

R-01-19

Definition och beskrivning av parametrar för geologisk, geofysisk och bergmekanisk kartering av berg

Allan Stråhle
Geosigma AB

April 2001

Svensk Kärnbränslehantering AB

Swedish Nuclear Fuel
and Waste Management Co
Box 5864
SE-102 40 Stockholm Sweden
Tel 08-459 84 00
+46 8 459 84 00
Fax 08-661 57 19
+46 8 661 57 19



Definition och beskrivning av parametrar för geologisk, geofysisk och bergmekanisk kartering av berg

Allan Stråhle
Geosigma AB

April 2001

Denna rapport har gjorts på uppdrag av SKB. Slutsatser och framförda åsikter i rapporten är författarens egna och behöver nödvändigtvis inte sammanfalla med SKB:s.

Förord

Innehållet och utformningen av föreliggande rapport är resultatet av ett långvarigt samarbete. Av de kollegor som har haft vänligheten att bidra med synpunkter och material vill författaren särskilt tacka:

- Roy Stanfors, R Stanfors Consulting AB,
- Leif Stenberg, SKB,
- Karl-Erik Almén, KEA GEO-konsult,
- Raymond Munier, SKB,
- Mike Stephens, SGU,
- Sven Tirén, GEOSIGMA AB,
- Seje Carlsten, GEOSIGMA AB och
- Eva-Lena Tullborg, Terralogica AB.

Allan Stråhle
Geosigma AB

Sammanfattning

Denna rapport presenterar riktlinjer för hur geologiska parametrar ska användas vid SKB:s berggrundskartering. Redovisningen domineras av geologiska parametrar men några parametrar kan även betraktas som geofysiska eller bergmekaniska. Rapporten är strukturerad under huvudområdena bergarter, plastiska strukturer och spröda strukturer, enligt SKB:s parametersammanställning som specificerar hur berggrunden ska karakteriseras vid platsundersökningar. Varje parameter redovisas enligt en gemensam struktur där rubriken presenterar parameterns benämning på svenska och engelska. Därefter definieras parametern och ges en kort beskrivning av parametern. Vidare presenteras metod för parameterns bestämning samt hur parametern ska klassificeras och presenteras, framförallt grafiskt.

Det är väsentligt att varje parameter uppfattas och används på gemensamt sätt för alla som deltar i SKB:s geovetenskapliga undersökningar och de som använder resultat. Rapporten ska ses som en del i denna strävan. I detta avseende utgör rapporten ett konkret underlag för de metodbeskrivningar som SKB upprättar för att styra hur metoder ska utföras och hur resultat ska redovisas.

Innehåll

1	Inledning	9
2	Bergarter	11
2.1	Förekommande bergarter	11
2.1.1	Bergart och bergartsfördelning <i>Rock type and rock type distribution</i>	11
2.1.2	Inneslutning (xenolit) <i>Xenolith</i>	18
2.1.3	Gång <i>Dyke</i>	18
2.1.4	Bergartskontakt <i>Rock contact</i>	19
2.1.5	Ålder (bergart) <i>Age (rock)</i>	20
2.1.6	Malmpotential – industrimineral <i>Ore potential – industrial mineral</i>	21
2.2	Bergartsbeskrivning	22
2.2.1	Mineralogisk sammansättning <i>Mineralogical composition</i>	22
2.2.2	Kornstorlek <i>Grain size</i>	23
2.2.3	Mineralorientering <i>Mineral orientation</i>	23
2.2.4	Mikrospricka (se spricka 4.1.1) <i>Micro crack</i>	24
2.2.5	Densitet <i>Density</i>	24
2.2.6	Porositet <i>Porosity</i>	25
2.2.7	Susceptibilitet (magnetisk) <i>Magnetic susceptibility</i>	26
2.2.8	Gammastrålning <i>Gamma radiation</i>	27
2.2.9	Vittring/hydrotermal omvandling <i>Weathering/hydrothermal alteration</i>	27
3	Plastiska strukturer	29
3.1.1	Veck <i>Fold</i>	29
3.1.2	Foliation <i>Foliation</i>	30
3.1.3	Stänglighet <i>Lineation</i>	31
3.1.4	Plastisk deformationszon (skjuvzon) <i>Ductile deformation zone (shear zone)</i>	31
3.1.5	Ådring <i>Veining</i>	32
3.1.6	Ålder (plastisk struktur) <i>Age</i>	33
4	Spröda strukturer	35
4.1	Sprickor – data för stokastisk beskrivning	35
4.1.1	Spricka (sprickzon) <i>Fracture, fracture zone</i>	35
4.1.2	Mikrospricka (från 2.2.4) <i>Micro crack</i>	36
4.1.3	Sprickfrekvens <i>Fracture frequency</i>	37
4.1.4	Orientering <i>Orientation</i>	37
4.1.5	Längd (synlig längd) <i>Trace length or persistence</i>	39
4.1.6	Sprickvidd <i>Fracture width, aperture</i>	40
4.1.7	Sprickfyllnad <i>Fracture filling</i>	41
4.1.8	Vittring/(hydrotermal omvandling) på sprickytor <i>Weathering/(hydrothermal alteration)</i>	42
4.1.9	Ålder (spröd struktur) <i>Age</i>	43
4.2	Sprickzoner (regionala, lokala större och lokala mindre)	44
4.2.1	Läge <i>Position</i>	44
4.2.2	Orientering (se avsnitt 4.1.4) <i>Orientation</i>	44

4.2.3	Längd (se avsnitt 4.1.4) <i>Trace length (persistence)</i>	44
4.2.4	Zonbredd <i>Zone width</i>	44
4.2.5	Rörelser (storlek, riktning) <i>Movement (magnitude, direction)</i>	45
4.2.6	Ålder (spröd stuktur) (se avsnitt 2.1.5) <i>Age</i>	45
4.2.7	Antal sprickgrupper <i>Number of fracture sets</i>	46
4.2.8	Sprickavstånd <i>Fracture spacing</i>	46
4.2.9	Blockstorlek <i>Block size</i>	48
4.2.10	Ytkaraktär/råhet, JRC <i>Surface roughness, JRC (Joint Roughness Coefficient)</i>	49
4.2.11	Kontaktmönster (sprickans mekaniska egenskaper, JCS) <i>Contact pattern</i>	51
4.2.12	Sprickfyllnad (sprickmineral) (se avsnitt 4.1.7) <i>Fracture mineral</i>	51
4.2.13	Omvandling/vittring (se kap. 4.1.8) <i>Alteration/weathering</i>	51
5	Referenser	53

1 Inledning

Denna rapport presenterar riktlinjer för hur geologiska, geofysiska och bergmekaniska parametrar ska användas vid SKB:s berggrundskartering. Den baseras på den sammanställning av geovetenskapliga parametrar som SKB ursprungligen presenterade i den så kallade parameterrapporten (Andersson m fl, 1996). Parametersammanställningen har sedan genomgått smärre modifieringar och uppdaterade versioner har presenterats i SKB:s program för platsundersökningar (SKB, 2000; SKB, 2001).

Föreliggande rapport kommer att utgöra en väsentlig referens till de metodbeskrivningar som kommer att upprättas för de olika karteringsmetoder som SKB kommer att använda vid platsundersökningarna. Sambandet mellan sammanställningen av parametrar, denna rapport och olika metodbeskrivningar illustreras i nedanstående figur.

Det är högst väsentligt att de parametrar som identifierats uppfattas gemensamt av de som deltar i SKB:s geovetenskapliga karakterisering och de som utnyttjar dess resultat. Det är därför först och främst viktigt att de använda parametrarna definieras entydigt. Alla parametrar i parametersammanställningen kan inte direkt bestämmas genom mätning eller dylikt. Vissa parametrar är mer att betrakta som parametergrupper och några bestäms genom att mätdata behandlas. Detta dokument presenterar hur varje parameter ska beskrivas, dels avseende vilka metoder som används och dels vilka underliggande variabler som ingår i parametern och hur dessa i sin tur beskrivs. Vidare presenteras hur parametervärden och variabler ska benämnas och hur de ska presenteras grafiskt. Rapporten begränsar sig till geologiska, geofysiska och bergmekaniska parametrar som bestäms vid kartering av bergytor eller borrhål. Vad beträffar metoder som tidigare nämnts kommer karteringsmetoderna att presenteras i metodbeskrivningar.

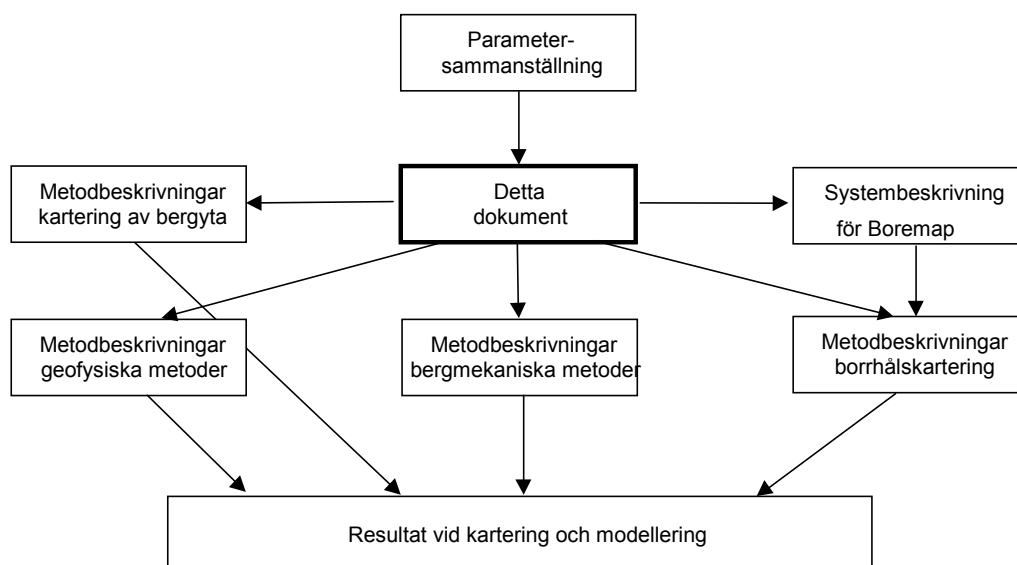


Illustration av sambandet mellan detta dokument i relation till parametersammanställningen och metodbeskrivningar för karteringsmetoder.

Definitioner av parametrar har i största utsträckning tagits från den geologiska litteraturen, och där i första hand från Tekniska Nomenklaturcentralen (TNC), Glossary of Geology (Bates och Jackson, 1987) och International Standard of Rock Mechanics (ISRM). Eftersom parametrarna skall presenteras på svenska med dess översättning till engelska har det varit nödvändigt att hela tiden jämföra definitioner på de två språken. Eftersom de geologiska förhållandena varierar mellan olika delar av världen varierar nomenklaturen något mellan språken, dessutom varierar de även med tiden. Bristen på bra svenska definitioner har, i vissa fall, medfört översättning av de engelska.

