

**MINERALOGIAN PERUSTEET**

**RISTO PIISPANEN  
PEKKA TUISKU**

## MINERALOGIAN PERUSTEET

Kidetiiteen ja mineralogian oppikirja

I-III painos:

© Risto Piispanen

IV painos 1997 ja V painos 1998:

© Risto Piispanen ja Pekka Tuisku

ISBN 952-9727-04-6

## SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT .....	5
A. JOHDANTO .....	6
1. GEOLOGIA TIETEENÄ .....	6
2. GEOLOGIAN LIITTYMINEN MUIHIN TIETEISIIN .....	7
3. PERUSKÄSITTEITÄ .....	7
I. KIDETIEDE .....	9
1. KITEINEN OLOMUOTO .....	10
2. ALKEISKOPIT .....	10
3. KIDEJÄRJESTELMÄT .....	12
1. Akseliristikot .....	13
4. SYMMETRIA .....	15
1. Peiteoperaatiot ja symmetriaelementit .....	15
2. Inversio ja symmetriakeskus .....	16
3. Kuvastus ja symmetriataso .....	16
4. Kierto ja kiertoakseli .....	17
5. Kiertokuvastus ja gyroidi .....	19
5. SYMMETRIAN MÄÄRÄ ERI KIDEJÄRJESTELMISSÄ .....	20
6. AKSELISUHTEET .....	20
7. PARAMETRISUHTEET .....	20
1. Akseliristikoiden sijoitus .....	22
2. Tarkastelutapa .....	22
3. Tarkastelujärjestys .....	23
4. Merkkisäännöt .....	23
8. MILLERIN INDEKSIT .....	24
1. Yksittäisten pintojen indeksit .....	24
9. PINTAMUODON KÄSITE .....	24
1. Pedion, pinakoidi, prisma. Avoimet ja suljetut pintamuodot .....	25
2. Pintamuodon indeksit .....	26
1. Edustajapinnan valinta .....	26
2. Yksinkertaiset ja yhdistetyt kidemuodot .....	26
3. Indeksien ja pintamuodon nimen käänteinen vastaavuus .....	27
10. PINTAMUODOT ERI KIDEJÄRJESTELMISSÄ .....	27
1. Kuutiollinen kidejärjestelmä .....	27
2. Heksagoninen kidejärjestelmä .....	29
3. Trigoninen kidejärjestelmä .....	32
4. Tetragoninen kidejärjestelmä .....	33
5. Rombinen kidejärjestelmä .....	35
6. Monokliininen kidejärjestelmä .....	36
7. Trikliininen kidejärjestelmä .....	37
11. LUONNOLLISET JA IHANTEELLISET KITEET .....	37
1. Kulmien pysyvyyden laki .....	38
12. KAKSOSKITEET .....	38
1. Kaksostumisen syy .....	39
2. Kaksostaso ja kaksosakseli .....	39
3. Kaksostyypit .....	40
4. Kaksoslait .....	40
13. ERIKOISKYSYMYKSIÄ .....	40

1. Pintamuotojen "hajoaminen" järjestelmästä toiseen siirryttäessä.....	40
2. Symmetrialuokat ja avaruusryhmät .....	41
14. HARJOITUSOHJEITA JA -TEHTÄVIÄ.....	43
II. MINERALOGIA .....	44
1. Johdanto.....	44
1. Mineraalien ryhmittely .....	45
2. Mineraalien lukumäärä.....	45
3. Mineraalien nimityksiä .....	47
4. Tunnistamistavat.....	49
2. MINERAALIEN OMINAISUUKSISTA.....	49
1. Asu.....	49
2. Raekoko.....	50
3. Kiilto.....	50
4. Lohkeavuus.....	50
5. Tiheys.....	52
6. Kovuus.....	52
7. Väri ja viirun väri .....	53
8. Muita ominaisuuksia.....	53
3. MINERAALIEN KIDEKEMIAALLISISTA SUHTEISTA.....	53
1. Polymorfia ja heteromorfia.....	53
2. Diadokia.....	54
3. Isomorfia.....	56
4. MINERAALIEN LUOKITTELU.....	57
1. Silikaattien kidekemialliset rakenteet.....	57
5. MINERAALIEN KUVAUS.....	63
1. Alkuaineet.....	63
1. Kulta .....	63
2. Grafiitti.....	64
3. Timantti .....	65
4. Platina.....	66
2. Sulfidit .....	66
1. Lyijyhohde.....	66
2. Sinkkivälke.....	66
3. Molybdeenihohde.....	67
4. Arsenikiisu .....	68
5. Rikkikiisu I. pyriitti .....	68
6. Kuparikiisu.....	69
7. Magneettikiisu.....	70
3. Oksidit ja hydroksidit .....	70
1. Hematiitti .....	70
2. Korundi .....	71
3. Magnetiitti .....	72
4. Kromiitti.....	73
5. Limoniitti .....	73
6. Kvartsi.....	74
4. Halogenidit .....	76
1. Haliitti I. vuorisuola .....	76
2. Fluorisälpä I. fluoriitti .....	76
3. Sylviitti I. kalisuola .....	77
5. Karbonaatit .....	77
1. Kalsiitti I. kalkkisälpä .....	77
2. Sideriitti.....	79
3. Dolomiitti .....	79
4. Magnesiitti .....	80
6. Fosfaatit .....	80
1. Apatiitti .....	80
7. Silikaatit.....	81
1. Jalosilikaatit .....	81
1. Oliiviini.....	81

2.	Kyaniitti .....	82
3.	Sillimaniitti .....	83
4.	Andalusiitti .....	83
5.	Stauoliitti.....	84
6.	Granaattiryhmä.....	84
7.	Epidootti.....	86
8.	Kordieriitti .....	87
9.	Turмалиini .....	87
10.	Berylli .....	88
2.	Ketjusilikaatit .....	89
1.	Pyrokseeniryhmä .....	89
2.	Wollastoniitti .....	91
3.	Nauhasilikaatit .....	92
1.	Amfiboliryhmä .....	92
4.	Verkkosilikaatit.....	95
1.	Muskoviitti .....	95
2.	Biotiitti.....	96
3.	Kloriitti .....	96
4.	Serpentiini.....	97
5.	Talkki.....	97
6.	Kaoliini .....	98
5.	Hohkasilikaatit .....	98
1.	Plagioklaasi.....	99
2.	Kalimaasälpä .....	100
3.	Skapoliitti .....	102
II.	6. MINERAALIEN OMINAISUUKSIEN ESITTÄMISEEN KÄYTETTÄVISTÄ DIAGRAMMEISTA .....	102
II.	7. GEOLOGIASSA KÄYTÖSSÄ OLEVISTA KEMIALLISEN ANALYYSIN ESITYS JA KÄSITTELYTAVOISTA.....	106
1.	Mineraalin kaavan laskeminen .....	107
II.	8. MINERALOGIAN LYHYT HISTORIIKKI .....	109
II.	9. MÄÄRITYSKAAVIOT .....	115
1.	Mineraalien määrittäyskaavio I .....	115
2.	Mineraalien määrittäyskaavio II .....	116

## ALKUSANAT

Käsillä oleva oppikirja on alunperin syntynyt Risto Piispanen Oulun yliopiston geologian laitoksella vv. 1972-1985 pitämien geologian peruskurssiin kuuluneiden kide­tieteen ja mineralogian kurssien luento­jen yhteydessä. Mineralogian ja siihen olennaisesti liittyvän kide­­tieteen opetukseen ei ole ollut tarjolla sopivaa suomenkielistä oppikirjaa. Kirjan tarkoituksena onkin tarjota kirjallinen lähde kurssien seuraamisen tueksi. Siihen on koottu kide­­tieteen ja mineralogia ydinkohdat varsin suppeasti, varsinkin kuvamateriaali jää pakostakin tällaisessa opetusvälineessä riittämättömäksi. Sen vuoksi tekijät korostavatkin kurssiin liittyvien harjoitusten merkitystä laajemman kokonaiskuvan ja fysikaalisen kosketuksen saamiseksi kiteisiin ja mineraaleihin.

Kirjan pohjana olevien monisteiden II ja III painos ovat syntyneet vuosina 1975 ja 1976. Tämän jälkeen geologian opetus on kokenut huomattavia uudelleenjärjestelyjä. Tutkin­nonuudistuksen yhteydessä 1980-luvun alussa yliopistollinen koulutus­rakenne koki huomattavan muutoksen. Geologian laitoksella alettiin 1980-luvulla opettaa kokonaan uutta oppiainetta, geokemiaa, jonka apulaisprofessoriksi nimitettiin monisteiden alkuperäinen kirjoittaja. Sitten­min koko geologian laitos on yhdistetty suuremmaksi geotieteiden ja tähtitieteen laitokseksi yhdessä entisten geofysiikan ja tähtitieteen laitosten kanssa. Vuoden 1998 alusta tapahtuu jälleen muutos, kun tähtitiede siirtyy fysikaalisten tieteiden yhteyteen ja geotieteet muodostavat uuden geotieteiden laitoksen. Myöskin kide­­tieteen ja mineralogian opetus on kokenut muutoksia. Kide­­tieteen ja mineralogian peruskurssit on yhdistetty mineralogian peruskurssiksi ja samalla kide­­tieteen opetuksen osuutta on vähennetty. Mineralogian peruskurssin loppuun on siirretty kivilajien systematiikkaa käsittelevä osuus entisestä kallioperä­geologian kursseista.

Tämän vuoksi monisteista on nyt otettu uusi painos, jossa kide­­tiede ja mineralogia on yhdistetty. Kide­­tieteen osuutta ei ole tästä oppikirjasta vähennetty, sillä opiskelijoiden kannalta on sen luento-opetuksen ja harjoitusten vähennyttä tärkeää, että saatavilla on tieteenalan perusteet riittävän laajasti selvittävä teksti. Tässä V painoksessa on korjattu aiemmat IV painoksessa havaitut virheet.

Oulussa elokuulla 1998

tekijät

© Risto Piispanen ja Pekka Tuisku

## A. JOHDANTO

### 1. GEOLOGIA TIETEENÄ

Geologian tutkimuskohteena on maapallo, lähinnä sen kiinteä kuori. Geologi tutkii maapallon rakennetta, koostumusta, kehityshistoriaa ja niitä prosesseja, joiden alaisena ennen kaikkea maapallon kuori on ollut ja on yhä edelleen. Suomen oloissa geologia voidaan mukavasti jakaa kahteen osaan meidän erikoisolosuhteistamme johtuen. Suomessa kiinteää **kallioperää** verhoaa yleensä kallioperästä selvästi erottuva muutaman metrin vahvuinen, irtaimista maalajeista koostuva **maaperä**. Kallioperään kohdistaa tutkimuksensa geologian osa, jota yliopistollisena oppiaineena nimitetään **geologiaksi ja mineralogiaksi**, maaperää taas tutkii **maaperägeologia**. Geologian ja mineralogian tutkimuksen piiriin kuuluvat myös **malmit**, jotka ovat kallioperän taloudellisesti merkittävin osa. Kaikkialla maapallolla ei voida jakoa maaperägeologiaan ja kallioperägeologiaan tehdä, sillä kallioperä ja sitä peittävä maaperä eivät kaikkialla ole yhtä selvästi toisistaan erottuvia. Myös Suomessa, etenkin maamme pohjoisosassa, on alueita, joissa kallioperä vaihtuu vähitellen maaperäksi..

Geologia on varsin laaja-alainen tiede. Geologisessa tutkimuksessa käytetään hyväksi ennen muuta kemian ja fysiikan tarjoamia tutkimusmenetelmiä ja voidaankin sanoa, että geologia on kemian ja fysiikan soveltamista maapallon ja maankuoren tutkimiseen. Tutkimuskohteen ja tutkimusmenetelmän mukaan voidaan geologiassa edellä mainittujen kahden haaran lisäksi erottaa mm. seuraavia:

- **Kidetiiede l. kristallografia.** Kiteisen olomuodon erikoispiirteiden tutkiminen, kiteiden geometrian ja muotojen tutkiminen, joka on ns. **kidemorfologiaa**. Kiteiden sisäisen rakenteen tutkimus käyttää röntgensäteitä apunaan ja on samalla osa fysiikkaa yhtä hyvin kuin geologiaakin.
- **Mineralogia** tutkii mineraalien ominaisuuksia, kemiallista koostumusta, pysyvyysolosuhteita (ns. kokeellinen mineralogia), mineraalilajeja ja mineraalien luokittelua sekä mineraalien sisäistä rakennetta.
- **Petrografia** on kivilajien luokittelua, kuvaamista sekä kivilajien mineraalikoostumusten selvittelyä ennen muuta **polarisaatiomikroskoopin** avulla (ns. mikroskooppinen petrografia).
- **Petrologia** on kivilajien synnyn tutkimusta. Kokeellisessa petrologiassa voidaan kivilajien syntyyn liittyviä useinkin korkeita paineita ja lämpötiloja aikaansaada laboratoriolaitteistolla.
- **Malmigeologia** tutkii malmien mineraalikoostumusta, rakennetta ja syntyä sekä pyrkii keräämään ja luomaan malminetsintää helpottavaa tietoutta kivilajien, kallioperän ja malmien välisistä syy-yhteyksistä.
- **Isotooppigeologia** tutkii kivissä, mineraaleissa ja vesissä ym. geologisissa materiaaleissa olevien alkuaineiden isotooppikoostumusta ja sen vaihteluita geologisissa prosesseissa ja pyrkii määritysten kautta selvittämään mm. missä olosuhteissa ja missä tapahtumissa tutkittava osa kallioperää on syntynsä saanut. Isotooppigeologian eräs osa on **geokronologia**, jossa kivien ikä pyritään määrittämään radioaktiivisten aineiden hajoamisnopeuksien perusteella.

- **Geokemia**, joka voidaan käsittää myös geologiasta erilliseksi itsenäiseksi tieteenalaksi, tutkii alkuaineiden ja niiden isotooppien jakaantumista maankuoressa ja jakaantumiseen vaikuttavia tekijöitä sekä alkuaineiden kiertokulkua luonnossa.
- **Rakennegeologia** ja **tektoniikka** keskittyvät kallioperän rakenteen selvittelyyn. Pyrkimyksenä on **poimujen** ja **siirrosten** yms. geometrinen analyysi sekä rakenteen syntyyn vaikuttaneiden voimien ja liikuntojen dynaaminen analyysi.
- **Fotogeologia** ja **kaukokartoitus** on kallioperän ja maaperän rakenteiden ja kehityshistorian selvittelyä ilmakuvien ja satelliittikuvien avulla.
- **Stratigrafia** on oppi kerrostuneiden kivilajien kerrosjärjestyksestä ja ikäsuhteista. **Aktualismin** periaatetta hyväksikäyttäen tulkitaan kerrostuneiden kivilajien alkuperäisrakenteista niiden ikäjärjestys.
- **Sedimentologia** on kerrostumisolosuhteiden ja -tapahtumien lainalaisuuksien selvittelyä.
- **Paleontologia** selvittelee kerrostumien ikäjärjestystä ja ikää **fossiilien** avulla. Suomessa paleontologia on melko vähän sovellettavissa, sillä fossiileja Suomessa on yleensä vain maaperässä (ns. kvartaaripaleontologia).
- **Kvartaarigeologia**; kvartaarikauden aikaisen kehityksen, ilmaston, merivaiheiden ja kasvillisuuden kehityksen tutkiminen.
- **Glaciaaligeologia**; mannerjäätiköitymisen aikaansaamien kallioperän ja maaperän muotojen ja muodostumien tutkimus soveltaen nykyaikaisista jäätiköistä tehtyjä havaintoja.
- **Hydrogeologia**; pohjaveden esiintymiseen, laatuun ja määrään vaikuttavien geologisten tekijöiden tutkimus.
- **Turvegeologia**; soiden ja turpeiden levinneisyyden, turvepaksumuksien ja maatumisasteiden sekä suo- ja turvetyyppien tutkimus.
- **Rakennusgeologia**; rakentamisen yhteydessä huomioon otettavien kallio- ja maa-aineksen teknillisten ominaisuuksien selvittely.

## A. 2. GEOLOGIAN LIITTYMINEN MUIHIN TIETEISIIN

Edellä olevasta geologian osa-alueiden kuvauksesta käy ilmi, että geologia liittyy monilta osin läheisesti kemiaan ja fysiikkaan. Geokemia on menetelmiltään ja tutkimusaiheensa puolesta kemiaa ja geologiaa yhdistävä tieteen haara. Fysiikkaan geologia liittyy rakennegeologian, geofysiikan ja kide-tieteen välityksellä. Kokeellinen mineralogia ja petrologia puolestaan lähestyvät fysikokemiaa. Biologiin geologia liittyy läheisesti paleontologian välityksellä. Geomorfologia taas on maantieteen ja geologian välimaastoa.

## A.3. PERUSKÄSITTEITÄ

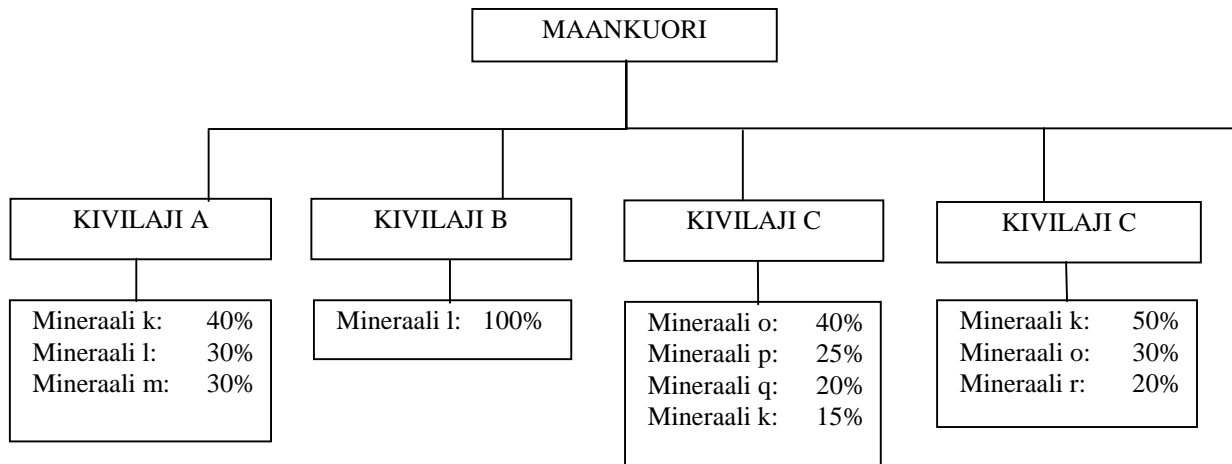


Geologian opintojaan aloitteleva nuori opiskelija saattaa aivan perustellusti tuntea itsensä turhautuneeksi kun hänen odottamiensa koko maapalloa tai ainakin yksittäisiä mantereita käsittävien laajojen geotieteellisten asiakokonaisuuksien sijasta hänelle ruvetaan heti opintien alussa tuomaan eteen luonnon**kiteitä** matkivien **kidemallien** tai **mineraalinäytteiden** avulla **kidetieteen** ja **mineralogian** saloja. Turhautumisen välttämiseksi onkin tässä heti aluksi korostettava, että noudatettava asioihin tutustumisen järjestys on kuitenkin tyvestä puuhun nousemista ja vastaa esimerkiksi sitä järjestystä, jossa fyysikko tai kemisti opiskelisivat alaansa tutustumalla ensin alkeishiukkasiin, sitten atomeihin, sitten molekyyliin ja vasta sitten yhdisteisiin. Järjestys on myös geologian alalla luonnon itsensä määräämä ja looginen. Geologian tutkimuskohteena näet on periaatteessa koko maapallo mutta käytännössä lähinnä sen uloin kiinteä kehä eli **maankuori**, joka ainekseltaan on pääasiassa **kiveä** tai irtonaisia **maalajeja**. Irtonaisista maalajeista koostuvan **maaperän** alla olevassa **kallioperässä** olevien laajoja, ulottuvuuksiltaan vähintään joka suuntaan metrin olevien kivimassojen eli **kivimassiivien** suhteellisen tasalaatuista eli homogeenista ainesta kutsutaan **kivilajiksi**. Tarkastelemalla tavallista kivilajinäytettä paljain silmin tai suurennuslasin avulla sen voi nähdä koostuvan rakeista, joista jotkut ovat väriltään, kiilloltaan ja muilta ominaisuuksiltaan keskenään samanlaisia. Sanomme keskenään samanlaisten rakeiden kivessä olevan samaa **mineraalia**. Tavallisesti kivilajit koostuvat noin 3-6 eri mineraalista, mikä merkitsee, että niissä voi paljain silmin tai ainakin mikroskoopin avulla erottaa yleensä 3-6 erilaista raelajia. Kivilajit ovat siis mineraalien erisuhteisia mekaanisia seoksia.

