

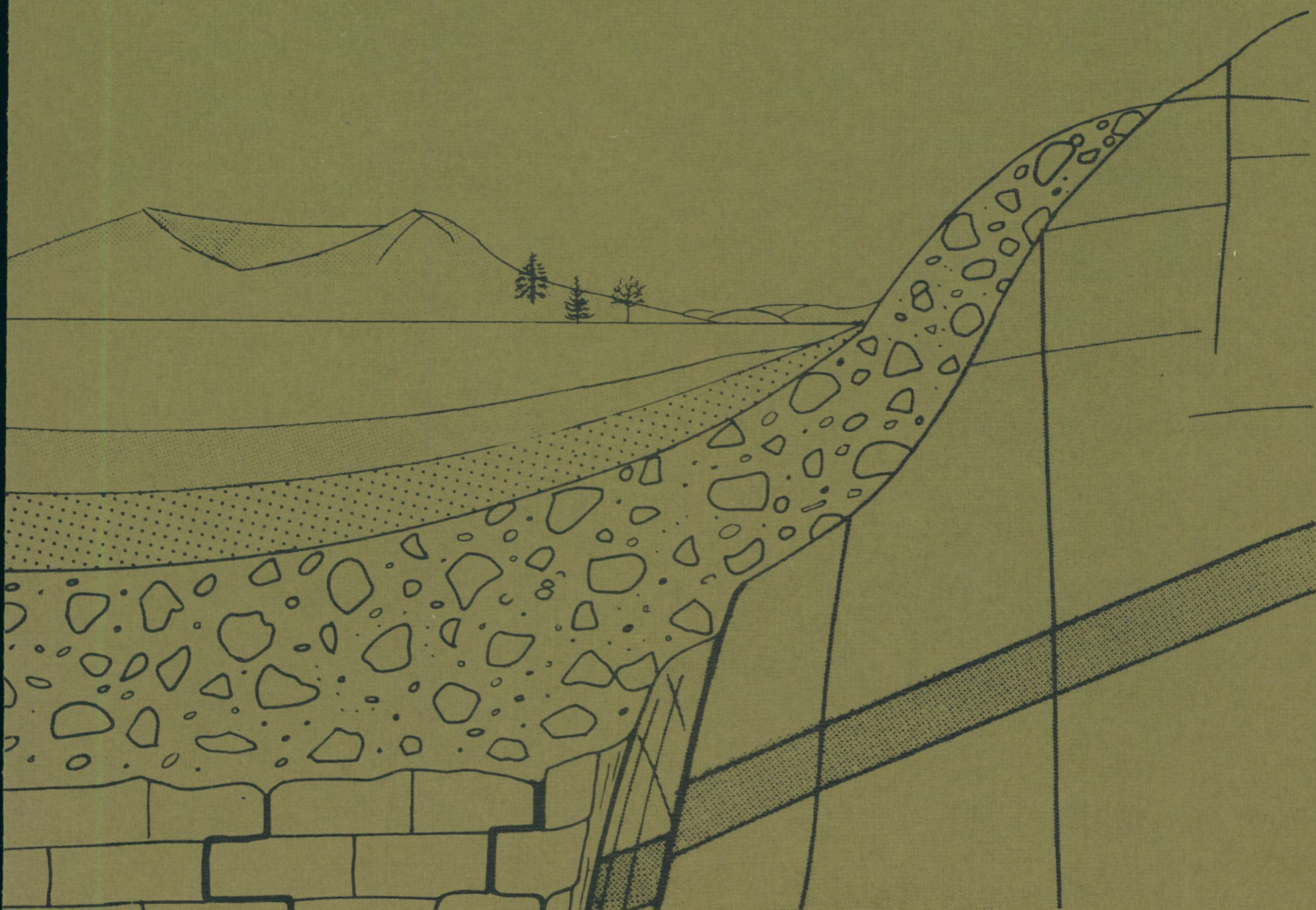


SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING
Rapporter och meddelanden nr 17

Lennart Karlqvist & Ulf Qvarfort

Modell för simulering av utbytesförlopp i ett sand - bentonitskikt

Uppsala 1980



MODELL FÖR SIMULERING AV UTBYTESFÖRLOPP I ETT SAND-
BENTONIT SKIKT. A MODEL TO SIMULATE THE TIME FACTOR
FOR THE TOTAL EXCHANGE PROCEDURE IN A SAND/BENTONITE
LAYER.

Lennart Karlqvist

Ulf Qvarfort

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	sid
Abstract	
1. Inledning	1
1.1 Bentonit som tätningsmedel	1
1.2 Bentoniters sammansättning och egenskaper....	2
2. Syfte och förutsättningar	3
3. Modell för simulering av utbytesförlopp	4
4. Laboratorieförsök	9
5. Resultat och diskussion	10
6. Sammanfattning	12
7. Litteratur	13

ABSTRACT

A test using a model, has been performed in order to simulate the timefactor for the total exchange procedure in a impermeabel layer, i.e. the change of sodiumbentonite to calciumbentonite. The model result were checked against results of laboratory tests.