Innehållet är ordnat enligt upplägget i Andersson med flera (1996). Parameterns benämning på svenska och engelska framgår av respektive parameterrubrik. Därefter behandlas varje parameter enligt följande:

- Definition (en definition för respektive parameter).
- Beskrivning (kortfattat förtydligande av parameterns benämning eller definition).
- Metod (med vilken metod parametern och/eller dess variabler bestäms).
- Klassificering (värdeområden och/eller regler för specificering).
- Presentation (hur parametern presenteras, framförallt grafiskt, på kartor)

2 Bergarter

2.1 Förekommande bergarter

2.1.1 Bergart och bergartsfördelning

Rock type and rock type distribution

Definition: Bergart är ett mineralaggregat, som består av ett eller flera slags mineral, och vars sammansättning kan variera inom bestämda gränser.

Beskrivning: Bergarter bygger upp jordskorpan, som är det 10–70 km tjocka skal som omger jordens heta inre, mantel och kärna.

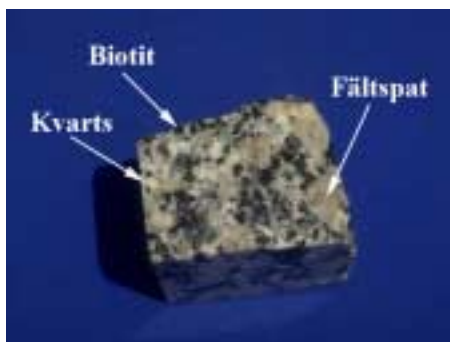
Metod: För att bestämma bergartsfördelningen använder man sig av geologisk fältkartering (2D), tunnelkartering (3D) och/eller kärnkartering (1D). Fältkarteringen resulterar i en hållkarta, som vanligen kompletteras med annan information t ex geofysisk flygmätning. Erhållna data tolkas och ritas om till en heltäckande geologisk karta (2D). Tillsammans ger dessa metoder en 3D-modell av bergartsfördelningen. Vid låg blottningsgrad kan det vara nödvändigt med bergsondering och geofysisk mark- och/eller flygmätning. Med hjälp av planimetri av den geologiska kartan, kan en ytas procentuella bergartsfördelning beräknas. För borrhål är den procentuella bergartsfördelningen proportionell mot bergarternas utbredning längs borrhålet.

Bergartsbestämning vid kärn- och fältkartering sker genom att först bestämma bergartens huvudgrupp:

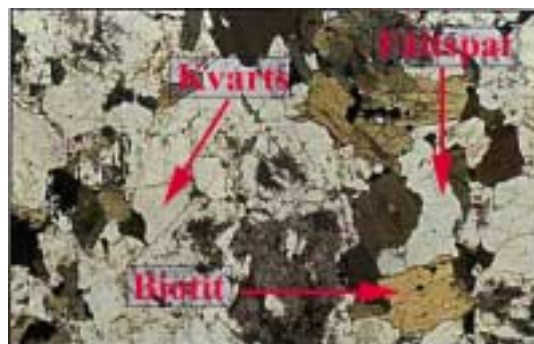
- Magmatisk – finns magmatisk/vulkanisk struktur/textur
- Sedimentär – finns sedimentär struktur/textur
- Metamorf – finns typmineral, metamorf struktur/textur

Genom att sedan uppskatta huvudmineralens fördelning i ett prov bestäms sammansättningen. Struktur och textur bestämmer undergrupp. Klassificering sker sedan enligt nedan.

a)



b)

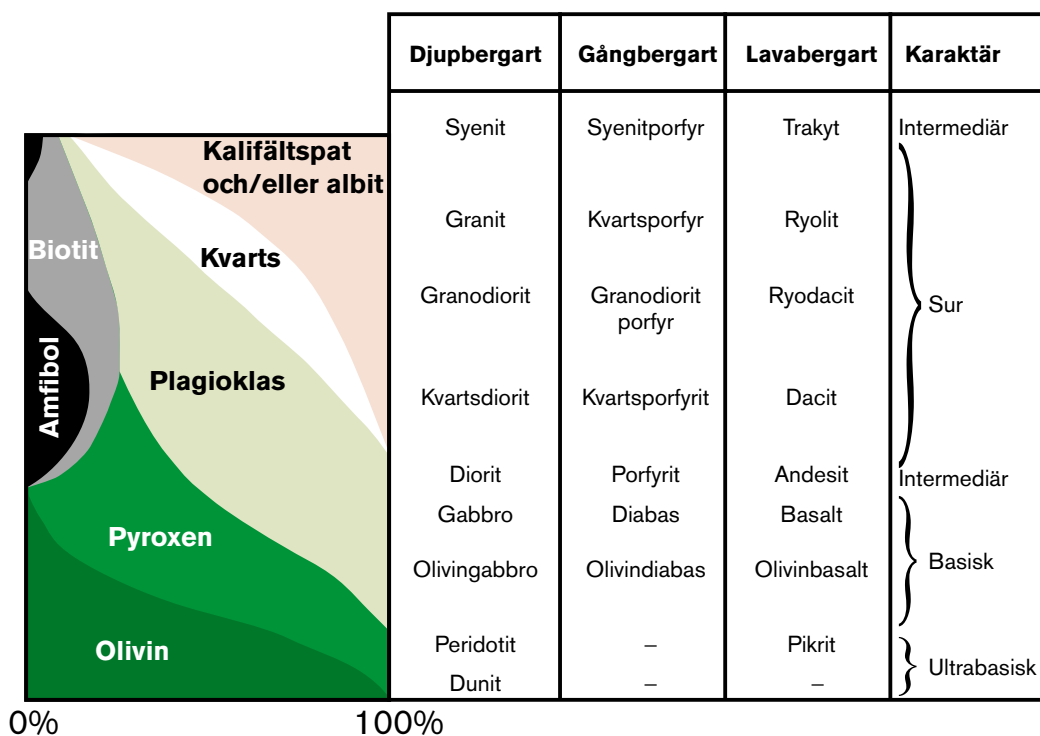


Figur 2-1. Exempel på granitisk bergart. I "b" visas hur enskilda mineral kan se ut i mikroskop.

Klassificering: Klassificering av bergarter skall ske enligt de principer och normer som används av SGU. Bergarter indelas i tre huvudgrupper baserade på bildningsätt:

- **Magmatiska**, bildade ur en stelnad bergsmälta i eller på jordskorpan. Denna grupp kan indelas i **djupbergarter** (t ex Granit och Gabbro), **gångbergarter** (t ex Kvarthorfyrt och Diabas) och **vulkaniska bergarter** (Ryolit och Basalt)
- **Sedimentära**, bildade genom hopläkning av ett från luft, vatten eller is under normala betingelser på jordytan avlagrat fast material, t ex sandsten och kalksten. Sedimentära bergarter behandlas ej mer i denna skrift, eftersom regioner med sedimentära huvudbergarter undantagits från urvalsprocessen av lämpliga platser för djupförvar (SKB, 1995; SKB, 1998).
- **Metamorfa**, bildade på djup i jordskorpan genom en mer eller mindre kraftig omvandling av sedimentära (metasediment) eller magmatiska bergarter (t ex "metagranit") till följd av förändrade tryck- och/eller temperaturförhållanden, dock utan att uppsmältning sker (t ex amfibolit och ortho- eller paragnejs). Metamorfa bergarter uppvisar ofta speciella typmineral (t ex granat), vilka endast bildas under de tryck och temperaturförhållanden som rådde vid bildningstillfället.

Figur 2-2 beskriver sambandet mellan magmatiska bergarter bildade på olika djup i jordskorpan. Vanligtvis kännetecknas djupa bergarter av långsam avsvanling (långsam kristallisation) med grov- och/eller medelkornighet som följd. Gång- och lavabergarter har oftast svalnat snabbt och är därför finkorniga eller innehåller enstaka strökor i en finkornig grundmassa.



Figur 2-2. Bergartsschema för de magmatiska bergarterna (omritad efter Loberg, 1980).

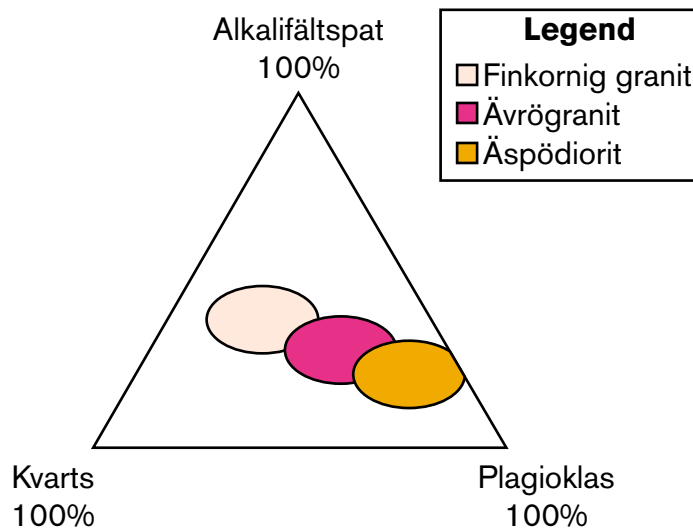
De **magmatiska bergarternas** varierar med avseende på mineralogisk sammansättning och bildningsmiljö.

Som exempel visas i diagrammet att Granit, Kvarthporfyr och Ryolit har samma sammansättning, men är bildade på olika djup i jordskorpan.

Klassificeringen av bergarter sker med hjälp av tre parametrar:

- Mineralogisk sammansättning
- Struktur
- Textur

Mineralogisk sammansättning, den procentuella mineralfördelningen kan bestämmas **optiskt**. Man räknar då, i ett mikroskop, mineralkornen i skärningspunkterna i ett rutnät placerat över ett bergartsprov. Antalet skärningspunkter för varje mineral ger den procentuella fördelningen av mineralen. Sammansättningen kan även bestämmas **kemiskt**. Den kemiska analysen är då utgångspunkt för en simulerad mineralbildning, varvid den mineralogiska sammansättningen kan beräknas (se vidare avsnittet Mineralogisk sammansättning, 2.2.1).



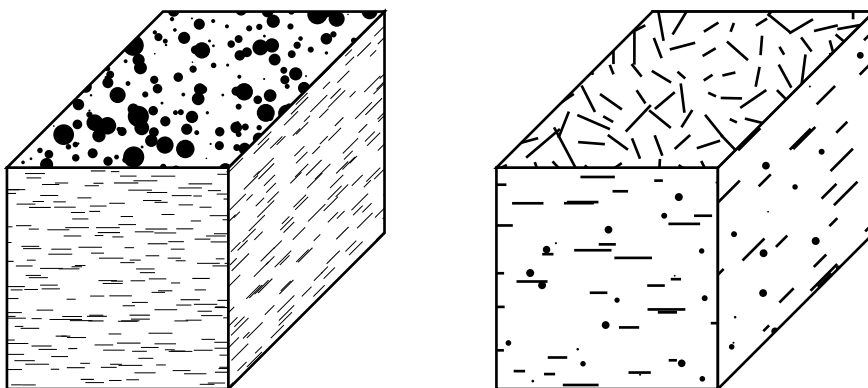
Figur 2-3. Exempel på triangeldiagram för graniter på Äspö.

Struktur, bergets makroskopiska utseende och fysiska särdrag, särskilt gällande orientering av kristaller. Strukturen kan bestämmas utifrån fastställda scheman. Följande strukturer är aktuella:

- Massformig (slumpmässigt fördelade kristaller, figur 2-4).
- Foliation, övergripande term för planparallell struktur, innefattande skiffrig-gnejsig-bandad (figur 2-5). Foliation används ofta i svenskan i stället för svag förskiffring.
- Skiffrig (finkornig bergart, planparallell struktur av tektoniskt ursprung, med skiktmineral, figur 2-6)
- Gnejsig (medel- och grovkornig bergart, planparallell struktur av tektoniskt ursprung med omväxlande band av äldre granulära och nybildade korn, figur 2-7).
- Bandad (omväxlande band med olika mineral och/eller kornstorlek, figur 2-8).
- Lagrad (omväxlande lager, av primärt ursprung, med olika mineral och/eller kornstorlek).
- Stänglighet (elongerade kristaller, orienterade parallellt).
- Kataklastisk (sönderbrutna kristaller).



