

1 Leire

1.1 Introduksjon

Den gruppen mineraler som er klasifisert som leire spiller en viktig rolle innenfor mange områder av boreteknologien, deriblant borevæsker. Leire kan kjemisk beskrives som aluminiumsilikater. Siden de elementene som leiren er oppbygd av utgjør over 80% av jordens masse (Al = 8%, Si = 27,7% og O = 46,6%), er det helt naturlig at vi til enhver tid vil komme i kontakt med leirholdige formasjoner når brønner bores.

De mest vanlige formasjoner som bores er leire og skifer. Mengde og type leiremineraler som disse formasjonene består av er blant de viktigste faktorer mhp. kjemiske og mekaniske egenskapene bergarten har. Valg av borevæske er ofte avhengig av reaksjonen mellom borevæske og bergarten, da væsken kan påvirke stabiliteten i brønnveggen. Derfor vil forståelse av leirkjemi være svært viktig ved valg av boreslamssystemer, og i forståelse av borehullsstabilitet.

De fleste sandsteinsreservoarer inneholder også noe leirmineraler. Disse leirmineralene kan reagere med borevæsken og i verste fall føre til en fullstendig blokkering av formasjonen. Igjen vil det være viktig med en forståelse av leirens oppbygging og reaksjon ved design av borevæsker som kommer i kontakt med en produksjonssone.

Leire blir også brukt som tilsetning i boreslam for å gi væsken viskositet og/eller filtertapskontrollerende egenskaper. Bentonitt (og attapulgitt) blir tilsatt med hensikt, samtidig som formasjonsleire dispergerer inn i borevæsken under boring. Et stort antall kjemikalier tilsettes for å kontrollere viskositet og filtertaps egenskapene. En forståelse av kjemien til disse kjemikaliene og til leirene er svært viktig for at slamingeniøren skal kunne kontrollere borevæskens egenskaper.

Vi vil i de påfølgende avsnitt beskrive de fysiske og kjemiske egenskapene til forskjellige typer leirmineraler og relatere dette til leirens oppførsel i borevæsker og i leirskifer.

1.2 Oppbygging av leirpartikler.

Det er mange karakteristisk trekk som skiller leirmineralene ut som en gruppe. Den viktigste er at kjemisk analyse viser at de er bygd opp av hovedsaklig Silisium (Si), Aluminium (Al) og vann (H₂O). I tillegg kan det ofte være tilstede betydelige mengder av jern (Fe), og magnesium (Mg) og mindre mengder natrium (Na) og kalium (K). Andre viktige strukturelle egenskaper er liten størrelse, stort overflateareal og en kjemisk reaktiv overflate.

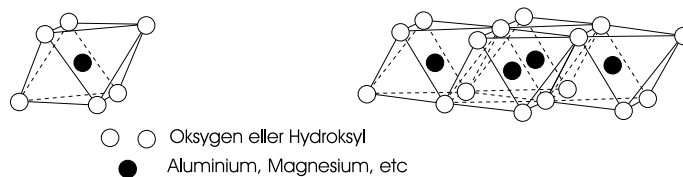
Oppbyggingen av de forskjellige typer leirmineraler er i stor grad basert på 2 grunnleggende byggestener, et oktaederlag og et tetraeder lag i vekslende rekkefølge.

1.2.1 Oktaederlaget

Oktaeder-lagene (se Figur 1.2) består av 2 plan med tettpakket oksygen (O₂⁻) eller hydroksyl (OH⁻) med aluminium (Al³⁺) eller Magnesium (Mg²⁺) gi like stor avstand fra O eller OH, bundet sammen i en oktaedrisk struktur. Når Al³⁺ er tilstede er bare 2/3 av posisjonene fylt for å ballansere strukturen, som da kalles gibbsite Al(OH)₃. Når det er Mg²⁺ som er tilstede vil alle posisjonene være fylt og strukturen kalles brucite Mg(OH)₂. I leire vil denne strukturen ofte inneholde mer enn ett metall-ion.

1.2.2 Tetraeder laget

Byggestenene i Tetraeder-laget består av et Si-atom i sentrum og med 4 oksygen eller hydroksyl i lik avstand i hjørnene av et regulært tetraeder. Si-tetraederne bindes ved å dele et felles oksygen/hydroksyd.

**Figur 1.2***Oppbyggingen av et oktaederlag*

De er satt sammen slik at toppen i tetraederne peker i samme retning og slik at grunnflaten i alle tetraederne ligger i samme plan. Når seks Si-tetraeder bindes sammen på denne måten kan vi få dannet et heksagonal struktur som igjen kan binde seg med flere heksagonale strukturer til et heksagonalt nettverk. Tetraederlagets komposisjon er da $\text{Si}_4\text{O}_6(\text{OH})_4$. I Figur 1.1 kan vi se tetraederlaget bygd opp av heksagonale strukturer med et hull i midten.

De grunnleggende enhetene av tetraeder- og oktaeder-lag kan bindes sammen og danne krystallstrukturer ved å dele felles oksygen eller hydroksyd. Forskjellige kombinasjoner og modifikasjoner av disse 2 basis-strukturene gir opphav til et vidt spekter av leirmineraler med ulike egenskaper.

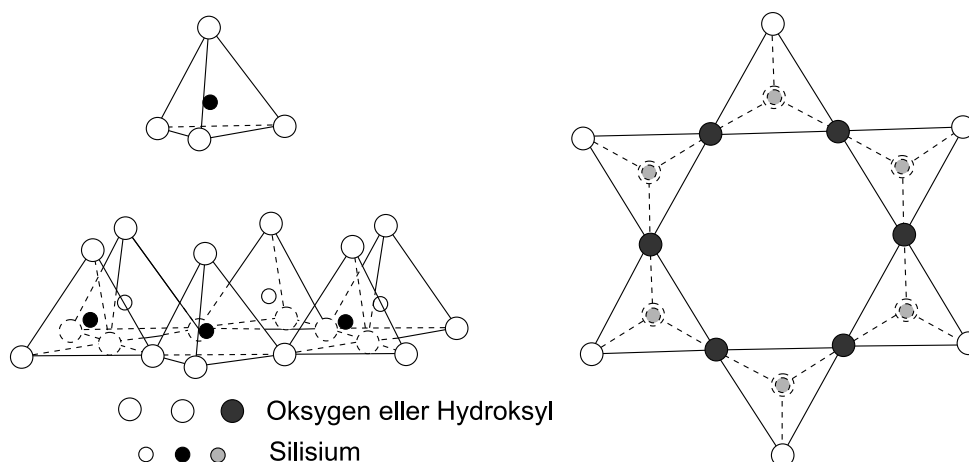
1.3 Strukturer til leirmineraler.

