

FINSKA SUOMEN
KEMISTSAMFUNDETS KEMISTISEURAN
MEDDELANDEN TIEDONANTOJA

REDAKTÖR — TOIMITTAJA

Harald Nyberg

INNEHÅLL — SISÄLTÖ

Bengt Lindberg: Nedbrytning av vedens kolhydrater vid kokning och blekning (<i>The Degradation of the Hydrocarbons in Wood by Pulping and Bleaching</i>)	65
P. Kivalo, A. Ekman ja J. Rastas: Eräiden aineiden termodynaamisista arvoja (<i>Tables of Chemical Thermodynamic Data</i>)	76
Kurt H. Ekman: Spectroscopic and Other Studies of Carboxyl Groups in Lignin	115
Väinö I. Salminen: Nordisk Metodikkommitté för livsmedel (referat)	125
Notiser — Ututisia	126
Innehåll 1957 Sisältö	128

Vitreosil

ren
smält
kvarts



Vitreosil är fullt homogent. Det är särdeles hårdigt mot ett flertal kemiska ämnen med undantag av fluorväte metafosforsyra.

Vitreosil tål höga temperaturer, det kan användas vid ända upp till +1100° C under normala arbetsförhållanden, och kortvarigt t.o.m. upp till +1350° C.

Vitreosil -diglar, -flaskor, -dekanterglas, -skålar mm levereras i glasklart eller transparent utförande.



Anhåll om vår detaljerade broschyr över Vitreosil-laboratoriekvarts.

THE THERMAL SYNDICATE LTD. England

Generalagent:

HAVULINNA Oy

Laboratorieavdelningen

Helsingfors, Berggatan 16, tel. 61 451, interurb. A 8415

FINSKA
KEMISTSAMFUNDETS
MEDDELANDE

SUOMEN
KEMISTISEURAN
TIEDONANTOJA

66 årg.

1957 N:o 3-4

66 vuosik.

Utgiven av — Julkaisija
Finska Kemistsamfundet — Suomen Kemistiseura
Styrelse — Hallitus

WALDEMAR JENSEN — MAGNUS ALFTHAN — TERJE ENKVIST
J. GRIPENBERG — CH. GUSTAFSSON — OLOF JERNSTRÖM
GÖSTA SILEN — JACOBUS SUNDMAN

Sekreterare — Sihteeri
PER FALCK, Fredriksgatan 16 B 31 Fredrikinkatu tel 62 44 55 puh
Kassör — Rahastonhoitaja
B. C. FOGELBERG: S. Hesperiegatan 4 E. Hesperiankatu
tel 44 01 01, 67 10 19 puh

Arkivarie — Arkistonhoitaja
NITA GRÖNVIK, S. Hesperiegatan 4 E. Hesperiankatu tel 44 01 01, 44 73 99 puh

Redaktör — Toimittaja
HARALD NYBERG, Parkgatan 7a A Puistokatu tel 61 768, 62 47 00 puh

Nedbrytning av vedens kolhydrater vid kokning och blekning.*

(The Degradation of the Hydrocarbons in Wood by Pulping and Bleaching)

Bengt Lindberg

Svenska Träforskningsinstitutet, Stockholm, Sverige.

Avsikten med sulfit- och sulfatkokning av ved samt den efterföljande blekningen av massan är först och främst att avlägsna ligninet samt i andra hand större eller mindre mängder av hemicellulosa, beroende på vad massan skall användas till. Samtidigt sker emellertid vid dessa processer en icke önskvärd nedbrytning av cellulosa och hemicellulosa. Den kemiska bakgrunden till denna nedbrytning är föga känd, beroende i huvudsak på två orsaker. För det första sker de kemiska förändringarna på ett fåtal ställen i en jättemolekyl, och de erhållna produkterna kan därför ofta endast nöjaktigt karakteriseras med hjälp av olika gruppanalyser. För det andra har motsvarande reaktioner med lågmolekylära kolhydrater varit ofullständigt kända och

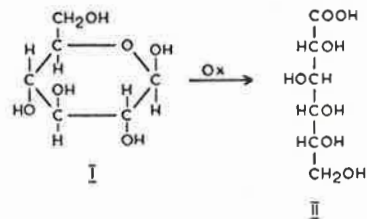
* Föredrag vid Finska Kemistsamfundets möte i Helsingfors den 11 mars 1957.