Figur 2-4. Massformig struktur (granit).



Figur 2-5. Foliation beroende på tavelformade kristaller (till vänster) och stavformade kristaller (till höger) regellöst orienterade i plan som är inbördes parallella.



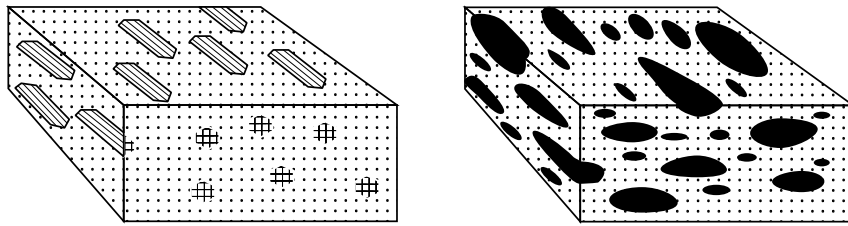
Figur 2-6. Folierad struktur av typen skiffrig (granit).



Figur 2-7. Gnejsig struktur (ådergnejsomvandlad granit, Fågelsundet).



Figur 2-8. Bandad struktur (finkornig, sur metavulkanit, Källskär).



Figur 2-9. Stänglighet, parallell anordning av stavformade kristaller (till vänster) och elongerade objekt (till höger).

Textur, bergets mikro- eller makroskopiska utseende och fysiska egenskaper (speciellt kornstorlek, kornform). Texturen kan bestämmas enligt fastställda scheman:

Kornstorlek kan bestämmas enligt följande:

Okulärt	I mikroskop	
Afanitisk (ej synl. korn)	extremt finkornig	< 0,05 mm
	mycket finkornig	0,05–0,5 mm
Finkornig, <1 mm	finkornig	0,5–1 mm
	fin- till medelkornig	1–1,5 mm
Medelkornig, 1–5 mm	medelkornig	1,5–3 mm
	grov- till medelkornig	3–5 mm
Grovkornig, >5 mm	grovkornig	>5 mm

(Se vidare avsnittet Kornstorlek, 2.2.2).

- Granoblastisk (kornen ungefär lika stora).
- Porfyroblastisk (större korn i grundmassa, matrix).
- Ofitisk (regellöst orienterade stavformade plagioklaskorn inuti större pyroxenkristaller).

De metamorfa bergarterna klassificeras vanligen efter ursprungsmaterial och efter den typ av metamorfos som bergarten bildats under:

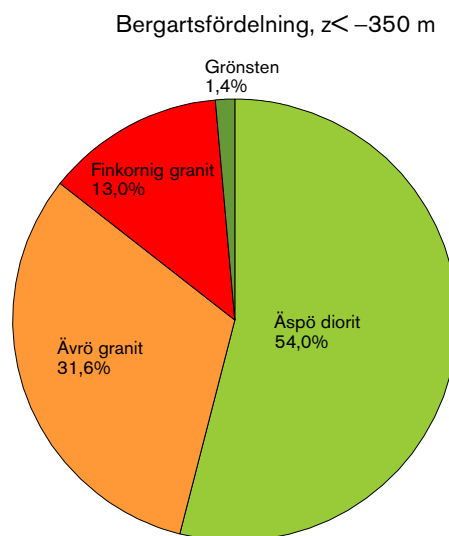
- Dynamometamorfos, ca <200 °C, <1000 atm.
- Kontaktmetamorfos, ca 600–900 °C, 200–2000 atm.
- Regionalmetamorfos, ca 200–700 °C, 1000–10 000 atm.

Dessa tre metamorfostyper kan vidare indelas i olika facies, tryck – temperaturförhållanden som karaktäriseras av serier med olika metamorfa typmineral. De olika facies avspeglar de bildningsbetingelser som rådde då bergarten fick sitt nuvarande utseende.

Typiska regionalmetamorfa bergarter i svensk berggrund är meta-vulkaniter, glimmerskiffer, orto- och paragnejser, marmor och amfibolit. De dynamometamorfa bergarterna rivningsbreccia och mylonit förekommer företrädesvis i deformationszoner, dock i underordnade mängder. De kontaktmetamorfa bergarterna representeras i den svenska berggrunden av, t ex hornfels och kvartsit.

Bergartsfördelning beskriver hur bergarterna, i ett område, fördelar sig på ytan (2D), längs ett borrhål (1D) och/eller i en bergvolym (3D). Tredimensionell bergartsfördelning bygger på information från ytan och från ett eller flera borrhål eller tunnlar. Ytinformation kan komma från fältkartering, flygmätning, bergsondering osv. Borrhålsinformation kommer huvudsakligen från kärnkartering. Bergartsfördelning kan uttryckas som ytprocent, volymprocent, eller som en 2D- eller 3D-bild (CAD). Noggrannheten i bergartsfördelningen är starkt beroende av mängd och fördelning av indata.

Presentation: Bergartsfördelningen presenteras som en procentsats för respektive bergart (nyckeltal), eller grafiskt (2D- plottbild eller 3D-CAD-bild) med bergarterna i färger enligt SGUs standard.



Figur 2-10. Exempel på presentation av bergartsfördelning i Äspö HRL.



Figur 2-11. Inneslutningar av gabbro i smålandsgranit (Frisksjön).

2.1.2 Inneslutning (xenolit)

Xenolith

- Definition:** Fragment av främmande bergart i magmatisk bergart (TNC).
- Beskrivning:** Rester av annan äldre bergart, oftast ej uppsmälta bergartsfragment från samma region. Resterna är i allmänhet av en mer basisk sammansättning än omgivningen då basiska bergarter har högre smälttemperatur.
- Metod:** Fältkartering, tunnel- och kärnkartering.
- Klassificering:** Bergart, storlek, orientering och frekvens.
- Presentation:** Presenteras med överbeteckning (enligt SGUs standard) på geologisk karta eller borrhålspresentation.

2.1.3 Gång

Dyke

- Definition:** Bergartsgång är en bergartsfylld spricka som är yngre än sidoberget.
- Beskrivning:** Gång, oftast en diskordant bergart som fyller en spricka som är yngre än sidoberget (jmf lagergång, *sill*). På gångar i magmatiska och metamorfa bergarter går oftast inte att bestämma ursprungsorienteringen, diskordant/konkordant, varför de betecknas som gångar oberoende av orientering. Bredden på en gång kan vara från mm till flera km.
- Metod:** Fältkartering tunnel- och/eller kärnkartering.



Figur 2-12. Diabasgång i granit.

Klassificering: Bergart, bredd och orientering.

Presentation: Presenteras med överbeteckning (enligt SGUs standard) på geologisk karta eller grafisk borrhålspresentation. Bergartsgångars orientering (strykning/stupning) kan presenteras på stereodiagram (se avsnitt 4.1.4).

2.1.4 Bergartskontakt *Rock contact*

Definition: Bergartskontakt är gränsen mellan två bergarter.

Beskrivning: Olika typer av bergartskontakter kan okulärt bestämmas i fält eller senare i mikroskop. En finkornig kontakt i en magmatisk bergart indikerar snabbt inträngande och avsvälning av den inträngande bergarten. Skarp kontakt indikerar mobilt material som trängt in i fast material med likartad temperaturer. En diffus kontakt i magmatisk miljö indikerar en blandning av magmor med näraliggande temperaturer.

Metod: Fältkartering, tunnel- och/eller kärnkartering.



Figur 2-13. Bergartskontakt mellan granit och diabas.

Klassificering: Bergart (efter kontakten, i borrhiktningen), kontakttyp, läge och orientering.

Presentation: Presenteras som gränsen mellan olika bergarter (enligt SGUs standard) på geologisk karta eller i borrhålspresentation. Bergartskontakternas orientering (strykning/stupning) kan presenteras på stereodiagram.

2.1.5 Ålder (bergart) *Age (rock)*

Definition: En bergarts ålder kan bestämmas absolut och relativt.

Beskrivning: Relativ ålder är åldern i relation till t ex omgivande bergarters ålder. Absolut ålder kan bestämmas med hjälp av olika isotopanalyser i speciallaboratorium. Resultatet är den tid som förflutit sedan mineralen i bergarten kristalliserade (kristallisationstidpunkt).

Metod: Prover för åldersbestämning genom isotopanalys, kan samlas in under fält-, tunnel- och kärnkartering.

Klassificering: Bergartens ålder kan beräknas med varierande noggrannhet, beroende på dateringsmetod och provets (bergartens) beskaffenhet. Provets geologiska förhållanden på platsen har stor betydelse för resultatet. Ofta kan endast en yngsta ålder bestämmas eftersom åldern registreras för senaste temperaturhöjningen.



Figur 2-14. Kvartsgångar i smålandsgranit (Utlångö). De ljusa gångarna är yngre än graniten, men äldre än de sprickor som förkastar gångarna.

Presentation: Bergarternas relativa ålder representeras av den ordning bergarterna förekommer i den geologiska kartans legend. Äldsta bergart visas oftast längst ned i legenden, varefter åldern successivt minskar uppåt.

2.1.6 Malmpotential – industrimineral

Ore potential – industrial mineral

Definition: Malm är en mineralisering ur vilken ett eller flera mineral eller grundämnen kan utvinnas med ekonomisk lönsamhet.

Beskrivning: Traditionellt är malm endast mineral för metallframställning. Övriga ekonomiskt brytbara mineral, inklusive bauxit (aluminium), kallas industrimineral.

Metod: Fältkartering, tunnel- och/eller kärnkartering.

Klassificering: Mineralförekomst vid fält-, tunnel- eller kärnkartering.

Presentation: Presenteras med överbeteckning (enligt SGUs standard) på geologisk karta eller grafisk borrhålspresentation. Malm- och industrimineral kan presenteras i frekvensdiagram längs borrhål.

2.2 Bergartsbeskrivning

2.2.1 Mineralogisk sammansättning

Mineralogical composition

Definition: Den procentuella mineralsammansättning för en viss bergart.