As a result, it is stated that by using the model, it is possible to estimate the transformation time for a sand/bentonite layer, provided the sand/bentonite concentration, exchange capacity, permeability and leakage water concentration are known.

The model can also be used in order to facilitate calculation of proper bentonite concentration, and thickness of the impermeabel layer. It is also applicable for other types of material.

1. INLEDNING

1.1. Bentonit som tättningsmedel

Bentonit är handelsnamnet för finkorniga, svällande leror, vilka länge använts som bl a tättningsmedel mot vatten i jord och i berggrund. Exempel på dess egenskaper finns väl dokumenterade. På senare tid har bentonit även föreslagits och kommit till användning som tättningsmedel mot lakvatten från soptippar. Detta användningsområde antas få en vidare spridning, allteftersom svårigheterna ökar att finna lämpliga, tillräckligt täta deponeringsplatser i torr terräng. Den största betydelsen torde dock bentoniten få för kompletterande tätning i områden som till största delen uppfyller kravet på att vara naturligt täta. (jmf Karlqvist et al 1979).

Lerors tätande förmåga bygger allmänt på att lerpartiklarna bygger upp ett system med mycket trånga porkanaler. Bentonitens tätande förmåga beror dessutom på dess svällningsförmåga, dvs att praktiskt taget helt sluta porerna. På grund av att partiklarna är mycket små och att svällningsförmågan ofta är mycket hög, erfordras förhållandevis lite bentonit för tättningsändamål. Som exempel på bentonitens användningsområden kan nämnas: sprickfyllnad, skydd mot förorenat vatten, invallning (tätkärnor) och dammanläggningar.

Bentonit har föreslagits som lämpligt material att tillsammans med en jord tjänstgöra som tätande material mot jonrika vatten, s k lakvatten (Geswein 1975, Haxo 1975, Smith 1976, Alestii and Fuller 1976, Karlqvist et al 1977). De tekniska frågorna kring ett sådant tätande material berör förutom lämplig utformning av bentonittättskiktet även fysikaliska och kemiska förhållanden, som kan tänkas påverka tättskiktets egenskaper (Pask and Turner 1955, Hughes 1975, Smith 1976).

Långtidseffekten för ett sådant tätskikt kan emellertid vara svår att uppskatta. Den kemiska påverkan kan resultera i att bentonitens svällningsförmåga reduceras. Detta kan huvudsakligen ske på två sätt, dels på kort sikt genom en förhöjning av elektrolythalten i vattnet som nedsätter bentonit svällningen, dels på lång sikt genom jonutbyte, vilket i de flesta fall leder till minskning av svällningsförmågan.

1.2. Bentoniters sammansättning och egenskaper

Smektit eller montmorillonit, som är det dominerande lermineralet i bentonit, klassificeras som ett tre-skikts (eller 2:1-) skikt-silikat. Detta föranledes av att smektitstrukturens enhetscell är sammansatt av två tetraederskikt och ett mellanliggande oktaederskikt. Den allmänt accepterade bilden av gitterstrukturen framgår av fig.1.