en detaljerad undersökning av dem försvarats av att i regel inte enhetliga produkter utan komplicerade blandningar bildats. Genom utvecklingen inom kolhydratkemin, främst tillkomsten av papperskromatografi, papperselektrofores och andra separationsmetoder har vi nu helt andra möjligheter att undersöka komplicerade system, tiden har med andra ord blivit mogen för en undersökning av dessa tekniskt viktiga reaktioner. I fortsättningen lämnas en redogörelse för de framsteg som gjorts. Jag kommer härvid att uppehålla mig mera vid de undersökningar som gjorts vid Kungl. Tekniska Högskolan och Svenska Träforskningsinstitutet i Stockholm än som motsvaras av dessa arbetens betydelse för området som helhet.

Inga litteraturhänvisningar lämnas till arbeten som refereras i böckerna av Hägglund¹, Ott och Spurlin² samt Wise och Jahn³. Även i övrigt är litteraturförteckningen ofullständig, och där så är möjligt hänvisas främst till översiktsartiklar.

Surt sulfatkok.

Jag börjar med det minst komplicerade, det sura sulfatkoket. Veden upphettas härvid till ungefär 135° i en bisulfatlösning, varvid ligninet sulfoneras och löses ut. Samtidigt sker naturligtvis en sur hydrolys av polysackaridernas glykosidiska bindningar. De furanosida, huvudsakligen arabinosidiska, hydrolyseras utomordentligt lätt. De pyranosida hydrolyseras betydligt svårare, och mest svårhydrolyserade äro de uronidiska bindningarna. Den nedbrytning som äger rum beror inte bara av reaktionshastigheter, tillgängligheten för det sura reagenset spelar en avgörande roll. Detta framgår bäst av att de polysackarider som gå i lösning nedbrytas praktiskt taget fullständigt till mono- samt lägre oligosackarider, fastän analoga polysackarider inte utlösts. En del av de fria sockren oxideras sedan av sulfitet till aldonsyror, en intressant reaktion som upptäcktes av Hägglund och Johnson. Så ger t.ex. glukos (I) vid denna reaktion glukonsyra (II)

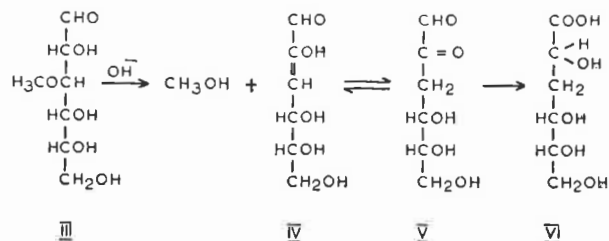


Kokning med alkali.

Vid sulfatkoket upphettas veden med en lösning av natriumhydroxid—natriumhydrosulfid till 170° eller högre temperatur.

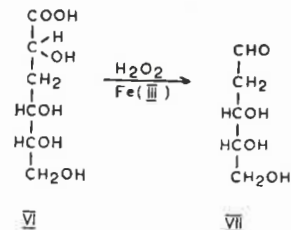
Härvid går huvuddelen av ligninet i lösning (avsevärt nedbrutet och modifierat) men samtidigt sker också en kraftig förstöring av vedens kolhydrater. Hemicellulosa samt till en del också cellulosa bryts ner till lågmolekylära syror, och ungefär 2/3 av den satsade basen går åt för att neutralisera dessa syror. Återstoden går åt för att neutralisera den ättiksyra och myrsyra som finns esterbunden i veden men frigöres under koket, för att neutralisera sura extraktivämnen som hartssyror och fenoler samt sura grupper i det nedbrutna ligninet.

Det kan vara lämpligt att före en behandling av polysackaridernas reaktioner redogöra för vad som händer med enkla socker. Glukos ger med kalkvatten en blandning av så kallade sackarinsyror. Utgår man istället från 3-0-metyl-glukos (III) erhålles en mera enhetlig produkt.