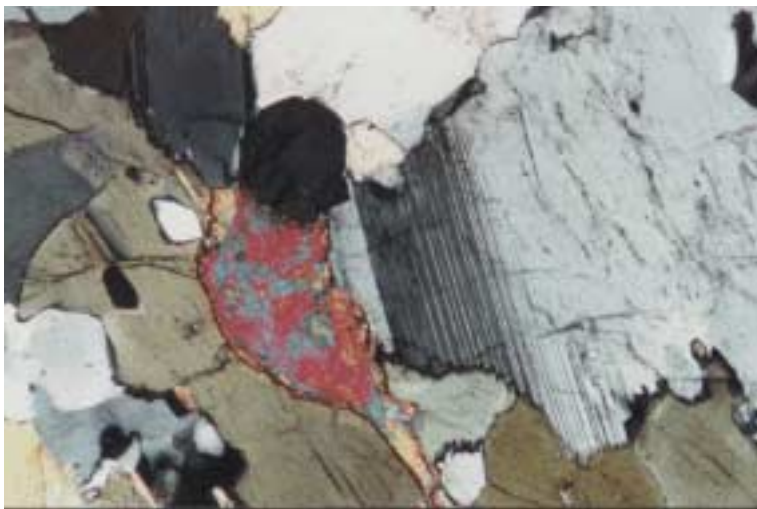
Beskrivning: Den mineralogiska sammansättningen används för bergartsklassificering och representerar bergartens ursprung och bildningssätt. Sammansättningen uttrycks i mineralens procentuella mängd i bergarten. Den mineralogiska sammansättningen för en viss bergart varierar inom bestämda gränser (Streckeisen, 1967) och används som bas för bergartsklassificering. Man skiljer på huvudmineral och accessoriska mineral. Huvudmineral är mineral som dominerar i en bergart. Accessoriskt mineral är mineral som förekommer i liten men karaktäristisk mängd i en bergart, men vars närvaro inte påverkar bergartsklassificeringen. En bergart upptar ett definierat fält i ett klassificeringsdiagram.

Metod: Proverna tas från fält-, tunnel- och kärnkartering. Mineralogisk sammansättning kan bestämmas på tre sätt: okulär (preliminär), mikroskopisk eller kemisk analys av bergartsprover. De två senare kräver provtagning och laboratorieanalys. Mikroskopisk mineralsammansättning bestäms genom "point counting", där mineralkornens procentuella fördelning i provet räknas i ett rutmönster. Röntgen (XRD) kan användas för mineralidentifiering. Detta görs normalt då ny bergart påträffas och följs sedan upp med prover jämnt fördelade över karteringsområdet.

Kemisk mineralsammansättning bestäms genom att matematiskt simulera bergartsbildning, utgående från den kemiska sammansättningen.

Den okulära besiktning sker vid kartering.

Prover för analys bör tas enligt ett fastställt schema.



Figur 2-15. Tunnslip i mikroskop som visar den mineralogiska sammansättningen.

Klassificering: Då den mineralogiska sammansättningen fastställts, kan bergarten bestämmas med bergartsklassificering (t ex enligt Streckeisen, 1967). Man utgår då från den procentuella mängden av de mineral som ingår i klassificeringsdiagrammet. I ett triangeldiagram av QAP-typ: kvarts (Q), alkalifältpat (A) och plagioklas (P), erhålls en punkt, som motsvarar en mineralsammansättning av de tre komponenterna (figur 2-3). Punkten faller inom ett fält, i diagrammet, vilket bestämmer bergarten. Klassificering av mineralsammansättning skall ske enligt de principer och normer som används av SGU.

Presentation: Eftersom den mineralogiska sammansättningen till en del bestämmer bergarten, presenteras denna indirekt på samma sätt som bergartsfördelningen. Bergartsfördelningen presenteras som en procentsats för respektive bergart eller grafiskt (2D- plottbild eller 3D-CAD-bild) med färger enligt enligt SGUs standard.

2.2.2 Kornstorlek

Grain size

Definition: Kornstorlek är medelstorleken av de mineralkorn som bygger upp en bergart.

Beskrivning: Kornstorlek avser mineralkornens medelstorlek i bergmassan eller mellanmassan (*matrix*) i en porfyrisk bergart.

Metod: Källa till kornstorlek är fält-, tunnel- eller kärnkartering. Kornstorleken kan mätas noggrannare, på prover, under mikroskop i laboratorium.

Klassificering: Beräkning av medelkornstorlek efter mätning i lupp, mikroskop eller i borrhåls-TV-bild (BIPS). Kornstorleksskalan i kristallint berg i enlighet med SGU, 1976 (se avsnitt 2.1.1).

Presentation: Presenteras med överbeteckning (enligt SGUs standard) på geologisk karta eller grafisk borrhålspresentation i WellCAD.

2.2.3 Mineralorientering

Mineral orientation

Definition: Mineralorientering är den riktning mineral, i en bergart, inrättar sig i om de påverkas av yttre krafter.

Beskrivning: För skiktmineral, mäts orienteringen av planet, foliationen (se avsnitt 3.1.2). Orientering av plan mäts i: **strykning**, 0–359° och **stupning**, 0–90° (se avsnitt 4.1.4). Strykning är riktningen av skärningslinjen mellan det aktuella planet och horisontalplanet, mätt i synriktningen då det aktuella planet stupar nedåt åt höger (högerhandsregeln).

Mineralorientering mäts som en linje, riktningen för elongerade mineral, riktningen av längsta kornaxeln, stängligheten. Orientering av denna riktning mäts i: **riktning**, 0–359° och **lutning**, 0–90°, (se avsnitt 4.1.4).

- Metod:** Prover för mineralorientering från fält-, tunnel- och kärnkartering. Orienteringen mäts i fält med kompass. I borrhämnor kan orientering av plan och lineation mätas in då borrhämnor orienterats med t ex BIPS.
- Klassificering:** För foliation: **strykning** (0–359°) och **stupning** (0–90°) (se avsnitt 4.1.4).
För stänglighet: **riktning** (0–359°) och **lutning** (0–90°) (se avsnitt 4.1.4).
- Presentation:** Presenteras med överbeteckning (enligt SGUs standard) på geologisk karta eller grafisk borrhålspresentation. Mineralorientering kan presenteras på stereodiagram.

2.2.4 Mikrosprick (se spricka 4.1.1) *Micro crack*

2.2.5 Densitet *Density*

- Definition:** Densitet är kvoten av massa och volym.
- Beskrivning:** Densitet är en bergarts vikt per volymenhet uttryckt i g/cm³, kg/dm³ eller ton/m³. Skrymmdensitet är då beräkningen inkluderar hålrum. Torrdensitet är räknat på torrsvikt och volym med naturlig fuktighet.
- Metod:** Densitet bestäms genom torr- och våtvägning i laboratorium eller indirekt, med Gamma-gammametoden, genom mätning på prover eller längs borrhål.

Densiteten beräknas som yttorr (vattenmättad) vikt dividerad med volymen av provet. Volymen bestäms som skillnad mellan yttorr (vattenmättad) vikt och vikten av provet nedsänkt i vatten dividerat med vattnets densitet. Följande formel används:

$$\text{Densitet} = \frac{\text{Vikt(yttorr)} \cdot (\text{Densitet för vatten})}{\text{Vikt(yttorr)} - \text{Vikt(i vatten)}} \quad \text{Ekv. 2-1}$$

Standard: DIN 52102-RE VA på torr borrhämnor.

Gammagammametoden är en radiometrisk metod för mätning av berggrundens densitet genom registrering av den relativa mängden återspridd gammastrålning från en artificiell strålningskälla. Gammagammaloggarna måste kalibreras med kända prover.

- Klassificering:** Densitetsvärde i g/cm³, kg/dm³ eller ton/m³.
Densitetskalibrerad Gammagammalogg.

- Presentation:** Kan presenteras som karta eller diagram med data från prover på hållar eller borrhål.

2.2.6 Porositet

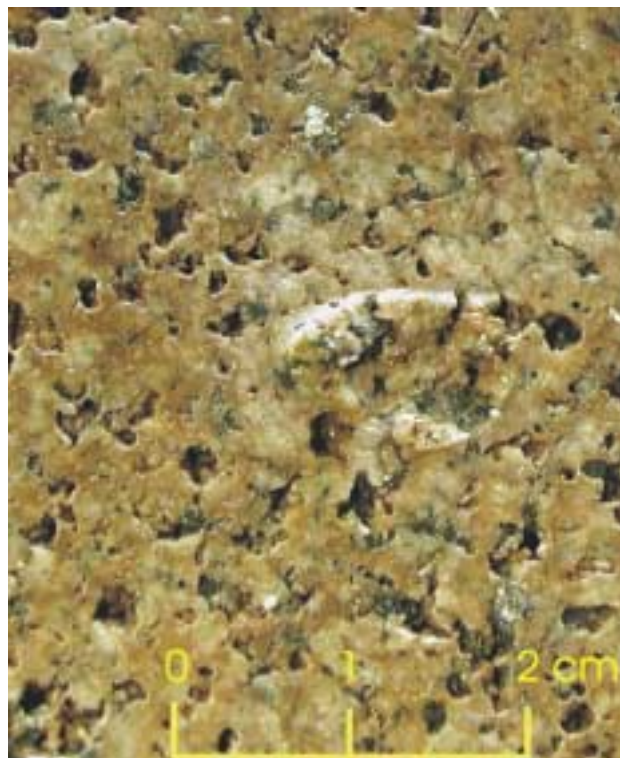
Porosity

Definition: Porositet är kvoten mellan porvolym och totalvolym, uttryckt i procent.

Beskrivning: Den totala porositeten kan delas upp i konnektande och icke konnektande porositet. Den konnektande porositeten kan beskrivas som de hålrum vilka kan fyllas med vatten eller kvicksilver vid porositetsmätningen. Icke konnektande porositet är den teoretiska porositet som ej kan fyllas med vatten eller kvicksilver t ex vätske- eller gasfyllda hålrum inne i kristallerna. Det bör alltid framgå vilken typ av porositet man mätt.

Metod: Prover från fält-, tunnel- och kärnkartering kan, i laboratorium, mätas med porosimeter. Detta sker vanligen med vatten som medium, men även kvicksilver kan användas. Konnektande porositet mäts t ex på handstuffer eller 10 cm långa borrhärnbitar.

Porositeten beräknas som skillnaden yttorr (vattenmättad) vikt och ugnstorr vikt (dividerat med vattnets densitet) dividerat med volymen av provet. Volymen bestäms som skillnaden mellan yttorr (vattenmättad) vikt och vikten av provet nedsänkt i vatten (dividerat med vattnets densitet).



Figur 2-16. Miarolitisk struktur i granit från 360 m nivån i Stripa gruva. Strukturen uppkommer genom att vissa mineralkorn genom olika processer har blivit bortvittrade och lämnat kvar porutrymmen av varierande storlek.

Följande formel används:

$$\text{Porositet} = \frac{\text{Vikt(yttorr)} - \text{Vikt(ungstorr)}}{\text{Vikt(yttorr)} - \text{Vikt(i vatten)}} \quad \text{Ekv. 2-2}$$

Standard: DIN 52103-A.

Porositet kan även bestämmas indirekt från neutron-neutron loggning, gammagamma loggning, resistivitetloggning och akustisk loggning.

Klassificering: Porositeten anges i procent av totalvolym. Gammagamma-, resistivitets- och akustisk loggning kräver kalibrering och kalkylering.

Presentation: Kan presenteras som karta eller diagram från prover eller data längs borrhål.

2.2.7 Susceptibilitet (magnetisk)

Magnetic susceptibility

Definition: Magnetisk susceptibilitet är ett materials förmåga att magnetiseras.

Beskrivning: Magnetisk susceptibilitet, κ betecknar ett ämnes förmåga att magnetiseras och anges som förhållandet mellan det inducerade magnetfältets intensitet och intensiteten av det påverkande (magnetiserande) magnetfältet. Magnetisk susceptibilitet avspeglar mineralens/bergarternas innehåll av 2-värd järn, och kan därmed användas för att fysiskt skilja olika bergarter från varandra. Används ofta tillsammans med densitetsmätning, för att ge ett mer utslagsgivande resultat. Kan även användas för att detektera spröda deformationszoner.