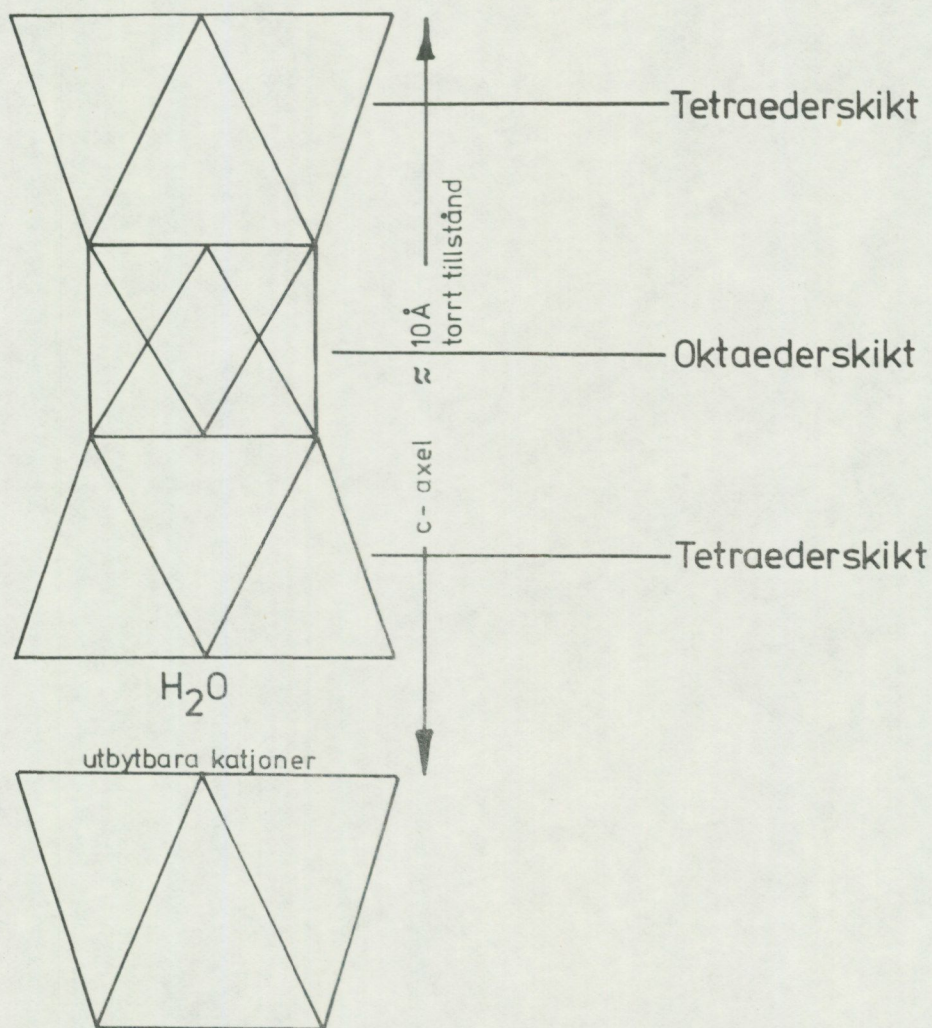
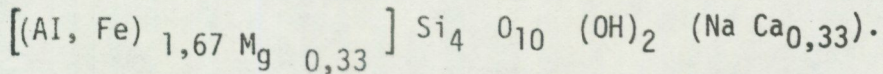


Fig 1. Den allmänna gitterstrukturen hos lermineral av smektityp, dvs. lermineral som vanligen finns i bentoniter. Från Jacobsson & Pusck (1978).

The general gitter structure of clay mineral of smektite type usually occurring in bentonite.

Smektitens kemiska sammansättning kan allmänt skrivas:



Gegom att vid mineralens uppbyggnad vissa Si^{4+} -joner ersatts med Al^{3+} och vissa Al^{3+} -joner med Mg^{2+} , s k isomorf jonersättning, har en negativ överskottsladdning uppstått. Dylka substitutioner är inte enbart knutna till Al^{3+} och Mg^{2+} utan andra katjoner kan också medverka. Denna överskottsladdning, s k permanent laddning, neutraliseras av ett motsvarande antal katjoner.

De neutraliserande jonerna består av exempelvis kalcium, magnesium, kalium, natrium och väte. De av dessa joner som sitter på ytan av partiklarna eller inuti partiklarna på sådant sätt att de är termiskt rörliga, dvs icke alltför hårt bundna, föreligger i utbytbar skick och ersätts med joner från den omgivande marklösningen. Härigenom förklaras en del av smektiternas katjonbindande förmåga. I smektit varierar avstånden mellan elementarskikten, och avståndet mellan dessa är tillräckligt stort för att vattenmolekyler och joner skall kunna vandra till och från dessa inre ytor (Wiklander, 1963, Troedsson och Nykvist, 1973).

De ovan redovisade substitutionsprocesserna har givit jonbytesförmågan, som i sin tur medverkar till såväl positiva som negativa egenskaper för tätande ändamål. Det som i detta sammanhang har största betydelsen är i vilken huvudvariant bentoniten föreligger. Sålunda har i regel ett högt innehåll av Na^+ -joner en positiv effekt avseende svällning och permeabilitet, medan t ex bentonitens kalciumvariant har något lägre svällning och högre permeabilitet. I vissa fall kan det dock vara berättigat att använda en Ca-bentonit (jmf bl a Pask and Turner 1955 och Grim 1962).

2. SYFTE OCH FÖRUTSÄTTNINGAR

Avsikten med arbetet har varit att utarbeta en modell för simulering av utbytesförlopp i ett sand-bentonitskikt vid kontakt med ett jonrikt vatten. Dessutom har modellen testats genom laboratorieförsök.

Ur principiell synvinkel är problemställningen relativt komplex. Ambitionen med arbetet är emellertid endast att undersöka den sannolika omvandlingstiden för ett sand-bentonit skikt. Därvid har det antagits att bentoniten långsamt kommer att omvandlas från en natrium- till kalciumvariant (jmf föregående avsnitt). Den sand som använts (Silversand) är en ensartad siktad och tvättad kvartssand från södra delen av Östersjöbäckenet och bentoniten är av typ Volclay SLS-71.