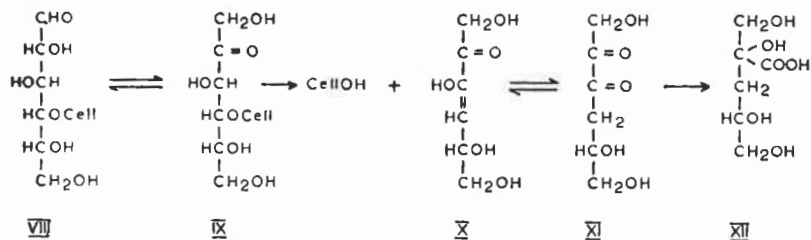


Etergrupper som stå i β-ställning till en elektronacceptor (NO₂, SO₂, C=N, C=O) spjälkas lätt av i alkalisk miljö. I detta fall är aldehydgruppen (C₍₁₎) acceptor och metoxylen vid C₍₃₎ spjälkas av under bildning av en enol (IV). Denna står i jämvikt med motsvarande α-dioxoförening (V), som i sin tur lätt undergår en benzilsyraomlagring till metasackarinsyra (VI). Denna är en blandning av två isomerer, eftersom kolatom C₍₂₎ vid den sista omlagringen återigen blivit assymmetriskt substituerad.

Som en utveckling kan jag nämna, att det biologiskt viktiga sockret 2-deoxy-D-ribos (VII), vilket förut varit mycket svårtillgängligt, numera lätt framställes genom Ruff-nedbrytning av metasackarinsyra⁴.



I en cellulosa molekyl, innehållande en reducerande ändgrupp (schematisk formel VIII) står etergruppen i γ -ställning till den elektronaccepterande aldehydgruppen och borde därför inte spaltas av. Genom jämvikten mellan aldoser och ketoser (IX), helt analog den mellan glukos och fruktos som också inställer sig i alkalisk lösning, får man emellertid en » β -eterstruktur» och nedbrytningen fortsätter i en serie reaktioner, helt analoga med dem som redogjordes för ovan.

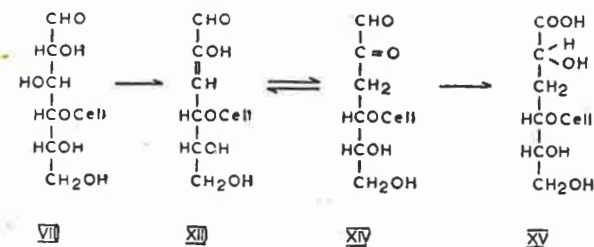


Den erhållna syran, isosackarinsyra (XII) är också en blandning av två isomerer. Viktigt är att den resterande cellulosa kedjan innehåller en fri reducerande ändgrupp, varför reaktionen kan fortsätta och den ena ändgruppen efter den andra på detta sätt skalas av (»peeling reaction»). Dessa reaktioner har studerats ingående av Kenner⁵ och medarbetare, vilka också föreslagit ovanstående reaktionsförlopp. Samtidigt med sackarinsyrebildningen sker också en fragmentering, dvs. nedbrytning till mindre enheter, som blir speciellt viktig vid högre temperaturer.

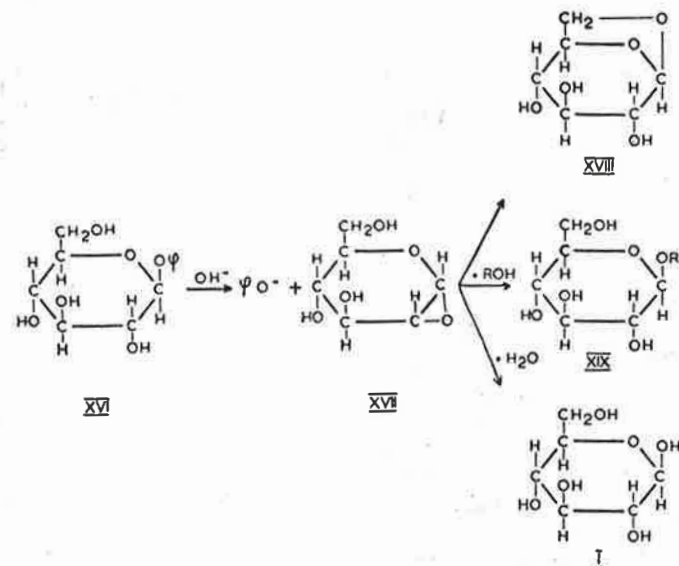
Samuelson och Wennerblom⁶ undersökte den alkaliska nedbrytningen av bomullscellulosa under sulfatkoksbetingelser och fann, att den högmolekylära återstoden innehöll en karboxylgrupp per makromolekyl. För varje ny karboxylgrupp av denna typ som bildades, hade i genomsnitt 50 glukosmolekyler gått i lösning. De tolkar dessa observationer så att nedbrytningen startar från den reducerande ändgruppen och glukosenhet efter glukosenhet spaltas av tills ändgruppen slutligen på något sätt överförs till en karboxyl, varvid reaktionskedjan brytes. Tolkningen överensstämmer med den ovan beskrivna »peeling reaction», men fragmenteringen är avsevärd, för varje mol. glukos som går i lösning bildas 1,6 molar syra. Stabiliseringen av ändgruppen kan ske genom oxidation, men troligare är att den överföres till sackarinsyra utan att spaltas av (XV).