κ =inducerad magnetisering/påverkande magnetfältet. κ mäts i 10^{-6} e.m.u./cm³, dvs miljondels elektromagnetiska enheter per kubikcentimeter.

Metod: Magnetiska susceptibilitetsmätningar kan göras, med susceptimeter, i borrhål, på hållar, samt på prover från fält-, tunnel- och kärnkartering.

Klassificering: Susceptibiliteten varierar från 0 (kalksten och vissa graniter) till 10^6 (magnetitmalm).

Presentation: Magnetisk susceptibilitet kan presenteras som diagram från prover och längs borrhål.

2.2.8 Gammastrålning

Gamma radiation

- Definition:** Gammastrålning är en strålning som utsänds vid en kärnprocess. T ex naturliga gammasönderfall.
- Beskrivning:** Gammastrålning uppkommen vid naturliga gammasönderfall av U-Th-K kan utnyttjas för att detektera bergarter och förändringar i dessa, både från flygplan och i borrhål. En scintillometer registrerar den naturliga radioaktiviteten (i tre kanaler: U, Th, K) från bergarterna. Vissa instrument visar totalstrålningen, medan andra kan separera ut strålningen från de tre grundämnena. Används för att skilja bergarter med hög aktivitet (t ex unga graniter) från bergarter med låg aktivitet (t ex basalt).
- Metod:** Gammastrålningsmätningar kan utföras på häll, i tunnel, i borrhål och från flygplan.
- Klassificering:** Eftersom strålningen härrör från U-Th-K, är det möjligt att i viss mån detektera bergarter med stort eller litet innehåll av mineral som innehåller dessa grundämnen.
- Presentation:** Gammastrålning kan presenteras som diagram från prover, som kartor och diagram längs borrhål.

2.2.9 Vittring/hydrotermal omvandling

Weathering/hydrothermal alteration

Definition: Vittring är söderdelning och omvandling av berg och jord genom kemiska och mekaniska processer, härrörande från atmosfären.

Hydrotermal omvandling av bergart eller mineral orsakas av hett vatten eller het gas.



Figur 2-17. Spricka med röd vittring diagonalt över bilden (Äspö HRL).

Beskrivning: Med vittring / hydrotermal omvandling menas en förändring i den mineralogiska sammansättningen vanligtvis beroende på förändring i tryck och/eller temperatur eller inverkan utifrån, t ex från atmosfäriskt vatten eller gas eller av hydrotermala lösningar.

Metod: Okulär bestämning eller genom mätning med Schmidthammare (JCS, se avsnitt 4.2.11), direkt eller på prover från fält-, tunnel- eller borrhälskärna.

Klassificering: Bergmassans vittringsgrader enligt ISRM:

Frisk (I)	<i>Fresh (I)</i>
Något vittrad (II)	<i>Slightly weathered (II)</i>
Måttligt vittrad (III)	<i>Moderately weathered (III)</i>
Starkt vittrad (IV)	<i>Highly weathered (IV)</i>
Fullständigt vittrad (V)	<i>Completely weathered (V)</i>
Jord (VI)	<i>Residual soil (VI)</i>

Hydrotermal omvandling indelas i fyra metamofosstadiet med typiska sekundär mineralbildning:

Hög	Kalcit, amfibol, granat, plagioklas, pyroxen, olivin, cordierit, kalifältspat, andalusit, sillimanit, m fl.
Medium	Kalcit, biotit, amfibol, granat, andesin, pyroxen, olivin, muskovit, cordierit, m fl.
Låg	Albit, klorit, kalcit, biotit, amfibol, epidot, oligoklas, granat, m fl.
Mycket låg	Albit, klorit, kalcit, m fl.

Presentation: Presenteras med överbeteckning på geologisk karta, grafisk borrhålspresentation eller i 3D-CAD-bild.

3 Plastiska strukturer

Den strukturgeologiska beskrivningen omfattar beskrivning av bergets plastiska strukturer, t ex veckning, foliation och dess olika deformationszoner. Deformationszonerna indikerar att rörelser har skett någon gång under den geologiska utvecklingshistorien. För att erhålla en enhetlig terminologi, som utan missförstånd ska kunna förstås av olika ämnesföreträdare, använder SKB begreppen ”plastiska deformationszoner”, respektive ”sprickzoner” för att beteckna zoner där deformationen varit plastisk respektive spröd. Deformationsszonerna som bildas i samband med plastisk deformation delas in i storleksklasserna *regionala*, *lokala större* och *lokala mindre*, se tabell 3-1. Observera att mått på längd och bredd är ungefärliga. (Spröda strukturer, se avsnitt 4.)

Tabell 3-1. Indelning och benämning av plastiska deformationszoner samt ambitionsnivå för geometrisk beskrivning vid platsundersökning (Andersson m fl, 2000).

Benämning	Längd	Bredd	Ambition för geometrisk beskr.
Regionala deformationszoner	> 10 km	> 100 m	Deterministisk
Lokala större deformationszoner	1 – 10 km	5 – 100 m	Deterministisk (med osäkerheter)
Lokala mindre deformationszoner	10 m – 1 km	0,1 – 5 m	Statistisk (vissa deterministiskt)

3.1.1 Veck *Fold*

Definition: Krökt planstruktur i berg.

Beskrivning: Veckning av berg kan uppstå genom kompression, extension eller skjuvning av berget. Vanligen orsakas veckningen av platttektoniska processer men veckning kan även orsakas av gravitativa processer.



Figur 3-1. Veckade ådror av pegmatit i grå metagranitoid (Lövstabukten).

- Metod:** Veckbildning kan observeras vid fält-, tunnel- eller kärnkartering. Storskalig veckning studeras bäst i flygmagnetiska kartor, flyg- eller satellitbilder
- Klassificering:** Läge och orientering av veckaxlar och veckaxelplan.
- Presentation:** Presenteras som strukturelement på geologisk karta eller i 3D-CAD.

3.1.2 Foliation

Foliation

- Definition:** Planparallell struktur i berg
- Beskrivning:** Foliation är en allmän term som omfattar primär lagring, klyvbarhet, gnejsighet och förskiffring. Foliationen kännetecknas av att skikt-mineral orienterar sig i skikt (folier). Skikten orienterar sig efter minsta motståndet, gravitativt eller vinkelrätt mot högsta tryckriktningen. I svenskan används foliation ofta istället för svag förskiffring.
- Metod:** Fält-, tunnel- eller kärnkartering.
- Klassificering:** Foliationens orientering mäts i **strykning** och **stupning** (0–359°/0–90°, se avsnitt 4.1.4)
- Presentation:** Presenteras med överbeteckning (enligt SGUs standard) på geologisk karta eller grafisk borrhålspresentation. Foliation kan även presenteras på stereodiagram.



Figur 3-2. Kraftigt förskiffrad, vulkanisk bergart(Kristdala).

3.1.3 Stänglighet

Lineation

- Definition:** Betecknar en struktur som kännetecknas av att elongerade mineral orienterar sig i en speciell riktning (figur 2-9).
- Beskrivning:** Stänglighet förekommer särskilt i metamorfa bergarter. Strukturen uppkommer t ex genom parallellorientering av den längsta axeln hos nålformiga mineral eller utsträckta bergartspartiklar, genom bergartens foliation skär lagringen eller genom att två foliationer skär varandra. Stänglighet kallas även ”käppstruktur”.
- Metod:** Fält-, tunnel- eller kärnkartering.
- Klassificering:** Stänglighet orienteras i **riktning** och **lutning** (0–359°/0–90°, se avsnitt 4.1.4)
- Presentation:** Presenteras med överbeteckning (enligt SGUs standard) på geologisk karta eller grafisk borrhålspresentation. Stänglighet kan presenteras på stereodiagram.

3.1.4 Plastisk deformationszon (skjuvzon)

Ductile deformation zone (shear zone)

- Definition:** Intensivt plastiskt deformerad berggrund som förutsätts vara orsakad av skjuvning eller kompression eller en kombination av båda.



Figur 3-3. Plastisk deformationszon i ådrad metagranitoid (Strömsberg).

- Beskrivning:** Plastiska deformationszoner är berggrundsområden som kännetecknas av intensiv plastisk deformation. Skiffrighet och mylonitbildning uppkommer genom plastiska deformationsprocesser i bergets kristaller. Processen kan liknas vid korten i en kortlek, som förskjuts i förhållande till varandra.
- Metod:** Fält-, tunnel- eller kärnkartering.
- Klassificering:** Läge, vidd, orientering, skjuvriktning, skjuvbelopp och karaktär.
- Presentation:** Presenteras i geologiska kartor, längs borrhål och i 3D-CAD.

3.1.5 Ådring *Veining*

- Definition:** Oregelbundet, mer eller mindre slingrande och utdraget bergparti skiljt från sidoberget i struktur, textur eller sammansättning.
- Beskrivning:** Ådringen uppstår genom differentiering av de mörka och ljusa mineralen och definierar en gnejsig struktur i berget. De mörka partierna består av bl a biotit och/eller amfibol, medan de ljusa består av bl a kvarts och fältspat. Ådror förekommer i metamorfa bergarter av både magmatiskt (ortognejs) och sedimentärt (paragnejs) ursprung. Vanligast förekommande i ådergnejs, en medel- till grovkornig folierad och bandad bergart.
- Metod:** Fält-, tunnel- eller kärnkartering. Inmätning av strukturens orientering och intensitet.
- Klassificering:** Ingår i bergartsklassificeringen t ex ådrad ortognejs, ådrad paragnejs och ådregnejs.
- Presentation:** Presenteras med överbeteckning (enligt SGUs standard) på geologisk karta eller grafisk borrhålspresentation. Ådringens orientering kan presenteras på stereodiagram.



Figur 3-4. Sedimentär ådergnejs (Holmen).

3.1.6 Ålder (plastisk struktur)

Age

- Definition:** Den tid som förflutit sedan en plastisk deformation inträffade.
- Beskrivning:** Om det finns mineral som bildats (kristalliserat) i samband med den plastiska deformationen, kan åldern på den plastiska strukturen bestämmas med radiometriska metoder.
- Metod:** Speciell provtagning hållar i fält, i tunnel eller av kärnan. Isotopundersökning ger en högsta och en lägsta ålder. Osäkerheten i bestämningen är relativt stor.
- Klassificering:** Ålder relativt andra geologiska händelser.
- Presentation:** På karta.

4 Spröda strukturer

Deformationszonerna indikerar att rörelser har skett någon gång under den geologiska utvecklingshistorien. För att erhålla en enhetlig terminologi, som utan missförstånd ska kunna förstås av olika ämnesföreträdare, använder SKB begreppen ”plastiska deformationszoner”, respektive ”sprickzoner” för att beteckna zoner där deformationen varit plastisk respektive spröd. Sprickzonerna som bildas i samband med spröd deformation delas in i storleksklasserna *regionala*, *lokala större*, *lokala mindre* och *sprickor* (tabell 4-1). Observera att mått på längd och bredd är ungefärliga.

Tabell 4-1. Indelning och benämning av sprickzoner samt ambitionsnivå för geometrisk beskrivning vid platsundersökning (Andersson m fl, 2000).