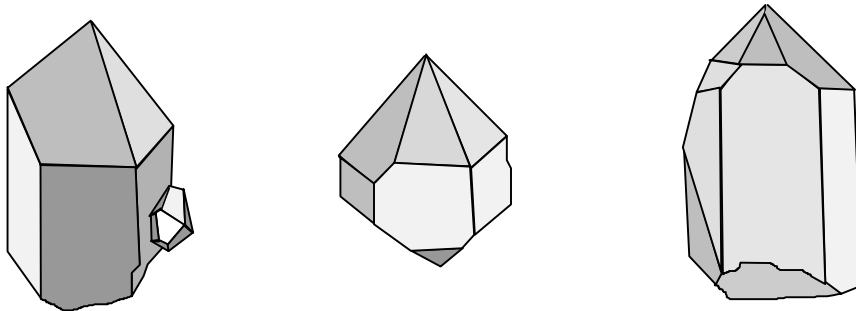
Edullisissa olosuhteissa vesiliuoksista tai jäähtyvistä kiviluolasta eli **magma**sta syntyessään mineraalit voivat saada säännöllisen ja usein kauniinkin ulkomuodon. Edullisia olosuhteita ovat hidaasti tapahtuva jäähtyminen ja kasvulle rajoja asettamaton ympäristö. Tällaisissa olosuhteissa syntyvää raeita sanomme **omamuotoiseksi**. Rakeen muoto on tuolloin mineraalin **kidemuoto**. Epäedullisissa olosuhteissa (esimerkiksi muiden rakeiden asettaessa kasvulle rajoja) mineraalirae sen sijaan ei saa esille omaa kidemuotoaan vaan jää **vierasmuotoiseksi**. Säännölliseen ja omamuotoiseen kidemuotoon kiteytyneitä mineraaliraeita sanomme **kiteeksi**. Koska käytännössä kiteet ovat vaikeasti saatavissa olevia ja kalliita, kiteitä käsittelevää tiedettä eli **kidetiedettä** opiskellaan kiteitä matkivien puusta tai muovista valmistettujen mallien eli **kidemallien** (“palikoiden”, “kapuloiden”) avulla.

Luonnollisen kiteen säännöllinen kidemuoto johtuu ja on ilmentymä mineraalirakeen sisäisen rakenteen säännönmukaisuudesta eli sen **kiteisestä olomuodosta**, jonka vastakohtia ovat **kaasumainen** ja **nestemäis-amorfinen olomuoto**, joissa olevan aineen atomeilla tai ioneilla ei ole säännönmukaista järjestystä.

Kullakin mineraalilajilla on yleensä vain sillä esiintyvä ja vain sille luonteenomainen kidemuoto, joka poikkeaa muiden mineraalien vastaavasta. Tästä johtuen kidemuoto on mineraalin tärkeä tuntomerkki. Havaitsemme nyt alussa mainitun luonnon määräämää geologian alan asioihin tutustumisen järjestystä koskevan väittämän olevan totta: koska kidemuoto on mineraalin tärkeä tuntomerkki, on kidetieteeseen tutustuttava ennen varsinaisen mineralogian opiskelun aloittamista. Ja edelleen: koska mineraalikoostumus puolestaan on kullekin kivilajille tärkeä tuntomerkki ja sen nimen määräävä ominaisuus, on mineraaleja ja mineralogaa opiskeltava ennen kuin siirrytään kivilajien pariin. Kivilajien tuntemus taas liittyy kiinteästi **geologisten prosessien (magmatismi, sedimentaatio ja metamorfoosi)** opiskeluun ja niiden ymmärtämiseen, minkä vuoksi suuria geologisia tapahtumia ja asiakokonaisuuksia voidaan opiskella vasta kidetieteen ja mineralogian perusteiden oppimisen jälkeen.



Kuva 1. Kaaviollinen esitys **maankuoren, kivilajimassiivien, kivilajien ja mineraalien** keskinäisistä suhteista.



Kuva 2. Luonnollisia kvartsikiteitä.

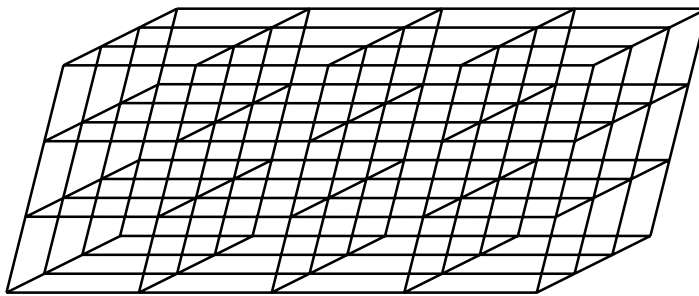
## I. KIDETIEDE

Geologian opiskelu aloitetaan lähes kaikissa maissa kide­tieteen (engl. *crystallography*; saks. *Kristallographie*) alkeiden opiskelulla. Geologian tutkimusalaan kuuluvat aineet, kiteet, mineraalit, maalajit ja kivet ovat valtaosaltaan kiteistä ainetta, ts. ne ovat kiteisessä olomuodossa. Monet niiden ominaisuuksista ovat ymmärrettävissä kiteisen olomuodon erikoispiirteiden tuntemisen avulla. Toisaalta kide­­tieteen alkeiden tuntemus tarjoaa eräänlaisen varsin käyttökelpoisen "kielen" (ns. "Millerin indeksikielen") käytettäväksi hyväksi varsin monilla geologian osa-alueilla (mm. mineralogia, kideoptiikka, rakennegeologia) tasojen ja suorien suuntien ilmaisemisessa. Nyt käsillä olevaan kurssiin sisältyvä osa kide­­tieteestä on lähinnä ns. **kidemorfologiaa**; kiteiden ominaisuuksista käsitellään pääasiassa niiden ulkonaisia piirteitä kuten esim. kidepintoja ja niiden välisiä

symmetriasuhteita. Pitemmälle viedyssä kidefysiikassa kiinnitetään huomiota kiteiden sisäisten rakenneosien, atomien ja atomiryhmien, keskinäisiin asemiin ja suoritetaan luokittelu sisäisen, silmälle näkymättömän rakennelman symmetriasuhteiden perusteella (ns. avaruusryhmät).

## I. 1. KITEINEN OLOMUOTO

Kiteisessä olomuodossa olevalle aineelle on erotuksena nestemäis-amorfisista ja kaasumaisista aineista luonteenomaista aineen sisäinen järjestys. Rakenneosat, atomit ja atomiryhmät, ovat säännönmukaisella tavalla järjestyksessä suhteessa muihin atomeihin ja atomiryhmiin. Kiteinen aine voidaan käsittää **tasaväliseksi avaruushilaksi** (engl. *lattice*, saks. *Gitter*) (kuva 3), jossa **massapisteiden** (engl. *lattice point*, saks. *Gitterpunkt*) voidaan ajatella sijaitsevan tasaisin välein suorilla, ns. **massapistejonoina**. Usean samassa tasossa olevan massapistejonon muodostama kokonaisuus sanotaan **verkkopinnaksi**. **Avaruushila** koostuu kolmesta tai neljästä toisiaan leikkaavasta massapistejonoparvesta. Yleisluonteista avaruushilaa edustaa pistejärjestö, joka koostuu kolmesta toisiaan vinosti leikkaavasta massapistejonosta, joilla kullakin on eripituinen pisteiden toistumaväli (= identiteettiväli 1. periodi).



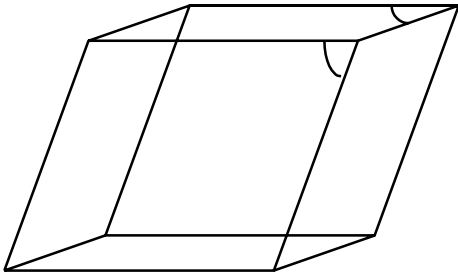
Kuva 3. Tasavälinen avaruushila

## I. 2. ALKEISKOPIT

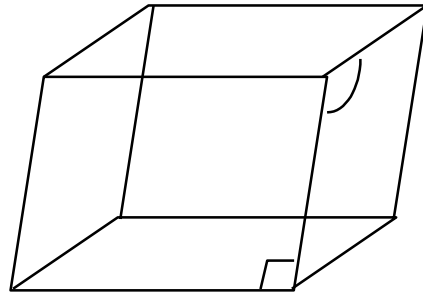
Avaruushilan kahdeksan (erikoistapauksessa 12) toisiaan lähinnä olevan pisteen rajoittamaa kappaletta sanotaan **alkeiskopiksi** (engl. *unit cell*, saks. *Elementarzell*).

Yleisluonteisen avaruushilan alkeiskoppi on vino suuntaissärmiö, jonka pinnat ovat suunnikkaita. Tällaista alkeiskoppia nimitetään **trikliiniseksi** ("kolme vinoa") (engl. *triclinic*, saks. *triklinisch*) alkeiskopiksi (kuva 4).

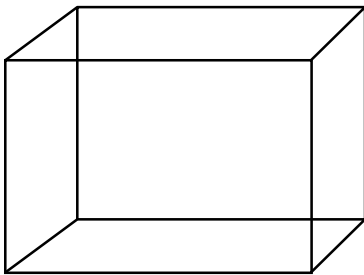
**Monokliiniseksi** (engl. *monoclinic*, saks. *monoklinisch*) alkeiskopiksi nimitetään sellaisen avaruushilan kahdeksan toisiaan lähinnä olevan pisteen rajoittamaa osaa, jossa hila koostuu kahdesta toisiaan vinosti leikkaavasta pistejonosta ja kolmannesta edellisten tasoa vastaan kohtisuorasta pistejonosta toistumavälien ollessa kullakin pistejonolla eripituisia. Alkeiskoppi on suuntaissärmiö, jossa on kaksi suunnikkaan muotoista ja neljä suorakaiteen muotoista pintaa (kuva 5).



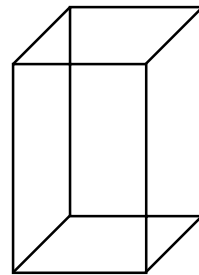
Kuva 4. Trikliininen alkeiskoppi.



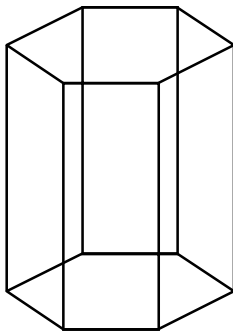
Kuva 5. Monokliininen alkeiskoppi.



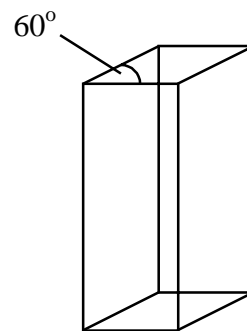
Kuva 6. Rombinen alkeiskoppi.



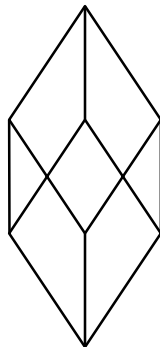
Kuva 7. Tetragoninen alkeiskoppi.



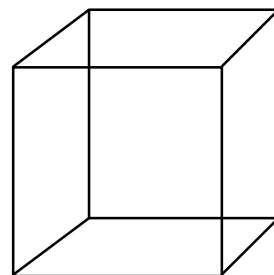
Kuva 8. 4-akselinen heksagoninen alkeiskoppi.



Kuva 9. 3-akselinen heksagonisen alkeiskoppi



Kuva 10. Trigoninen eli romboedrinen alkeiskoppi



Kuva 11. Kuutiollinen alkeiskoppi.

**Rombinen** (engl. *orthorhombic*, saks. *rhombsch*) alkeiskoppi edustaa pistejärjestä, joka koostuu kolmesta toisiaan vastaan kohtisuorasta massapistejonosta. Pisteiden toistumaväli kullakin suoralla on eripituinen (kuva 6).

**Tetragoniseksi** (engl. *tetragonal*, saks. *tetragonal*) alkeiskopiksi nimitetään sellaisen hilan kahdeksan toisiaan lähinnä olevan pisteen rajoittamaa osaa, jossa kolme massapistejonoa leikkaa toisiaan suorin kulmin ja kahdessa massapistejonossa toistumaväli on keskenään samansuuruinen ja kolmannessa eripituinen kuin kahdella muulla (kuva 7).

**Heksagoninen** (engl. *hexagonal*, saks. *hexagonal*) alkeiskoppi johdetaan pistejärjestöstä, joka koostuu samassa tasossa toisiaan  $120^\circ$  kulmavälein leikkaavista kolmesta massapistejonosta, joissa kaikissa on sama toistumaväli sekä neljänestä edellisten tasoa vastaan kohtisuorasta pistejonosta, jossa pisteiden toistumaväli on eripituinen kuin kolmessa muussa. Alkeiskopin poikkileikkaus on säännöllinen kuusikulmio (kuva 8). Vaihtoehtoisesti heksagonisen alkeiskopin voidaan ajatella koostuvan kahdesta toisiaan  $120^\circ$  kulmavälein leikkaavasta massapistejonosta, joissa on sama toistumaväli sekä kolmannesta näiden muodostamaa tasoa vastaan kohtisuorasta pistejonosta, jossa on eri toistumaväli kuin kahdessa muussa. Näin määritelty heksagoninen alkeiskoppi on kooltaan  $1/3$  ensimmäisen määritelmä mukaisesta (kuva 9). Edellä kuvatuista edellinen eli 4-akselinen heksagoninen alkeiskoppi on käyttökelpoisempi kiteiden ulkoista symmetriää käsiteltäessä.

**Trigoninen** eli **romboedrinen** (engl. *rhombohedral*, saks. *trigonal*) alkeiskoppi on hilalla, joka koostuu kolmesta toisiaan vinosti leikkaavasta massapistejonosta, joissa kaikissa on saman pituinen pisteiden toistumaväli. Alkeiskoppi on kuusitahokas, jonka jokainen sivu on vinoneliö. Tällaista kappaletta nimitetään geometriassa ja kide-tieteessä **romboedriksi** (kuva 10).

**Kuutiollinen** (engl. *isometric*, saks. *kubisch*) alkeiskoppi edustaa hilaa, joka koostuu kolmesta toisiaan vastaan kohtisuorasta massapistejonosta, joilla kaikilla on sama massapisteen toistumaväli. Alkeiskoppi on kuutio (kuva 11).

### I. 3. KIDEJÄRJESTELMÄT

Kukin edellä johdetuista alkeiskopeista edustaa ns. **kidejärjestelmää** (engl. *crystal system*, saks. *Kristallsystem*). Kidejärjestelmiä on siis seitsemän. Kaikki luonnossa esiintyvät kiteet voidaan luokitella johonkin näistä ryhmistä eli kidejärjestelmistä. Kiteet ovat kuitenkin vain harvoin alkeiskoppien muotoisia ja paljain silmin tapahtuvan tutkimuksen perusteella ei voida sanoa millainen massapistejärjestö ja niin muodoin alkeiskoppi tutkittavalla kiteellä on. Luokittelun täytyy käytännössä perustua johonkin muuhun seikkaan. Kuten jäljempänä tullaan näkemään, on tämä luokitteluperuste **symmetria**. Kunkin kidejärjestelmän kaikilla esiintyvillä ja ajateltavissa olevilla **täysilukuisilla** kiteillä on nimittäin samanlainen symmetria kuin järjestelmän alkeiskopilla.

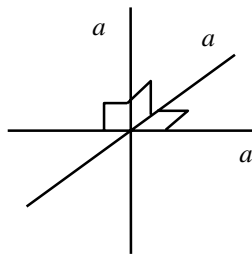
Taulukko 1. Kidejärjestelmät

1. kuutiollinen	5. rombinen
2. heksagoninen	6. monokliininen
3. trigoninen l. romboedrinen	7. trikliininen
4. tetragoninen	

### I. 3. 1. Akseliristikot

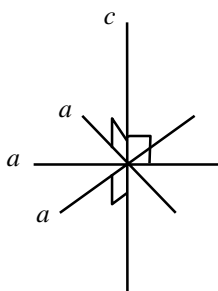
Tasojen, pintojen ja suorien suuntien ilmaisemiseksi on kide­­tieteessä luotu koordinaattijärjestelmä, jonka sovellutuksia ovat jatkossa selviävät **parametrisuhteet** ja **Millerin indeksit**. Yhdenmukaisen ja käyttökelpoisen järjestelmän aikaansaamiseksi on aluksi määriteltävä koordinaattijärjestelmän **akseliristikot** (engl. *crystallographic coordinate system*, saks. *Achsensystem, Achsenkreuz*). Käyttökelpoimmiksi ovat osoittautuneet yleensä alkeiskopin särmäsuunnat (särmä = kahden pinnan leikkausviiva). Trigonisen järjestelmän kohdalla tehdään kuitenkin poikkeus ja valitaan sen akseliristikoksi samanlainen akseliristikko kuin heksagonisessakin järjestelmässä. Näin määriteltynä akseliristikkoja on siis kuusi:

1. Kuutiollinen akseliristikko. Kolme toisiaan vastaan kohtisuoraa yhtä pitkää akselia l. kideakselia, joista kutakin merkitään symbolilla  $a$  (kuva 12).



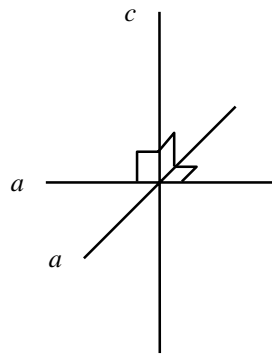
Kuva 12. Kuutiollinen akseliristikko.

2. Heksagoninen ja trigoninen akseliristikko. Akseliristikossa on kolme yhtä pitkää toisiaan 120 (60) asteen välein samassa tasossa leikkaavaa kideakselia ( $a$ ) ja neljäs eripituinen edellisten tasoa vastaan kohtisuora kideakseli, ns. pääakseli ja/tai pystyakseli  $c$  (kuva 13).



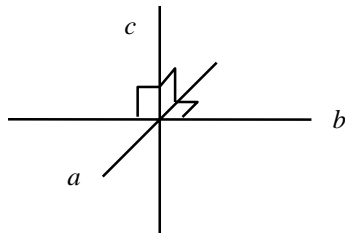
Kuva 13. Heksagoninen ja trigoninen akseliristikko.

3. Tetragoninen akseliristikko. Akseliristikossa on kolme toisiaan vastaan kohtisuoraa akselia l. kideakselia, joista kaksi on keskenään yhtä pitkää ( $a$ -akselit) ja kolmas eripituinen  $c$ -akseli. Viimeksi mainittu on ns. pääakseli tai pystyakseli (kuva 14).



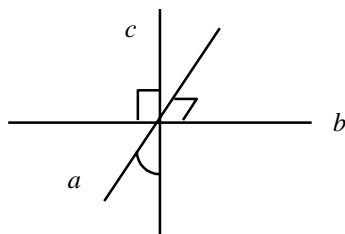
Kuva 14. Tetragoninen akseliristikko.

4. Rombinen akseliristikko. Kolme eripituista kideakselia toisiaan vastaan kohtisuorassa. Akseleita merkitään symbolein  $a$ ,  $b$  ja  $c$ . Akseleista  $b$  on pitempi kuin  $a$ . Tästä syystä  $b$ -akselia nimitetäänkin makroakseliksi ja  $a$ -akselia brakyakseliksi (kr. *brakhys*, lyhyt). Pystyakseli nimitys koskee  $c$ -akselia (kuva 15).



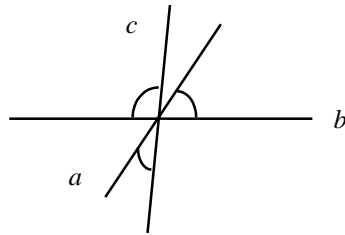
Kuva 15. Rombinen akseliristikko.

5. Monokliininen akseliristikko. Kaikki kolme kideakselia  $a$ ,  $b$  ja  $c$  ovat eripituisia. On tapana valita  $b$ -akseli  $a$ - $c$ -tasoa vastaan kohtisuoraan. Kulma  $a \nabla c$  on vino. Akselia  $b$  nimitetään edellä sanotusta syystä ortoakseliksi (kr. *orthos*, suora) ja  $a$ -akselia klinoakseliksi (kr. *klino*, vietto). Pystyakseliksi sanotaan  $c$ -akselia (kuva 16).



Kuva 16. Monokliininen akseliristikko.

6. Trikliininen akseliristikko. Kolme kideakselia  $a$ ,  $b$  ja  $c$ . Akselit ovat eripituisia ja leikkaavat toisiaan vinosti (kuva 17).



Kuva 17. Trikliininen akseliristikko.

Trigoninen akseliristikko voidaan määritellä myös heksagonisesta poikkeavalla tavalla kolmeakselisena. Tällöin akseliristikon muodostaa kolme yhtäpitkää toisensa samalla vinolla, alle  $120^\circ$  kulmalla leikkaavaa  $a$ -akselia, jotka asettuvat alkeiskopin särmäsuuntien mukaisesti. Tällä kurssilla näin määriteltyä trigonista akseliristikkoa ei kuitenkaan käytetä.

#### I. 4. SYMMETRIA

Kiteiden sisäinen järjestys ilmenee säännönmukaisuutena niiden ulkonaisissa muodoissa. Edellä esitettyjä alkeiskoppeja ja myöhemmin esille tulevia luonnon kiteitä jäljitteleviä kidemalleja tarkastelemalla voi helposti panna merkille, että ne ovat säännönmukaisella tavalla kokoonpantuja. Säännönmukaisuus ilmenee **toistuvuutena**; samanmuotoiset ja -kokoiset pinnat toistuvat eri paikoissa kidettä. Toistuvuus on **symmetriaa**.