Det borde inte vara omöjligt att med hjälp av moderna kromatografiska metoder ta reda på hur ändgruppen ser ut.*

* Sedan föredraget hållits har det visats, att den stabila ändgruppen är en metasackarinsyraenhet (XV). Machell, G., Richards, G. N. och Sephton, H. H. *Chem. & Ind.* 1957 467.



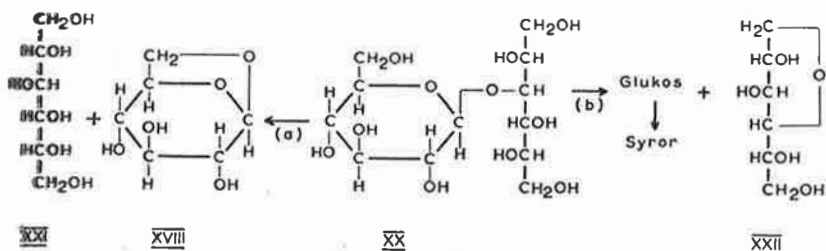
Nedbrytningen, som utgår från den reducerande ändgruppen, räcker inte för att förklara den alkaliska nedbrytningen av cellulosa som äger rum under sulfatkoket, det måste också finnas en mekanism, enligt vilken centrala bindningar kan spaltas. Fenylglykosiderna utgör en välkänd typ av alkalilabila glykosider⁷. Om fenoxylgruppen och hydroxylen vid C₍₂₎ står i trans-ställning, som i fenyl- β -D-glukosid (XVI), spaltas de speciellt lätt. Som mellanprodukt bildas en 1,2-anhydrid (XVII). Denna i sin tur reagerar lätt med hydroxylgrupper, intramolekylärt till levoglukosan (XVIII), med en alkohol till en β -glukosid (XIX) och med vatten till glukos (I). Den senare förstöres naturligtvis snabbt i det alkaliska mediet.



Om det finns en bindning mellan lignin och hemicellulosa, och denna är av fenylglykosidisk natur, är det tänkbart att, via en mellanprodukt av typen XVII, det kan bildas kemiska bind-

ningar mellan cellulosa och hemicellulosa under ett alkaliskt kok⁸.

Vi har nyligen undersökt ett antal lågmolekylära alkylglykosiders reaktioner med alkali vid 170°. Denna typ av glykosider ansågs förut vara stabil mot alkali, men vid denna höga temperatur får man en avsevärd nedbrytning. Cellobitol (XX), som kan anses vara en ganska god modell för cellulosa, gav vid nedbrytningen levoglukosan (XVIII) och glucitol (XXI). Detta tyder på att reaktionen är analog med den alkaliska nedbrytningen av fenyl β-D-glukosid, och om en 1,2-anhydrid av typen XVII bildas också vid den alkaliska hydrolysen av olika polysackaridens glykosidiska bindningar, kan alltså nya glukosidiska bindningar knytas under ett sulfatkok, vilket möjligen skulle kunna förklara, varför en del av xylanet i en sulfatmassa är så hårt bundet till cellulosan, att det inte kan extraheras ut. Utbytet av levoglukosan är mycket lågt, vilket beror på att denna substans är betydligt mera alkalilabil än cellobitolen själv. Utom dessa produkter bildas också 1,4-anhydro-glucitol (XXII), även kallad arlitan. Då glucitol vid alkalibehandling inte ger denna produkt, är det tydligt, att hydrolysen också kan gå en annan väg. Enligt denna bildas troligen också primärt glukos, som raskt förstöres.



Glukos kan också bildas enligt route a, dels direkt ur 1,2-anhydriden (XVII), dels över den alkalilabila levoglukosanen (XVIII). Vi studerar nu den alkaliska hydrolysen av olika alkylglykosider, och varierar därvid både socker och aglykon. Bland de preliminära resultaten kan nämnas, att β-glukosider hydrolyseras snabbare än motsvarande α-glukosider samt att furanosider och uronider tycks vara mindre stabila än pyranosider.