Tetraederlag og Oktaederlag kan bindes sammen ved at de deler felles oksygen. Forskjellige kombinasjoner og kjemiske modifikasjoner har gitt opphav til mer enn 26 forskjellige leirmineraler. Leirmineralene er bygd opp av ulike forhold mellom tetraederlag og oktaederlag. Den største gruppen er 2:1 kombinasjon, men det er også 2:1:1 mineral og 1:1 mineral.

Av størst interesse for oss er de som forekommer i sedimentære bergarter slik som kaolin, mica, illite, smektite, sepiolite, chlorite og attapulgitt. Eksempler på disse strukturene finnes i Tabell 1.1 og Figur 1.3. Før vi diskuterer i detalj oppbyggingen til de forskjellige leirmineralene, må de to mekanismene som forårsaker at leirmineraler kan utvikle elektriske ladninger på leiroverflaten belyses.

1.3.1 Ladninger på leiroverflaten

Det er 2 forskjellige mekanismer som er årsak til ladninger på leiroverflaten. En er relatert til strukturen av leiren og er karakteristisk for det særskilte mineralet. Den andre oppstår pga. brutte kanter.

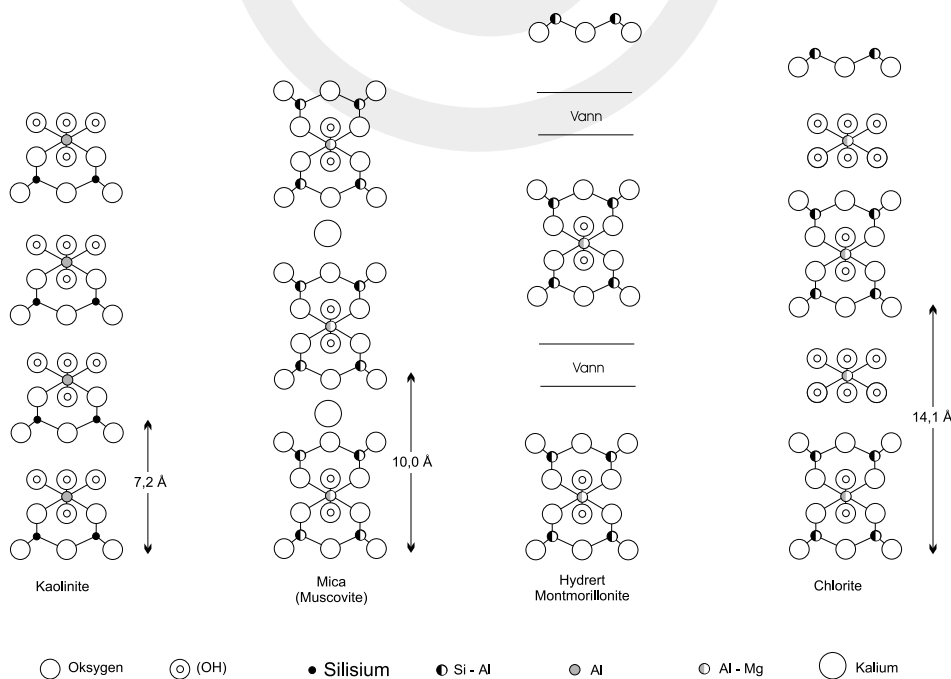
**Figur 1.1***Oppbyggingen til et tetraederlag.*

Tabell 1.1
Oppsummering av struktur og egenskaper til de vanligste leirmineraler

Egenskaper	Kaolin	Mica	Mont	Attap	Chlorite
Tetraeder/oktaeder kombinasjon	1:1	2:1	2:1	2:1	2:1:1
Krystall struktur	sjikt	sjikt	sjikt	sjikt	sjikt
Partikkelform	Hexagonal plate	vidstrakt plate	flak	nål	plate
Partikkelstørrelse, μm	5 - 0.5	store til 0.5	2 - 0.5	1 - 0.1	5 - 0.1
Overflateareal BET-N ₂ -M ₂ /g BET-H ₂ O-M ₂ /g	15 - 25 -	50 - 110 -	30 - 80 200 - 800	200 -	140 -
CEC, meq/100g	3 - 15	10 - 40	80 - 150	15 - 25	10 - 40
Viskositet i vann	lav	lav	høy	høy	lav
Effekt av salt	Flokkulerer	Flokkulerer	Flokkulerer	Ingen	Flokkulerer

1.3.1.1 Isomorf substitusjon.

En idealistisk kombinasjon av tetraederlag og oktaederlag gir en struktur med ballanserte ladninger. Om derimot et metallion blir byttet ut med et ion med færre ladninger, vil en negativ ladning dannes i strukturen. Dette kan skje ved at for eksempel kan Si^{4+} i tetraederstrukturen byttes med Fe^{3+} , eller Al^{3+} i oktaederstrukturen byttes med Mg^{2+} .



Figur 1.3
Skjematisk presentasjon av strukturer til leirmineraler.

De negative ladningene som dannes i krystallgitteret ved substitusjon blir nøytralisert ved adsorpsjon av kation på overflaten. Dette gir opphavet til den viktige egenskapen til leire som er kjent som kationeutbyttingskapasitet (CEC), fordi de adsorberte ionene kan byttes ut med andre ioner. Kationeutbyttingskapasiteten er uavhengig av pH, men varierer fra mineral til mineral. Denne egenskapen kan derfor brukes til å karakterisere leirer, leirskifer og boreslam og bestemmes ved å måle mengde kationisk fargestoff (metylen blått) som kan adsorberes.

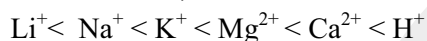
Isomorf substitusjon varierer i de forskjellige leirmineralene i følgende aspekt:

- a) tetraedrisk eller oktaedrisk substitusjon
- b) omfanget av substitusjon
- c) egenskapene til de utbyttbare kation slik som Na^+ , K^+ eller Ca^{2+} .

Utbyttbarheten av kation er avhengig av mange faktorer, de viktigste er

- effekt av konsentrasjon
- mengde av utbyttbare plasser
- egenskapene til anion
- egenskapene til kation
- egenskapene til leirmineralene

Dette store antall av variabler gjør det vanskelig å beskrive utbyttbarheten eksakt. Det har imidlertid blitt vist at de forskjellige kation har forskjellig tiltrekningskrefter til de utbyttbare plassene på leirmineralene, hvor:



Ved lik konsentrasjon vil Kalsium bytte ut flere Natrium enn Natrium klarer å bytte ut Kalsium på leiroverflaten.

Når konsentrasjonen av det ubyttende kation økes vil også tiltrekningskreftene til de utbyttbare plassene øke. En høy konsentrasjon av Kalium kan derfor bytte ut Kalsium som er bundet til leiroverflaten.