##### I. 4. 1. Peiteoperaatiot ja symmetriaelementit

Kiteiden pisteitä (esim. soppi), särmiä, pintoja jopa puolikkaita saadaan toistamaan itsensä eri paikkaan kiteessä tai alkuasennon kanssa samanlaiseen asentoon ns. **peiteoperaatioilla** (engl. *symmetry operations*, saks. *Symmetrioperationen*, *Deckoperationen*) Peiteoperaatioita voidaan erottaa:

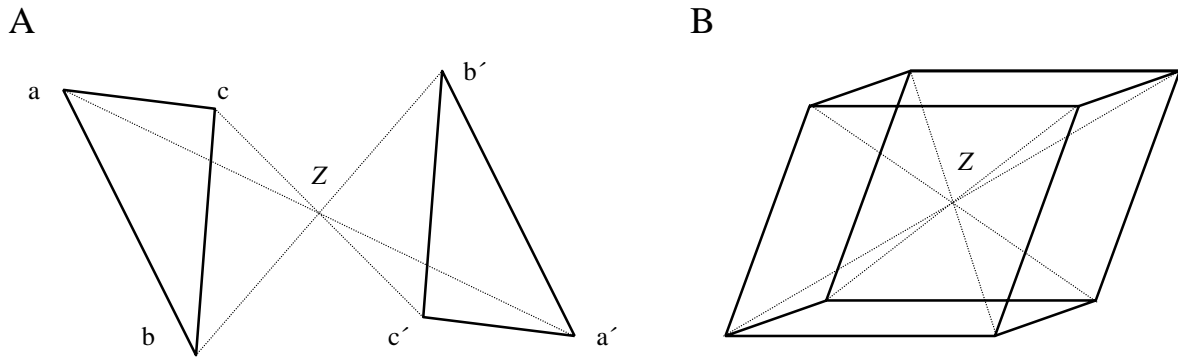
1. inversio
2. kuvastus
3. kierto
4. kiertoinvertio ja
5. kiertokuvastus.

Näistä kolme ensimmäistä ovat yksinkertaisia ja kaksi viimeistä yhdistettyjä peiteoperaatioita. Tällä kurssilla paneudutaan ainoastaan yksinkertaisiin peiteoperaatioihin. Jokaiseen peiteoperaatioon liittyy piste, taso tai suora, jonka suhteen peiteoperaatio on suoritettu. Tällaista pistettä, tasoa tai suoraa sanotaan **symmetriaelementiksi** (engl. *element of symmetry*, saks. *Symmetrieelement*).



### I. 4. 1. 1. Inversio ja symmetriakeskus

**Inversio** (engl. *inversion*, saks. *Inversion*) on peiteoperaatio, jonka yhteydessä kukin kiteen pisteistä on toistettu keskipisteen toiselle puolelle yhdistämällä piste ensiksi keskipisteeseen ja jatkamalla yhdistysjanaa keskipisteen ohi yhdistysjanan pituuden verran (kuva 18).



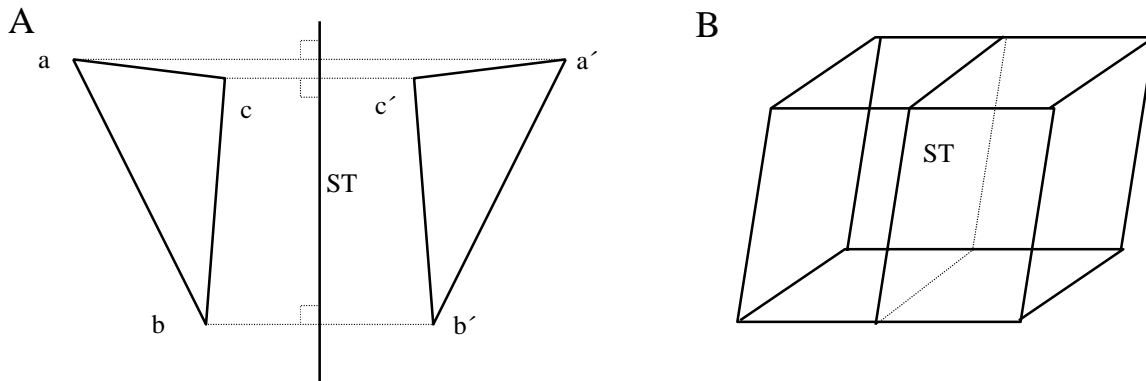
Kuva 18. Inversio. A) Yhden tason ( $abc$ ) toistuminen inversion avulla tasoksi  $a'b'c'$ .  
B) kiteen kaikkien tasojen toistuminen.

Inversion yhteydessä sanotaan pistettä, jonka suhteen operaatio suoritetaan, **symmetriakeskukseksi** ( $Z$ ) (engl. *center of symmetry*, saks. *Symmetriezentrum*, *Inversionszentrum*).

Kiteillä, joiden kaikki osat suhtautuvat toisiinsa ikäänkuin ne olisi pareittain johdettu inversion kautta toisistaan, sanotaan olevan symmetriakeskus (kuva 18B). Symmetriakeskus on siis eräs symmetriaelementti. Symmetriakeskuksen olemassaolo kiteessä ilmenee myös niin, että jokaisella pinnalla on kiteen vastakkaisella puolella yhdensuuntainen vastinpinta.

### I. 4. 1. 2. Kuvastus ja symmetriataso

On varsin tavallista, että kiteen keskipisteen kautta voidaan ajatella asetetuksi taso, joka jakaa kiteen kahteen toisiinsa peilikuvan tavoin suhtautuvaan puolikkaaseen. Samassa kiteessä saattaa olla useita mahdollisuuksia tällaisten tasojen asettamiselle. Tällaisissa tapauksissa voidaan ajatella kiteen toinen puolisko kokonaisuudessaan piste pisteeltä ja pinta pinnalta tapahtuneen **kuvastuksen** (engl. *reflection*, saks. *Spiegelung*) kautta toisesta puoliskosta johdetuksi tai toistetuksi. Peiteoperaatio kuvastuksen yhteydessä ajatellaan kiteen toisen puoliskon pisteet toistetuiksi kiteen keskipisteen kautta kulkevaa tasoa vastaan kohtisuorilla janoilla yhtä kauas tason toiselle puolelle (kuva 19).

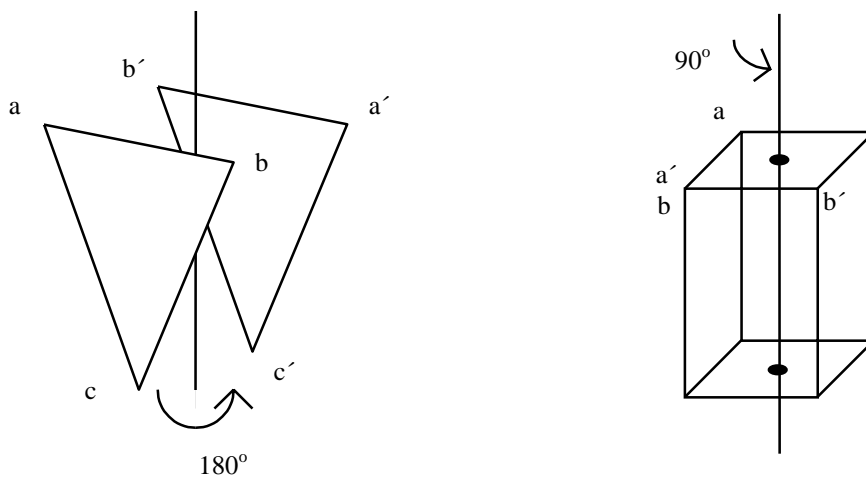


Kuva 19. Kuvastus ja symmetriataso. A) Tason abc kuvastuminen symmetriatason (ST) kautta. B) Kiteen kaikkien osien toistuminen symmetriatason avulla. Kiteen toinen puoli on toisen peilikuva.

Tasoa, jonka suhteen kuvastus on suoritettu, sanotaan **symmetriatasoksi** (ST tai *m*) (engl. *mirror plane*, saks. *Spiegelebene*, *Symmetrieebene*). Symmetriataso on siis eräs symmetria-elementeistä. Kiteillä, joiden kaikki osat suhtautuvat pareittain toisiinsa ikäänkuin ne olisi johdettu toinen toisistaan kuvastuksen kautta, sanotaan olevan symmetriataso.

#### I. 4. 1. 3. Kierto ja kiertoakseli

Kiteissä on lukuisissa tapauksissa keskipisteen kautta kulkevia suoria, joiden ympäri kiteitä pyöritettäessä kite joutuu alkuasennon kanssa samanlaiseen asentoon useammin kuin yhden kerran täyskierröksellä (kuva 20).



Kuva 20. Peiteoperaatio kierto.

Toistuminen alkuasennon kanssa identtiseen asentoon merkitsee, että kiteen pisteet ja pinnat voidaan ajatella johdetuiksi tietyistä lähtöpisteistä ja pinnoista peiteoperaatio **kierron** (engl. *rotation*, saks. *Drehung*) kautta. Kierron yhteydessä lähtöpinta toistetaan kiteen keskipisteen kautta kulkevan suoran ympäri pyörittämällä eri paikkoihin. Toistuminen voi tapahtua 180, 120, 90 ja 60 asteen välein. Suoraa, jonka ympäri pyörittämällä toistaminen on tehty, sanotaan

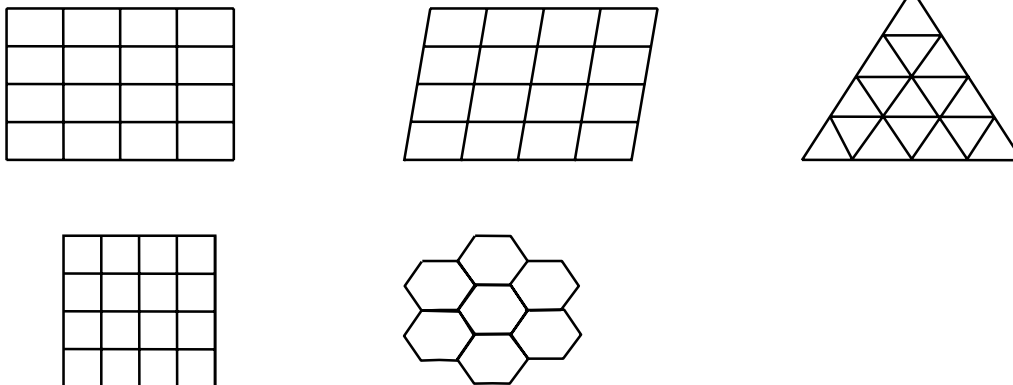
**kiertoakseliksi** (gyyri) (engl. *rotation axis*, saks. *Drehachse*, *Gyre*). Toistaminen tapahtuu 2, 3, 4 tai 6 kertaa täyskierroksella. Toistokertojen määrää sanotaan kiertoakselin **lukuisuudeksi**. Lukuisuuden perusteella voidaan erottaa:

kaksilukuinen kiertoakseli 1. digyyri
kolmilukuinen kiertoakseli 1. trigyyri
nelilukuinen kiertoakseli 1. tetragyyri
kuusilukuinen kiertoakseli 1. heksagyyri.

On mielenkiintoista panna merkille, että kiteissä ei ole muunlukuisia kiertoakseleita kuin yllämainitut. Esim. 5- tai 7-lukuista kiertoakselia ei kiteissä esiinny. Tämän voi ajatella johtuvan siitä että kiertoakselin olemassaolo merkitsee sitä, että sitä vastaan kohtisuorassa oleva kidehilan verkkopinta koostuu kiertoakselin lukuisuuden edellyttämistä kuvioista, joita ovat:

digyyri $\Rightarrow$ suunnikas, suorakaide
trigyyri $\Rightarrow$ tasasivuinen kolmio
tetragyyri $\Rightarrow$ neliö
heksagyyri $\Rightarrow$ säännöllinen kuusikulmio.

Verkkopinnan tulee olla aukoton. Aukkoja sisältävät verkkopinnot ovat ilmeisesti luonnossa pysymättömiä. Ainoastaan ylläluetellut kuviot pystytään asettamaan vierekkäin siten, että syntyy aukoton verkkopinta ja tästä syystä kiteissä esiintyy ainoastaan mainitunlaisia kiertoakseleita. Aukottomat verkkopinnot on esitetty kuvassa 21.



Kuva 21. Kiteiden aukottomat verkkopintatyypit.

Kiteet, joiden kaikki pinnat suhtautuvat toisiinsa ikäänkuin ne olisi johdettu kierron kautta lähtöpinnasta (lähtöpinoista), sisältävät kiertoakselin.

Kiertoakselin olemassaolo kiteessä ilmenee myös siten, että sen ympäri kidettä pyöritettäessä kide asettuu alkuasennon kanssa samanlaiseen asentoon useammin kuin kerran täyskierroksella.

Teoriassa voidaan kuvitella olevan myös 1-lukuinen kiertoakseli, joka toistaisi kiteen kaikki pinnat takaisin alkuperäiselle paikalleen 360 asteen kierron jälkeen. Tällaisen akselin olemassaolo johtaa ns. **vajaalukuisen** trikliiniseen symmetrialuokkaan, joita emme käsittele tällä kurssilla.

#### I. 4. 1. 4. Kiertoinvertio

**Kiertoinvertio** (engl. *rotoinversion*, saks. *Inversiondrehung*) on nimensä mukaisesti kierron ja inversion yhdistelmä. Kiertoinvertion yhteydessä voidaan ajatella lähtöpintaa toistettavan toiseen paikkaan kiteessä siten, että pinta ajatellaan ensin pyöritetyksi jonkin akselin ympäri 60, 90, 120, 180 tai 360 astetta ja sitten siirrettyksi inversion avulla kiteen vastakkaiselle puolelle. Vaikka kiertoinvertio, ja jäljempänä käsiteltävä kiertokuvastus eivät kuulukaan tämän kurssin piiriin, annamme niistä tässä lyhyen kuvauksen ns. vajaalukuisista symmetrialuokista kiinnostuneita varten.

Kiertoinvertioon liittyvää symmetriaelementtiä voidaan kutsua **kiertoinvertioakseliksi** tai **invertioakseliksi**. Invertioakseli on se akseli, jonka ympäri kiertoinvertioon liittyvä kierto tehdään.

Yksilukuisen kiertoinvertion vaikutus on sama kuin inversion. Kaksilukuisen kiertoinvertion vaikutuksesta kiteeseen syntyy kiertoinvertioakselia vastaan kohtisuora symmetriataso, minkä vuoksi kaksilukuista kiertoinvertioakselia ei voida pitää itsenäisenä symmetriaelementtinä. Kolmilukuisen kiertoinvertion vaikutus on sama kuin kolmilukuisen kiertoakselin ja inversion yhdistelmällä. Nelilukuinen kiertoinvertioakseli puolestaan saa aikaan kahden siihen yhtyvän symmetriatason syntymisen. Kuusilukuisen kiertoinvertion vaikutus on sama, kuin kolmilukuisen kiertoakselin ja sitä vastaan kohtisuoran symmetriatason.

#### I. 4. 1. 5. Kiertokuvastus

**Kiertokuvastus** (engl. *rotoreflexion*, saks. *Drehspielung*) on nimensä mukaisesti peiteoperaatio, joka on kierron ja kuvastuksen yhdistelmä. Kiertokuvastuksen yhteydessä voidaan ajatella lähtöpintaa toistettavan toiseen paikkaan kiteessä siten, että pinta ajatellaan ensin pyöritetyksi jonkin akselin ympäri 60, 90, 120, 180 tai 360 astetta ja sen jälkeen heijastetuksi pyöritysakselia vastaan kohtisuoran tason toiselle puolelle.

Kaksilukuisen kiertokuvastusakselin vaikutus on sama kuin symmetriakeskuksen. Tästä syystä siitä ei yleensä puhuta itsenäisenä symmetriaelementtinä. Kolmilukuisen kiertokuvastusakselin sisältävissä kiteissä on samalla siihen yhtyvä trigyyri ja sitä vastaan kohtisuora symmetriataso. Tämän operaation vaikutus on siis täsmälleen sama kuin kuusilukuisen kiertoinvertion.

Nelilukuisen kiertokuvastuksen vaikutus on puolestaan täsmälleen sama kuin nelilukuisen kiertoinvertion. Kuusilukuisen kiertokuvastusakselin sisältävissä kiteissä on samalla siihen yhtyvä trigyyri sekä symmetriakeskus, joten tämän operaation vaikutus on sama kuin kolmilukuisen kiertoinvertioakselin.

Myös 1-lukuisen kiertokuvastusakselin voi kuvitella olevan olemassa. Sen vaikutus olisi kuitenkin sama kuin ko. akselia vastaan kohtisuoran symmetriatason.

Edellä esitetyn valossa kiertokuvastus ei ole tarpeen vajaalukuistenkaan kiteiden symmetriaa tarkasteltaessa, vaan se voidaan hylätä itsenäisenä peiteoperaationa.

## I. 5. SYMMETRIAN MÄÄRÄ ERI KIDEJÄRJESTELMISSÄ

Kuten aikaisemmin mainittiin, voidaan kiteet luokitella kidejärjestelmiin symmetrian perusteella. Symmetriaelementtien määrä eri kidejärjestelmissä on erilainen. Saman kidejärjestelmän puitteissa on kuitenkin symmetriaelementtien määrä sama ja samalla yhtä suuri kuin järjestelmän alkeiskopilla. (Tarkasti ottaen tämä koskee vain ns. **holoedrisiä eli täysilukuisia** kiteitä, joita tämä kurssi koskee; vrt. kohta I. 14. 2.)

Symmetriaelementtien määrä eri kidejärjestelmissä on koottu taulukkoon 2. Symmetriaelementeistä on käytetty niiden vakiintuneita symboleita, jotka ovat: ST = symmetriataso,  $\hexagon$  = heksagyyri,  $\square$  = tetragyyri,  $\triangle$  = trigyyri, 0 = digyyri, Z = symmetriakeskus.

Taulukko 2. Symmetriaelementtien määrä kunkin kidejärjestelmän täysilukuisissa kiteissä.

Kidejärjestelmä	ST	$\hexagon$	$\square$	$\triangle$	0	Z
Kuutiollinen	9	0	3	4	6	1
heksagoninen	7	1	0	0	6	1
trigoninen	3	0	0	1	3	1
tetragoninen	5	0	1	0	4	1
rombinen	3	0	0	0	3	1
monokliininen	1	0	0	0	1	1
trikliininen	0	0	0	0	0	1

## I. 6. AKSELISUHTEET

Alkeiskopin sivujen pituudet ovat kullekin mineraalille ominaiset vakiot. Samaan kidejärjestelmään kuuluvilla eri mineraaleilla on yleensä eri pituiset toistumavälit hilan muodostavissa massapistejonoissa. Luonnon mineraaleilla toistumaväli on suuruusluokkaa  $10^{-8}$  cm (=Å, ångström). Myöskin massapistejonojen väliset kulmat saattavat olla eri suuruiset eri mineraaleilla monokliinisessä ja trikliinisessä kidejärjestelmässä. Kun toistumaväliden suuruus voi vaihdella, vaihtelee siis myöskin alkeiskopin särmän (ja sen puolikkaan) pituus.

Kideakseleiden pituudeksi valitaan kyseisen mineraalin hilan alkeiskopin särmien pituudet. Näiden pituuksien suhdetta toisiinsa sanotaan **akselisuhteeksi** (engl. *axial ratio*, saks *Achsenverhältnis*). Kuutiollisilla mineraaleilla on siten aina akselisuhde 1:1:1. Muilla on esim. röntgensäteiden avulla suoritetun tutkimuksen perusteella ilmoitettavissa akselisuhde esim. seuraavasti:

- heksagoninen hanksiitti  $c:a = 1:2.02$
- rombinen kaledoniitti  $a:b:c = 0.356:1.0:326$

Akselisuhde siis tarkoittaa hilan kideakseleiden suuntaisten toistumaväliden suhdetta.

## I. 7. PARAMETRISUHTEET

**Parametrien** (engl. *parameters*, saks. *Achsenabschnitte*) ja **parametrisuhteen** avulla pyritään ilmaisemaan kidepinnan asento akseliristikkoon nähden. Parametrisuhde on eräänlainen

välivaihe **Millerin indeksejä** muodostettaessa. Seuraavassa luvussa esitetään kuinka Millerin indeksit muodostetaan parametrisuhteesta.

**Määritelmä:** Jonkin kidepinnan **parametrisuhde** on pinnan tai sen jatkeen sekä määrättyssä järjestyksessä tarkasteltujen kideakseleiden (tai niiden jatkeiden) leikkausetäisyyksien suhde toisiinsa mitattuna kunkin akselin yksikköpituudella.

Milloin kidepinta ei parametrisuhdetta muodostettaessa leikkaa mitään kideakselia yhden yksikköpituuden päässä on pintaa ajateltava siirretyksi siten, että sen suunta säilyy, sellaiseen asemaan, että se leikkaa jotakin kideakselia yhden yksikköpituuden päässä.

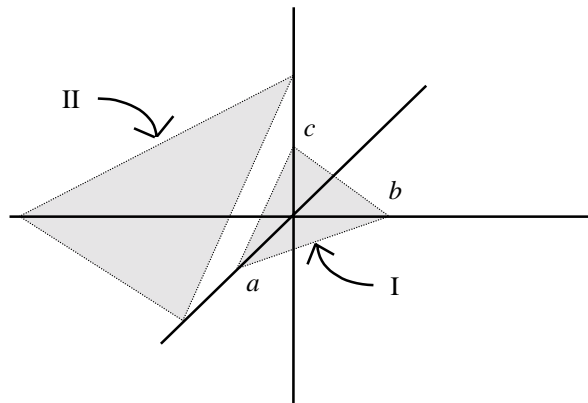
Milloin pinta ja kideakseli ovat yhdensuuntaiset merkitään leikkausetäisyyttä  $\infty \times$  yksikköpituus.