Vid utarbetandet av modellen har ingen hänsyn tagits till eventuella pH-förändringar och deras inverkan på jonutbyte och permeabilitet. Vissa preliminära studier visar dock att ett pH-värde över isoelektriska punkten och i "normala" vatten, för jordarter i fråga, ej "hämnavärt påverkar ovan redovisade faktorer (jmf. Troedsson & Nykvist, 1973).

Fördröjning av ämnen i vätskan till följd av dispersion och/eller diffusion behandlas ej i denna rapport. Generellt kan dock sägas att modell och laboratorieförsök bygger på mycket låga flödes hastigheter, varför endast diffusionskomponenten kan komma att ha någon betydelse. (SGU, mars 1979, SGU, maj 1979).

För samtliga beräkningar har använts en Hewlett-Packard bordsdator 9825 A försedd med plotter. Programmet för detta, skrivet i HPL, kan erhållas från författarna.

3. MODELL FÖR SIMULERING AV UTBYTESFÖRLOPP

Nedan redovisas härledning av de uttryck som beskriver det teoretiska förloppet då ett lakvatten penetrerar ett sand-bentonit-skikt.

Bentonitens massa i tätskiktet kan uttryckas:

$$U = 1000 \cdot \frac{P}{100} \cdot A \cdot L \cdot D \longrightarrow U = 10 \cdot P \cdot A \cdot L \cdot D \text{ (kg)} \quad (\text{ekv 1})$$

P: bentonit %

A: tätskiktets area, m²

L: " tjocklek, m

D: " densitet, kg/dm³

Utbyteskapaciteten U_c blir då:

$$U_c = 10 u \cdot U_k \text{ (meq)} \longrightarrow U_c = 100 \cdot P \cdot A \cdot L \cdot D \cdot U_k$$

U_k : utbyteskapacitet meq/100 g

Utbyteskapaciteten uttryckt i meq/liter blir då:

$$U = \frac{P \cdot D \cdot U_k}{10} \quad (\text{ekv 2})$$

Vidare gäller för tiden (t) då mättnad i hela provet inträtt:
tiden för vattnet att passera genom skiktet med tjockleken $L = \Delta t$

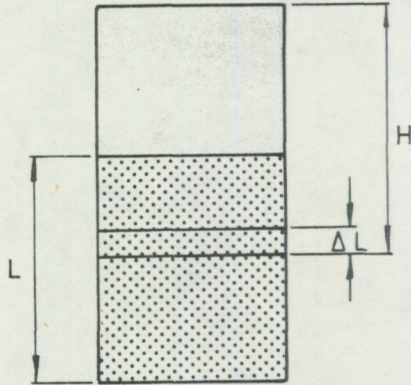


Fig 2. Principskiss lakvatten - tätskikt

Principal sketch of leakage water / impermeable layer.

$$\text{Skiktets permeabilitet; } k = \frac{Q \cdot H}{t \cdot A \cdot \Delta L} \quad (\text{m/s})$$

(k -värdet tar ej hänsyn till densitets- och viskositetsförändring hos vätskan).

Totala tiden för vattnet att passera sträckan $L = t_s$ ($t_s = m \cdot \Delta t$)
där $m =$ antalet skikt.

$$\text{Detta ger: } \Delta t = \frac{t_s \cdot \Delta L}{L} \quad \text{och } \Delta Q = \frac{Q_s \cdot \Delta L}{L}$$

$$\text{där } Q_s = \frac{k \cdot t_s \cdot A \cdot \Delta L}{H}$$

Q_s : genomströmmad vattenmängd i hela provet

$$\text{Provet innehåller } m \text{ skikt } m = \frac{L}{\Delta L}$$

Efter tiden t_1 har skikt nr 1 mättats,
sätt $t_1 = n_1 \cdot \Delta t$, där n_1 är en konstant, dvs $n_1 =$ antal gånger som "nytt" vatten rinner genom skikt 1.

Efter tiden t_2 har skikt nr 2 mättats (dvs efter totala tiden = $t_1 + t_2$).

Sätt $t_2 = (n_2 + 1) \Delta t$ (en fördröjning av tiden Δt har skett i första skiktet).

Efter tiden $t = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_m$ har hela provet mättats,
där $t_1, t_2, t_3, \dots, t_m$ är deltiderna för de olika skikten.

$$\therefore t = n_1 \Delta t + n_2 \Delta t + n_3 \Delta t + \dots + n_m \Delta t + (m-1) \Delta t$$

$$t = \Delta t (n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_m + m - 1)$$

där $m-1$ är fördröjning från ovanliggande skikt.