1.3.1.2 Ladninger på Brutte kanter

Når leirmineralene knekker vil det oppstå uballanserte ladninger på de eksponerte kantoverflatene. Deler av de nylig eksponerte kantene vil ha en struktur som silisiumoksyd, en svak syre, mens andre deler har en struktur som aluminiumoksyd eller magnesiumoksyd, svake baser. Derfor vil ladningene på endeflatene variere avhengig av pH på løsningen, som vist i Figur 1.4.

Ved lave pH-verdier vil de brutte kantladningene være mer positive, og ved høy pH vil kantladningene være mer negative. En av årakene til å holde en alkalisk pH i borevæsker er å forsikre at leirpartiklene er mest mulig negativt ladde slik at elektrostatiske tiltrekningskrefter blir holdt på et minimum.

Kjemisk behandling av boreslam er ofte en reaksjon rettet mot ladningene på endeflatene. Siden endeflater oppstår ved oppmaling eller nedbrytning av leipartiklene, kan kostnadene med kjemisk behandling reduseres ved å forsikre seg at formasjonsleiren blir fjernet som borekaks, i stedet for at kakset løser seg opp i finere partikler.

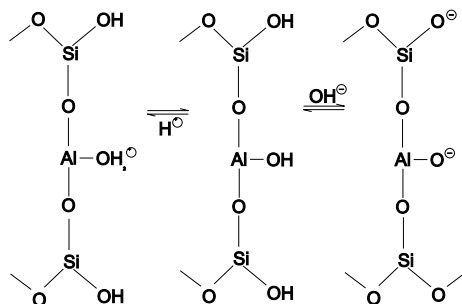
1.4 Leirmineraler

Det er publisert lister på over 400 navngitte mineraler som er klasifisert som leirmineraler. Her skal vi kun ta for oss de mest vanlige formasjonsleirer og de mest anvendelige innen boreslamsteknologi.

1.4.1 Smectite

Det mest vanlige mineralet som tilhører denne gruppen er **montmorillonite** (se Figur 1.5). Montmorillonite er også hovedmineralet i "bentonitt".

Den viktigste egenskapen som gir opphav til mineralgruppens svellende egenskaper er at substitusjonen av ioner hovedsaklig skjer i oktaederlaget. Fordi ladningen er i senteret av strukturen, vil kationer som er assosiert med mineralet for å nøytralisere ioneladningen ikke komme nært nok den negative ladningen til



Figur 1.4

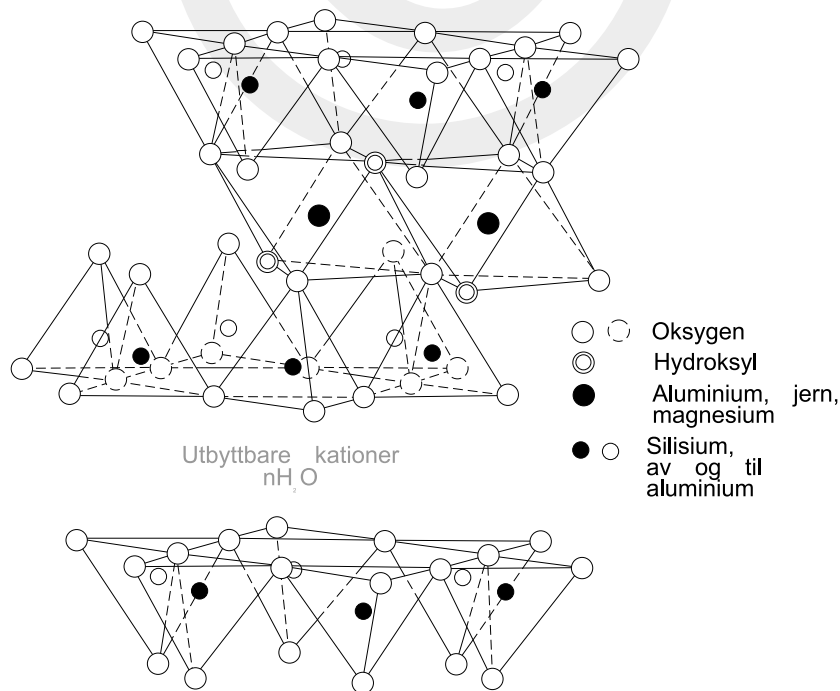
pH avhengige ladninger på leirkristallenes brutte kanter

å fullstendig fjerne ionekarakteren på kationet og mineraloverflaten. Den svake gjenværende ionekarakteren tilfører de tiltrekningskreftene leirmineralet har for adsorpsjon av polare molekyler, slik som vann mellom enhetslagene.

De unike egenskapene til montmorillonite skyldes den svært store overflaten leiren får når den hydrerer og splittes opp i enkeltplater. Undersøkelser har vist at montmorillonite har klart størst tilgjengelig areal for adsorpsjon, spesielt for polare molekyler (vann), men også av ikke-polare molekyler (nitrogen).

Svelleevnen er avhengig av type kation som er adsorbert til leiroverflaten. De mest vanlige er natrium og kalsium. Et monovalent kation, slik som Na^+ vil være tilknyttet til et område med negativ ladning, slik at en vannløsning vil føre til at leirpartiklene splittes opp i enkeltplater.

Et divalent kation slik som Ca^{2+} vil ikke kunne assosieres til to negative ladninger på samme leiroverflate, og må derfor knytte to leirpartikler sammen. Kontakt med vann kan forårsake svelling, og



Figur 1.5

Skisse av montmorillonite (smectite) strukturen

mekaniske krefter kan dispergere leirpartiklene, men tilgjengelig overflateareal og volum av krystall-bundet vann vil være betraktelig mindre enn med natrium.

Svellende montmorillonite leire kan finnes i større mengder i leirskifer som følge av avsetning av vulkansk aske i marint miljø. En slik leirskifer sveller når den får tilgang på vann, og den store overflatearealet fører til plastisk, kleberlig borekutt når den bores. Leiren omtales ofte som "Gumbo clay".

1.4.1.1 Svelling av montmorillonite

Når bentonitt tilsettes fersk-vann vil den svulle til flere ganger sitt opprinnelige volum (se Figur 1.6). Det er i hovedsak Na-montmorillonitten i bentonitten som har denne egenskapen. Med Ca^{2+} (se Figur 1.7) bundet til overflatene på montmorillonitten vil den svulle bare 10 - 20% av det som er mulig for Na-montmorillonitten.

Na^+ er et enverdig ion og vil bare binde seg til overflaten på et krystall, mens Ca^{2+} er toverdig og vil som regel binde sammen 2 forskjellige krystallflater. Dermed blir det mindre plass for vann mellom krystallene.

Det er 2 hovedmekanismer som styrer leirsvellingen.