Akseleiden yksikköpituudet määräytyvät alkeiskopin särmien pituuksien pohjalta ja riippuvat siis akselisuhteesta. Koska käytännössä paljain silmin tapahtuvassa tutkimuksessa ei voida soveltaa mineraalien todellisia akselisuhteita, saadaan kidemalliopiskelussa valita akselien yksikköpituudet vapaasti, mutta kuitenkin tietysti niin, että valitut yksikköpituudet akseliristikkona toteuttavat kyseisen järjestelmän akseliristikon määritelmän (esim. eripituisiksi määritetyillä akseleilla eripituiset yksikköpituudet; valittua yksikköpituutta ei tietenkään kesken saman kiteen käsittelyn saa muuttaa). Kidemalliopiskelussa kannattaa akselien yksikköpituudeksi usein valita särmäpituuden puolikas.

Parametrisuhteista on voimassa ns. **rationaalisten parametrisuhteiden laki** (engl. *law of rational parameters*):

Jos kiteessä jonkin pinnan parametrisuhde voidaan ilmaista suhteella  $1a:1b:1c$  voidaan kaikkien muiden saman kiteen pintojen parametrisuhde ilmaista suhteena  $ma:nb:pc$ , jossa  $m$ ,  $n$  ja  $p$  ovat rationaalilukuja.

Esimerkiksi jos kuvassa 22 pinnan I, parametrisuhde on  $1a:1b:1c$  niin pinnan II parametrisuhde on  $ma:nb:pc$  jne. Pinnan I parametrisuhteessa lukuja 1, 1 ja 1 sekä pinnan II parametrisuhteessa lukuja  $m$ ,  $n$ , ja  $p$  sanotaan **parametrikertoimiksi**. Rationaalisten parametrisuhteiden laista seuraa, että myöhemmin niin sanottuja Millerin indeksejä muodostettaessa indekseiksi saadaan kokonaislukuja.



Kuva 22. Rationaalisten parametrisuhteiden laki. Pinnan I parametrisuhde on  $1a:1b:1c$  ja pinnan II  $ma:nb:pc$ , jossa  $m$ ,  $n$  ja  $p$  ovat rationaalilukuja.

Yhdenmukaisen ja yksiselitteisen parametrisuhteen muodostamistavan luomiseksi tarvitaan eräitä sopimuksenluontoisia “kielipykälä” akseliristikon sijoituksesta, merkkisäännöistä jne.

### I. 7. 1. Akseliristikoiden sijoitus

Kideakselit sidotaan tällä säännöllä tiettyihin symmetriaelementteihin. Sääntö annetaan taulukon 3 muodossa; merkki x tarkoittaa, että kideakseli yhtyy sarakkeen yläreunassa mainittuun symmetriaelementtiin.

Taulukko 3. Kideakseleiden sijoittuminen suhteessa symmetriaelementteihin kussakin kidejärjestelmässä.

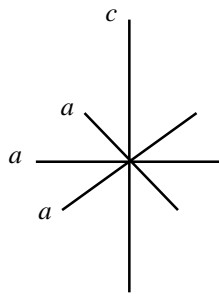
Kidejärjestelmä	sijoitettava akseli	◇	□	△	0
kuutiollinen	<i>a</i>		x		
heksagoninen	<i>a</i>				x
	<i>c</i>	x			
trigoninen	<i>a</i>				x
	<i>c</i>			x	
tetragoninen	<i>a</i>				x
	<i>c</i>		x		
rombinen	<i>a</i>				x
	<i>b</i>				x
	<i>c</i>				x
monokliininen	<i>b</i>				x

Monokliinisten kiteiden *a*- ja *c*-akselit sijoitetaan symmetritasoon vallitsevien särmäsuuntien mukaisiksi. Trikliinisten kiteiden kideakselit *a*, *b* ja *c* sijoitetaan vallitsevien särmäsuuntien mukaisiksi.

### I. 7. 2. Tarkastelutapa

Parametrisuhdetta ja edelleen Millerin indeksejä muodostettaessa asetetaan kide siihen sijoitetuksi ajatelluin kideakselein katsojaan nähden niin, että

- 3-akselisissa kidejärjestelmissä (kuutiollinen, tetragoninen, rombinen, monokliininen ja trikliininen) *a*-akseli (tai yksi *a*-akseleista) on likimain katseen suuntainen ja *c*-akseli (tai kuutiollisissa yksi *a*-akseleista) pystyssä
- 4-akselisissa kidejärjestelmissä (heksagoninen ja trigoninen) katse on kahden *a*-akselin välisen kulman puolittajan suuntainen *c*-akselin ollessa pystyssä (kuva 23).



Kuva 23. Heksagonisen ja trigonisen akseliristikon tarkastelutapa.

### I. 7. 3. Tarkastelujärjestys

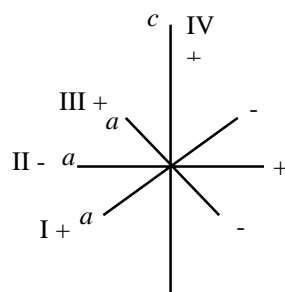
Parametrisuhdetta ja edelleen Millerin indeksejä muodostettaessa on sovittava myös siitä, missä järjestyksessä leikkausetäisyyksiä eri akseleilla tai niiden jatkeilla tarkastellaan. Niinpä

- a) 3-akselisissa kidejärjestelmissä tarkastellaan ensimmäisenä (likimain) katseen suuntaista akselia ja viimeisenä pystyakselia.
- b) 4-akselisissa kidejärjestelmissä tarkastellaan ensinnä katsojan vasemmalla puolella olevaa  $a$ -akselia ja siitä edetään myötäpäivään. Viimeisenä tarkastellaan  $c$ -akselia (kuva 21).

### I. 7. 4. Merkkisäännöt

Positiivisen ja negatiivisen etumerkin käytöllä niin parametrisuhteissa kuin Millerin indekseissäkin pystytään ilmaisemaan leikkaako tutkittava pinta kideakselia edessä vai takana, oikealla vai vasemmalla sekä ylhäällä vai alhaalla. Tämän vuoksi on sovittu, että

- a) 3-akselisissa akseleiden positiiviset päät ovat edessä (katsojaa lähinnä), oikealla ja ylhäällä olevat päät
- b) 4-akselisissa vasemmalla oleva  $a$ -akselin pää on positiivinen, siitä joka toinen myötä- tai vastapäivään negatiivinen, joka toinen positiivinen.  $c$ -akselin yläpää on positiivinen (kuva 24).



Kuva 24. Heksagonisen ja trigonisen akseliristikon tarkastelujärjestys ja merkkisäännöt.



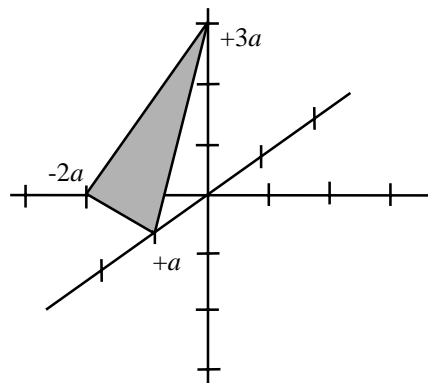
## I. 8. MILLERIN INDEKSIT

### I. 8. 1. Yksittäisten pintojen indeksit

Millerin indeksit (engl. mineralogi William H. Miller; 1801-1880) johdetaan parametrisuhteesta seuraavien sääntöjen avulla:

- Millerin indeksit ovat osoittajina olevat luvut kun parametrikertoimien käänteisarvot on tehty samannimisiksi.
- Parametrierrointa  $\infty$  vastaa Millerin indeksi 0.
- Indeksit kirjoitetaan peräkkäin ilman välimerkkejä ja luetaan esim. yksi, kaksi, nolla (=120). Negatiivinen etumerkki kirjoitetaan indeksin päälle (esim.  $\bar{1}20$ ).
- Yleisessä muodossa olevia parametrikertoimia  $m$ ,  $n$ ,  $p$  ja  $q$  vastaavat yleisessä muodossa olevat Millerin indeksit  $h$ ,  $k$ ,  $l$  ja  $i$ .

Esimerkki: Kuvassa 25 kuutiolliseen akseliristikoon sijoittuvalla pinnalla on parametrisuhde  $1a:-2a:3a$  ja parametrikertoimien käänteisarvot ovat tällöin  $\frac{1}{1}$ ,  $-\frac{1}{2}$  ja  $\frac{1}{3}$ . Nimittäjien pienin yhteinen jaettava on 6 ja parametrikertoimien käänteisarvot tällöin samannimisinä  $\frac{6}{6}$ ,  $-\frac{3}{6}$  ja  $\frac{2}{6}$ , joten Millerin indeksit ovat  $\bar{6}32$ .

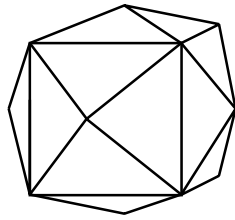


Kuva 25. Esimerkki Millerin indeksien määrittämisestä pinnalle  $\bar{6}32$ .

## I. 9. PINTAMUODON KÄSITE

Yksittäisten kidepintojen indeksien muodostamisen avulla voidaan edellä opittuja tietoja soveltamalla kuvata erillisten pintojen sijaintia ja asentoa akseliristikoon nähden. Esim. maininta tai merkintä 210 kuutiollinen saa "kielen" hallitsijan ajattelemaan tietyllä tavoin akseliristikoon suhtautuvaa tasoa ilman, että piirrosta tason sijainnista esitetään. Tässä piileekin Millerin indeksien käyttökelpoisuus. Erityisen käytökelpoisiksi ja näppäriksi osoittautuvat Millerin indeksit useista yksittäisistä pinnoista koostuvien pintakokonaisuuksien

kuvaajina, jolloin esim. maininta: kuutiollinen suluissa  $210 [= (210)]$  saa kuulijan tai lukijan ajattelemaan kuvassa 26 esitettyä kappaletta.



Kuva 26. Kuutiollinen (210)

Edellä kuvattu taito saavutetaan tässä ja seuraavassa luvussa (I. 10) opittavia tietoja soveltamalla. Ensimmäisenä vaiheena päämäärän saavuttamisessa voidaan pitää **pintamuodon** käsitteen ymmärtämistä.

Kiteitä ja kidemalleja tarkasteltaessa voidaan panna merkille, että niissä saattaa olla useita keskenään samanmuotoisia ja -kokoisia yksittäisiä pintoja. Saattaapa koko kide koostua vain yhdestä sarjasta samanlaisia kidepintoja, kun taas joskus kiteessä näyttää olevan kaksi tai kolme tai useampiakin erilaisia ryhmiä keskenään samanlaisia pintoja. Edellä kuvassa 26 näimme kiteen, joka koostuu pinnoista, jotka ovat kaikki keskenään samanlaisia kolmioita.

Keskenään samanlaisten yksittäisten pintojen indeksejä tarkasteltaessa voidaan panna merkille, että ne ovat keskenään samantapaisia. Ne ovat toisistaan johdettavissa etumerkkejä vaihtelemalla sekä indeksien keskinäistä järjestystä muuttamalla. Esim. kuvassa 26 esitetyn kiteen yksittäisten pintojen indeksit ovat  $120, 102, 210, 201, 012, 021, \bar{1}20, \bar{1}02, \bar{0}21, \bar{0}12, \bar{2}01, \bar{2}10, \bar{2}\bar{1}0, \bar{2}\bar{0}1, \bar{1}\bar{2}0, \bar{0}\bar{1}2, \bar{0}\bar{2}1, \bar{1}\bar{0}2, \bar{2}\bar{1}0, \bar{2}\bar{0}1, \bar{1}\bar{2}0, \bar{0}\bar{1}2, \bar{0}\bar{2}1$ .

Selvimmän tulee samanlaisten yksittäisten kidepintojen yhteenkuuluvuus esille tarkasteltaessa symmetriaelementtien vaikutusta pintojen toistumiseen kiteessä erilaisiin asemiin, kun yksi samannäköisistä pinnoista otetaan lähtöpinnaksi. Esim. kuvassa 26 esitetyn kiteen kaikki pinnat syntyvät symmetriaelementtien vaatimuksesta (=toistamina) kaikkiin 23 muuhun paikkaan otettiinpa mikä tahansa pinnoista lähtöpinnaksi.

**Määritelmä:** Symmetriaelementtien vaikutuksesta (vaatimuksesta) yhdestä lähtöpinnasta syntyvää kokonaisuutta sanotaan **pintamuodoksi** (engl. *form*, saks. *Flächenform*).

Pintamuotoon saattaa kuulua 1-48 yksittäistä pintaa.

### I. 9. 1. Pedion, pinakoidi, prisma. Avoimet ja suljetut pintamuodot

Yhdestä ainoasta kidepinnasta koostuvaa pintamuotoa sanotaan **pedioniksi** (kr. *pedion*, tasanko). Pedioneja ei esiinny tällä kurssilla käsiteltävissä ns. holoedrisissa (vrt. I. 13. 2) kiteissä.

Kahdesta yhdensuuntaisesta kidepinnasta koostuvaa pintamuotoa sanotaan **pinakoidiksi** (kr. *pinakos*, tabletti). Pinakoideja esiintyy erikoisesti trikliinisessä, monokliinisessä ja rombisessa kidejärjestelmässä (kts. I. 10).

**Prisma** (kr. *prisma*, sahattu) on kolmesta tai useammasta yhdensuuntaisin särmin toisiaan leikkaavasta kidepinnasta koostuva pintamuoto. Holoedrisessä kiteessä prismat ovat 4, 6, 8 tai 12-pintaisia.

Pedion, pinakoidi ja prisma ovat **avoimia pintamuotoja**. Ne eivät yksin esiintyessään täysin rajoita kappaletta. **Suljetuksi pintamuodoksi** sanotaan pintamuotoa, joka yksinäänkin rajoittaa täysin kappaleen (kiteen), esim. pintamuoto kuutio kuutiollisessa kidejärjestelmässä.

### I. 9. 2. Pintamuodon indeksit

Valitsemalla sopivalla tavalla **edustajapinta** pintamuodon yksitáisten pintojen joukosta voidaan koko pintamuodolle antaa indeksit. Pintamuodon indeksit ovat sen edustajapinnan indeksit asetettuina sulkuihin ( ). Merkintä kuvaa tällöin koko pintamuotoa.

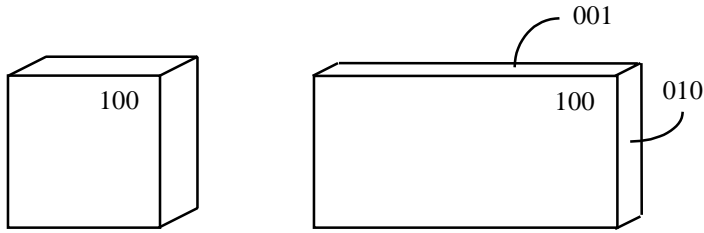
#### I. 9. 2. 1. Edustajapinnan valinta

Pintamuodon pinnoista valitaan koko pintamuotoa edustamaan pinta, joka pääsääntöisesti (ja epätasaisesti ilmaistuna) on edessä, oikealla ja ylhäällä. Tässä muodossa annettu valintaohje ei yleensä ole riittävä, ja sen vuoksi on useinkin sovellettava edustajapinnan hakemisessa seuraavia tarkennettuja hakuohjeita:

- 1) Pintamuodon edustajapinta on sen pinnoista edessä (lähinnä katsojaa) oleva pinta.
- 2) Jos tällaisia (yhtä edessä olevia) pintoja on useampia, niin edustajapinta on oikealla lähinnä kiteen vaakasuoraa puolittajatasoa oleva pinta.
- 3) Jos tällaisia on useampia, niin edustajapinta on jäljellä olevista ylhäällä oleva pinta.

#### 9. 2. 2. Yksinkertaiset ja yhdistetyt kidemuodot

Jos kide koostuu ainoastaan yhdestä pintamuodosta, sen sanotaan olevan **yksinkertainen kidemuoto**. Samassa kiteessä saattaa kuitenkin esiintyä useita pintamuotoja, kuten sanotaan, yhdistelmänä keskenään. Tällöin on kide **yhdistetty kidemuoto**. Yhdistetyssä kidemuodossa saattaa jokin pintamuoto esiintyä muita suurempina pintoina, tällöin sen sanotaan esiintyvän **vallitsevana**.



Kuva 27. Yksinkertainen (kuutiollinen (100)) ja yhdistetty kidemuoto (rombinen (100), (010) ja (001), vallitsevana (100)).

### 9. 2. 3. Indeksien ja pintamuodon nimen käänteinen vastaavuus.

Yksinkertaisissa kidemuodoissa voidaan esiintyvä pintamuoto helposti tunnistaa ja nimetä. Pintamuotojen nimittämisessä noudatetaan geometriasta tuttuja kappaleiden nimityksiä (kts. I. 10). Yhdistetyssä kidemuodossa sen sijaan pintamuotojen tunnistaminen ei aina ole ilman muuta kovinkaan helppoa. Millainen jostakin pintamuodosta tulisi, saadaan selville, kun kuvitellaan yhdistetyssä kidemuodossa samaan pintamuotoon kuuluvia yksittäisiä kidepintoja jatketuksi niin, että ne leikkaisivat toisiaan. Jos tämä jatkamistoimenpide pystytään kuvittelemaan, voidaan siis pintamuotokin tunnistaa.

Se ei aina kuitenkaan ole helppoa. Kuitenkin voidaan pintamuodon laatu ja nimikin saada selville jopa mutkikkaissakin yhdistetyissä kidemuodoissa seuraavan säännön avulla:

**Tiettyä yleistä muotoa olevaa indeksimerkintää vastaa samassa kidejärjestelmässä aina saman pintamuodon nimen saava pintamuoto**

Ja kääntäen:

**Samana pintamuodon nimen saava pintamuoto saa aina samassa kidejärjestelmässä samaa yleistä muotoa olevat indeksit.**

## I. 10. PINTAMUODOT ERI KIDEJÄRJESTELMISSÄ

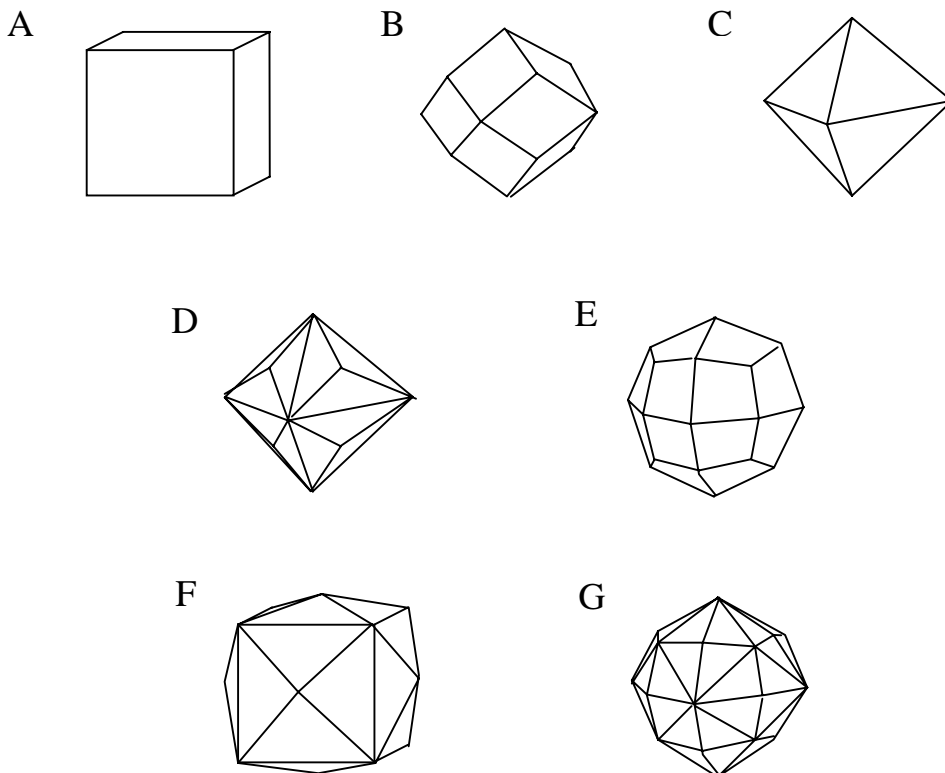
### I. 10. 1. Kuutiollinen kidejärjestelmä

Kussakin kidejärjestelmässä esiintyvät pintamuodot voidaan ajatella johdetuiksi periaatteellisesti erilaisiin asentoihin akseliristikoon nähden asetetuista lähtöpintoista, joihin on sitten sovellettu kyseisen järjestelmän symmetriaelementtien toistovaatimuksia. Kuutiollisessa kidejärjestelmässä voidaan lähtöpinta asettaa seuraavilla 7 eri tavalla:

1. Pinta leikkaa yhtä akseleista (yhden yksikköpituuden päässä) ja on kahden muun suuntainen. Akseleiden samanarvoisuudesta johtuu, että lopputulos on sama, olipa lähtöpinta 100, 010 tai 001.