Ingående koncentration = C



Skikt 1	absorption: CB (under tiden Δt)	Utgående koncentration till nästa skikt: C (1-B)
---------	--	--

Skikt 2	" : [C (1-B)] B (under tiden Δt)	" : C (1-B) ²
---------	---	--------------------------

Skikt 3	" : [C (1-B ²)] B (")	" : C (1-B) ³
---------	-------------------------------------	--------------------------

⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮

Skikt m	absorption: [C (1-B) ^{m-1}] B (under tiden Δt)	" : C (1-B) ^m
---------	---	--------------------------



Utgående koncentration : C (1-B)^m

Ovanstående gäller efter första vattengenomgången ($t_s = m \Delta t$). Efter tiden t har skikt 1 mättats och därefter kommer ingen absorption att ske i detta skikt. Den ingående koncentrationen blir CB i skikt 2 osv.

$B = \text{utbytet}, 0 \leq B \leq 1.$

Förutsättning: mättnadsabsorptionen/skikt =
= utbyteskapaciteten = U

	efter tiden $n_1 \Delta t$	efter tiden $n_2 \Delta t$
Skikt 1	$U = CB \cdot n_1$	-
Skikt 2	$U_{2,1} = [C(1-B)] B_{n1}$	$U_{2,2} = CB \cdot n_2$
Skikt 3	$U_{3,1} = [C(1-B)^2] B_{n1}$	$U_{3,2} = [C(1-B)] B \cdot n_2$
Skikt m	$U_{m,1} = [C(1-B)^{m-1}] B_{n1}$	$U_{m,2} = [C(1-B)^{m-2}] B_{n2}$

	efter tiden $n_3 \Delta t$	efter tiden $n_m \Delta t$
Skikt 1	-	-
Skikt 2	-	-
Skikt 3	$U_{3,3} = CB \cdot n_3$	-
Skikt m	$U_{m,3} = [C(1-B)^{m-3}] B \cdot n_3$	$U_{m,m} = CB \cdot n_m$
	$U_{m,1} + U_{m,2} + U_{m,3} + \dots + U_{m,m} = U$	

Man får således $n_1 = \frac{U}{CB}$

$$n_2 = n_1 [1 - (1-B)] = B_{n1}$$

$$n_3 = n_1 \left[1 - \frac{(1-B) n_2}{n_1} - (1-B)^2 \right] = B \cdot n_1$$

Man kan visa att $n_2 = n_3 = n_4 = \dots = n_m = B_{n1}$

Detta ger totala tiden $t = (n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_m + m - 1) \Delta t$

$$\therefore t = [n_1 + (m-1)B_{n1} + m - 1] \Delta t$$

Villkor: $t_s = m \cdot \Delta t$

$$t_s = \frac{L}{k}$$

$$\text{och } m = \frac{L}{\Delta L}$$

detta ger $\Delta t = \frac{\Delta L}{k}$

Villkoret $n_1 = \frac{U}{CB}$ ger:

$$t = \left[\frac{U}{CB} \left(1 + \left(\frac{L}{\Delta L} - 1 \right) B \right) + \frac{L}{\Delta L} - 1 \right] \frac{\Delta L}{k}$$

$$\therefore \boxed{t = \frac{U \cdot \Delta L}{CBk} + \frac{L - \Delta L}{k} \left(\frac{U}{C} + 1 \right)} \quad (\text{ekv. 3})$$

$$\text{Spec. limit} = \frac{L}{k} \left(\frac{U}{C} + 1 \right)$$

$$\Delta L \longrightarrow 0$$

t = den tid efter det att mättnad i hela provet inträtt

Den ingående koncentrationen C blir:

$$\boxed{C = \frac{C_1 \cdot V}{M} \text{ (meq/liter)}} \quad (\text{ekv. 4})$$

V = valens
 M = molvikt
 C_1 = ingående koncentrationen (mg/liter)

Utbytet B blir: $B = \frac{B_1}{100}$ där B_1 uttryckts i %

Antag: $\Delta L = 1 \text{ mm (0,001 m)}$

Ur ekvation 3 fås då:

$$\boxed{t = \frac{U}{10 \cdot CB_1 k} + \frac{L - 0,001}{k} \left(\frac{U}{C} + 1 \right) \text{ (sek)}} \quad (\text{ekv. 5})$$

eller

$$\boxed{L = \frac{kt - \frac{PDU_k \cdot M}{100 \cdot B_1 C_1 V}}{\frac{PDU_k M}{10 C_1 V} + 1} + 0,001 \text{ (m)}} \quad (\text{ekv. 6})$$

Om fler ämnen ingår gäller:

$$\frac{C_A \cdot V_A}{M_A} + \frac{C_B \cdot V_B}{M_B} + \frac{C_C \cdot V_C}{M_C} + \dots = C \text{ (meq/liter)}$$

där $C_A, C_B, C_C \dots$ är de olika ingående koncentrationerna i mg/liter

Ur ekvation 2,4 och 5 fås då uttrycket:

$$t = \frac{P \cdot D \cdot U_k \cdot M}{100 \cdot C_1 \cdot V \cdot B_1 \cdot k} + \frac{L - 0,001}{k} \left(\frac{P \cdot D \cdot U_k \cdot M}{10 C_1 \cdot V} + 1 \right)$$

som kvantifierar tiden för omvandling av ett tätskikt.