Krystallinsk svelling går ut på at molekylære krystallinske vannlag bindes til overflaten på tetraederlaget. Fordi vannmolekylene er elektriske dipoler hvor hydrogenatomene danner en vinkel på 103 - 106 °C med hverandre kan de binde seg sammen i en heksagonal struktur. Hvordan de heksagonale krystallinske vannlagene bindes til tetraederlaget på er det ikke enighet om, men det er enighet om at de dannes. For Ca-montmorillonitt kan det bindes 2 krystallinske molekylære lag, for Na-montmorillonitt kanskje flere. Dette vannet er sterkt bundet til leirkrystallene.

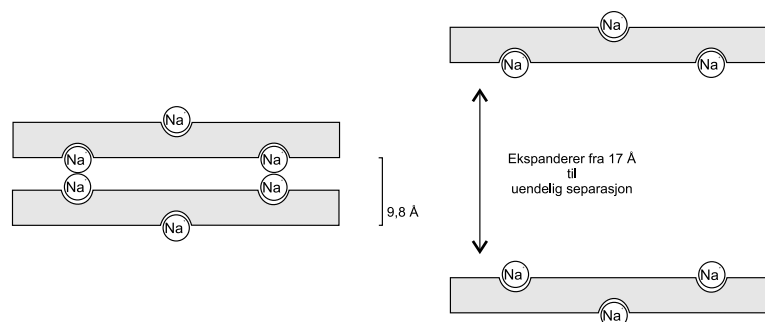
Osmotisk svelling får vi når det er flere kationer nær overflaten av krystallen enn i væsken for øvrig. Konsentrasjonsforskjellen gir en forskjell i kjemisk potensiale. Resultatet av dette blir at vann vil trenge inn mellom leirkrystallene for å redusere kationeaktiviteten her i forhold til den ute i løsningen. Dette vannet vil være mye løsere bundet enn ved krystallsvelling.

For Na-montmorillonitt utgjør osmosesvellingen 80 - 90 %, mens den betraktes som neglisjerbar for Ca-montmorillonitt fordi Ca-bindingen mellom krystallflatene er sterkere enn den osmotiske kraften.

1.4.2 Kaolin

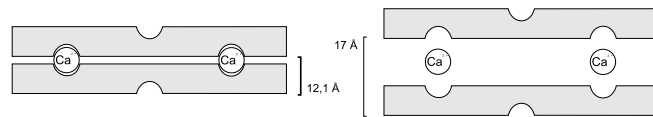
Kaolin er sammensatt av et tetraederlag og ett oktaederlag som er bundet sammen slik at oksygenatomene på toppen av tetraedrene og oksygen og hydroksyl i oktaedrene ligger i samme lag. Vi kan se en skisse av 1:1 strukturen i Figur 1.8.

Ladningene i stukturen er ballansert og det finnes svært få substitusjoner i strukturen. I tillegg eksisterer det kraftige hydrogenbindinger mellom hver basis enhet, slik at ingen svelling skjer mellom hvert suksessive enhet. En naturlig krystall består derfor av stabler med ca. 100 lag oppå hverandre.



Figur 1.6

Hydrering av natrium montmorillonite



Figur 1.7

Hydrering av kalsium montmorillonite

Leirpartikkelenes ladninger er hovedsaklig knyttet til kantladninger, som er følsomme ovenfor pH i suspensjonen. Løsninger vil ha lav viskositet pga. den ikke-svellende leirstrukturen.

Kaolins opprinnelse er ofte hydrotermisk forandring av feltspatt, eller vulkansk aske, spesielt i et surt miljø. Større forekomster av ren leire er funnet i Georgia i USA og Cornwell i England. Liten partikkelstørrelser, blek farge og lav viskositet i løsninger er utnyttet industrielt i papir og keramisk industri.

Leiren blir i stor utstrekning funnet i leirskifer og marine avsetninger. Det er en tendens til at Kaolin omdannes til Illite og Chlorite ved større dyp (alder). Kaolin kan også finnes i sandstein reservoar i en diagenetisk form kjent som Dictite.

1.4.3 Micas

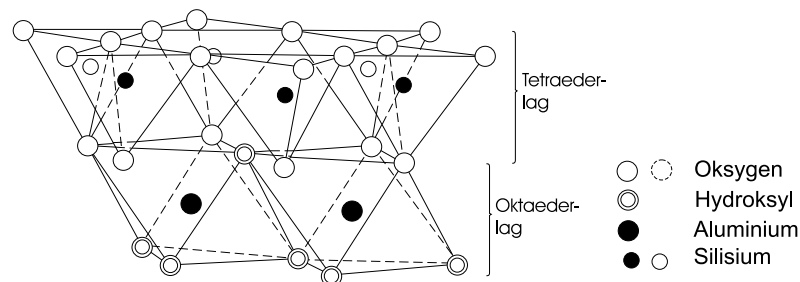
Mica har 2:1 type struktur, hvor oktaederlaget sitter mellom 2 tetraederlag.

De 2 viktigste karaktertrekk er at substitusjonene hovedsaklig har skjedd i tetraederlaget, hvor Al^{3+} eller Fe^{3+} har tatt plassen til Si^{4+} og at ladningsunderskuddet blir ballansert av Kalium-ion. I godt krystallisert Mica vil omkring 1/4 av silisium være byttet ut med Aluminium. Den rollen kaliumionet har i Mica-strukturen vil bli diskutert i detalj, da den er viktig for forståelsen av effekten kaliumbaserte boreslam har på borehullstabilitet.

Hovedkarakteristiske egenskaper til et kation er antallet ladninger de har og diameteren på ionet. Ladningstettheten øker med jo mindre kule er og høyere ladning ionet har. En høy ladningstetthet vil på sin side tilteke polart vann sterkere. Tabell 1.2 viser diameteren på ioner i dehydrert og hydrert tilstand. Det viser seg at kaliumionet har en liten diameter, og som en konsekvens av dette passer inn i de hexagonale hullene i tetraederstrukturen. Avstand mellom ion og ladningsoverskuddet i tetraederlaget blir derfor svært liten og dermed blir ladningsoverskuddet nøytralisert effektivt. De enkelte Mica lagene vil dermed kunne bindes sterkt til hverandre med hydrogenbindinger i en ikke-svellende krystallstruktur med mange partikler bundet oppå hverandre.

Muscovite er en dioktaeder mica, hvor bare 2/3 deler av oktaederposisjonene er besatt. Strukturen til Muscovite er skissert i Figur 1.9.

Biotite er trioktaeder mica, hvor oktaederposisjonene for det meste er okupert av Mg^{2+} , Fe^{2+} og/eller Fe^{3+} . Mica som brukes som "Lost Circulation" materiale er av denne typen, med velkrystalliserte mineralkorn med ingen irregulariteter mellom lagene.