Benämning	Längd	Bredd	Ambition för geometrisk beskr.
Regionala sprickzoner	> 10 km	> 100 m	Deterministisk
Lokala större sprickzoner	1 – 10 km	5 – 100 m	Deterministisk (med osäkerheter)
Lokala mindre sprickzoner	10 m – 1 km	0,1 – 5 m	Statistisk (vissa deterministiskt)
Sprickor	< 10 m	< 0,1 m	Statistisk

4.1 Sprickor – data för stokastisk beskrivning

4.1.1 Spricka (sprickzon)

Fracture, fracture zone

Definition: Spricka, en generell term som avser varje mekaniskt brott i en bergmassa. Sprickzon är stråk genom berggrunden med hög frekvens av sprickor.



Figur 4-1. Sprickzon (Åspö).

Beskrivning: Sprickor uppstår genom spröd deformation. Sprickorna kan uppdelas i två huvudgrupper – **naturliga** (*natural*) och **artificiella** (*artificial* eller *break*, sprickor som uppkommit t ex i samband med sprängning eller borrning). Naturliga sprickor kan vara **öppna** (*open*) eller **länkta** (*sealed*). Öppna sprickor är fyllda med luft, vatten eller okonsoliderat bergarts-material. Länkta sprickor är fyllda med konsoliderade (kristalliserade) mineral som t ex kvarts, epidot eller kalcit. De länkta sprickorna kan vara delvis öppna och då uppvisa kanalbildning eller s k ”*channeling*”. Förkastning (*fault*) är en spricka eller sprickzon längs vilken förskjutning skett.

I engelskan finns termerna:

Fracture spricka (allmän term)
Crack ”småspricka” (ej genomgående)
Microcrack mikrospricka (syns vid förstoring)
Fissure öppen spricka
Joint sluten spricka utan förskjutning

Grovt sett är ”*crack*” oftast kortare än en meter och ”*fractures*” vanligen längre än en meter. Storleksförhållandena torde därför kunna bli:

Fracture > *Crack* > *Micro crack*
Spricka > ”Småspricka” > Mikrospricka

”Småspricka” (*crack*) ej finns i svenskan.

Metod: Fält-, tunnel- eller kärnkartering. Läge, (längd), orientering, sprickfrekvens, fyllning, karaktär och vidd. Speciellt vid tunnel- och kärnkartering kan det ibland vara svårt att avgöra om en spricka är naturlig eller artificiell. I tveksamma fall bör sådana sprickor karteras som naturliga.

Klassificering: Orientering, typ, ytform, omvandling och sprickmineral.

Presentation: Presenteras på geologisk sprickkarta eller grafisk borrhålspresentation. Sprickors och sprickzoners orientering (se avsnitt 4.1.4) kan presenteras på stereodiagram eller i 3D-CAD.

4.1.2 Mikrospricka (från 2.2.4)

Micro crack

Definition: Mikrosprickor är små sprickor i mineralkornen, som normalt bara kan ses vid förstoring med lupp eller mikroskop.

4.1.3 Sprickfrekvens

Fracture frequency

Definition: Antal sprickor per längdenhet, utefter en linje.

Beskrivning: Sprickfrekvens kan anges för en viss spricktyp eller en viss sprickgrupp (se 4.2.7). Sprickfrekvens används huvudsakligen vid kärn- och linjekartering (1D).

Vid yt- (2D) och volymkartering (3D) används begreppet sprickintensitet (*fracture density*). Sprickintensitet för en yta anges som totala spricklängden per ytenhet (m/m^2), medan sprickintensiteten för en volym anges som totala sprickytan/volympenhet (m^2/m^3).

Metod: Fält-, tunnel- eller kärnkartering.

Klassificering: Frekvens, typ, läge och riktningsintervall (se avsnitt 4.1.4).

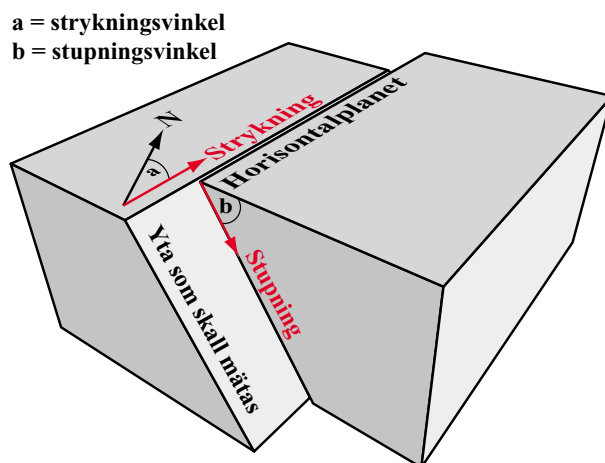
Presentation: Frekvensdiagram för sprickgrupper. Stereodiagram med isolinjer för frekvens.

4.1.4 Orientering

Orientation

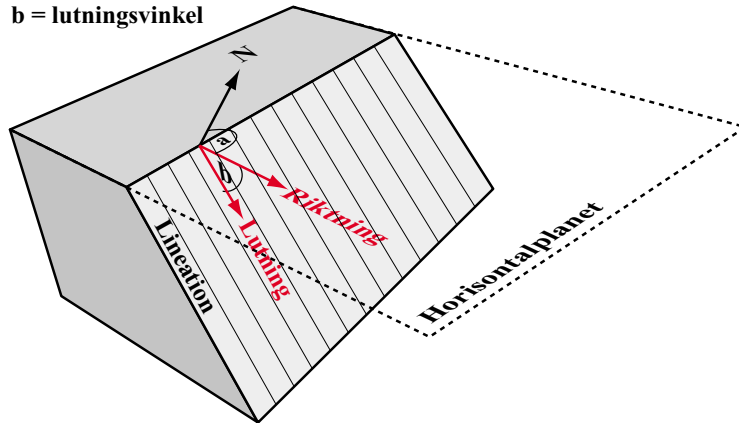
Definition: Anger hur ett plan eller en linje är orienterad i rymden.

Beskrivning: Orientering hur ett **plan** (t ex spricka) är orienterad i rymden. Orienteringen anges med två gradtal, **strykning** och **stupning** (t ex $234^\circ/78^\circ$, där 234° är strykningen och 78° stupningen). Strykningen är egentligen bäringen ($0-359^\circ$ medurs från norr) för sprickplanets skärningslinje med horisontalplanet. Detta ger två fall, med 180° :s separation. Här utnyttjas därför högerregeln, dvs strykningen mäts i synriktningen, då planet lutar nedåt åt höger. Specialfallet då planet är vertikalt anges med det lägsta gradtalet. För ett horisontellt plan är strykning inte definierad, men anges vanligen som 0° . Stupningen anger sprickplanets lutning nedåt från horisontalplanet ($0-90^\circ$). Horisontellt är 0° och vertikalt är 90° (figur 4-2).



Figur 4-2. Orientering av ett plan eller yta.

a = riktningsvinkel
b = lutningsvinkel



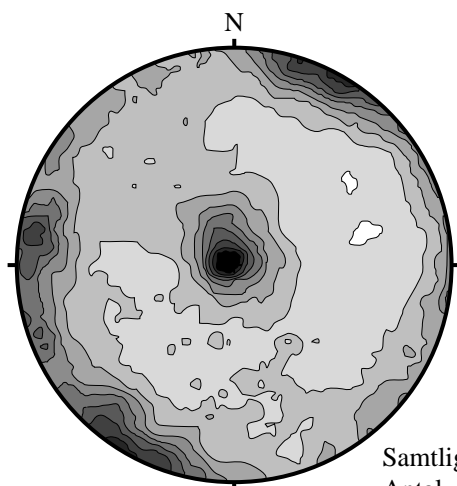
Figur 4-3. Orientering av lineation.

Orienteringen för en **linje** (lineation, t ex stänglighet) definieras som bäringen i horisontell **riktning** (0–359° medurs från norr) och **lutningen** från horisontalplanet (0–90°), där 0° är horisontellt och 90° är vertikalt (figur 4-3).

Metod: Fält-, tunnel- eller kärnkartering. Vid fält- och tunnelkartering används kompassmätning av orienteringen.

Klassificering: Spricktyp och sprickgrupp, där samtliga sprickor har ungefär samma orientering.

Presentation: Presentation i form av stereo-, toadpole- eller sinusdiagram. Kan presenteras i 3D-CAD.



Samtliga sprickor
Antal = 11723
Konturintervall = 2σ

Figur 4-4. Stereogram som visar på orienteringen av samtliga sprickor i Äspötunneln (efter Munier, 1995).

4.1.5 Längd (synlig längd)

Trace length or persistence

Definition: Den synliga längden av en spricka.

Beskrivning: Avser en sprickas längd eller uthållighet. Eftersom en spricka utgör en yta, är det vanligen det synliga snittet som avses. Detta betyder att en sprickas längd endast utgör ett statistiskt delement, och bör behandlas därefter. Många mätningar av sprickor av olika typer krävs för att ett realistiskt medelvärde skall erhållas. Vid borrhålsundersökning kan spricklängden överhuvudtaget inte mätas, vanligen inte heller uppskattas.

Metod: Geologisk fält- och tunnelkartering. I borrhål kan vissa sprickors utbredning mätas med borrhålsradar. Detta förutsätter att sprickan slutar inom mätområdet för radarn. I annat fall erhåller man en minsta längd.

Klassificering: Längdutbredning

Persistence (uthållighet) enligt ISRM:

Very low persistence	< 1 m
Low persistence	1–3 m
Medium persistence	3–10 m
High persistence	10–20 m
Very high persistence	> 20 m

Termination type for each end of discontinuity:

Outside exposure	x
In rock	r
Against other discontinuity	d

En klassning av 8.3 (dx), exempelvis, innebär en 8.3 m lång spricka som slutar mot en annan spricka och fortsätter utanför den blottlagda hällen. Blottläggningens dimensioner skall anges.

Presentation: Sprickkarta över sprickkarterade hållar.

4.1.6 Sprickvidd

Fracture width, aperture

Definition: Det vinkelräta avståndet mellan bergkanterna på ömse sidor av en spricka.

Beskrivning: Eftersom detta avstånd varierar över sprickytan skall ett medelvärde beräknas. Sprickvidd för öppen spricka benämns apertur.

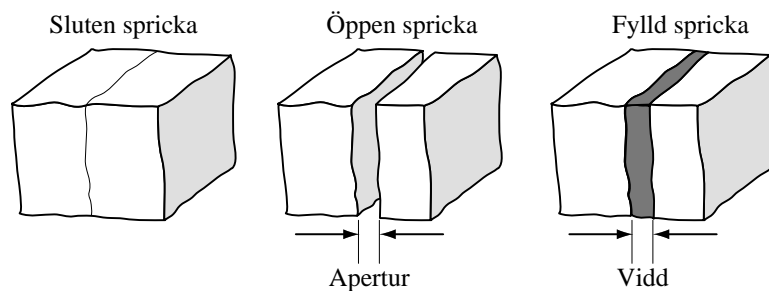
Metod: Fält-, tunnel- och kärnkartering.

Klassificering: Medelvärdesberäkning i mm.