4. LABORATORIEFÖRSÖK

Jonbyte i lermineralen är beroende av mineralens kristallstruktur och den kemiska sammansättningen i omkringliggande lösning. För att studera om det sker några förändringar i jonsammansättningen hos de undersökta proverna vid kontakt med ett lakvatten har en serie jonutbytesförsök genomförts. Vid dessa har även ett förenklat tidsberoende studerats. Tidigare och pågående försök har visat att jonutbytesstudier i kolonner ej är relevanta. Orsaken är det mycket långsamma utbytesförloppet vid kontakt bentonit - lakvatten (jmf Karlqvist et al 1979).

Försöken har tillgått så att en viss mängd prov skakats i plastflaskor 96 timmar med de lakvattenmängder som motsvarar 10, 25, 50 och 100 års kontakttid. Lakvattenmängderna är framräknade för en permeabilitet av 10^{-9} m/s och en bentonit/sandblandning av (1:7) Jonsammansättningen i lakvattnet har efter skakningen bestämts med hjälp av atomabsorptionsspektrofotometer (se tabell 1). Det använda lakvattnets sammansättning framgår av tabell 2.

TABELL 1

Bestämning av dominerande katjoner och utbyteskapacitet (CEC) för bentonit, uttryckt i mekv/100 g torrt prov. Lakningsförfarandet $\text{NH}_4\text{-Ac}$ vid $\text{pH} = 7$. I tabell redovisas även utbytbara joner efter 10, 25, 50 och 100 "års" kontakt med lakvatten.

	Ar	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	CEC
	0	85.2	1.2	16.0	7.1	109.5
	10	36.2	3.6	29.7	19.6	
Bentonit	25	21.2	3.2	39.4	19.6	
	50	17.2	1.2	41.0	21.1	
	100	0	1.2	104.5	0	

TABELL 2

Lakvatten, samtliga halter i mg/l.

Elektrisk ledningsförmåga	315 mS/m (25°C)
Permanganatförbrukning KMNO_4	170
Glödtest	1997
pH	7,0
Ammonium, NH_4	5,8
Järn, Fe	45,6
Mangan, Mn	0,98
Alkalitet, beräknat som HCO_3	1547
Klorid, Cl	325
Sulfat, SO_4	20
Nitrat, NO_3	2
Nitrit, NO_2	0,03
Natrium, Na	216
Kalcium, Ca	188
Kalium, K	140
Magnesium, Mg	69
Totalfosfor, P	0,28
Kemisk syreförbrukning, COD	211

5. RESULTAT OCH DISKUSSION

Laboratorieförsöken visar att det främst är kalciumjoner från lakvattnet som byts in i lermineralen med ett motsvarande utbyte av natriumjoner. Även K^+ -joner och Mg^{2+} -joner deltar till viss del i utbytet. Av resultaten framgår även att utbytet av Na-joner är "fullständigt" efter ca 100 års kontakttid. Förhållandet att ej ekvivalenta mängder bytts in eller ut kan förklaras av lakvattnets joninnehåll, vilket resulterar i att bl a Na^+ -halterna kan uppvisa negativa värden jämfört med "förträngning" med $\text{NH}_4\text{-Ac}$. En förklaring kan också vara förekomsten av negativa joner i lakvattnet. Wiklander 1975/76 har visat att förekomsten av sulfat och/eller fosfat i ett vatten vilket står i kontakt med en lera orsakar förhöjd basutbyteskapacitet. Detta innebär att ingående positiva joner kan absorberas till exempelvis HPO_4^{2-} -grupper. Förklaringen kan också vara ökad ytabsorption om bentonit/leran minskar i kornstorlek vid extraktionsförfarandet. (jmf Pask and Turner 1955).

Sammanfattningsvis visar dock resultatet att bentoniten kommer att omvandlas till en kalciumvariant. Tiden för detta har uppskattats till mellan 50-100 år. Påpekas bör att tidsangivelserna grundar sig på vissa villkor, nämligen en permeabilitet på 10^{-9} m/s och en bentonitkoncentration av 12,5 % i silversand. Om exempelvis, som i försöken, hela lakvattenmängden för ett visst tidsintervall tvingas i kontakt med bentoniten, sker utbytet under en tid av ca 100 timmar (jmf Rose, 1974).

För att exemplifiera laboratorieförsöken och få en jämförelse med de tidigare redovisade modellerna har ett test utförts. Detta grundar sig på att lakvatten fått passera ett tätskikt av bentonit/sand. Vid transport genom skiktet kom en viss mängd joner i lakvattnet att bytas in varvid bentoniten långsamt kom att omvandlas. Tiden för denna "omvandling" är beroende av tidigare redovisade faktorer som permeabilitet, lakvattenkemi, utbyteskapacitet m m. Genom kännedom om dessa faktorer blir det möjligt att kvantifiera tiden för "omvandlingen" (jmf Frisse och Poelstra 1964).

