torp 1994; Morland 1997), som viser at brønner på innlandet, i områder med størst landhevning, i snitt gir langt mer vann enn brønner nærmere kysten. Variasjonen er i størrelsesorden $Q_n = 4$ l/t per meter borehull i kyststrøk med landhevning på rundt 0-1 mm, til opp mot $Q_n = 20$ l/t per meter borehull for landhevning på rundt 5 mm. Dette viser at landhevingen har en betydelig effekt på berggrunnens gjennomsnittlige hydrauliske egenskaper.



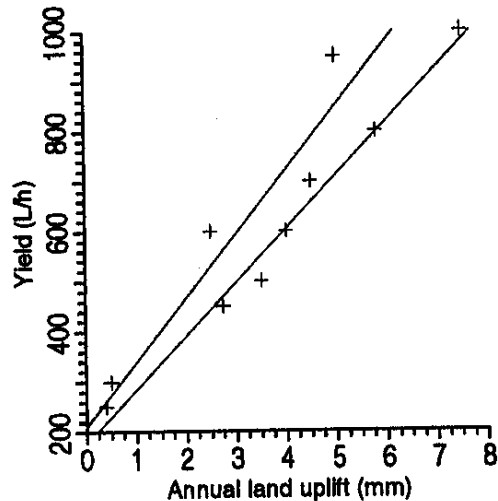
Figur 11. Lineamentskart over Norge (Gabrielsen m.fl. 2002). Lineamentene utgjør soner i berggrunnen med høy grad av oppsprekning, og er derfor viktige for grunnvannsstrømning i fjell.



Figur 12. Oppbygning av sprekkelineamenter, som kan beskrives med segmenter og distinkte soner. Hver a sonene B, C, D og E er karakterisert ved bestemte sett av brudd eller par av spekksett. A-sonen består av nedknust fjell.



Figur 13. (A) Konseptuell fremstilling av grunnvannsstrømning rundt et bruddlineament, vist i tversnitt av berggrunnen. Sonene B, C, D og E opptrer på begge sider av A-sonen, og har ulike konduktivitetsverdier. (B) Skjematisk kart av et asymmetrisk bruddlineament, hvor ekvipotensiallinjene (vinkelrett grunnvannsstrømmen) gjenspeiler topografien langs bruddlineamentet. Skråningen ned mot A-sonen er brattere på høyre side i forhold til på venstre side. Elva i midten følger lineamentets sentrale segment, som er karakterisert ved tett nedknust fjell. Legg merke til at en brattere skråning inn mot bruddlineamentet favoriserer størst strømning nærmere senteret av sprekke-lineamentet. Kryssene illustrerer beste plassering av grunnvannsbrønner. Figurene er modifisert fra Berg (2000).



Figur 14. XY-plott som viser forholdet mellom årlig landhevning, fra kyst til innland i Sør-Norge, og brønnyttelse per meter brønn (fra Mørland 1997).

4. KONKLUSJON

Oppbygning og fordeling av både løsmasser og berggrunn i Norge er svært varierende og stedvis meget komplekse. Som følge av dette vil også løsmassenes og berggrunnens hydrauliske egenskaper være svært variabel, noe som kan gi store forskjeller i undergrunnens vannføringsegenskaper innenfor et begrenset område. Det er i Norge også normalt stor forskjell på de hydrauliske egenskaper mellom løsmasser og fjell. Løsmassene har primær porøsitet hvor væskestrømmen foregår i porene mellom de enkelte korn, mens berggrunnen har normalt ingen primær porøsitet og væskestrømmen foregår på et sett av sprekker og kanaler.

Ut fra de naturgitte geologiske grunnforholdene i Norge vil de best egnede lokaliteter for etablering av deponier være i områder under marin grense med sammenhengende homogene avsetninger av hav- og fjordavsetninger, eller i områder med forholdsvis mektige finstoffholdige moreneavsetninger. Disse avsetningstyper kan ha tilstrekkelig lave konduktivitetsverdier til å utgjøre en naturlig geologisk barriere i henhold til EUs deponidirektiv.

Erfaringer og undersøkelser, kombinert med statistisk behandling av informasjon i Brønndatabasen, viser at den dagnære sonen av berggrunnen generelt er betydelig oppsprukket i Norge. Denne oppsprekningen gir berggrunnen hydrauliske egenskaper som gjør det vanskelig å finne egnede deponiområder på fjell som tilfredsstiller deponidirektivets krav, uten etablering av kunstig geologiske barrierer.

For å kunne anbefale plassering av deponier må det, i tillegg til innhenting og sammenstilling av geologisk bakgrunnsinformasjon bla. i NGUs databaser, utføres omfattende geologiske grunnundersøkelser for å kartlegge undergrunnens hydrauliske egenskaper. Det er i den sammenheng viktig å ha forståelse for den romlige variasjonen i løsmassenes og berggrunnens hydrauliske egenskaper. En detaljer overflatekartlegging av de geologiske forholdene må derfor følges opp med grunnboringer og eventuelt geofysiske undersøkelser for en tredimensjonal kartlegging av de geologiske forholdene. På bakgrunn av berggrunns vanligvis inhomogene og til tider uforutsigbare oppsprekningsmønstre, vil slike undersøkelser være spesielt omfattende og kompliserte ved etablering av deponier på fjellgrunn.

Referanser:

Berg, S. 2000: Strukturell analyse av bruddsoner med hensyn på grunnvannspotensialet i oppsprukne bergarter. Cand. Scient. thesis, University of Bergen.

Gabrielsen, R.H., Braathen, A., Dehls, J., and Roberts, D. 2002: Tectonic lineaments of Norway. *Norwegian Journal of Geology (NGT)* 82, 153-174.

Gudmundsson, A. 1999: Post-glacial doming, stresses and fracture formation with application to Norway. *Tectonophysics* 307, 407-419.

Rohr-Torp, E. 1994: Present uplift rates and groundwater potential in Norwegian hard rocks. *Norges geologiske undersøkelse Bulletin* 426, 47-52.

Sigmond, E.M.O., Gustavsson, M. & Roberts, D. 1984: Bedrock map of Norway, M 1:1 mill. *Norges geologiske undersøkelse*.

Stuckmeier W.F., Margat J. 1995: Hydrogeological maps – A guide and a standard legend. IAH Volume 17. International contributions to hydrogeology.

Thoresen, M. 1990: Kwartærgeologisk kart over Norge. Tema: Jordarter, M 1: 1 mill. *Norges geologiske undersøkelse*.

Carlson, L og Gustafsson, G. 1984: Provpumpning som geohydrologisk undersøkingsmetodikk. Byggforskningsrådet Stockholm. Rapport R41.