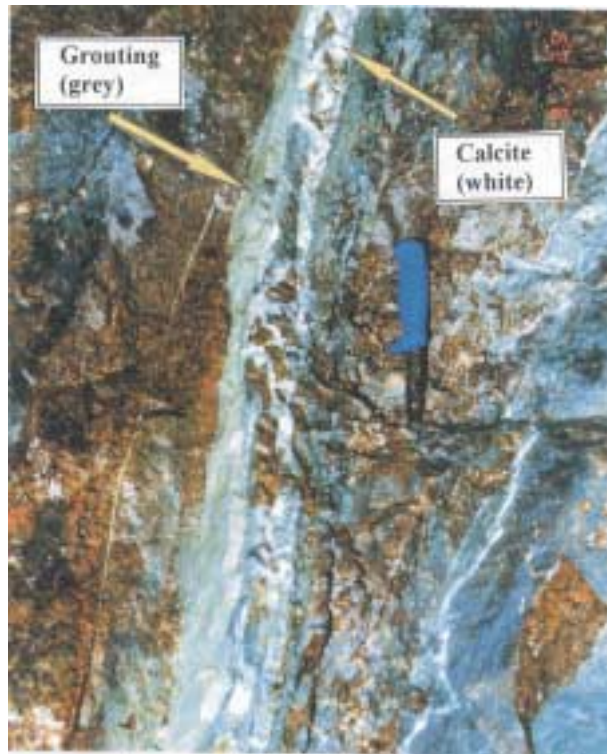
Öppen spricka (*aperture*) kan klassificeras enligt ISRM:

<0,1 mm	Very tight	
0,1–0,25 mm	Tight	“Closed features”
0,25–0,5 mm	Partly open	
0,5–2,5 mm	Open	
2,5–10 mm	Moderately wide	”Gapped features”
>10 mm	Wide	
1–10 cm	Very wide	
10–100 cm	Extremely wide	“Open features”
>1 m	Cavernous	

Presentation: Presentation i diagram eller längs borrhål.



Figur 4-5. Definition av begreppet apertur för öppna sprickor och vidd för fyllda sprickor.



Figur 4-6. Exempel på spricka från tunneln i Äspö HRL. Kalcit utgörs av vit sprickfyllnad. Grå sprickfyllnad är injekteringsmedel (Rbén m fl, 1997).

4.1.7 Sprickfyllnad

Fracture filling

Definition: Fast material mellan sprickväggarna.

Beskrivning: En spricka kan fyllas helt eller delvis med bergartsmaterial eller sprickmineral. Sprickmineral är de mineral som växer på sprickytan och som är associerade med förhållandena på platsen och de lösningar som fanns i sprickan vid bildningstillfället. Är sprickan fylld med intrusivt bergartsmaterial är det fråga om en bergartsgång.

Metod: Fält-, tunnel- och kärnkartering.

Klassificering: Sprickfyllnad kan dels upp i följande typer:

1. Magmatiska intrusioner, t ex doleritgångar, magmatiska restlösningar eller differentiat, t ex granitgångar.
2. Kristalliserande mineral från vattenlösningar.
 - a. Hydrotermala lösningar (400–105 °C).
 - b. Lågtemperaturlösningar, lägre än 105 °C.

3. Omvandling, inkluderande förändring i existerande sprickminerals mineralogiska sammansättningen eller normalt bergmaterial.
 - a. Hydrotermal miljö, över 105 °C.
 - b. Vittring, under 105 °C.
4. Deformation genom uppspräckning, krossning och nermalning, primärt ej sammanhållande, t ex rivningsbreccia och sköl. Sköl är en speciell typ av spricka, vanligtvis men något felaktigt översatt med "fault gouge". I "fault gouge" skall finnas bergartsfragment från sidoberget. Detta krav finns ej i någon definition för sköl. I svensk terminologi (TNC) är sköl en speciell term för zon med svagare berg än omgivningen. Skölar innerhåller vanligen lera, glimmer, klorit, grafit eller talk. De kan utgöras av sprickor, rörelsezoner eller kontaktytor och är ofta vattenförande.
5. Klastiska produkter (erosionsmaterial) transporterade in i sprickan från markytan och bildar klastiska gångar, omfördelade klastiska produkter.

Sprickfyllnader förekommer ofta som kombinationer av ovanstående typer, t ex en sammanhållande sköl är en kombination av typ 4 och 2, alternativt 3. Deformation orsakar ofta diskontinuiteter, t ex mylonitiska lager, men dessa ytor skall ej betraktas som sprickfyllnader. Vanliga mineral som t ex kalcit kan ha avsatts under både hydrotermala och lågtemperaturförhållanden.

Presentation: Stapeldiagram för sprickor med olika sprickmineral.

4.1.8 Vittring/(hydrotermal omvandling) på sprickytor

Weathering/(hydrothermal alteration)

Definition: Sönderdelning och omvandling av berg och jord genom kemiska och mekaniska processer.

Beskrivning: Med vittring/hydrotermal omvandling i sprickor menas en förändring i den mineralogiska sammansättningen vanligtvis beroende på förändring i tryck och/eller temperatur och/eller inverkan utifrån, t ex kemiskt av i sprickan förekommande hydrotermala lösningar. Vittring har sitt ursprung i atmosfären. Luft, regnvatten, växter, bakterier, mekanisk påverkan och temperaturförändringar bryter sakta ned exponerade bergytter. Slutligen återstår endast jord. Vittringen är störst på nära jordytan, men kan med hjälp av ytvatten nå mycket stora djup.

Hydrotermal omvandling av bergart eller mineral orsakas av hett vatten eller het gas.

Metod: Okulär bestämning eller genom mätning på sprickytor med Schmidt-hammare (JCS, se avsnitt 4.2.11), direkt eller på sprickytor på prover från fält-, tunnel- eller kärnkartering.



Figur 4-7. Vittring i samband med sprickor (Anttila m fl, 1993).

Klassificering: se avsnitt 4.2.11.

Presentation: Presenteras med färgkod på geologisk karta eller grafisk borrhålspresentation. Omvandlade sprickors orientering kan presenteras på stereodiagram.

4.1.9 Ålder (spröd struktur) *Age*

Definition: Den tid som förflutit sedan en spröd deformation inträffade.

Beskrivning: Om det finns mineral som bildats (kristalliserat) i samband med den spröda deformationen, kan åldern på den spröda strukturen bestämmas med radiometriska metoder.

Metod: Speciell hällprovtagning i fält, tunnel eller av kärnan. Isotopundersökning ger en högsta och en lägsta ålder.

Klassificering: Ålder relativt andra geologiska händelser.

Presentation: På karta.

4.2 Sprickzoner (regionala, lokala större och lokala mindre)

4.2.1 Läge

Position

Definition: Ett plans position i rymden.

Beskrivning: En sprickzon kan lägesbestämmas med en punkt och zonplanets orientering, eller med ett antal (minst tre) koordinatpunkter. Praktiskt kan ett plan i berget definieras genom att detsamma penetreras med ett borrhål varefter penetrationspunkten bestäms och planets orientering fastställs. Orienteringen av planet kan fastställas genom att ytterligare två borrhål får penetrera (totalt minst tre). Planets orientering kan fastställas med hjälp av t ex BIPS eller annan orienteringsmetod.

Vid koordinatbestämning i borrhål mäts avståndet till punkten, längs borrhålet. Tillsammans med borrhålets riktning kan sedan punktens koordinater bestämmas. För att uppnå största möjliga noggrannhet i borrhålsriktningen skall alltid borrhålet avvikelsemätas. Längdmätningen längs borrhålet utgår från (0,000 m) överkant foderröret eller markytan. Denna nollpunkt skall i sin tur vara inmätt med hög noggrannhet i X-Y-Z-koordinater.

Läget av ett zonplan kan även mätas in på markytan. Då mäts riktningen på planet skärning med horisontalplanet och planets lutningen mäts (om möjligt) på lämplig berghäll. Minst två X-Y-Z-punkter längs planet skärningslinje med horisontalplanet fastställs med teodolit eller differentiell GPS.

Metod: Punktbestämning med kärnkartering. Fältkartering ger i allmänhet X-Y-Z-koordinater för ytutgåendet. Inmätning kan ske med t ex teodolit eller GPS (Global Positioning System).

Klassificering: –

Presentation: Presenteras längs borrhål och i koordinatsystem på en geologisk karta.

4.2.2 Orientering (se avsnitt 4.1.4)

Orientation

4.2.3 Längd (se avsnitt 4.1.4)

Trace length (persistence)

4.2.4 Zonbredd

Zone width

Definition: Det vinkelräta avståndet tvärs zonen.

Beskrivning: Zonbredd avser det vinkelräta avståndet mellan zongränserna. Zongränserna definieras med ledning av geologiska, hydrogeologiska och geofysiska parametrar. Dessa definitioner bestäms specifikt för varje område.



Figur 4-8. Exempel på zonbredd (Modifierat foto från K Annertz)

- Metod:** Geologiska, hydrogeologiska och geofysiska häll-, tunnel- och kärnundersökningar.
- Klassificering:** Geologiska, hydrogeologiska och geofysiska zonkriterier.
- Presentation:** Presenteras med zonbredd på geologisk karta eller i grafisk borrhålspresentation.

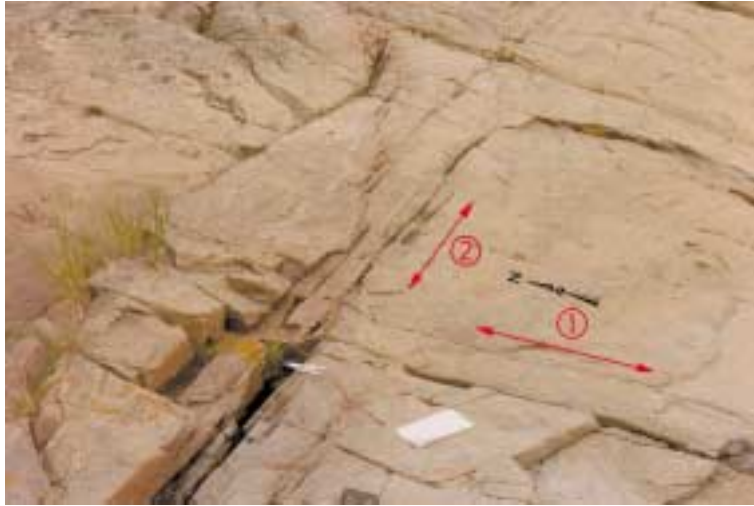
4.2.5 Rörelser (storlek, riktning)

Movement (magnitude, direction)

- Definition:** Den sträcka och riktning en punkt på en sida av ett rörelseplan har rört sig i relation till en korresponderande punkt på den andra sidan.
- Beskrivning:** Rörelser avser i detta sammanhang blockrörelser, dvs då bergblock rör sig i förhållande till varandra (se t ex figur 2-14, figur 2-17). Tecken på rörelse kan observeras på hällar vid fältkartering. I borrhål syns ofta endast den speciella trappstegsformade (harnesk) yta som bildas då bergblocken nöter mot varandra under rörelsen. Storleken av rörelsen kallas belopp. Rörelseriktningen mäts längs den striering som finns på en s k "harneskyta" och mäts i **riktning, lutning** (se avsnitt 4.1.4) och belopp. Observera att rörelsen är relativ och att man måste ange vilket block som "rört" sig i den inmätta riktningen.
- Metod:** Fält-, tunnel- och kärnkartering.
- Klassificering:** Verklig förskjutningsbelopp.
- Presentation:** Presenteras på geologisk karta eller i 3D-CAD.

4.2.6 Ålder (spröd stuktur) (se avsnitt 2.1.5)

Age



Figur 4-9. I hällen förekommer tre sprickgrupper. Två grupper är branta och stryker N respektive Ö, en tredje grupp är flack (parallell med hällytan).