I figur 3 redovisas sambandet skiktjocklek (bentonit-sand) och "omvandlingstid" för en natriumbentonit till en kalciumbentonit. För sambandet gäller följande villkor: Permeabilitet 10^{-9} m/s, Ca^{2+} -tillgänglig utbyteskapacitet 90 mekv/100 g, bentonitkoncentration 12,5 % och ett kalciuminnehåll i lakvattnet av 9 mekv/l. I takt med att bentoniten omvandlas ökar permeabiliteten, vilket det ej tagits hänsyn till i modellen. Den i figur 3 redovisade kurvan bör således "vika av svagt uppåt" efter cirka 25 års kontakttid.

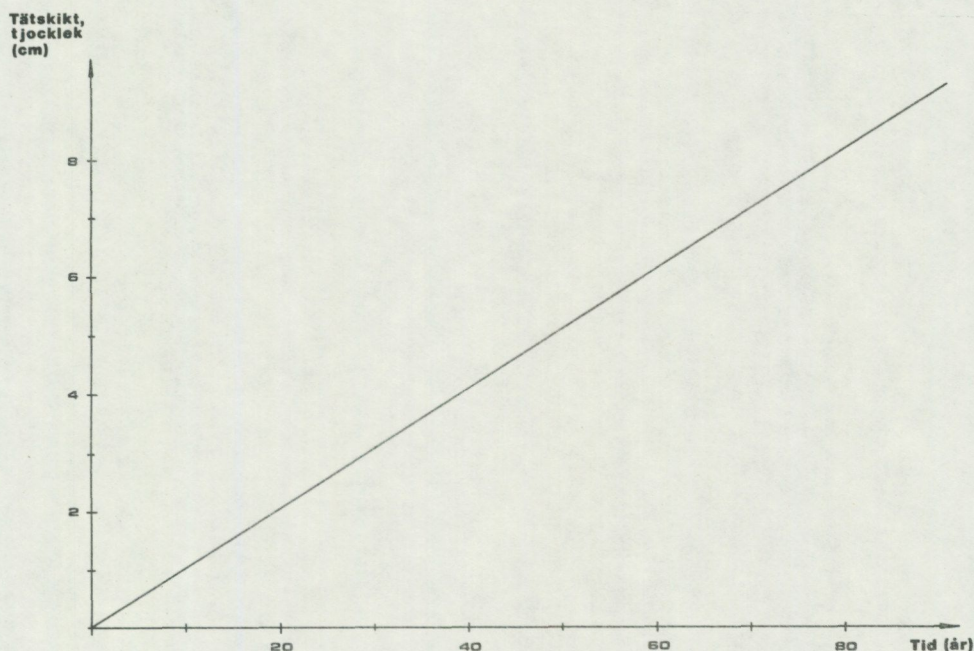


Fig 3. Omvandlingstid från natrium till kalciumbentonit i år för olika skiktjocklekar av sand/bentonit - blandning (12,5 vikts % bentonit).

Transforming time from sodium to calcium bentonite in years for different layer thicknesses of sand/bentonite mixture (12,5 weight- % bentonite).

Laboratorieförsökens resultat stämmer väl med de som erhålles vid modellsimuleringen. Man kan även av figuren se att det behövs ett tätskikt av ca 10 cm tjocklek för att uppnå en tid av ca 100 år innan utbytet "fullständigt" har skett. Påpekas bör att en kalcium-variant av den undersökta bentoniten uppvisar en permeabilitetsökning med en tio-potens (jmf. Karlqvist et al 1979).

6. SAMMANFATTNING

Det är sedan länge känt att elektrolythaltiga lösningar avsevärt kan reducera bentoniternas svällningsförmåga och därmed deras tätande egenskaper. De natriumrika bentoniterna ger generellt den högsta tätheten. Ju större dess innehåll är av utbytbara natriumjoner ju längre tid tar det innan den höga tätheten reduceras av joner som ersätter natriumjonerna.

Ett försök har gjorts att med hjälp av en modell simulera tiden för det totala utbytesförloppet i ett tätskikt, dvs omvandling från natrium- till kalciumbentonit. Modellen har vidare testats med laboratorieförsök.

Resultatet visar att det med hjälp av modellen är möjligt att med kännedom om bentonit/sand koncentration, utbyteskapacitet, permeabilitet och lakvattenkoncentration går att beräkna omvandlingstiden för ett tätskikt. Modellen kan också användas som hjälpmedel vid anläggandet av tätskikt för att beräkna ingående bentonitkonc., tätskiktstjocklek, m m. Modellen är även applicerbar för andra typer av material.