Man skulle kunna sammanfatta den alkaliska nedbrytningen av polysackarider under sulfatkoket på följande sätt.

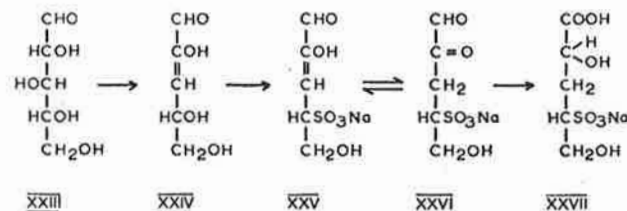
1. En nedbrytning sker från den reducerande ändgruppen under bildning av sackarinsyror och syror med kortare kedjor (peeling reaction).

2. Genom att den reducerande ändgruppen på något sätt överföres till en karboxyl, brytes denna reaktion. (Se not, sid. 68.)

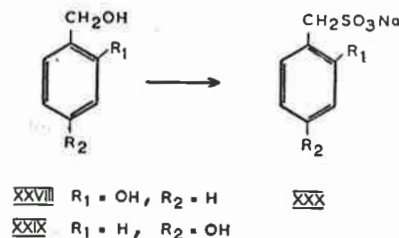
3. Nya reducerande ändgrupper bildas genom alkalisk hydrolysis av glykosidiska bindningar.

Neutralt sulfatkok.

En nedbrytning, analog med den som sker vid alkaliska kok, kan också tänkas äga rum under ett neutralt sulfatkok. Hägglund och medarbetare visade att glukos, vid kokning med neutralsulfit ger komplicerade blandningar av sulfonsyror. Reaktioner som vanligen fordrar alkalisk miljö tycks ibland också kunna äga rum i neutral lösning vid högre temperatur (Jämför Ref. 9), och man skulle kunna tänka sig att sulfonsyrabildningen ur xylos (XXIII) sker på följande sätt:



Det första steget, från XXIII till XXIV, är detsamma som vid den alkaliska nedbrytningen (se ovan). Den bildade enolen (XXIV) bör, i analogi med o- och p-hydroxibenzylalkohol (XXVIII och XXIX) ge en sulfonsyra med sulfit.

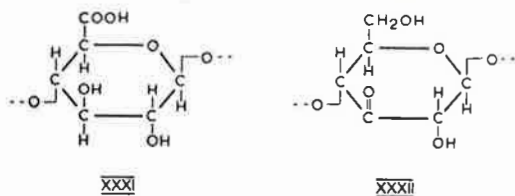


Denna sulfonsyra, givetvis som natriumsalt (XXV), ger via ketoföreningen (XXVI) slutprodukten (XXVII), allt i analogi med sackarinsyrabildningen. Yllner¹⁰ har nyligen visat, att den sulfonsyra, som man får ur xylos, verkligen har denna struktur, samt att 3-O-metylxylos reagerar på samma sätt. Det är möjligt, att liknande reaktioner äger rum med hemicellulosan

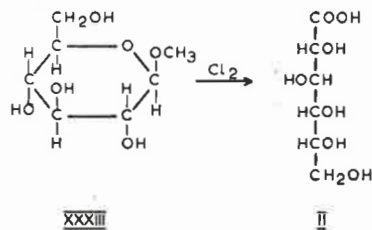
och cellulosan under ett neutralt sulfitkok. Preliminära försök tyder dock på att t.ex. en xylan inte förändras nämnvärt under ett neutralt sulfitkok.

Blekning

Vid blekning av massa, som vanligen sker med hypoklorit eller med klor i sur lösning, får man en icke önskvärd oxidation av cellulosan. Man brukar med en oegentlig beteckning tala om oxicellulosa och skiljer på två typer, en sur och en reducerande, exemplifierade av XXXI resp. XXXII.

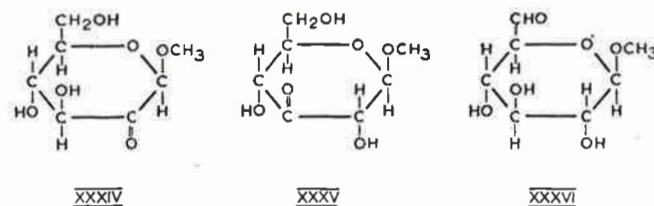


Dessa förekommer naturligtvis inte renodlade, men den ena eller andra typen brukar överväga. Närvaron av oxogrupper gör cellulosan alkalilabil, det är lätt att se att vare sig oxogruppen sitter på C₍₂₎, C₍₃₎ eller C₍₆₎ får man en »β-eterbindning» till en närliggande glukosenhet, som alltså är alkalilabil. Med klor i sur lösning kan man också få ett direkt angrepp vid den acetaliska kolatomen (C₍₁₎). Sålunda visade Dyfverman *et a*”, att metyl-β-glukosid (XXXIII) oxiderades med klor i sur lösning till glukonsyra (II).