Figur 1.8

Strukturen til Kaolin

Illite avviker fra de vel krystalliserte mica-mineralene på mange forskjellige måter. Mica som blir funnet i sedimentær leirskifer formasjoner blir normalt klasifisert som Illite. For illite er det færre substitusjoner av Al^{3+} for Si^{4+} og netto uballanserte ladningsunderskudd er redusert fra 2 pr. enhetsmolekyl til ca. 1,3. Kaliumionet mellom enhetslagene kan delvis være byttet ut med andre kation, slik som Ca^{2+} , Mg^{2+} eller H^+ . Derfor kan illite reagere med kalium ioner og bli stabilisert i en viss utstrekning. Smectite vil ofte degradere til mica eller Illite gjennom en reaksjon med kaliumioner. Mica eller Illite konsentrasjonen synes å øke med økende alder og dybde på formasjonene.

Tabell 1.2
Radius på ion før og etter hydrering

Type ion	Diameter, Å	
	Dehydrert ion	Hydrert ion
Na	1.90	5.5 - 11.2
K	2.66	4.64 - 7.6
Cs	3.34	4.6 - 7.2
Mg	1.30	21.6
Ca	1.90	19.0

1.4.4 Chlorite

Strukturen til Chlorite leire består av alternerende lag av Mica og Brucite, hvor ladningsunderskuddet i Mica laget er ballansert av noe som i effekt er lik et polymerisk kation.. Bindingene mellom lagene er sterke og lik det vi så hos kaolinite. Derfor gir også denne leiren lite viskositet.

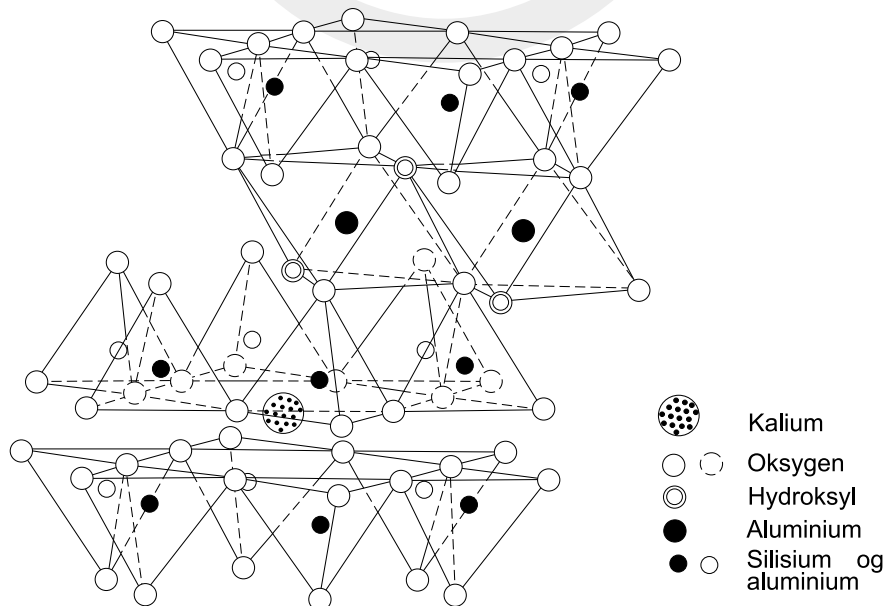
Chlorite finnes vanligvis i eldre sedimenter, slik at kaolin og smectite synes å bli omdannet til chlorite og illite. Skisse av Chlorite-strukturen finnes i Figur 1.10.

1.4.5 Attapulgitte og Sepiolite

Disse leirmineralene kan brukes som tilsetning i saltvannsbaserte borevæsker for å gi viskositet (se Figur 1.11).

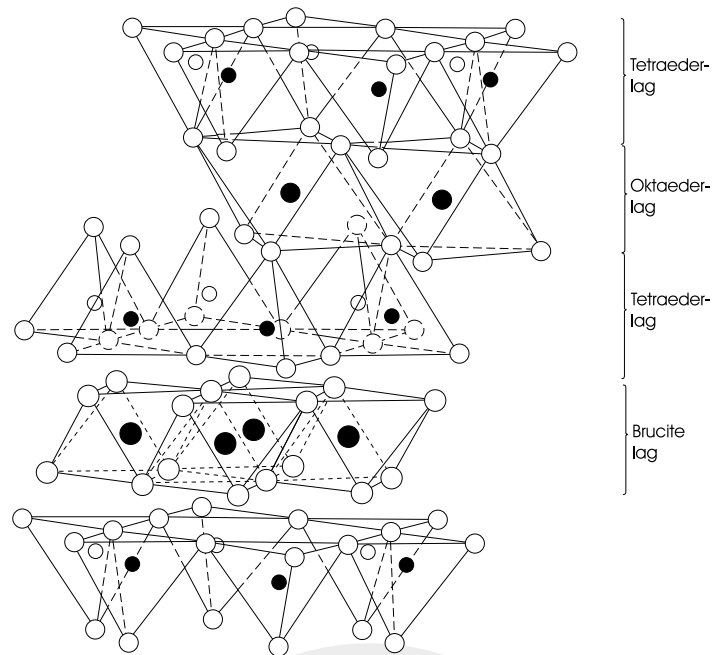
Attapulgitte er oppbygd av doble tetraederkjeder som går parallelt med lengdeaksen. Kjedene danner et nettverk av ender som er knyttet sammen langs kantene. Den øvre og nedre delen av hver kjede blir holdt sammen av aluminium og/eller magnesium i en oktaederisk konfigurasjon. Den totale strukturen likner en kanalvegg hvor hver andre murstein mangler.

For sepiolite er kjedene laget av 2 tetraeder kjeder, noe som gir bredere kanaler.