7. LITTERATUR

- Alestii, B.A., & Fuller, W.H., 1976: The mobility of free cyanide forms in soils. (Environmental Protection Agency) sid 213 - 223. EPA Publication. Cincinnati, Ohio, US.
- Frissel, M.J., & Poelstra, P., 1964: A theoretical Approach to the movement of Strontium through soils. Soil Science vol 98, sid 274 - 277.
- Geswein, A.J., 1975: Materials, in a Liners for land disposal sites: an assesment. (U.S. Environmental Protection Agency) sid 4 - 9. Cincinnati, Ohio.
- Grim, R.E., 1962: Applied Clay Mineralogy. (Mcgraw-Hill) New York.
- Haxo, H.E., 1975: Assessing Synthetic and Admixed Materials for Lining Landfills, Proceedings, Research Symposium on Gas and Leachate from Landfills. (Rutgers University) New Brunswick, New Jersey.
- Hughes, H., 1975: Use of bentonite as a soil sealant for leachate control in sanitary landfills. (American Colloid Company) Engineering report.
- Jacobsson, A. & Pusch, R., 1978: Egenskaper hos bentonitbaserat buffertmaterial. (Kärnbränslesäkerhet). Teknisk rapport KBS &, Stockholm.
- Karlqvist, L., Lindqvist, B., & Qvarfort, U., 1977: Bentonitens påverkan av olika joner. (Kvartärgeologiska avd., Uppsala Universitet). Forskningsrapport nr 64.
- Karlqvist, L., Lundgren, T., & Qvarfort, U., 1979: Bentonittätning mot lakvatten. (SNV-rapport, under tryckning).
- Pask, I., & Turner, M., 1955: Clays and Clay Technology. Proceedings of the first national conference of Clays and Clay technology. San Fransisco.
- SGU, 1979: Beräkning av förorenings-spridning - processer - kvantifiering - modellanalys. Rapport utarbetad på uppdrag av Statens Naturvårdsverk, Uppsala.
- SGU, 1979: ALMA, Hydrauliska bärrägenskaper hos marknära bergmassor. Rapport utarbetad på uppdrag av Programrådet för radioaktivt avfall, Uppsala.
- Smith, R.H., 1976: Assessing clay as a landfill liner material. (Waste Age, 7:59-62).
- Troedsson, T., & Nykvist, N., 1973: Marklära och markvård. (Almqvist & Wiksell). Stockholm.
- Wiklander, L., 1963: Den odlade markens kemiska egenskaper. Jord, gröda, djur. (LT:s förlag). Stockholm.



I SGU:s serie Rapporter och meddelanden har tidigare utgivits:

- ×1. Utredning rörande det svenska jordbrukets kalkförsörjning 1-2. 1931.
- ×2. Sahlström, K E. Sveriges lodade sjöar. 1945.
- ×3. Ödman, O H. Rapport över manganmalmsletningen i Jokkmokks socken 1940-48.
4. Stålhös, G. Bidrag till kännedomen om den radioaktiva strålningens fördelning inom den svenska berggrunden. 1959.
5. Johansson, H G, och Ericsson, B. Grusutredningen-74. Översiktlig inventering av sand- och grusförekomster-Försöksverksamhet. 1976.
6. Knutsson, G, m fl. Grustillgångarna i Östersundsområdet. Del 1 inventering. 1976.
7. Ericsson, B. Svallgrustillgångar längs Kilsbergen, Örebro län. 1977.
8. Gustafsson, O, och De Geer, J. Skånes större grundvattentillgångar. 1977.
9. Knutsson, G, och Fagerlind, T. Grundvattentillgångar i Sverige 1977.
10. Modig, S, Knutsson, G, Nordberg, L, och Persson, G. Särtryck ur Ymer 1978 -Bebyggelsen och vattnet. 1978.
11. Guy-Ohlson, D. Jurassic biostratigraphy of three borings in NW Scania. (A brief palynological report) 1978.
12. Gustafsson, O, Andersson, J-E, och De Geer, J. Sammanställning av hydrogeologiska data från Kristianstadsslätten. 1979.
13. Hörnsten, Å. Sand och övriga jordarter i Öresund. Kommentar till SGU:s maringeologiska karta över Öresund. (Under tryckning).
14. Hydrogeologi vid SGU. Särutgåva av Vannet i Norden. 1979.
15. Knutsson, G, Lindén, A. och Rudmark, L. Grus- och moräntillgångar i Nybroregionen. 1979.
16. M.R. Wilson, och N.O. Sundin. Isotopic age determinations on rocks and minerals from Sweden. 1960-1978.

× Utgången

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING

Biblioteket

Box 670, 751 28 UPPSALA

Telefon 018-15 52 80

Cirka pris 20 kr inkl moms

ISBN 91-7158-202-9