2. Pinta leikkaa kahta akseleista yhtä etäällä (yhden yksikköpituuden päässä) ja on kolmannen suuntainen. Lähtöpinnan indeksit siis 110.
3. Pinta leikkaa kaikkia akseleita yhtä etäällä (yhden yksikköpituuden päässä) → 111
4. Pinta leikkaa kahta akseleista yhtä etäällä (yhden yksikköpituuden päässä) ja kolmatta pitemmän etäisyyden päässä → *hhl*
5. Pinta leikkaa kahta akseleista yhtä etäällä ja kolmatta lyhyemmän (yhden yksikköpituuden) etäisyyden päässä → *hll*.
6. Pinta leikkaa kahta akseleista eri pituisen etäisyyden päässä ja on kolmannen suuntainen. Lähtöpinnan indeksit *hk0*.
7. Pinta leikkaa kaikkia aseleita eri etäisyydellä. Lähtöpinnan indeksit siis *hkl*.

Edellä luetelluista lähtöpinnoista symmetriaelementit synnyttävät taulukossa 4 vastaavasti numeroidut ja kuvassa 28 esitetyt pintamuodot, joiden nimet selviävät taulukosta ja kuvateksteistä

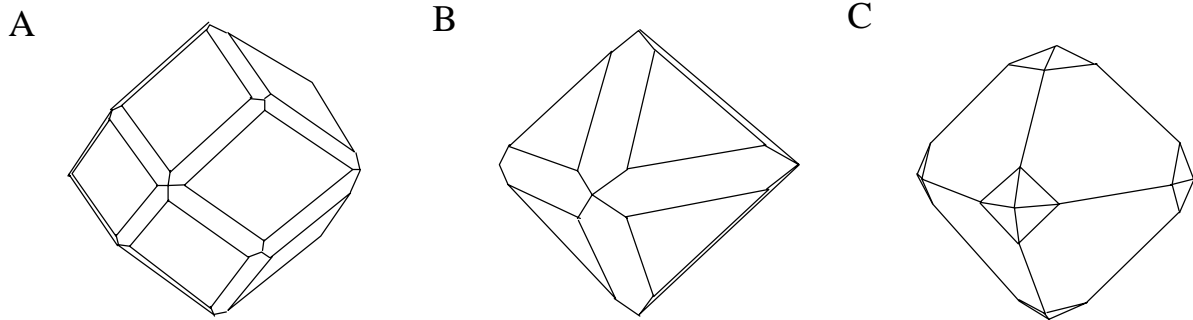


Kuva 28 Kuutiollisen kidejärjestelmän täysilukuisten kiteiden pintamuodot . A: kuutio (100), B: rombidodekaedri (110), C: oktaedri (111), D: triakisoktaedri (*hhl*), E: ikositetraedri (*hll*), F: tetrakisheksaedri (*hk0*), G: heksakisoktaedri (*hkl*)

Taulukko 4. Kuutiollisen kidejärjestelmän täysilukuisten kiteiden pintamuodot

Lähtöpinta	Indeksit (Yl. muoto)	(esim.)	Nimi	Pintojen lukumäärä
1	(100)		Kuutio	6
2	(110)		Rombidodekaedri	12
3	(111)		Oktaedri	8
4	( <i>hh</i> 1)	(221)	Triakisoktaedri	24
5	( <i>h</i> 11)	(211)	Ikositetraedri	24
6	( <i>hk</i> 0)	(210)	Tetrakisheksaedri	24
7	( <i>hk</i> 1)	(632)	Heksakisoktaedri	48

Kuten edellä on mainittu, kiteissä esiintyy usein kahden tai useamman pintamuodon yhdistelmiä. Kuvassa 29 on esitetty muutamia kuutiollisen kidejärjestelmän luonnonkiteissä tavallisia yhdistettyjä kidemuotoja.



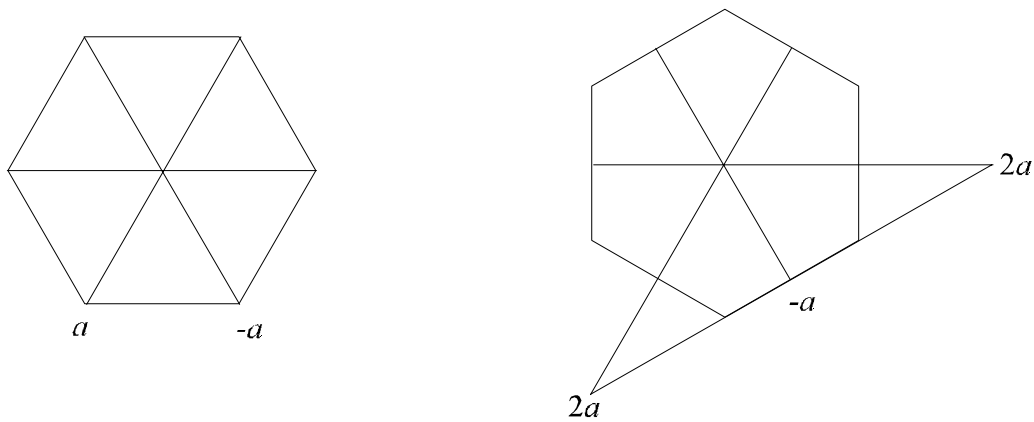
Kuva 29. Kuutiollisen kidejärjestelmän yhdistettyjä kidemuotoja. A: granaatti (110) ja (211); B: magnetiitti (111) ja (110); C: spinelli (111) ja (211).

#### I.10. 2. Heksagoninen kidejärjestelmä

Heksagonisen kidejärjestelmän pintamuodot voidaan johtaa seuraavin tavoin akseliristikkoon nähden asetetuista lähtöpintoista:

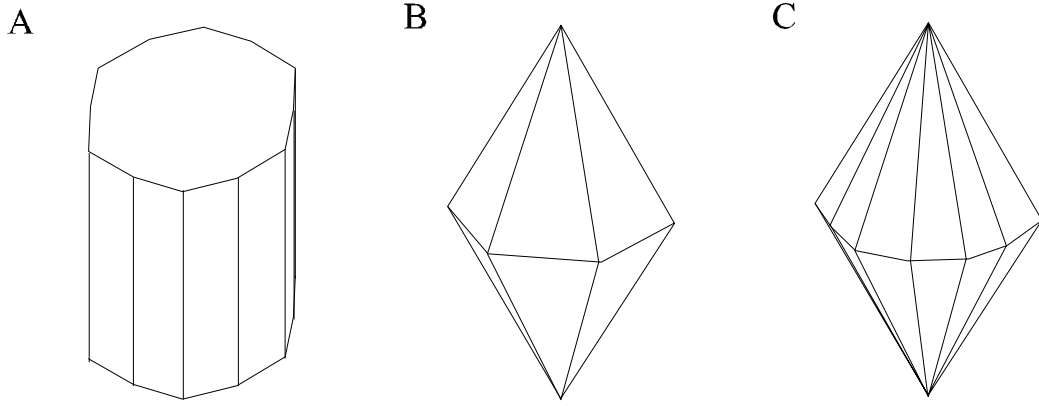
1. Pinta on yhden  $a$ -akselin suuntainen sekä  $c$ -akselin suuntainen. Akseliristikon geometriasta johtuu, että näin asetettu lähtöpinta leikkaa kahta muuta  $a$ -akselia yhtä etäällä, toista positiivisella, toista negatiivisella puolella. Niinpä kolmen ensimmäisen indeksin summaksi tulee nolla. Sama sääntö pätee yleensäkin kaikkiin heksagonisiin ja trigonisiin kiteisiin. Lähtöpinnan indeksit ovat siis  $10\bar{1}0$ . Symmetrian toistamana muodostuu 6-sivuinen prisma, jonka poikkileikkaus on säännöllinen kuusikulmio. Kuten jäljempänä tullaan näkemään, syntyy lähtöpinnasta  $11\bar{2}0$  muodollisesti täysin  $(10\bar{1}0)$ :n kaltainen pintamuoto. Erotukseksi siitä sanotaan  $(10\bar{1}0)$ -muotoa **I lahkon heksagoniseksi prismaksi** ja **II lahkon heksagoniseksi prismaksi** vastaavasti muotoa  $(11\bar{2}0)$ . I lahkon muodossa kideakselit leikkaavat pintoja särmien kohdalla ja vastaavasti II lahkon muodossa sivujen keskellä (kuva 30). Samaa periaatetta noudattaen erotetaan heksagonisessa, trigonisessa ja

tetragonisessa kidejärjestelmässä esiintyvät muodollisesti samanlaiset mutta kideakseleihin eri tavoin suhtautuvat muodot I ja II lahkoon muodoiksi.



Kuva 30. Heksagonisen I ( $10\bar{1}l$ ) ja II ( $11\bar{2}l$ ) lahkoon pintamuotojen poikkileikkaus

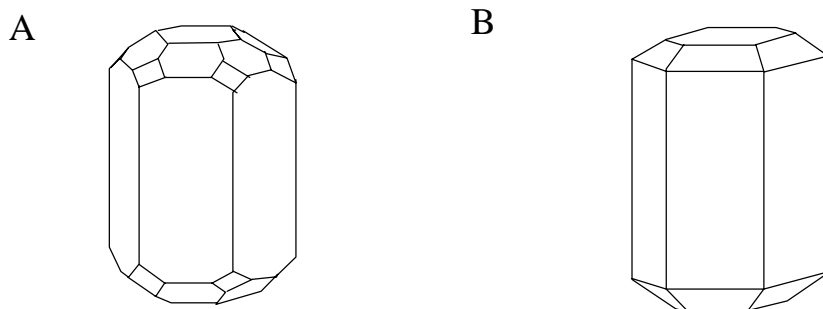
2. Pinta on yhden  $a$ -akselin suuntainen ja leikkaa  $c$ -akselia. Samoin kuin edellä näin asetettu lähtöpinta leikkaa kahta muuta  $a$ -akselia yhtä etäällä. Lähtöpinnan indeksit ovat muotoa  $h0\bar{h}l$ . Symmetria toistaa pinnan eri asemiin niin, että lopputuloksena on kahdesta pohjien kohdalta vastakkain asetetusta pyramidista koostuva kokonaisuus, heksagoninen I lahkoon **kaksinaispyramidi** 1. **bipyramidi**.
3. Pinta leikkaa kahta  $a$ -akselia yhtä kaukana, leikkaa myös kolmatta  $a$ -akselia ja on  $c$ -akselin suuntainen. Lähtöpinnan indeksit siis  $11\bar{2}0$ . Symmetrian vaatimuksesta syntyvä pintamuoto on samanlainen kuin kohdassa 1, mutta II lahkoon, (kuva 30).
4. Pinta leikkaa kahta akselia yhtä kaukana sekä leikkaa myös kolmatta  $a$ -akselia ja  $c$ -aksea. Lähtöpinnan indeksit  $hh\bar{2}hl$ . Syntyvä pintamuoto on kohdassa 2 esitetyn kaltainen, mutta II lahkoon.
5. Pinta leikkaa  $a$ -akseleita eri pituisten matkojen päässä, mutta on  $c$ -akselin suuntainen. Pinnan indeksit ovat muotoa  $hi\bar{k}0$ . Syntyvä pintamuoto on kaksitoista-sivuinen  $c$ -akselin suuntainen prisma, ns. **diheksagoninen prisma**.
6. Pinta on  $a$ -akseleiden (tason) suuntainen ja leikkaa  $c$ -akselia. Pinnan indeksit ovat siis  $0001$ . Syntyvä pintamuoto on kaksipintainen, siis pinakoidi. Ainoastaan  $c$ -akselia leikkaavia pinakoideja nimitetään **asemapinakoideiksi** tai **asematasoiksi**.



Kuva 31. Heksagonisen kidejärjestelmän pintamuotoja. A: diheksagoninen prisma ( $hi\bar{k}0$ ) ja asematasot (0001), B: heksagoninen I lahkon kaksinaispyramidi ( $10\bar{1}1$ ), C: diheksagoninen kaksinaispyramidi ( $hi\bar{k}l$ ).

Taulukko 5. Heksagonisen kidejärjestelmän täysilukuisten kiteiden pintamuodot.

Lähtöpinta	Indeksit yl. muoto	esim.	Nimi	Pintojen lukumäärä
1	$(10\bar{1}0)$		Heksagoninen I lahkon prisma	6
2	$(h0\bar{h}l)$	$(10\bar{1}1)$	Heksagoninen I lahkon kaksinaispyramidi l. bipyramidi	12
3	$(11\bar{2}0)$		Heksagoninen II lahko prisma	6
4	$(hh\bar{2}hl)$	$(11\bar{2}1)$	Heksagoninen II lahkon kaksinaispyramidi	12
5	$(hi\bar{k}0)$	$(21\bar{3}0)$	Diheksagoninen prisma	12
6	$(hi\bar{k}l)$	$(21\bar{3}1)$	Diheksagoninen bipyramidi	24
7	(0001)		Asematasot l. asemapinakoidi	2



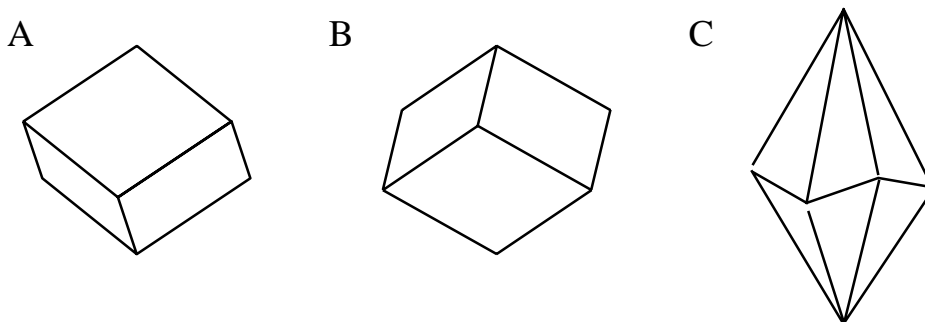
Kuva 32. Luonnon kiteissä esiintyviä yhdistettyjä heksagonisia kidemuotoja. A: berylli ( $10\bar{1}1$ ),  $(10\bar{1}0)$ ,  $(11\bar{2}1)$  ja (0001); B: apatiitti ( $10\bar{1}1$ ),  $(10\bar{1}0)$  ja (0001).



## I. 10. 3. Trigoninen kidejärjestelmä

Pintamuotojen johto on tässä järjestelmässä samankaltainen heksagonisen kidejärjestelmän vastaavan kanssa lukuunottamatta seuraavasta luettelosta ilmeneviä poikkeustapauksia.

1. Kts. heksag., kohta 1.
2.  $h0\bar{h}l$  pinnasta johtuu symmetrian vähäisemmästä määrästä johtuen kuusipintainen vino suuntaissärmiö, **romboedri** (kuva 33).
3.  $h0\bar{h}l$  heksagonisessa johti 12-pintaiseen pintamuotoon. Romboedrissa ( $h0\bar{h}l$ ) on näistä pinnoista vasta kuusi. Joka toisesta jäljelle jääneestä pinnasta johtuu trigonisessa järjestelmässä myöskin romboedri, joka on akseliristikkoon toisenlaisessa asennossa; siitä syystä sitä nimitetään -romboedriksi ( $0h\bar{h}l$ ) (miinusromboedri, kuva 33).
4. Kts. heksag., kohta 3.
5. Kts. heksag., kohta 4. Myös täällä syntyy lähtöpinnasta  $hh\bar{2}hl$  heksagoninen II lahkon kaksinaispyramidi, mutta trigonisessa järjestelmässä se voi esiintyä ainoastaan yhdistelmänä romboedrien tai ( $hi\bar{k}l$ ):n kanssa, muutoinhan kide olisi heksagoninen. Sama huomautus koskee tietysti myös  $(10\bar{1}0)$  ja  $(hi\bar{k}0)$  muotoja.
6. Kts. heksag., kohta 5.
7.  $hi\bar{k}l$  pinnasta johtuu trigonisessa järjestelmässä **skalenoedri** (tarkemmin ditrigoninen skalenoedri).
8. Kts. heksag., kohta 7.

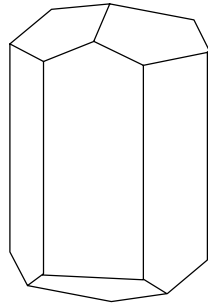


Kuva 33. Trigonisen kidejärjestelmän pintamuotoja A: romboedri ( $10\bar{1}1$ ), B: miinus-romboedri ( $01\bar{1}1$ ), C: skalenoedri ( $hi\bar{k}l$ ).

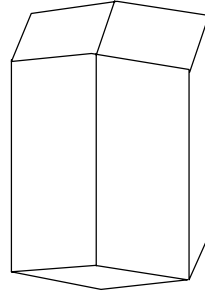
Taulukko 6. Trigonisen kidejärjestelmän täysilukuisten kiteiden pintamuodot.

Lähtöpinta	Indeksit		Nimi	Pintojen lukumäärä
	Yl. muoto	esim.		
1	$(10\bar{1}0)$		Heksagoninen I lahkon prisma	6
2	$(h0\bar{h}l)$	$(10\bar{1}1)$	Romboedri	6
3	$(0h\bar{h}l)$	$(01\bar{1}1)$	Miinusromboedri	6
4	$(11\bar{2}0)$		Heksagoninen II lahkon prisma	6
5	$(hh\bar{2}h0)$	$(11\bar{2}1)$	Heksagoninen II lahkon kaksinaispiramidi	12
6	$(hi\bar{k}0)$	$(21\bar{3}0)$	Diheksagoninen prisma	12
7	$(hi\bar{k}l)$	$(21\bar{3}1)$	Skaleonedri	12
8	$(0001)$		Asemapinakoidi l. asematasot	2

A



B

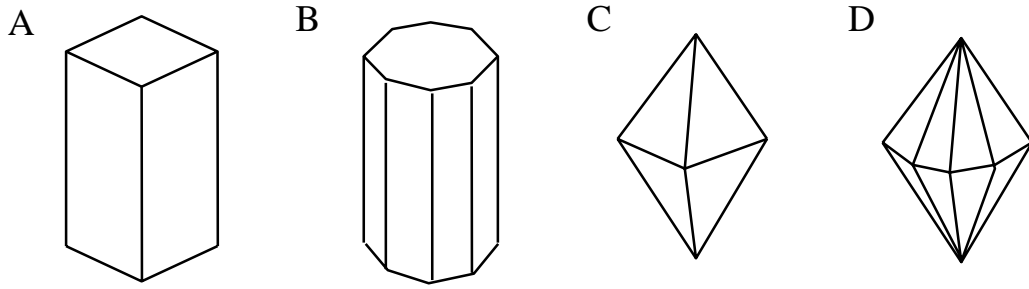


Kuva 34. Yhdistettyjä romboedrisia kidemuotoja. A: miinusromboedri  $(01\bar{1}2)$  ja  $(10\bar{1}0)$ ; B: miinusromboedri  $(01\bar{1}2)$  ja  $(11\bar{2}0)$

#### I.10. 4. Tetragoninen kidejärjestelmä

Tetragoniset pintamuodot voidaan käsittää johdetuiksi seuraavin tavoin asetetuista lähtöpinnoista:

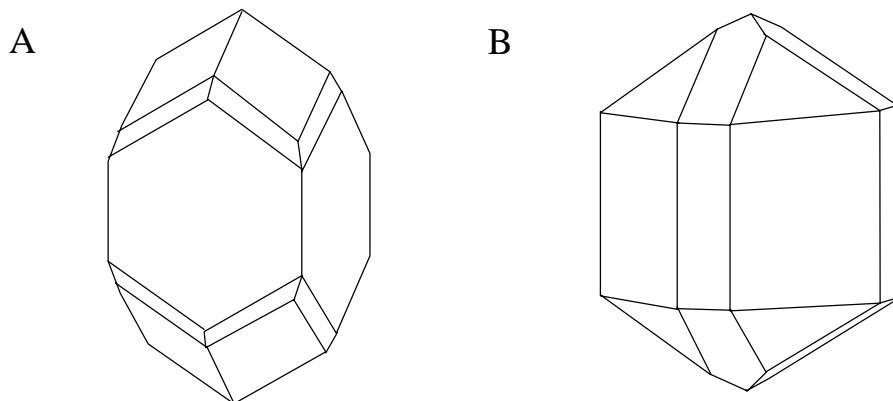
1. Pinta leikkaa toista  $a$ -akselia ja on toisen  $a$ -akselin ja  $c$ -akselin suuntainen.
2. Pinta leikkaa toista  $a$ -akselia sekä  $c$ -akselia ja on toisen  $a$ -akselin suuntainen.
3. Pinta leikkaa  $a$ -akseleita yhtä etäällä ja on  $c$ -akselin suuntainen.
4. Pinta leikkaa  $a$ -akseleita yhtä etäällä sekä leikkaa myös  $c$ -akselia.
5. Pinta leikkaa  $a$ -akseleita eri etäisyydellä ja on  $c$ -akselin suuntainen.
6. Pinta leikkaa  $a$ -akseleita eri etäisyydellä sekä leikkaa myös  $c$ -akselia.
7. Pinta leikkaa ainoastaan  $c$ -akselia.



Kuva 35. Tetragonisen kidejärjestelmän pintamuotoja. A: tetragoninen I lahkon prisma (110) ja asematasot (001), B: ditetragoninen prisma ( $hk0$ ) ja asematasot (001), C: tetragoninen I lahkon kaksinaispyramidi ( $hhl$ ), D: ditetragoninen bipyramidi ( $hkl$ ).

Taulukko 7. Tetragonisen kidejärjestelmän täysilukuisten kiteiden pintamuodot.