Figur 1.9

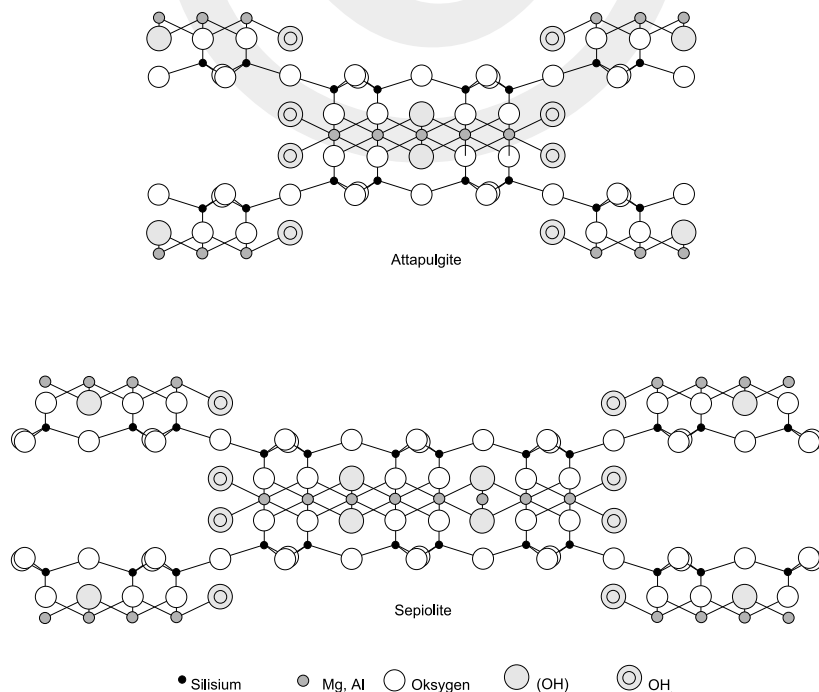
Skisse av mica (muscovite) -strukturen



Figur 1.10

Skisse av Clorite strukturen

Egenskapene til Attapulgitte er knyttet spesielt til 3 strukturelle fenomener. For det første er strukturen tredimensjonal, noe som gjør at den ikke kan svulle slik vi så for montmorillonite. For det andre er det et kløvningsplan langs lengdeaksen, noe som gir mineralkrystallene en nålform, normalt ca. 1micron lang og 0.01 micron tykk. For det tredje har mineralet en høy adsorpsjonsevne for vann, noe løst knyttet til overflaten, og noe sterkt bundet i kanalene og som blir referert til som “Zeolittisk” vann.



Figur 1.11

Skisse av strukturen til attapulgitte og sepiolite

Leiren har et stort overflateareal og vil derfor være gode viskositetsadditiver. Flokkulasjon med påfølgende aggregering vil ikke skje med disse nålformede partiklene. De nålformede partiklene har heller ikke den rette utforming til å danne en lavpermeabel filterkake.

1.5 Leire i boreslam.

Leire har en viktig rolle i boreslam, spesielt i de vannbaserte boreslamstypene. De kan tilsettes med vilje for å gi ønskede viskositetsegenskaper til boreslammet og som små flakatige (kollodiale) partikler som er viktig for filtertapskontroll. Under boring vil det i de fleste tilfeller skje en rask konsentrasjonsoppbygging av leirpartikler fra formasjonen i boreslammet.

Flyteegenskapene og kontroll av væsketap modifiseres ved kjemisk behandling, enten tilsatt med vilje eller som en konsekvens av forurensninger fra vannløselige formasjoner slik som sement, anhydrite, salt eller magnesiumsalter.

1.5.1 Bindingskrefter mellom partikler

Kreftene som virker mellom partiklene kan beskrives som enten frastøtende krefter eller tiltrekkende krefter. Partiklene kommer i kontakt med hverandre på grunn av Brownske bevegelser. Om de binder seg til hverandre eller ikke avhenger av summen av de frastøtende og tiltrekkende kreftene.

De frastøtende krefter som gjelder er Elektrisk dobbeltlag frastøtning, Born frastøtning og uttørring av bundet vann.

Av tiltrekningskrefter er det de Van der Waalske krefter som er klart viktigst.

1.5.2 Leirpartikkel interaksjon

Oppførselen til leirpartiklene i en løsning er viktig da det påvirker viktige slamegenskaper slik som viskositet, flytegrense og filtertap. For bedre å forstå hvordan leirpartiklene oppfører seg i et boreslam, skal vi beskrive de 4 tilstandene leirpartiklene kan innta i vann.

- Dispergert
- Flokkulert
- Deflokkulert
- Aggregert

Om slammet er i en av disse tilstandene kan være noe avhengig av mekanisk påvirkning på løsningen, men hovedsaklig avhenger disse tilstandene av den kjemiske/elektriske vekselvirkningen mellom leirkrystallene. Dette er igjen avhengig av den kjemiske tilstanden til løsningen krystallene er i, slik som pH-verdi og saltinnhold (konsentrasjon og typer kationer tilstede) og type leirmineraler i løsningen

1.5.2.1 Dispergert system

En løsning med suspenderte partikler blir beskrevet som dispergert når nedbrytningen av aggregater er fullstendig (alle partiklene splittet i enkeltplater).

For leirsystemer betyr dette at partiklene kan ha både positive og negative kantladninger avhengig av pH. Overflaten av partiklene kan ha pH-uavhengige negative ladninger. Et dispergert system kan både flokkuleres og deflokkuleres.

Når bentonitt hydrerer i ferskvann vil leirpartiklene innta en tilnærmet dispergert tilstand.

Et godt bentonittslam vil være et slam som er dispergert og deflokkulert. "Spud mud" som gjerne brukes i 26" hull vil være dispergert, men også noe flokkulert.

1.5.2.2 Flokkulert system

En løsning med suspenderte partikler blir beskrevet som flokkulert når det er netto tiltrekningskrefter mellom partiklene. Partiklene kan da knytte seg til hverandre og danne løstsittende strukturer.

For leirsystemer betyr at de enkelte leirpartiklene eller stabler av disse binder seg sammen kant mot kant eller kant mot flate. Dette finner sted når leirkrySTALLene har frie positive ladninger på endeflatene. Partiklene danner da et løst tredimensjonalt nettverk.

Når et bentonittslam flokkulerer øker viskositeten, spesielt observeres en kraftig økning i flytegrense og i tillegg vil filtertapet øke.

Et dispergert leirsystem kan flokkuleres.

1.5.2.3 Deflokkulert system

En løsning med suspenderte partikler blir beskrevet som deflokkulert når det kun er frastøtende krefter mellom individuelle partikler. Dette oppnås normalt når forholdene er slik at partiklene har samme ladning. For leirsystemer kan dette oppnås under basiske forhold, hvor hver partikkels samlede ladning vil være negativ.

En fullstendig deflokkulering oppnås bare ved tilsats av kjemikalier (deflokkulatorer) som nøytraliserer de positive ladningene på endeflatene, Partiklene har bare netto negative ladninger på sideflatene og vil frastøte hverandre.

Filtertap og flytegrense i et deflokkulert bentonittslam vil være lav. (ingen elektrisk tiltrekning mellom leirpartiklene).

Et dispergert eller flokkulert leirsystem kan deflokkuleres.

1.5.2.4 Aggregert system

En løsning med suspenderte partikler blir beskrevet som aggregert når mange enkeltpartikler bindes sammen i aggregater.

For leirsystemer er i hovedsak basisstrukturen flak, mens krystallstrukturen består av stabler av flak bundet til hverandre som i en kortstokk. og vil være et aggregat. For bentonitt (montmorillonite) kan enkeltflakene bli adskilt fra hverandre av hydrering og mekanisk påvirkning. Flakene eller stabler av flak kan flokkuleres eller deflokkuleres.