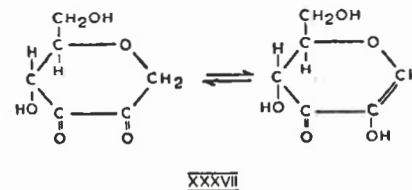


Denna reaktion gick mycket snabbare än hydrolysen av metyl-β-glukosid till glukos under rådande försöksbetingelser, varför den primära reaktionen måste vara ett oxidativt angrepp vid C₍₁₎.

För att bättre förstå den oxiderade cellulösans reaktioner har vi framställt några modellsammansättningar innehållande oxogrupper, 2-, 3- och 6-oxo-metyl-β-glukosid^{12,13} (XXXIV, XXXV och XXXVI).



Dessa föreningar framställdes genom kontrollerad oxidation av metyl-β-glukosid, och deras struktur bevisades bl.a. genom reduktion, katalytiskt eller med borhydrid. Härvid ger XXXIV en blandning av glukosid och mannosid, XXXV en blandning av glukosid och allosid samt XXXVI enbart glukosid. Aldehyden bildas i högst utbyte, därefter kommer 3-oxo-föreningen och slutligen 2-oxoföreningen. Dessa äro utomordentligt alkalilabila, sålunda sönderdelas 3-oxoföreningen ungefär 1000 gånger snabbare än glukos under motsvarande betingelser. 2-oxoföreningen är nästan lika labil och nedbrytningen går över 3-oxoglukosiden, med vilken den står i jämvikt via den gemensamma enolen. Vid nedbrytningen av 3-oxoglukosiden bildas först en kraftigt reducerande substans, troligen XXXVII¹³, som med lägre hastighet sönderfaller till sura produkter.



En annan observation som är viktig i detta sammanhang är att de oxiderade enheterna tycks vara känsligare för vidare oxidation än de intakta, vilket också förklarar, varför vi får så lågt utbyte av våra oxo-glukosider. Whistler och medarbetare¹⁴ har nyligen studerat oxidationen av stärkelse och 4-0-metyl-metyl-α-glukosid med hypoklorit vid pH 9. Ur båda föreningarna erhöles efter oxidation och hydrolys glyoxylsyra och erythronsyra, vilket visar att bindningen mellan C₍₂₎ och C₍₃₎ kluvsits.

Jag skall inte uppehålla mig vid olika analysmetoder för oxo- och karboxylgrupper utan nöjer mig med att konstatera, att det finns relativt tillfredsställande metoder, även om tillgänglighetsfrågor tycks spela en väsentlig roll. (Jmfr. Ref. 15). Besvärligare är det att bevisa strukturer för olika oxiderade enheter i den modifierade cellulosan. Aldehydgrupper oxideras selektivt

till karboxylgrupper med klorit vid pH 4 och kan påvisas på detta sätt. Härigenom har man naturligtvis inte bevisat, att det är C_{60} som är aldehydisk, det är bara ett rimligt antagande som stödes av modellförsöken med metyl- β -glukosid. Purves och medarbetare har behandlat kromat- och hypokloritoxiderad stärkelse först med cyanväte och därefter med jodväte och ur reaktionsblandningen isolerat 2-metyl-4-hydroxykapronsyra och dess lakton, vilket tyder på förekomsten av 2-oxo-grupper i den modifierade stärkelsen. Våra försök med metyl- β -glukosid¹² visade, att 3-oxogrupper bildas i mycket högre utbyte än 2-oxogrupper vid kromatoxidation. Vi har också nyligen undersökt en kromatoxiderad cellulosa. Efter reduktion med borhydrid och hydrolys kunde D-allos utvinnas i ren form. Cellulosan innehöll små mängder xylos och mannos men efter oxidationen — reduktionen kunde ingen ökning i mannoshalten påvisas. Resultatet bevisar förekomsten av 3-oxogrupper och utesluter inte förekomsten av en låg halt av 2-oxogrupper i denna oxiderade cellulosa.