Lähtöpinta	Indeksit yl. muoto	esim.	Nimi	Pintojen lukumäärä
1	(100)		Tetragoninen II lahkon prisma	4
2	( $h0l$ )	(102)(101)	Tetragoninen II lahkon kaksinaispyramidi	8
3	(110)		Tetragoninen I lahko prisma	4
4	( $hhl$ )	(111)(112)	Tetragoninen I lahkon kaksinaispyramidi	8
5	( $hk0$ )	(120)	Ditetragoninen prisma	8
6	( $hkl$ )	(321)	Ditetragoninen kaksinaispyramidi	16
7	(001)		Asemapinakoidi	2



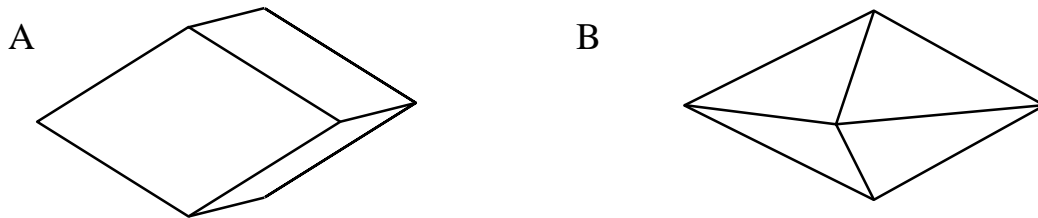
Kuva 36. Tetragonisten luonnonkiteiden yhdistettyjä kidemuotoja. A: ksenotiimi (100), (111) ja (311); B: kassiteriitti (100), (110), (111) ja (101).

## 1.10. 5. Rombinen kidejärjestelmä

Rombinen kidejärjestelmä edustaa tässä pintamuotojen johdossa ensimmäistä kertaa sellaista kidejärjestelmää, jossa kaikki kideakselit ovat eri pituisia, eli kuten sanotaan **eriarvoisia**. Pintamuotojen johdon kannalta tällä on merkitystä siinä, että nyt mitä tahansa yhtä kideakselia leikkaava ja muiden suuntainen pinta on periaatteellisesti poikkeava sellaisesta pinnasta, joka leikkaa jotakin toista kideakselia ja on kahden muun suuntainen. Siitä seuraten 010-pinta on tässä otettava ensimmäistä kertaa lähtöpinnaksi. Lähtöpinnat voidaan asettaa seuraavin tavoin:

1. Pinta leikkaa  $a$ -akselia ja on  $b$ - ja  $c$ -akselien suuntainen.
2. Pinta leikkaa  $b$ -akselia ja on  $a$ - ja  $c$ -akselien suuntainen.
3. Pinta leikkaa  $c$ -akselia ja on  $a$ - ja  $b$ -akselien suuntainen.
4. Pinta leikkaa  $a$ - ja  $b$ -akseleita ja on  $c$ -akselin suuntainen.
5. Pinta leikkaa  $a$ - ja  $c$ -akseleita ja on  $b$ -akselin suuntainen.
6. Pinta leikkaa  $b$ - ja  $c$ -akseleita ja on  $a$ -akselin suuntainen.
7. Pinta leikkaa kaikkia kolmea akselia.

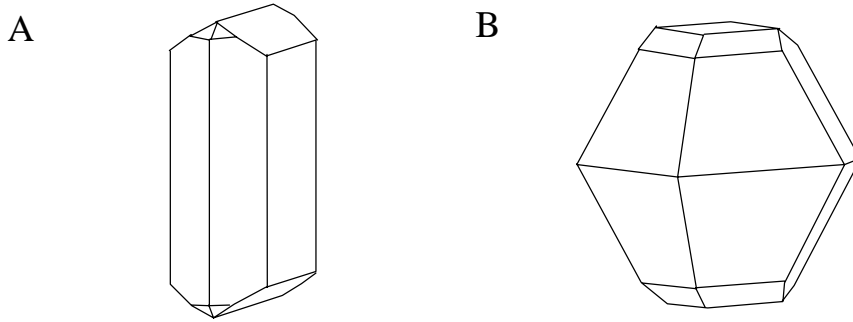
Pinakoidille annetaan erikoisnimi sen kideakselin erikoisnimen mukaan, jonka suuntainen se on  $c$ -akselin lisäksi. Prismalle annetaan erikoisnimi sen akselin mukaan, jonka suuntainen se on.



Kuva 37. Rombisen kidejärjestelmän pintamuotoja. A: rombinen brakypisma ( $0kl$ ) sekä makropinakoidi ( $100$ ), B: rombinen kaksinaispyramidi ( $hkl$ ).

Taulukko 8. Rombisen kidejärjestelmän täysilukuisten kiteiden pintamuodot

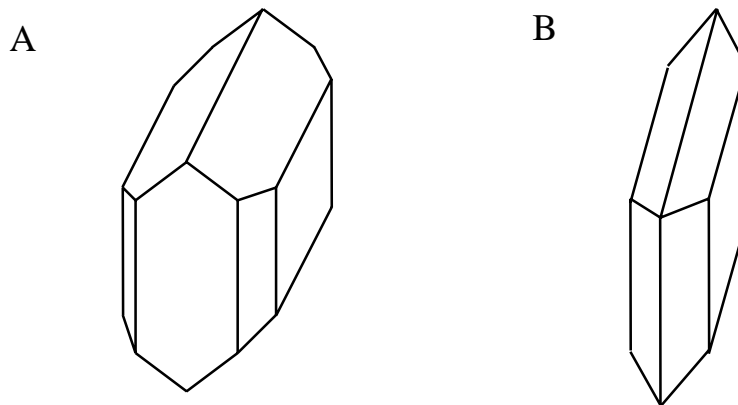
Lähtöpinta	Indeksit yl. muoto	Esim.	Nimi	Pintojen lukumäärä
1	(100)		Makropinakoidi	2
2	(010)		Brakypinakoidi	2
2	(001)		Asemapinakoidi	2
4	( $hk0$ )	(110)(120)	Pystyprisma	4
5	( $h0l$ )	(101)(102)	Makroprisma	4
6	( $0kl$ )	(011)(012)	Brakypisma	4
7	( $hkl$ )	(111)(221)(321)	Rombinen kaksinaispyramidi	8



Kuva 38. Luonnonkiteiden yhdistettyjä rombisia kidemuotoja. A: aragoniitti (111), (110), (010) ja (011); B: rombinen rikki (111), (011), (113) ja (001).

#### I. 10. 6. Monokliininen kidejärjestelmä

Monokliinisen kidejärjestelmän pintamuodot voidaan johtaa täysin samanlaisin lähtöpintojen asettelutavoin, joita käytimme rombisessa järjestelmässä. Taulukossa 9 oleva lähtöpintojen numerointi viittaakin vastaavaan taulukossa 8. Huomattava on, että pintamuoto ( $h0l$ ) ei ole enää prisma monokliinisessa, vaan rombista ( $h0l$ ):ä vastaa kaksi ( $h0l$ )-tyyppistä pinakoidia. Samoin ( $hkl$ ) hajoaa kahdeksi prismaksi. Pinakoidien ja prismojen nimityksissä sovelletaan samoja periaatteita kuin rombisessa järjestelmässä.



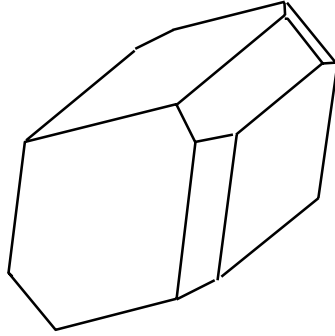
Kuva 39. A: monokliininen kide, jossa (100), (110), (010) ja ( $0kl$ ) (augiitti), B: monokliininen kide, jossa pintamuodot (110), (010) ja (111) (kipsi).

Taulukko 9. Monokliinisen kidejärjestelmän täysilukuisten kiteiden pintamuodot.

Lähtöpinta	Indeksit		Nimi	Pintojen lukumäärä
	Yl. muoto	Esim.		
1	(100)		Ortopinakoidit	2
2	(010)		Klinopinakoidit	2
2	(001)		Asemapinakoidi	2
4	( $hk0$ )	(110)(120)	Pystyprisma	4
5	( $0kl$ )	(011)(012)	Klinoprisma	4
6	( $h0l$ )	(101)(102)	$h0l$ -pinakoidi	2
7	( $hkl$ )	(111)(122)(123)	Monokliininen prisma	4

## 10. 7 Trikliininen kidejärjestelmä

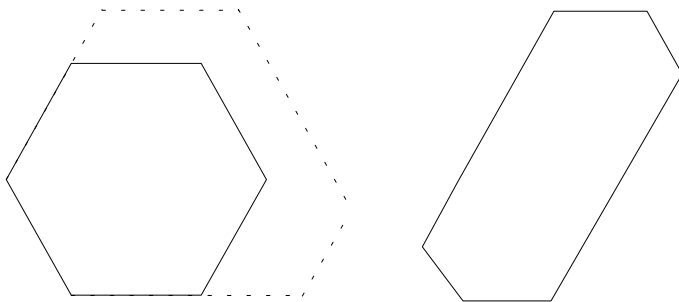
Koska symmetriakeskus on trikliinisen kidejärjestelmän ainoa symmetriaelementti, ovat kaikki täysilukuisissa kiteissä esiintyvät pintamuodot pinakoideja. Erillistä taulukkoa järjestelmän pintamuodoista ei sen vuoksi ole tarpeen esittää.



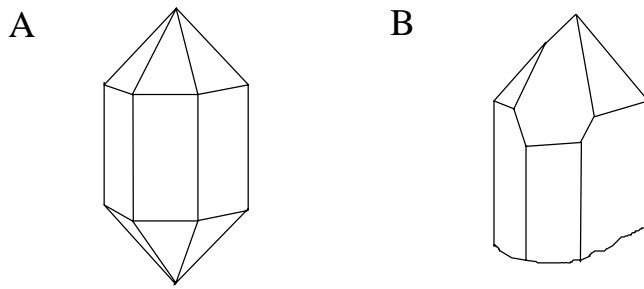
Kuva 40. Trikliininen kide, jossa pintamuodot (100), (110), (010), (011), (001) ja  $(h\bar{k}l)$ .

## I. 11. LUONNOLLISET JA IHANTEELLISET KITEET

Kiteytyessään mineraali ja sen kide kasvavat yleensä jostakin kiteytymiskeskuksesta ulospäin joka suuntaan. Esteetön kasvu on luonnossa kuitenkin vain harvoin mahdollista. Esteetöntä kasvua voivat rajoittaa muut ympäristössä samanaikaisesti kiteytyvät mineraalit tai vaikkapa paine-, konsentraatio- ja lämpötilavaihtelut eri suunnissa. Seurauksena edellä sanotuista syistä on, että kide kasvaa eri nopeudella samanarvoisiin suuntiin ja täten samanarvoiset pinnat joutuvat eri etäisyydelle keskipisteestä. Samanarvoisiksi sanotaan samaan pintamuotoon kuuluvia pintoja. **Luonnollisten** kiteiden vastakohtona sanotaan **ihanteellisiksi** sellaisia kiteitä, joissa samanarvoiset pinnat ovat yhtä etäällä keskipisteestä. Harjoituskappaleina käytettävät ns. kidemallit ovat ihanteellisiksi tehtyjä luonnossa esiintyviä kiteiden malleja.



Kuva 41. Vasemmalla heksagonisen luonnollisen kiteen poikkileikkaus (katkoviiva) ja sama ihanteellisena (yhtenäinen viiva) ja oikealla sama hieman toisen muotoisena luonnollisena kiteenä.



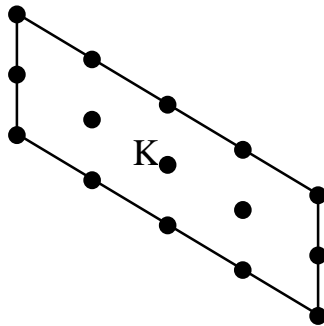
Kuva. 42. Kvartsikide. A: ihanteellinen ja B: luonnollinen

### I. 11. 1. Kulmien pysyvyyden laki

Siitä huolimatta, että samanarvoiset pinnat voivat sijaita kiteissä eri etäisyydellä keskipisteestä, säilyvät pintojen väliset kulmat samoina kuin vastaavassa ihanteellisessa kiteessä. Tämä on ns. **kulmien pysyvyyden laki**. Lain ensimmäisenä havainneena kide tieteen uranuurtajana pidetään tanskalaissyntyistä Nikolaus Stenoa (1638-1686).

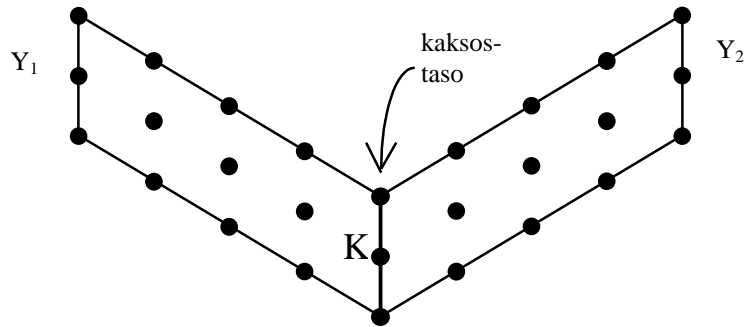
### I. 12. 1. KAKSOSKITEET

Tavanomaisessa tapauksessa kiteisen aineen syntyessä jäähtyvistä kiviluolasta (magma) tai vaikkapa vesiliuoksista se aloittaa kiteytymisensä yhdestä kiteytymiskeskuksesta (K, kuva 43), jonka ympärille verkkopinnot kehittyvät toinen toisensa jälkeen samanlaisessa suhteessa toisiinsa.



Kuva 43. Verkkopinnojen synty kiteytymiskeskusten ympärille normaalitapauksessa.

Poikkeustapauksessa saattaa kiteytymiskeskus toimia kuitenkin kiteytymiskeskusena kahdelle tai useammallekin kideyksilölle samanaikaisesti ( $Y_1$  ja  $Y_2$ , kuva 44). Ilmiötä sanotaan **kaksostumiseksi** ja syntyneitä kiteitä **kaksosiksi** (engl. *twinning* ja *twins*, saks. *Zwillingsbildung* ja *Zwillinge*). Kaksostuneessa kideparissa tai -ryhmässä sanotaan molemmille (tai kaikille) kideyksilöille yhteistä verkkopintaa **kaksostasoksi**.



Kuva 44. Kaksostuminen.

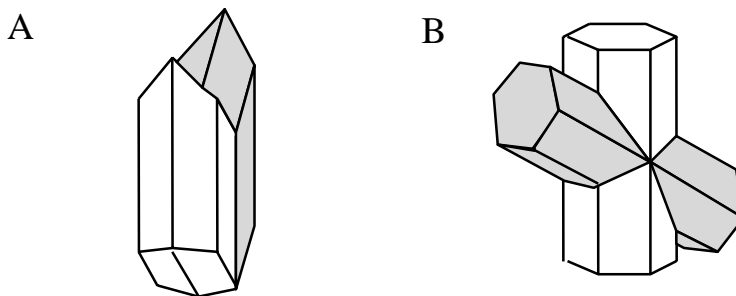
### I. 12 1. Kaksostumisen syy

Kaksostumisesta on seurauksena “ylimääräisen” symmetriatason syntyminen kaksoskiteeseen (kts. kuva 44). Luonnossa mineraaleilla on pyrkimys kiteytyä mahdollisimman symmetriarikkaiksi ja kaksostuminen on puolestaan eräs keino symmetrian lisäämiseen. Kun aineen symmetria lisääntyy, laskee samalla aineen muodostaman fysikokemiallisen systeemin vapaa energia. Täten kaksostumisen syy lienee pohjimmiltaan fysikokemiallinen

### I. 12. 2. Kaksostaso ja kaksosakseli

Kuten edellä on käynyt ilmi, on **kaksostaso** (engl. *twin plane*, saks. *Zwillingsebene*) kaksoskiteen muodostamiseen osallistuvien kaksosyksilöiden yhteinen verkkopinta. Ulkonaisesti kaksostaso ilmenee kaksoskiteiden rajapintana (ns. kosketuskaksoiset, kuva 45A). Ns. **läpituokeutumiskaksoisessa** (esim. kuva 45B) ei kaksostasoa voida tunnistaa tasomaisena rajapintana, koska sellaista ei ole. Tällöin kaksostason voi tunnistaa siitä, että se on symmetriatasona koko kaksosmuodostuksessa.

Kaksoskiteillä, joissa yksilöitä on kaksi, saadaan toinen yksilöistä asettumaan toisen jatkeeksi pyörittämällä sitä 180 astetta kaksostasoa vastaan kohtisuoran akselin eli **kaksosakselin** (engl. *twin axis*, saks. *Zwillingsachse*) ympäri (ns. normaalikaksoiset) tai yhteenkasvettumistasossa olevan akselin ympäri (ns. yhdensuuntaiskaksoiset). Kaksostason tulee saada lisäksi samaan pintamuotoon kuuluvan pinnan indeksit erikseen kummakin yksilön akseliristikossa tarkasteltuna.



Kuva 45. A: kosketuskaksonen (monokliininen kipsi) B: läpituokeutumiskaksonen (rombinen stauoliitti).



### I. 12. 3. Kaksostyyppit

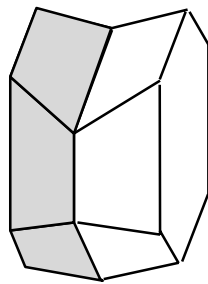
Kaksostumiseen osallistuvien kideyksilöiden lukumäärän perusteella voidaan erottaa kaksostyyppinä kaksoset (2), kolmoset (3), neloset (4), kuutoset (6) sekä **kertauskaksoset** 1. **polysynteettiset kaksoset** (> 6) (engl. *repeated l. multiple twins*, saks. *Viellinge*).

Yhteenkasvettumistavan perusteella voidaan erottaa **kosketuskaksoset** (engl. *contact twins*, saks. *Berührungszwillinge*) ja **tunkeutumiskaksoset** (engl. *penetration twins*, saks. *Durchwachsungszwillinge*) (kuva 45).

Sen perusteella, minkä suuntaisen akselin ympäri pyörittämällä toinen yksilö saadaan toisen jatkeeksi, puhutaan normaalikaksosista, jos kaksosakseli on kohtisuorassa yhteenkasvettumistasoa vastaan, yhdensuuntaiskaksosista, jos kaksosakseli on yhteenkasvettumistasossa ja kompleksikaksosista, jos molemmat edellä sanotut pyöriytykset ovat tarpeen.

### I. 12. 4. Kaksoslait

Samanlainen kaksostuminen (=kaksostaso sama esim. 010, kaksostyyppi sama) saattaa olla mahdollinen samassa kidejärjestelmässä eri mineraaleillakin, jopa eri kidejärjestelmiinkin kuuluvilla mineraaleilla saattaa kaksostuminen olla samanlaista. Tiettyä kaksostumistapaa sanotaan **kaksoslaiksi** (engl. *twin law*, saks. *zwillingsgesetz*). Kaksoslait ovat saaneet nimensä sen mineraalin nimen mukaan, jossa kaksostumistapa on ehkä alunperin havaittu. Esimerkkinä mainittakoon **augiittilaki** (kuva 37), jonka mukaan kaksostuneilla mineraaleilla augiitti ja sarvivälke 100 pinta on kaksostasona.



Kuva 46. Augiittilain mukainen kaksonen. Augiitti.

## I. 13. ERIKOISKYSYMYKSIÄ

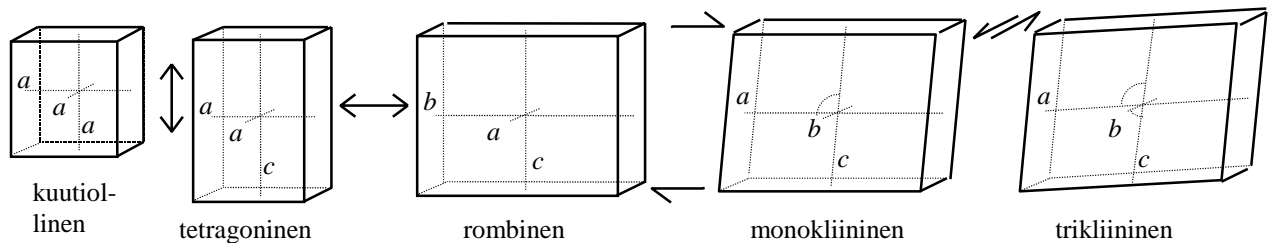
### I. 13. 1. Pintamuotojen "hajoaminen" järjestelmästä toiseen siirryttäessä.

Symmetriaelementtejä runsaasti sisältävistä järjestelmistä symmetriaköyhempiin järjestelmiin ajatuksen voimalla siirryttäessä voidaan panna merkille, että yksittäisiä pintoja runsaasti sisältävät pintamuodot tulevat sitä harvinaisemmiksi mitä niukemmin symmetriaa sisältäviin järjestelmiin siirrytään (ks. taulukot 4-9). Esim. pintamuoto (100) sisältää kuutiollisessa 6, tetragonisessa 4, rombissa jne. 2 pintaa. Puhtaasti teoreettinen mutta mielenkiintoinen ajatusleikki on tarkastella mihin pintamuotoihin sijoittuvat ne yksittäiset pinnat, jotka eivät sisälly samat indeksit saavaan pintamuotoon järjestelmästä toiseen siirryttäessä.

Ajatusleikin voi tehdä joko kuvittelemalla akseliristikon muodonmuutoksia järjestelmästä toiseen siirryttäessä (kuva 47) tai tarkastelemalla asiaa yksittäisten kidepintojen indeksiluettelon avulla (taulukko 10).