Generelt er det slik at et sterkt flokkulert bentonittslam vil over tid gå over i en aggregert tilstand. Vi får dermed færre partikler i slammet og partikkeloverflaten blir mindre. Typisk kjennetegn for et slikt slam er at både den tilsynelatende og den plastiske viskositeten vil være lav, mens filtertapet vil være høyt.

1.6 Bentonitt

Naturlig bentonitt inneholder forskjellige mineraler hvor det dominerende er montmorillonite, men også andre leirmineraler, spesielt illite og kaolinit. I tillegg finnes det 10 -30 % andre ikke-leirmineraler.

Eneste kjente forekomster av høyverdig bentonitt, hvor montmorillonitten i bentonitten er ren natrium-montmorillonitt er i Wyoming i Sør Dakota. Wyoming-bentonitt er blitt et begrep og brukes over hele verden. Bentonitt som produseres i andre deler av verden inneholder større eller mindre mengder med kalsium-montmorillonitt og har derfor ikke samme kvalitet. På grunn av små forekomster og høy pris er det i dag vanskelig å oppdrive ren Wyoming bentonitt, så all bentonitt på markedet antas å være mer eller mindre behandlet med kjemikalier for å tilfredstille de satte kvalitetskrav.

I de seneste år er bruken av bentonittbaserte boreslam i nordsjøen kraftig redusert. Vi vil komme tilbake til bruken av bentonittbaserte boreslam senere i kurset.

1.6.1 Kvalitet på bentonitt

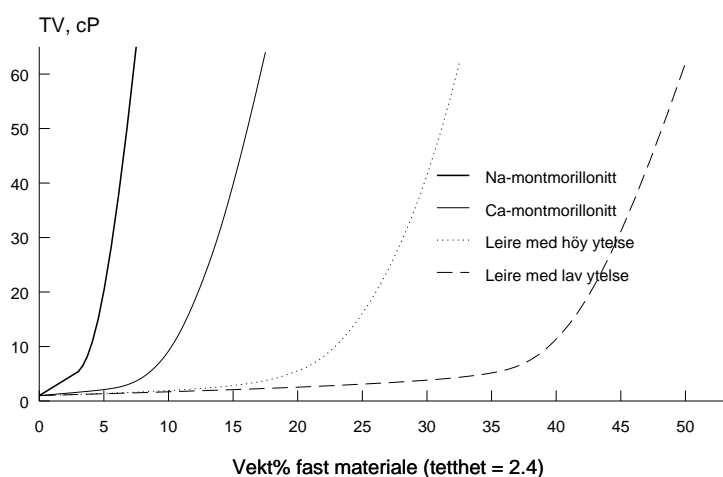
Når det gjelder bentonitt så har API (American Petroleum Institute) og OCMA (European Oil Companies Materials Association) bestemte spesifikasjoner for bentonitter som er akseptabel for bruk i borevæsker, se Tabell 1.3.

Tabell 1.3
Spesifikasjoner til bentonitt

	API	OCMA
Minimalt utbytte	91 bbl/tonn	16 m ³ /tonn
Maksimal fuktighet	10 vekt%	10 vekt%
Våtdukanalyse (rest på 200 mesh duk)	2,5 vekt%	2.5 vekt%
Maks. filtertap ved 100psi og: 22.5 lbs/bbl slam 26.3 lbs/bbl slam	15 ml	15 ml
Viskositet 22.5lbs/bbl slam Maksimal flytegrense	3 x PV	
Minimal avlesing på VG-35 θ_{600}	30 °	

1.6.1.1 Utbytte (“yield”) av leire

Som et mål på leirens ytelse i vann bruker man begrepet utbytte (eng. yield). Denne størrelsen er definert som volum slam som kan lages ut av et tonn leire slik at slammet har en tilsynelatende viskositet (TV) på 15 cP når man måler viskositet ved et rotasjonsviskosimeter ved 600 rpm. Figur 1.12 viser ytelse av ulike leirtyper. Bentonittens ytelse kan økes ved å tilsette NaHCO₃ (Natriumbikarbonat) eller polymer (peptisering).



Figur 1.12
Ytelser til forskjellige typer leire

1.7 Praktisk gjennomføring

I denne øvingen skal vi bygge opp et enkelt vannbasert bentonittslam, studere dens reologi og se hvilken effekt salt (NaCl) har på viskositet og filtertap. Vi skal også kontrollere kvaliteten av den bentonittypen vi bruker på laboratoriet.

De testene som skal utføres i øvingen står beskrevet i avsnitt 4.1 i dette kompendiet.

1.7.1 Testing av bentonittkvaliteten

1.7.1.1 Ytelse

Beregn på forhånd (dvs. før lab-øvingen) hvor mye bentonitt som må til for å lage en 2, 4, 6, 7 og 8 vekt % bentonittsuspensjon i 350 ml vann.

Tilsett så bentonitten forsiktig til 350 ml vann mens du mikser (bruk Hamilton Beach mikseren og lav hastighet). Miks i 5 minutter (bruk høyest mulig hastighet). Test så suspensjonene på et Fann viskosimeter ved 600 rpm,

1.7.1.2 Rapportering /etterarbeid

Rapporten skal inneholde alle målte og beregnede data.

Bestem tilsynelatende viskositet (ved 600 rpm) for hver av konsentrasjonene. Plott resultatene på et millimeterpapir (se Figur 1.12) og finn vekt % bentonitt i suspensjonen som gir en TV på 15 cP.

Beregn antall barrels og m³ slam vi får (TV = 15 cP) når vi tilsetter 1 tonn av vår bentonitt i en slik blanding.

Sammenlign dine eksperimentelle resultatet med API og OCMA spesifikasjonen. Er bentonitten dere brukte god nok?

1.7.2 Effekt av salt (NaCl) på bentonittslam

I denne delen av øvingen skal vi blande sammen 3 enkle bentonittslam (Tabell 1.4) og se på effekten salt har på leiren.. Legg merke til at det tilsettes først NaOH for å heve pH verdien til omtrent 9.5-10. Dette gjøres for å få bedre løselighet av tilsetningsstoffer som lignitt, lignosulfonat og tanniner. En høy pH-verdi er også viktig for å motvirke korrosjon og for å nøytralisere evt. giftig H₂S gass fra formasjonen.

1.7.2.1 Testing

Testingen utføres som beskrevet i Tabell 1.4. Teori om viskositetsmålinger/modeller finnes i avsnitt 2.1 i dette kompendiet.

I resept 1 helles 350 ml vann i miksebegeret. Tilsett Bentonitten sakte under miksing og det hele mikses i 5 minutter på høyest mulig hastighet. Juster pH med evt. tilsetning av NaOH (noter mengden NaOH tilsatt). Test slammet slik som anvist i Tabell 1.4.