Genom att erfarenheterna från modellsubstanser ännu är så begränsade finns det många viktiga frågor som man inte kan svara på. Varje cellulosatekniker känner t.ex. till att pH vid en hypokloritblekning inte bör sjunka under 9, då man får ett kraftigt angrepp på cellulosan, speciellt starkt mellan 6—8. Detta intervall sammanfaller inte med det, vid vilket odissocierad underklorosyrighet dominerar (2—6), och en rationell förklaring till varför pH-området 6—8 är så riskabelt saknas. Sammanfattningsvis kan sägas, att det är lång väg kvar innan vi har en klar överblick över vad som sker med vedens kolhydrater vid kokning och blekning. Med hjälp av moderna metoder tycks det emellertd vara möjligt att komma en bra bit framåt, och den internationella aktiviteten inom området är avsevärd.

Summary

The chief aim of wood pulping and the bleaching of pulp is the removal of lignin, but these operations are always accompanied by some degradation of polysaccharide material. The chemistry of these degradation reactions under the conditions of sulphite and sulphate pulping and bleaching is discussed. There are different ways of approaching these problems. In one, the modified cellulose is characterised by various analyses, e.g. the determination of functional groups or modified units. In another, the chemistry of the basic reactions is studied using suitable model substances of low molecular weight. This survey is not complete, and special attention has been paid to recent Swedish contributions in this field.

Litteratur

1. Hägglund, E. *Chemistry of Wood*. New York 1951.
2. Ott, E. and Spurlin, H. M. *Cellulose and Cellulose Derivatives I*. New York 1954.
3. Wise, L. E. and Jahn, E. C. *Wood Chemistry*. New York 1952.
4. Richards, G. N. *J. Chem. Soc.* 1954 3638.
5. Kenner, J. *Chemistry and Industry* 1955 727.
6. Samuelson, O. och Wennerblom, A. *Svensk Papperstidn.* 57 (1954) 827.
7. Ballou, C. *Advances in Carbohydrate Chem.* 9 (1954) 59.
8. Häggroth, S. and Lindberg, B. *Svensk Papperstidn.* 59 (1956) 870.
9. Lindberg, B. *Svensk Papperstidn.* 59 (1956) 531.
10. Yllner, S. *Acta Chem. Scand.* 10 (1956) 1251.
11. Dyfverman, A., Lindberg, B. och Wood, D. J. *Acta Chem. Scand.* 5 (1951) 253.
12. Lindberg, B. och Theander, O. *Acta Chem. Scand.* 8 (1954) 1870.
13. Theander, O. Opublicerat.
14. Whistler, R. L., Linke, E. G. och Kazeniak, S. *J. Am. Chem. Soc.* 78 (1956) 4704.
15. Ant-Wuorinen, O. och Visapää, A. *Papper och Trä* 38 (1956) 479.

Epäorgaaniset aineet

Eräiden aineiden termodynaamisia arvoja

(Tables of Chemical Thermodynamic Data)

P. Kivalo, A. Ekman ja J. Rastas

Teknillinen korkeakoulu, Helsinki

Oheiset termodynaamiset taulukot ovat tarkoitettut etupäässä korkeakouluopetuksen yhteydessä käytettäviksi. Arvot on niihin kerätty pääasiallisesti seuraavasta lähdekirjallisuudesta:

F. D. Rossini *et al.* »Selected values of chemical thermodynamic properties», Natl. Bureau of Standards circ. No 500, 1952.

F. D. Rossini *et al.* »Selected values of properties of hydrocarbons», Natl. Bureau of Standards circ. No C461, 1947.

W. M. Latimer »The oxidation potentials» 2nd Ed. Prentice-Hall, Inc., New York 1952.

Landolt-Börnstein »Physikalisch-Chemische Tabellen», Zweiter Ergänzungsband II 1934; Dritter Ergänzungsband III 1936, J. Springer Verlag, Berlin.

A. Ringbom »Solubilities of sulfides»; Preliminary report to the Commission on Physico-chemical data, IUPAC 1953.

Käytetyt merkinnät ja lyhennykset

ΔH° = enthalpianlisäys kun 1 mooli ainetta syntyy stabiilissa olomuodossa olevista alkuaineistaan kunkin aineen ollessa perustilassaan 25°C:ssa (kcal/mooli).