Taulukko 10. Esimerkki pintamuotojen hajoamisesta siirryttäessä symmetriarikkaammista kidejärjestelmistä niukemmin symmetriaa omaaviin kidejärjestelmiin. Kuution hajoaminen.

pinta	kuutiollinen kidejärjestelmä	tetragoninen kidejärjestelmä	rombinen kidejärjestelmä	monokliininen kidejärjestelmä	trikliininen kidejärjestelmä
100	k u u -  t i o	II lahkon prisma	makro pinakoidi	orto- pinakoidi	pinakoidi
$\bar{1}00$			braky- pinakoidi	klino- pinakoidi	pinakoidi
010		asema- pinakoidi	asema- pinakoidi	asema- pinakoidi	pinakoidi
$0\bar{1}0$					
001					
$00\bar{1}$					



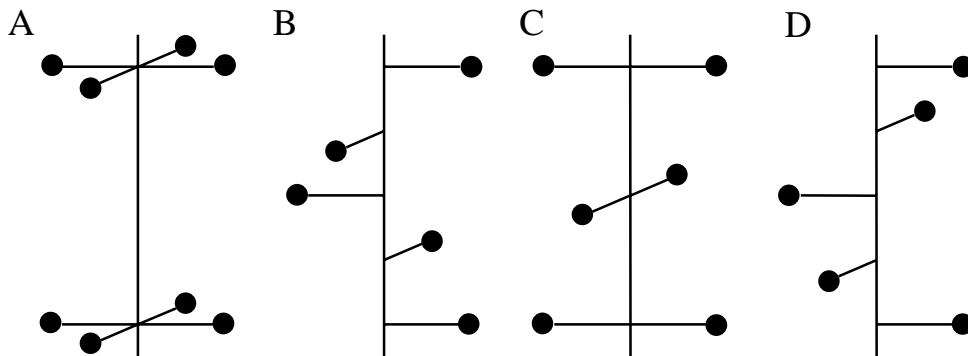
Kuva 47. Akseliristikon muodonmuutokset ja pintamuotojen "hajoaminen" kidejärjestelmästä toiseen siirryttäessä.

### I. 13. 2. Symmetrialuokat ja avaruusryhmät

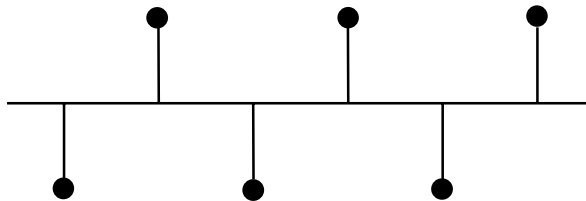
Edellä johdettiin kidejärjestelmät lähtien ajatuksesta, että kiteinen aine koostuu toisiaan eri tavoin leikkaavista massapistejonoista. Toisenlaatuisiin kidejärjestelmisiin ryhmityksiin päädytään, jos suoritetaan johto symmetriaelementtien kombinoitumistapoja tarkastelemalla. Pääperiaatteena näin tapahtuvassa johdossa on, että symmetriaelementit ovat toisistaan riippuvia sillä tavoin, että jonkin esiintyminen aiheuttaa väistämättömästi myös jonkin toisen symmetriaelementin mukaantulon. Niinpä esimerkiksi kahden toisiaan  $360/n$  kulmassa leikkaavan symmetriatasojen leikkausviiva on  $n$ -lukuisen kiertoakselin suunta. Vastaavia kombinoitumissääntöjä on useita eikä niihin voida mennä tässä yhteydessä yksityiskohtaisesti. Lopputuloksena kombinoitumissäännöistä on, että symmetriakeskus, symmetriatasot, kiertoakselit ja kiertoinversioakselit voivat kombinoitua 32 eri tavalla. Vastaavia kidejärjestelmien ryhmiä sanotaan **symmetrialuokiksi**. Kidejärjestelmien kesken symmetrialuokat jakaantuvat siten, että kuutiollisissa on 5, heksagonisissa 7, trigonisissa 5, tetragonisissa 7, rombisissa ja monokliinisissa 3 sekä trikliinisissä 2 symmetrialuokkaa. Yhteistä kunkin kidejärjestelmän symmetrialuokille on, että sama akseliristikko sopii niihin jokaiseen. Runsaimmin symmetriaa sisältävää symmetrialuokkaa kussakin kidejärjestelmässä sanotaan **holoedriksi** tai **holoedriseksi** (täysilukuisiksi) **symmetrialuokaksi**. Samoin sanotaan holoedrisiin symmetrialuokkiin kuuluvia kiteitä holoedrisiksi kiteiksi. Holoedrisen symmetrialuokan lisäksi kuuluu kuhunkin kidejärjestelmään **meroedrisia** (vajaalukuisia) symmetrialuokkia. Meroedria voi olla **hemiedrisia**, **tetartoedrisia** tai **hemimorfiaa**. Hemiedristen (puolilukuisien) kiteiden eräissä pintamuodoissa on puolet vastaavan

holoedrisen pintamuodon yksittäisten pintojen lukumäärästä. Tetartoedrisissa (neljänneslukuisissa) vastaava suhde on 1:4. Hemimorfisissa (puolimuotoisissa) kiteissä taas esim. holoedrisen symmetrialuokan kaksinaispyramidejä vastaavat pyramidipintamuodot.

Symmetrialuokat ja kidejärjestelmät kide-tieteellisinä ryhminä perustuvat silmin havaittaviin, ulkonaisiin, symmetriasuhteisiin. Ulkonaisten symmetriasuhteiden muuttumatta voi **hilan sisäisten symmetriaelementtien** määrä vaihdella. Hilan sisäisiä peiteoperaatioita edustavat **ruuvaus** (engl. *screw*, saks. *Schraubung*) ja **siirtokuvastus** (engl. *glide*, saks. *Gleitspiegelung*) (kuvat 48 ja 49). Vastaavat symmetriaelementit ovat **ruuviakseli** (engl. *screw axis*, saks. *Schraubungsachse*) ja **siirtokuvastuspinta** (engl. *glide plane*, saks. *Gleitspiegelebene*). Nämä uudet, hilan sisäiset symmetriaelementit ovat itseasiassa hilan perimmäisen ominaisuuden eli tiettyyn suuntaan tapahtuvan massapisteiden **toistumisen** (=siirron, engl. *translation*, saks. *Translation*) ja jo kiteiden ulkoisten piirteiden perusteella tuntemiemme symmetriaelementtien yhdistelmiä. Näin ruuvaus on siirron ja kierron yhdistelmä, siirtokuvastus puolestaan nimensä mukaisesti siirron ja kuvastuksen yhdistelmä. Ruuvausakseli 1. **helikogyryri** voi olla 2-, 3-, 4- tai 6-lukuinen. Hilan sisäiset symmetriaelementit voivat kombinoitua 230 tavalla (mukaanlukien kiertoakselit, kiertoinvertioakselit, symmetriatasot ja symmetriakeskukset), kutakin tapaa vastaa hilarakenteeltaan toisistaan poikkeava tyyppi, jota kutsutaan **avaruusryhmäksi**. Se, miksi hilan sisäiset symmetriaelementit eivät näy kiteiden ulkoisessa symmetriassa, johtuu hilan massapisteiden toistumisen äärimmäisen pienestä mittakaavasta. Hilan sisäiset symmetriaelementit ikäänkuin sulautuvat jo tuntemiimme kiteiden ulkoisiin symmetriaelementteihin.



Kuva 48. Tetrahelikogyryrit. A:  $4_0$ , toistumaväli alkeiskopin särmän mittainen, B:  $4_1$ , toistumaväli  $1/4$  alkeiskopin särmästä (ns. oikealle kiertyvä), C:  $4_2$ , toistumaväli  $2/4$  alkeiskopin särmästä, D:  $4_3$ , toistumaväli  $3/4$  alkeiskopin särmästä (ns. vasemmalle kiertyvä). Vaikutus ei näy ulkonaisessa symmetriassa (lukuunottamatta kaikissa tapauksissa esiintyvää ulkoista nelilukuista kiertoakselia).



Kuva 49. Siirtokuvastus ja siirtokuvastuspinta (ilmenee ulkonaisesti symmetriatasona).

## I. 14. HARJOITTELUOHJEITA JA HARJOITUSTEHTÄVIÄ

Tarkoituksena kide­tieteen peruskurssiin liittyvässä harjoittelussa voidaan pitää edellä esitettyjen tietojen perusteella tapahtuvaa symmetrian ja pintamuotojen käsitteiden selventämistä sekä avaruudellisen ajattelun ja kuvittelukyvyn kehittämistä. Kidemallikokoelman (150 kpl) kiteistä voi tarkastella riittävän monta seuraavaa kaavaa noudattaen:

- hae symmetriaelementit, päätte­le niistä kidejärjestelmä
- sijoita akseliristikko
- tutki pintamuotojen lukumäärä
- valitse edustajapinnat kullekin pintamuodolle
- määritä pintamuodon indeksit
- päätte­le pintamuodon nimi indekseistä tai muulla tavalla.

Harjoitustehtäviä: Tässä on annettu vain yleisiä harjoitustehtävätyyppejä. Keksi itse lisää kuhunkin tyyppiin.

### Indeksit

- Luettele kuutiollisen (*hll*) pintamuodon yksittäisten pintojen indeksit.
- Voivatko 313 ja 311 olla saman pintamuodon yksittäisten pintojen indeksejä
  - kuutiollisessa
  - tetragonisessa
  - .....
- Millä tavoin poikkeaisivat ulkonäöltään kuutiolliset pintamuodot (310) ja (210) toisistaan?
- Sijoita pintamuotojen indeksit kuvissa 29, 32, 34, 36, 38, 39 ja 40 kyseisen pintamuodon edustajapinnan kohdalle.

### Hahmottelu

- Piirrä (hahmottele) rombinen kide, jossa esiintyvät pintamuodot (100), (010), (*h0l*) ja (001).
- Millainen olisi kuutiollisen yksinkertaisen kidemuodon (210) leikkauskuvio keskipisteen kautta kulkevan *l0l*-suuntaisen tason kanssa.

### Peruskäsitteet

- Akselisuhteen vaihtelun merkitys rombisten pystyprismojen (110) ulkonäköön.

## II. MINERALOGIA

### II. 1. JOHDANTO

**Mineraalit** ovat kivien perusrakenneosasia. Kivet - tai kuten geologeilla on tapana sanoa - **kivilajit** koostuvat mineraalirakeista. Tavallisissa kivissä on yleensä 3 - 5 eri mineraalia, jotka kukin muodostavat kivessä lukuisia yleensä noin 0.1 - 1 mm suuruisia rakeita eli kideyksilöitä.

Mineraalilajit erotetaan toisistaan fysikaalisten ominaisuuksien erilaisuuksien perusteella. Viime kädessä on mineraalin hilan laatu (alkeiskopin särmien pituudet, massapistejonojen väliset kulmat, atomien paikat hilassa) se tuntomerkki ja erotusperuste, jonka nojalla jokin mineraali erotetaan kaikista muista. Lisäksi kullakin mineraalilla on tietyissä rajoissa vaihteleva kemiallinen koostumus.

Mineraalit koostuvat pääasiassa maankuoren **pääalkuaineista**, joita ovat happi, pii, alumiini, rauta, kalsium, natrium, kalium ja magnesium. Myös harvinaisempia alkuaineita tavataan. Valtaosa mineraaleista on kiteisessä olomuodossa.

Suomen kielessä on käytetty vierasperäisen mineraali-sanana vastineina sanoja **kaivannainen** ja **kivennäinen**. Kumpikaan ei ole juurtunut yleiseen käyttöön. Kaivannainen vastineena olisikin huono, sillä se tuo mieleen taloudellisen käyttökelpoisuuden, joka mineraaleista on vain muutamilla. Kivennäinen puolestaan on sana, joka ehkä sulkisi "kaivannaiset" mineraalikäsitteen ulkopuolelle. Taloudellisesti käyttökelpoiset kivet, joista voidaan valmistaa metalleja - ts. **malmit** - ovat nekin kiviä, jotka koostuvat kuten muutkin kivet mineraaleista.

Mineraalit syntyvät geologisissa **prosesseissa**. Geologisia prosesseja ovat:

1. magmatismi
2. sedimentaatio
3. metamorfoosi.

**Magmatismilla** tarkoitetaan maan pinnalla (**vulkanismi**) tai maan kuoren sisällä (**plutonismi**) tapahtuvaa sulan kiviaineksen (**magman**) kiteytymistä. Magmoja syntyy maankuoren sisällä vuorijonojen syntyyn johtavissa liikunnoissa. Magmat sisältävät runsaasti kemiallisia komponentteja ja ne ovat fysikokemiallisesti varsin monimutkaisia systeemejä. Magman jäähtyessä (~1200 - 1000 °C) siitä alkaa aluksi kiteytyä koostumuksesta riippuen esim. jotakin seuraavista mineraaleista: kromiitti, plagioklaasi, oliviini tai pyrokseeni. Muu osa magmasta säilyy sulassa tilassa kunnes lämpötila on laskenut niin alas (~200°C), että kukin mineraali on vuorollaan kiteytynyt ja kaikki magman ainekset kulutettu kiteytyvien mineraalirakeiden synnyttämiseen. Varhain kiteytyneet mineraalit saavat helpoimmin esille oman kidemuotonsa ja ovat **omamuotoisina** (idiomorfisina) rakeina kivessä. Myöhemmin kiteytyneillä mineraaleilla ei juuri kidemuotoa ole ja ne ovat **vierasmuotoisia** (alotriomorfisia).

**Sedimentaatio** käsittää kivien mekaanisen, biologisen ja kemiallisen rapautumisen, aineksen kuljetuksen, lajittelun ja kerrostumisen tai saostumisen. Sedimentaatioissa syntyy mineraaleja vesiliuoksista saostumalla. Tällä tavoin syntyy mm. karbonaattiryhmän mineraaleja, limoniittia, kvartssia kalsedonia jne. Sedimenttiin saostumalla syntyneet uudet mineraalit muodostavat usein muutoin irtonaista sedimenttiä koossapitävän **iskoksen**.

**Metamorfoosi** liittyy maankuoren sisällä tapahtuviin liikuntoihin sekä magmojen purkauksiin. Kohonneen paineen ja/tai lämpötilan vaikutuksesta sekä liikuntojen edesauttamina vanhemmat magmatismien, sedimentaation tai metamorfoosin kautta syntyneet mineraalit **uudelleenkiteytyvät**. Tuloksena voi syntyä lähinnä paine- ja lämpötilaolosuhteista riippuen joko samoja tai vanhoista poikkeavia mineraalilajeja.

## II. 1. 1. Mineraalien ryhmittely

Kivilajien päämineraaleina esiintyviä mineraaleja sanotaan **kivimineraaleiksi** tai kivilajeja muodostaviksi mineraaleiksi. **Malmimineraaleiksi** sanotaan mineraaleja joissa jotakin metallia esiintyy siinä määrin ja sellaisessa muodossa että metallin erottaminen mineraalista voi tapahtua taloudellisesti. **Teollisuusmineraalien** (eli ns. epämetallisten hyödyllisten mineraalien) käyttö taas perustuu mineraaliin itseensä, niin että mineraalia sopivalla tavalla käsiteltynä voidaan käyttää esim. tulenkestävien materiaalien raaka-aineena, lämpöeristeenä tms. **Jalokiviksi** sanotaan sellaisia mineraaleja, jotka ovat harvinaisia, kovia, kauniita läpinäkyviä tai väriltään miellyttäviä sekä eheitä. Esimerkkejä jalokivistä on mineraalien kuvauksen yhteydessä. Oppia jalokivistä sanotaan **gemmologiaksi**.

## II. 1. 2. Mineraalien lukumäärä

Mineraalilajien tarkkaa lukumäärää ei voida ilmoittaa. Tarkan lukumäärän määrittämiseksi käsite mineraalilaji pitäisi voida määritellä nykyistä tarkemmin. Kuten edellä on mainittu, pidetään mineraalin (= mineraalilajin) olennaisimpana erotusperusteena sen hilan laatua (= alkeiskopin mittoja ja kulmia, atomien laatua ja paikkoja hilassa). Isomorfiasta ja diadokiasta (ks. jällempänä!) johtuu, että tällä tavoin määriteltynä mineraalilajeja olisi lähes rajattomasti. Toisaalta kuitenkin olisi syytä pitää isomorfisen seossarjan jäseniä ominaisuuksien samankaltaisuuden vuoksi yhtenä ja samana mineraalina. Isomorfisten seossarjojen eri jäsenet ovat kuitenkin jo ehtineet lukuisissa tapauksissa saada vakiintuneet mineraalinimitykset, ja tästä syystä mineraalinimiä on runsaasti, noin 10 - 20 000. Esim. oliviinilla  $(Mg,Fe)_2SiO_4$  on päätejäsenen  $Mg_2SiO_4$  (forsteriitti) ja  $Fe_2SiO_4$  (fayaliitti) nimien lisäksi kolme välikoostumuksia tarkoittavaa mineraalinimeä. Näin ollen esimerkkitapaus lisää mineraalilajiluetteloa tarkastelijasta riippuen 1 - 6 nimellä. Nimistön runsautta lisää vielä se, että useilla mineraalinimillä on synonyymejä.

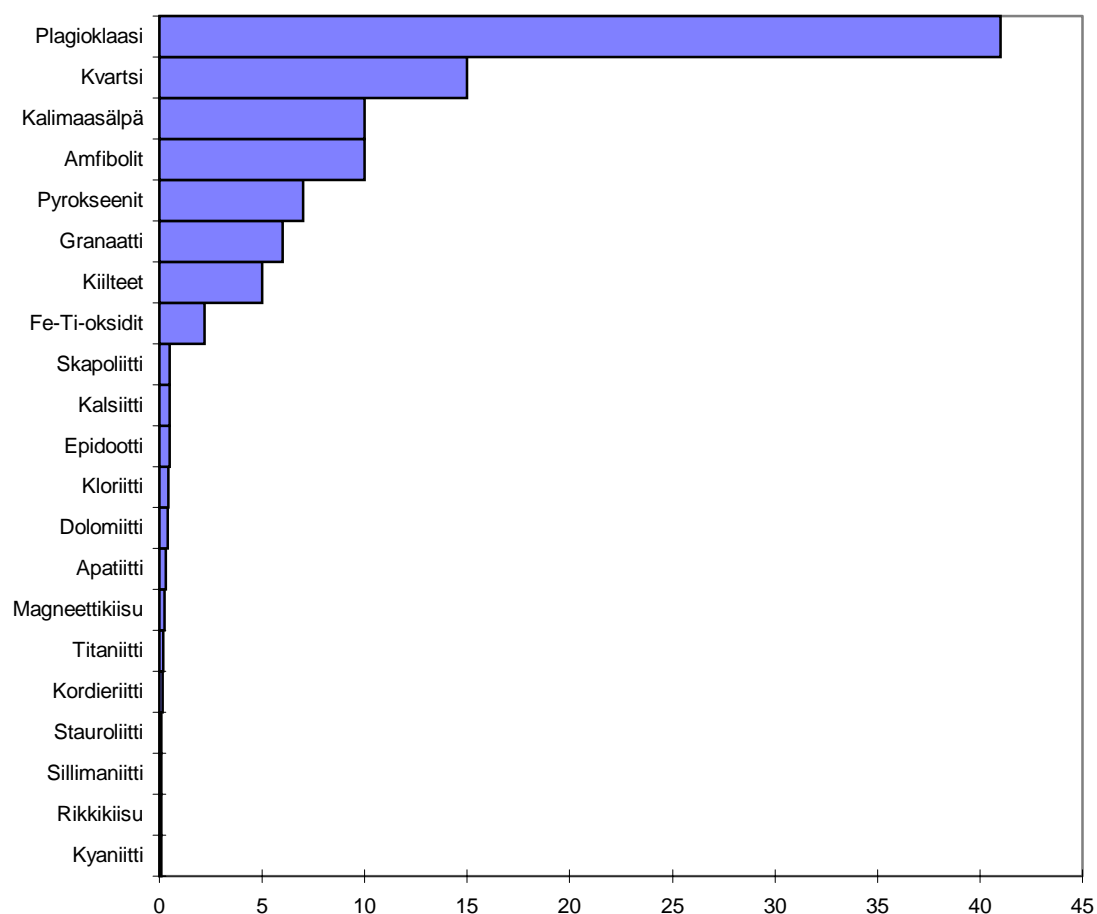
Jos isomorfisia seossarjoja pidetään kutakin yhtenä mineraalina, ja jos synonyymit tulkitaan ryhmittäin yhdeksi mineraaliksi päädytään mineraalilajien lukumäärää ilmoittavaan lukuun, joka vuonna 1966 oli 1580 ja vuonna 1995 jo 3600. Huomattava on, että vuosittain löydetään, tutkitaan ja nimetään noin 50-60 uutta mineraalilajia. Nykyään uudet mineraalit hyväksyy ja luetteloi kansainvälisen sopimuksen mukaan kansainvälinen mineraloginen unioni, International Mineralogical Association (IMA).