4.2.7 Antal sprickgrupper

Number of fracture sets

Definition: Det antal grupper med parallella sprickor, som kan urskiljas i en bergart.

Beskrivning: Sprickorna i en bergart grupperar sig oftast i ett antal väldefinierade riktningar. En sprickgrupp består av ett antal inbördes mer eller mindre parallella sprickor. Sprickgrupperna kan variera mellan olika bergblock. Med hjälp av orienteringsdata från sprickor kan sprickgrupper identifieras som kluster i stereodiagram.

Metod: Fält-, tunnel- och kärnkartering.

Klassificering: Beräkning av riktningsexima och gruppering.

Presentation: 3D-CAD.

4.2.8 Sprickavstånd

Fracture spacing

Definition: Det vinkelräta medelavståndet mellan naturliga sprickor i samma sprickgrupp.

Beskrivning: Sprickavståndet (x) definieras som det vinkelräta avståndet mellan närliggande sprickpar i en sprickgrupp mätt längs en rät linje och beräknas enligt:

$$X = \frac{S \cdot \cos(\theta)}{N} \quad \text{Ekv. 4-1}$$

där S = längden av mätlinjen $s-s'$, θ = den spetsiga vinkeln mellan riktningen $s-s'$ av mätlinjen och normalen till sprickgruppen och N = antalet sprickor i sprickgruppen registrerade längs mätlinjen $s-s'$.



Figur 4-10. Avstånd mellan två sprickor i samma sprickgrupp.

Medelsprickavståndet kan sedan beräknas enligt (Priest och Hudson, 1981):

$$X = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n} \quad \text{Ekv. 4-2}$$

X_i = sprickavståndet för sprickgrupp "i" mätt längs en mätlinje med längden S.

Metod: Fält-, tunnel- och kärnkartering (GBD: Spricka/Läge/Strykning/Stupning).

Klassificering: Medelavstånd mellan sprickor i varje definierad sprickgrupp. De beskrivande termerna för sprickavstånd är listade i tabellen nedan:

Sprickavstånd (mm)	Beskrivning
< 20	Extremely close spacing
20 – 60	Very close spacing
60 – 200	Close spacing
200 – 600	Moderate spacing
600 – 2000	Wide spacing
2000 – 6000	Very wide spacing
> 6000	Extremely wide spacing

Presentation: Diagram i borrhålspresentationen.

4.2.9 Blockstorlek

Block size

Definition: Dimensionerna på det block som avgränsas av de närmaste sprickorna inom varje sprickgrupp som finns i berget.

Beskrivning: Med blockstorlek avses dimensionerna, sprickfrekvens och form på det block som avgränsas av de närmaste sprickorna i de sprickgrupper som finns i berget. Blockets storlek bestäms av sprickavståndet (se avsnitt 4.2.8) inom de befintliga sprickgrupperna (se avsnitt 4.2.7).

Metod: Fält-, tunnel- eller kärnkartering.

Klassificering: Beräkning av blockstorlek. **Block size index (I_b):** genom att beräkna medelvärdet av de ingående sprickgruppernas modala sprickavstånd, får man fram Blockstorleksindex, vilket är ett slags medelblockstorlek.

$$I_b = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{3} \quad \text{Ekv. 4-3}$$

där S_i är modal spacing (mm) för set i .

Volumetric joint count (J_v): genom att räkna sprickorna i varje sprickgrupp utefter en vinkelrät enhetssträcka, kan man beräkna sprickfrekvenserna och summera dessa till den volymetriska sprickfrekvensen (n/m^3).

Very large blocks < 1,0 joints/ m^3

Large blocks 1–3

Medium-sized blocks 3–10

Small blocks 10–30

Very small blocks > 30

Rock masses (i–vi): beskriver blockformen för bergarten ifråga:

(i) massive few joints or very wide spacing

(ii) blocky approximately equidimensional

(iii) tabular one dimension considerably smaller than the other two

(iv) columnar one dimension considerably larger than the other two

(v) irregular wide variations of block size and shape

(vi) crushed heavily jointed to "sugar cube"

Presentation: 3D-CAD

4.2.10 Ytkaraktär/råhet, JRC

Surface roughness, JRC (Joint Roughness Coefficient)

Definition: Mått på en sprickas ytojämnhet.

Beskrivning: Sprickråhet (*wall roughness*, ISRM: J_r) beskriver en sprickytas variation, vad gäller form och strävhet, vilka är avgörande för uppkomst av rörelser längs sprickan.

Metod: Fält-, tunnel- och kärnkartering.

Klassificering: Sprickråhet är ett delmått på skjuvhållfasthet och kan delas upp i två komponenter:

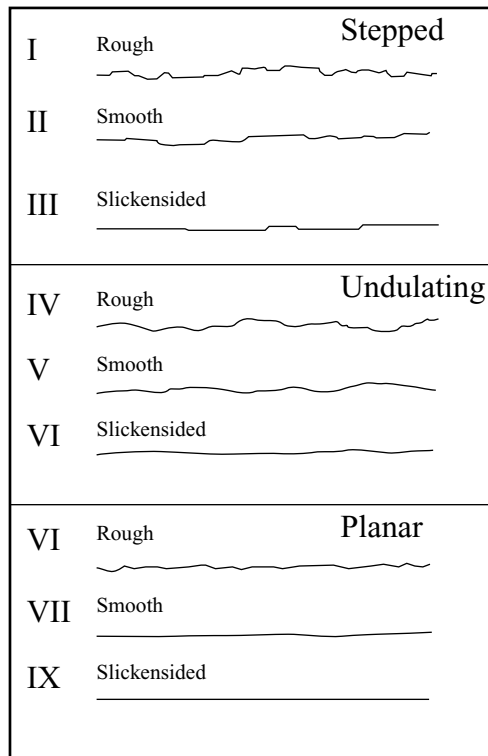
1. Sprickform (*waviness – large scale roughness*).
2. Spricksträvhet (*unevenness – small scale roughness*).

Sprickformen kan beskrivas för större ytor (1–10 m), i tre huvudgrupper. Spricksträvheten beskrivs med tre undergrupper, totalt resulterande i nio klasser:

	Class	J_r
Stepped (trappsteg)		
Rough (rå)	I	4
Smooth (slät)	II	
Slickensided (harnesk)	III	
Undulating (undulerande)		
Rough (rå)	IV	3
Smooth (slät)	V	2
Slickensided (harnesk)	VI	1,5
Planar (plan)		
Rough (rå)	VII	1,5
Smooth (slät)	VIII	1,0
Slickensided (harnesk)	IX	0,5

Sprickform avser ytans (storskaliga) undulering eller oregelbundenhet och kan mätas med profilmall, vilken sedan jämförs med standardprofiler (ISRM). Det finns även andra mätapparaturer.

Spricksträvhet, som utgör sprickytans småskaliga råhet, kan ibland klassificeras efter sprickytans friktion vilken mäts med friktionsmätare. I ovanstående tabell och figur 4-11 finns spricksträvheten i undergruppen *Rough (rå)* > *Smooth (slät)* > *Slickensided (harnesk)*.



Figur 4-11. Sprickråbeter enligt standard från ISRM (1981).

Sprickform kan enligt ISRM uttryckas i JRC (*Joint Roughness Coefficient*) som beskriver sprickformen i 10 steg med hjälp av 10 cm standardprofiler.

Class	JRC	Jr
1	0–2	(plan-slät)
2	2–4	
3	4–6	1?
4	6–8	
5	8–10	2?
6	10–12	
7	12–14	
8	14–16	
9	16–18	
10	18–20	(undulerande-rå) 4

Presentation: Kan presenteras grafiskt i borrhålsdiagram.

4.2.11 Kontaktmönster (sprickans mekaniska egenskaper, JCS)

Contact pattern

Definition: Sprickyttans nedbrytningsgrad.

Beskrivning: JCS (*Joint Compression Strength*) är ett mått på en sprickyttas hårdhet. Med hjälp av en Schmidthammare kan man bestämma hårdheten i den påverkade ytzonen av en spricka. JCS bestäms genom ett antal intryckstest med ”hammaren”. Värden mellan 0–100 erhålls.

ISRM har även en skala för subjektiv bedömning, omfattande 12 grader av ytomvandling.

Metod: Fält-, tunnel- och kärnkartering.

Klassificering: JCS (*Schmidt hammer*) 0–100.

Ytomvandling (*subjektiv*)

Ytterst frisk	<i>Highly fresh</i>
Måttligt frisk	<i>Moderately fresh</i>
Mindre frisk	<i>Slightly fresh</i>
Något missfärgad	<i>Slightly discoloured</i>
Måttligt missfärgad	<i>Moderately discoloured</i>
Starkt missfärgad	<i>Highly discoloured</i>
Något vittrad	<i>Slightly decomposed</i>
Måttligt vittrad	<i>Moderately decomposed</i>
Starkt vittrad	<i>Highly decomposed</i>
Något upplöst	<i>Slightly disintegrated</i>
Måttligt upplöst	<i>Moderately disintegrated</i>
Starkt upplöst	<i>Highly disintegrated</i>

Presentation: I bergartslogg i WellCAD.

4.2.12 Sprickfyllnad (sprickmineral) (se avsnitt 4.1.7)

Fracture mineral

4.2.13 Omvandling/vittring (se kap. 4.1.8)

Alteration/weathering

5 Referenser

Andersson J, Almén K-E, Ericsson L O, Fredriksson A, Karlsson E, m fl, 1996. Parametrar av betydelse att bestämma vid geovetenskaplig platsundersökning, SKB R-97-03. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Andersson J, Ström A, Svemar C, Almén K-E och Ericsson L O, 2000. Vilka krav ställer djupförvaret på berget? Geovetenskapliga lämplighetsindikatorer och kriterier för lokalisering och platsutvärdering, SKB R-00-15. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Anttila P, Kuivamäki A, Lindberg A, Kurimo M, Paananen M, m fl, 1993. The geology of the Syyry area, summary report, YJT-93-19. Nuclear Waste Commission of Finnish Power Companies, Helsinki, Finland.

Bates R och Jackson J, 1987. Glossary of geology. 3 ed. 1987, Alexandria: American Geological Institute, Virginia, USA.

ISRM, 1981. Commission on classification of rocks and rock masses. Basic geotechnical description of rock masses, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 18: p. 85–110.

Loberg B, 1980. Geologi. Material, processer och Sveriges berggrund. 4th ed. 1980, Stockholm: Nordsteds.

Munier R, 1995. Studies of geological structures at Äspö-comprehensive summary of results, SKB PR 25-95-21. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Priest S D och Hudson J A, 1981. Estimation of discontinuity spacings and trace length using scanline surveys, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 18.

Rhén I, Gustafson G, Stanfors R och Wikberg P, 1997. Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/5 – Models based on site characterization 1986–1995, SKB TR-97-06. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 1995. Kärnkraftsavfallets behandling och slutförvaring, FUD program 95, program 95. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 1998. FUD 98. Kärnkraftsavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning samt utveckling och demonstration av inkapsling och geologisk djupförvaring. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2000. Geovetenskapligt inriktat program för undersökning och utvärdering av platser för djupförvaret, SKB R-00-30. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2001. Platsundersökningar – Undersökningsmetoder och generellt genomförande-program, SKB R-01-10. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Streckeisen A, 1967. Classification and nomenclature of igneous rocks, N. Jb. Miner. Abh. 107, 144.