Resept 2 blandes på samme måte som resept 1, men tilsett i tillegg salt etter 5 minutter og miks videre i 5 minutter (med samme hastighet). Juster pH med evt. tilsetning av NaOH (noter mengden NaOH tilsatt). Test denne blandingen .

I resept 3 tilsetter vi i stedet bentonitten til saltvann, Miks blandingen som beskrevet. Juster pH med evt. tilsetning av NaOH (noter mengden NaOH tilsatt). Test slammet.

1.7.2.2 Rapportering /etterarbeid

Rapporten skal inneholde alle målte data (Tabell 1.4.) og beregnede data/utregninger.

Ut fra måleresultatene i resept 1, 2 og 3, hva har skjedd med leir (bentonitt)-partiklene i hver av disse blandingene?

Måleresultatene (skjærspenning mot skjærhastighet) fra reometermålingene i resept 1, 2 og 3 plottes inn i SS/SH- diagrammet (Figur 1.13).

Tegn inn Bingham-kurven for resept 1 og 2 i det samme plottet (Teorien er beskrevet på side 27 i kompendiet)

Anta at tettheten av bentonitt er 2.5 g/cm^3 . Beregn vekt% og volum% leire i resept 1.

Omregningsfaktorer:

1 barrel petroleum = 42 gallons = 158.97 liter

$1 \text{ ft}^2 = 144 \text{ inch}^2 = 929.029 \text{ cm}^2$

1 pound = 16 ounces = 453.59 g

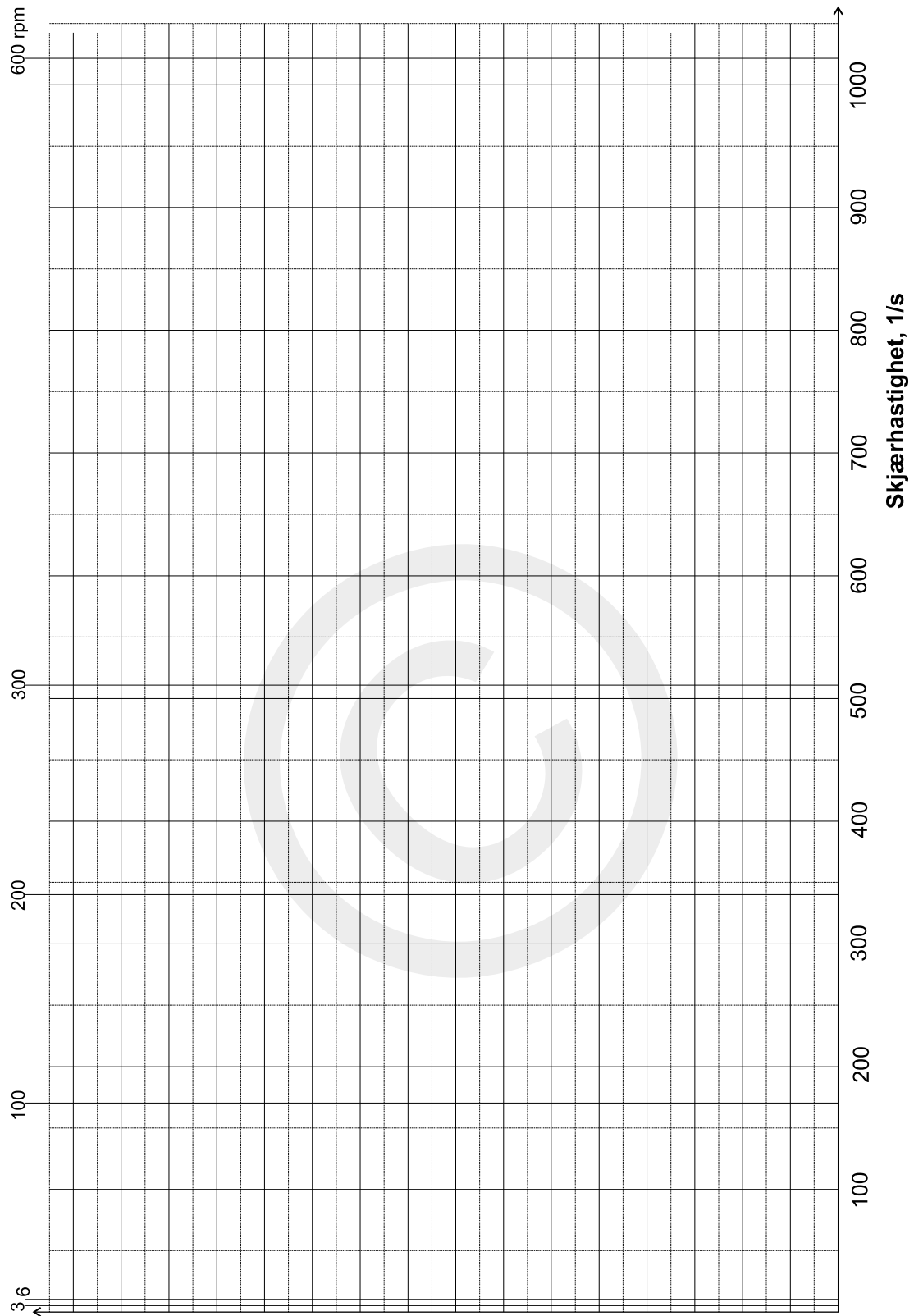
1 bbl H_2O tilsvarer omtrent 350 lbs H_2O . Dermed kan man gjøre følgende gode tilnærming for konsentrasjon:

1 pound stoff pr. barrel vann (ppb, lbs/bbl) = 1 g av stoffet i 350 g (ml , cm^3) vann.



Tabell 1.4
Mikseprosedyre for øving 1

Resept	1	2	3
NaCl, g			9
Vann, ml	350.0	350	350
			<i>miks</i>
Bentonitt, g	25	25	25
	<i>miks</i>	<i>miks</i>	<i>miks</i>
NaCl, g		9	
		<i>miks</i>	
5.0 % NaOH, ml
Miksetid, minutter	5	5 + 5	1+5
pH justeres til:	10	10	10
pH (målt)			
Slamtetthet, [g/ml]			
VG35 målinger:			
θ_{600} , [°utslag]			
θ_{300} , [°utslag]			
θ_{200} , [°utslag]			
θ_{100} , [°utslag]			
θ_6 , [°utslag]			
θ_3 , [°utslag]			
Gelstyrke 10s/10min [lbs/100 ft ²]			
Filtertap, målt verdi, $V_{7.5min}$, [ml]			
beregnet verdi, $2 \cdot V_{7.5min}$, [ml]			
Vurder filterkaken (tykk/tynn) (fast/porøs) (glatt/ru)			
Bingham-modell:			
TV, [cP]			
PV, [cP]			
FG, [lbs/100 ft ²]			



Skjærspenning

Figur 1.13

Skjærspenning/skjærhastighetsdiagram