Mineraalilajien lukumäärä kussakin kemialliselta ja kiderakenteelliselta pohjalta muodostuvassa mineraaliluokassa (ks. mineraalien luokitus) prosentteina kokonaismäärästä on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Hyväksytyjen mineraalilajien lukumäärä eri mineraaliluokissa vuonna 1995. Tekijöiden laskelma.

	kpl	% mineraalien kokonaismäärästä
Alkuaineet	15	0.4
Alkuaineseokset	47	1.3
Halogenidit	141	4.0
Sulfidit	392	11.1
Arsenidit, Selenidit, Telluridit, Antimonidit, Fosfidit, Nitridit ja Vismuttiyhdisteet	167	4.7
Oksidit	349	9.9
Hydroksidit	129	3.7
Uranaatit	37	1.1
Karbonaatit	177	5.0
Nitraatit, Ammoniumyhdisteet	8	0.2

Jodaatit	7	0.2
Hiiliyhdisteet	34	1.0
Boraatit	122	3.7
Sulfaatit	257	7.3
Selenaatit, Telluraatit	33	1.0
Volframaatit	17	0.5
Molybdaatit	19	0.5
Kromaatit	3	0.1
Fosfaatit	389	11.1
Arsenaatit	208	5.9
Vanadaatit	80	2.3
Jalosilikaatit	395	11.2
Ketjusilikaatit	75	2.1
Nauhasilikaatit	92	2.6
Verkkosilikaatit	173	4.9
Hohkasilikaatit	154	4.4
	3520	100.0%



Kuva 50. Mineraalien keskinäinen yleisyysjärjestys sekä kunkin mineraalin osuus maankuoresta tilavuusprosentteina. Tekijöiden arvio.

Mineraalilajeista valtaosa on suuria harvinaisuuksia. Kahdesta yleisimmästä mineraalista, plagioklaasista ja kvartsista, koostuu jo noin 60 tilavuus-% koko maankuoresta eikä kolmanneksi yleisin, kalimaasälpä, jää yleisyydessä paljon edellisistä jälkeen. Kuvaan 50 on koottu tekijöiden arvio mineraalien keskinäisestä yleisyysjärjestyksestä sekä kunkin osuus tilavuusprosentteina maankuoresta.

### II. 1. 3. Mineraalien nimistä

Useimmat mineraalien nimistä ovat suomenkielisessä asussaankin loppupäätteitä lukuunottamatta kansainvälisiä. Suomenkielisiä mineraalien nimissä usein esiintyviä päätteitä -tiitti, -siitti, -iitti ja -iini vastaavat esim. englanninkielessä päätteet -tite, -site, -ite ja -ine alkuosan ollessa useimmiten sama. Osa mineraalien nimistä on käännetty lähinnä ruotsinkielisestä vastineesta suomenkieliseen asuun. Esimerkkeinä mainittakoon maasälpä (fältspat), kalkkisälpä (kalkspat), lyijyhohde (blyglans), kuparikiisu (kopparkis), rikkikiisu (svavelkis), sinkkivälke (zinkblände).

Uuden mineraalin löytäjällä ja sen ensimmäisellä tutkijalla on yleensä oikeus nimen antamiseen tutkimalleen mineraalille. Ehdotus uudeksi mineraalinimeksi tehdään kansainväliselle mineralogiselle unionille (IMA, Commission on New Minerals and Mineral Names), joka pitää kirjaa mineraalien nimistöstä. Uudet mineraalit saavat useinkin nimensä esim. jonkun huomattavan geologin, mineralogin tai muun henkilön nimen mukaan. Tällaisia ovat mm. eskolaiitti, väyryneniitti, götiitti eli goethiitti (Goethe), dolomiitti, uvaroviitti, biotiitti, sillimaniitti, hedenbergiitti, häyyni, wollastoniitti, forsteriitti, kordieriitti, rooseweliitti ja mussoliniitti. Osa mineraaleista on saanut nimensä jonkin paikannimen mukaan. Tällaisia ovat mm. andalusiitti, fayaliitti, spessartiitti, vesuvianiitti, montmorilloniitti, illiitti (Illinois), muskoviitti ja aragoniitti.

Osa mineraalien nimistä on hyvin vanhaa perua eikä nimien alkuperää ole niin ollen voitu tarkasti selvittää. Tällaisia ovat mm. berylli, turmaliini, zirkoni ja talkki. Näille mineraaleilla onkin ominaista, että ne ovat olleet tunnettuja pitkään joko jalokivinä tai jonkin muun, käyttökelpoisen ominaisuutensa vuoksi.

Eräissä mineraalien nimissä esiintyy viite mineraalin johonkin ominaisuuteen tai esiintymistapaan; staurolitiitti (kr. stauros = risti, lithos = kivi), limoniitti (kr. leimon = niitty), lyijyhohde (syn. galena = lat. lyijymalmi), baryytti (= raskassälpä) (kr. baros = raskas), kalsiitti (lat. calx = kalkki), apatiitti (kr. apate = petollinen), fluoriitti (lat. fluo = virtaan, s.o. helposti sulava, sulamispistettä seoksissa voimakkaasti alentava), augiitti (kr. auge = loisto), amfiboli (kr. amphibolos = kaksinainen, epämääräinen), kloriitti (khloros = vihreä), kyaniitti (kr. kuanos = sininen), granaatti (lat. granula = rae), disteeni (di- = kaksi, sthenos = lujuus, kovuus, kovuus vaihtelee eri suunnissa).

Taulukko 12. Tavallisimpien mineraalien nimet sekä niiden vastineet ruotsin, saksan ja englannin kielellä.

<b>Suomi</b>	<b>Ruotsi</b>	<b>Saksa</b>	<b>Englanti</b>
Grafiitti	grafit	Graphit	graphite
Timantti	diamant	Diamant	diamond
Fluorisälpä 1. fluoriitti	fluorit, flusspat	Fluorit, Flussspat	fluorite, fluorspar
Lyijyhohde	blyglans	Bleiglanz	galena
Molybdeenihohde	molybdenglans	Molybdänglanz	molybdenite
Sinkkivälke	zinkblände	Sphalerit, Zinkblende	sphalerite
Magneetikiisu	magnetkis	Magnetkies, Pyrrhotin	pyrrhotite
Rikkikiisu 1. pyriitti	svavelkis, pyrit	Schwefelkies, Pyrit	pyrite
Arsenikiisu	arsenikkis	Arsenkies	arsenopyrite
Kuparikiisu	kopparkis	Chalkopyrit	chalcopyrite
Korundi	korund	Korund	corundum



Hematiitti	hämatit, järnglans	Eisenglanz, Hämatit,	haematite
Ilmeniitti	ilmenit	Titaneisen, Ilmenit	ilmenite
Kromiitti	kromit	Chromit	chromite
Magnetiitti	magnetit	Magnetit	magnetite
Pikivälke	pechblände	Pechblende	uraninite, pitchblende
Limoniitti	limonit	Limonit	limonite
Pyrolusiitti	pyrolusit	Pyrolusit	pyrolusite
Kvartsi	kvarts	Quarz	quartz
Kalkkisälpä kalsiitti	1. kalkspat	Kalkspat, Calcit	calcite
Dolomiitti	dolomit	Dolomit	dolomite
Magnesiitti	magnesit	Magnesit	magnesite
Sideriitti 1. rautasälpä	siderit, järnspar	Eisenspat, Siderit	siderite
Baryytti	baryt, tungspat	Baryt, Schwerspat	baryte, barite
Apatiitti	apatit	Apatit	apatite
Oliviini	olivin	Olivin	olivine
Humiitti	humit	Humit	humite
Sillimaniitti	sillimanit	Sillimanit	sillimanite
Andalusiitti	andalusit	Andalusit	andalusite
Kyaniitti 1. disteeni	kyanit, disten	Kyanit (Cyanit), Disthen	kyanite, (disthene)
Stauoliitti	staurolit	Staurolith	staurolite
Topaasi	topas	Topas	topaz
Granaatti	granat	Granat	garnet
Epidootti	epidot	Epidot	epidote
Titaniitti	titanit	Titanit (Sphen)	sphene
Berylli	beryll	Beryll	beryl
Turmaliini	turmalin	Turmalin	tourmaline
Kordieriitti	cordierit	Cordierit	cordierite
Pyrokseeni	pyroxen	Pyroxen	pyroxene
Ortopyrokseeni	hypersten	Hypersthen	hypersthene, orthopyroxene
Diopsidi	diopsid	Diopsid	diopside
Augiitti	augit	Augit	augite
Wollastoniitti	wollastonit	Wollastonit	wollastonit
Amfiboli	amfibol	Amfibol	amphibole
Antofylliitti	antofyllit	Antophyllit	antophyllite
Sädekivi	strålsten	Strahlstein	tremolite- actinolite
Sarvivälke	hornblände	Hornblende	hornblende
Amfiboliasbesti	amfibolasbest	Amfibolasbest	amphibole asbestos
Kiille	glimmer	Glimmer	mica
Muskoviitti	muskovit	Muscovit	muscovite
Biotiitti	biotit	Biotit	biotite
Kloriitti	klorit	Chlorit	chlorite
Serpentiini	serpentin	Serpentin	serpentine
Talkki	talk	Talk	talc
Kaoliini	kaolin	Kaolinit	kaolinite
Maasälpä	fältspat	Feldspat	feldspar, felspar
Kalimaasälpä	kalifältspat	Kalifeldspat	potassium (potash) feldspar
Plagioklaasi	plagioklas	Plagioklas	plagioclase
Skapoliitti	skapolit	Skapolith	scapolite

## II. 1. 4. Tunnistamistavat

Mineraalilajit erotetaan toisistaan viime kädessä niiden **kidekemiallisen rakenteen** ts. **hilarakenteen perusteella**. Alkeiskopin mittasuhteet ja verkkopintojen etäisyydet toisistaan ovat kunkin mineraalin tuntomerkkeinä tärkeimmät sen erottamisessa kaikista muista. Hilamittojen selvittäminen edellyttää aallonpituudeltaan sopivan säteilyn hyväksikäyttöä. Röntgensäteilyn aallonpituus (n. 1 Å) on suuruusluokaltaan hilamittoja vastaava. Röntgensäteiden avulla tapahtuvaa mineraalien tunnistamista ja rakenteiden selvittelyä sanotaan **röntgenografiaksi**.

Mikroskoopin avulla mineraalit voidaan tunnistaa kidemuodon, lohkeavuuden (vrt. myöh.), taitekertoimen tai taitekertoimien sekä kahtaistaiton ym. optisten ominaisuuksien perusteella. Ohuina levyinä läpinäkyvien mineraalien tutkimuksessa käytettävä mikroskooppi on **polarisaatiomikroskooppi**, jossa käytetty valo on yhteen tasoon polarisoitua. Polarisaatiomikroskoopin käyttöön perehdytään kideoptiikan yhteydessä .

Malmimineraaleja, jotka ovat ohuinakin levyinä läpinäkymättömiä (opakkeja) tutkitaan mineraalin kiilloitetusta pinnasta heijastuvan valon avulla **metallimikroskoopilla** tai ns. **opakki-illuminaattorilla**. Heijastuskyky vaihtelee eri malmimineraaleilla ja heijastuskyvyn mittaamisen avulla malmineraali onkin usein tunnistettavissa.

Hyvin pieninä, vain muutaman tuhannesosamillimetrin suuruisina rakeina esiintyvien mineraalien tunnistamisessa taas voidaan käyttää **elektronimikroskooppia** tai **röntgenmikroanalysaattoria**

Ilman ylläkuvattuja tai muita laboratoriolaitteita tapahtuvaa tunnistamista sanotaan mineraalien **makroskooppiseksi tunnistamiseksi**. Makroskooppisesti voidaan mineraali identifioida tutkimalla sen eräitä fysiikkallisia ominaisuuksia, joista tärkeimpiä ovat kiilto, kovuus, lohkeavuus, tiheys, asu ja kidemuoto sekä malmimineraaleilla lisäksi mineraalijauheen eli viirun väri. Muita tunnistamisessa käyttökelpoisia ominaisuuksia ovat mm. magneettisuus, radioaktiivisuus, fluoresenssi, fosforenssi ja liukenevuus happoihin.

## II. 2. MINERAALIEN OMINAISUUKSISTA

Koska lähes kaikki mineraalit ovat kiteisessä olomuodossa, ovat useat niiden ominaisuuksista ymmärrettävissä kiteisen olomuodon erikoispiirteiden avulla. Suotuisissa olosuhteissa kiteiselle aineelle kehittyy **kidemuoto**, jota voidaan useinkin pitää mineraalin eräänä tuntomerkkinä. Kiteisestä olomuodosta on myös seurauksena, että ominaisuudet saattavat olla erilaiset eri suuntiin, mutta samaan suuntaan aina samalla mineraalilla samanlaiset.

Hilan laatu kiteisellä aineella vaihtelee suunnan mukaan. Siksi aine ei aina ole homogeenista eri suuntiin tietyistä tarkastelupisteistä edettäessä kuten amorfisilla aineilla. Niinpä esim. kovuus, lämpölaajeneminen ja valon etenemisnopeus kiteisessä aineessa ovat suunnasta riippuvia. Myös **lohkeavuus** on kiteisen aineen erikoispiirre. Lohkeavuus johtuu hilan lujuusominaisuuksien vaihtelusta eri suunnissa.

### II. 2. 1. Asu

Mineraalin **asulla** tarkoitetaan sen rakeiden eri ulottuvuuksien suhdetta toisiinsa. Jos rakeet ovat likipitään yhtä ulottuvia kaikkiin suuntiin, sanotaan, että mineraalin asu on **rakeinen**. **Suomuisia** ovat mineraalit, joilla kaksi ulottuvuutta ovat hyvin kehittyneitä kolmannen ollessa mitätön (esim. kiilteet ja grafiitti). **Kuituisilla** mineraaleilla vain yksi ulottuvuus on hyvin kehittynyt (esim. amfiboliasbesti). **Sälöiset** mineraalit muodostavat usein säteittäisesti suuntautuneita pitkulaisia levyjä tai puikkoja. **Massamaisiksi** voidaan sanoa asua silloin, kun

raekoko on niin pieni, ettei rakeita erota toisistaan. Erikoistapauksissa asua voidaan kuvata myös mm. dendriittiseksi eli puu- tai oksamaiseksi, munuaiseksi, tähtimäiseksi jne.

### II. 2. 2. Raekoko

Raekoko on olennainen tekijä mineraalin muita ominaisuuksia tutkittaessa. Esim. asun tutkimiseksi on tietysti oltava käytössä ainakin mineraalin yhden kokonaisen rakeen sisältävä näyte. Toisaalta pieni raekoko vaikeuttaa paljain silmin tapahtuvaa ominaisuuksien havaitsemista.

Mineraalien raekoko on tavallisesti suuruusluokkaa 0.1 - 2 mm. **Hienorakeiseksi** sanotaan mineraaleja, joiden raekoko on <1 mm. **Keskirakeisia** ovat raekooltaan välillä 1 - 5 mm olevat mineraalit. **Karkearakeisia** ovat taas yli 5 mm:n rakeet.

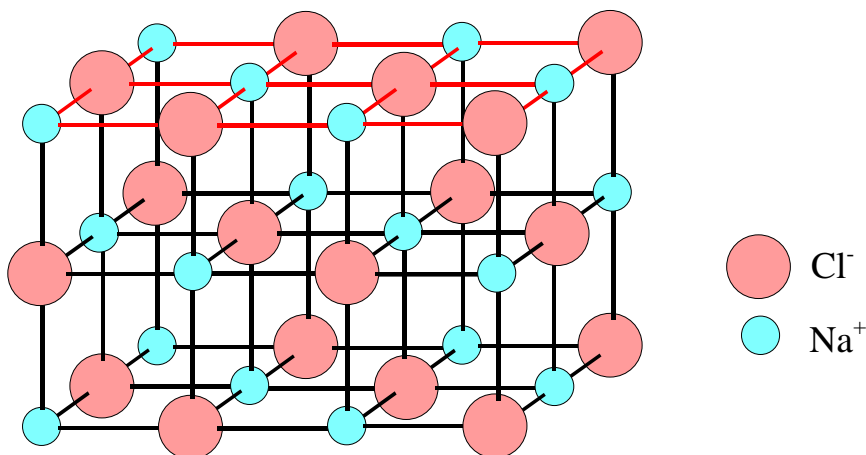
Raekoko saattaa kivissä olla jopa niin pieni, että paljain silmin ei eri rakeita erota toisistaan. Tällöin sanotaan, että mineraalin rakenne on **tiivis**. Toisaalta erityisen karkearakeisissa kivilajimuunnoksissa, ns. pegmatiiteissa saattaa raekoko olla jopa 0.5 - 10 m.

### II. 2. 3. Kiilto

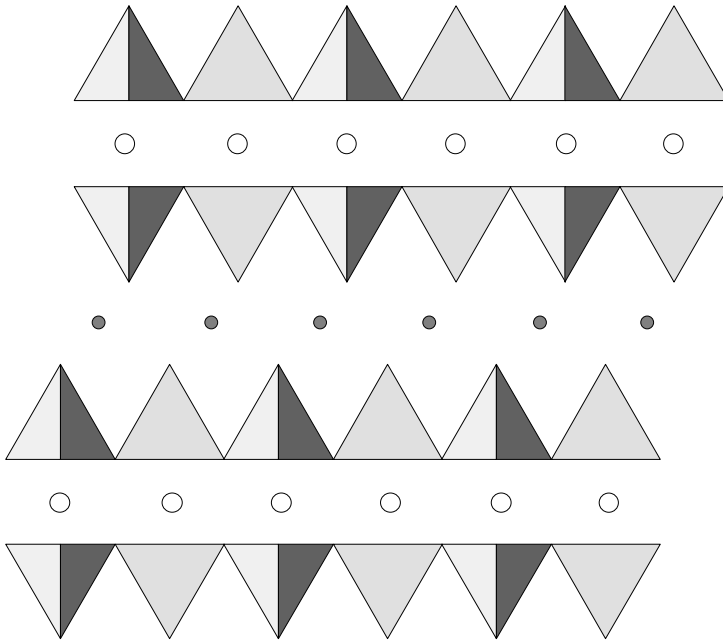
Kiilto on se vaikutelma, joka saadaan kun mineraalirakeen pinnan kautta heijastetaan valoa silmiin. Useat mineraalit antavat heijastettaessa esimerkiksi sen vaikutelman, että niiden pinta on lasia, jolloin puhutaan **lasikiillosta**. Muita vaikutelmia ja kiiltolajeja ovat **rasva-**, **metalli-**, **timantti-**, **silkki-**, **vaha-** ja **nahkakiilto**.

### II. 2. 4. Lohkeavuus

Mineraalin hilaa koossapitävät kemiallisiin sidoksiin liittyvät koheesivoimat ovat hilan luonteesta johtuen eri suunnissa eri suuruiset. Kuvissa 51 ja 52 on esitetty vuorisuolan (NaCl) ja kiilteen hilojen laatu kaavamaisesti. Rakenteen perusteella on helppo ymmärtää, että vuorisuola pyrkii lohkeamaan pitkin kuution sivujen mukaisia suuntia, joista yksi, Millerin indeksit 001 saava suunta on esitetty punaisella (harmaalla) viivoituksella. Kiilteellä taas hilaa koossapitävät voimat ovat heikoimmat piirrostasoa vastaan kohtisuoran vaakatason läpi ja niinpä kiille pyrkii lohkeamaan pitkin tuota tasoa.



Kuva 51. Vuorisuolan hilarakenne.



Kuva 52. Kiilteen hilarakenne 001-pinnan suunnassa katsottuna.

Lohkeavuus tarkoittaa siis mineraalin särkymistä pitkin tasaisia, jopa peilikirkkaita pintoja myöten. Pinnat ovat **lohkopintoja**. Lohkopinta edustaa hilassa heikkousvyöhykettä ja lohkeaminen tapahtuu yhä uudelleen ja uudelleen saman suuntaista pintaa pitkin.

Mitä helpommin lohkeaminen tapahtuu ja mitä tasaisempi **lohkосуunta** on, sitä **etevämmän** sanotaan lohkeavuuden olevan. Etevyuden vastakohtana puhutaan heikosta ja epäselvästä lohkeavuudesta ja lohkopinnasta. Lohkopinta saattaa olla jonkin kidepinnan suuntainen, mutta eroaa kidepinnasta siinä, että lohkomisen jatkuessa lohkopinta saadaan yhä uudelleen ja uudelleen toistumaan. Lohkосуunnat määräävät mineraalista särjettäessä (murskattaessa) syntyvien kappaleiden muodon. Niinpä mineraalista, jolla on yksi etevä lohkосуunta, saadaan murskattaessa jauhetta, jossa mineraali on suomumaisina kappaleina (kuva 53A).

Varsin usein mineraalilla on kaksi kohtisuoraa (tai likimain kohtisuoraa) lohkосуuntaa. Murskattuna tällainen mineraali esiintyy "laatikkomaisina" kappaleina, joiden pituus-, leveys- ja korkeussuhteet vaihtelevat (kuva 53B). Suorakulmainen lohkeavuus ilmenee myös suorakulmaisena porrastuksena itse näytettä suurennuslasilla tutkittaessa.

Karbonaattiryhmän mineraaleilla on kolme etevää vinoa lohkосуuntaa. Sellainen lohkokappale, jossa särmät olisivat yhtä pitkiä, olisi romboedri. Karbonaattiryhmän mineraalien lohkeavuutta kutsutaankin sen vuoksi **romboedriseksi** lohkeavuudeksi (kuva 53C).

Mineraalit, joilla ei ole yhtään lohkосуuntaa, halkeavat kupuraisia **murroksia** pitkin. Esimerkki tällaisesta mineraalista on kvartsi, jota onkin esihistoriallisella ajalla voitu käyttää taidokkaiden kivityökalujen valmistukseen lohkосуuntien puutteen vuoksi.