ΔG° = termodynaamisen potentiaalın lisäys kun 1 mooli ainetta syntyy stabiilissa olomuodossa olevista alkuaineistaan kunkin aineen ollessa perustilassaan 25°C:ssa (kcal/mooli).

S° = aineen moolientropia perustilassaan 25°C:ssa (cal/aste mooli). (Sulkuihin merkitty arvo Latimerin arvioima.)

Olutilasta käytetyt lyhennykset: *g* kaasumainen, *l* nestemäinen, *s* kiinteä, *gls* lasi, *aq* vesiliuos. Vesiliuosten ΔH° arvojen yhteydessä annettu luku ilmoittaa liuottimen mooliluvun, joka vastaa 1 moolia ainetta.

Perustilat määritellään seuraavasti:

Kiinteille ja nestemäisille puhdas aine 1 atm. paineessa.

Kaasuille fugasiteetti 1 atm.

Veteen liuonneille aineille hypoteettinen 1 molaalinen ihanneliuos.

Yksityisten ionien termodynaamiset arvot vesiliuoksissa perustuvat sopimukseen jonka mukaan ΔH° , ΔG° ja S° arvot vetyionille (aq, hyp. $m = 1$) ovat yhtä kuin nolla.

Kaava	Olutila	ΔH°	ΔG°	S°
Ag	g	69,12	59,84	41,3221
Ag	s	0	0	10,206
Ag+	aq	25,31	18,430	17,67
Ag ₂ O	s	-7,306	-2,586	29,09
AgH	g	67,7	60,8	48,86
AgF	s	-48,5	-44,2	20
AgF · 2H ₂ O	s	-191,2	-159,0	38
AgCl	g	23,23	16,79	58,5
AgCl	s	-30,362	-26,224	22,97
AgClO ₂	s	0,0	16	32,16
AgClO ₃	s	-5,73	16	(37,7)
AgClO ₄	s	-7,75	21	(38,8)
AgBr	s	-23,78	-22,930	25,60
AgJ	s	-14,91	-15,85	27,3
AgJO ₃	s	-41,7	-24,08	35,7
Ag ₂ S romb. α	s	-7,60	-9,62	34,8
Ag ₂ S β	s	-7,01	-9,36	35,9
Ag ₂ SO ₄	s	-170,50	-147,17	47,8
Ag(S ₂ O ₃) ₂ ---	aq	-285,5	-247,6	
Ag ₂ SeO ₄	s	-94,7	-68,5	48,3
AgNO ₂	s	-10,605	4,744	30,62
AgNO ₂	aq	-0,09	9,79	49,0
AgNO ₃	s	-29,43	-7,69	33,68
Ag(NH ₃) ₂ ⁺	aq	-26,724	-4,16	57,8
AgCO ₃	s	-120,97	-104,48	40,0
Ag ₂ C ₂ O ₄	s	-159,1	-137,2	(48)
Ag ₂ C ₂ H ₃ O ₂	s	-93,41	-74,2	(33,8)
AgCN	s	34,94	39,20	20,0
Ag(CN) ₂ ⁻	aq	64,5	72,05	49,0
AgCNS	s	21,0	23,3	
AgCrO ₄	s	-176,2	-154,7	51,8

Al	g	75,0	65,3	39,303
Al	s	0	0	6,769
Al ⁺⁺	aq	-125,4	-115,0	-74,9
Al ₂ O ₃	s	-399,09	-376,77	12,186
Al ₂ O ₃ · H ₂ O	s	-471	-435	23,15
Al ₂ O ₃ · 3 H ₂ O	s	-613,7	-547,9	33,51
Al(OH) ₃ amorf.	s	-304,9	-271,9	(17)
AlF ₃	s	-311,0	-294	23
AlF ₃ · $\frac{1}{2}$ H ₂ O	s	-357,4	-333,6	28
AlF ₃ · 3 H ₂ O	s	-549,1	-490,4	50
AlCl ₃	s	-166,2	-152,2	40
AlCl ₃ · 6 H ₂ O	s	-641,1	-524,4	90
AlBr ₃	s	-125,8	-120,7	44
AlJ ₃	s	-75,2	-75,0	48
Al ₂ S ₃	s	-121,6	-117,7	23
Al ₂ (SO ₄) ₃	s	-820,98	-738,99	57,2
Al ₂ (SO ₄) ₃ · 6 H ₂ O	s	-1268,14	-1105,14	112,1
AlN	s	-57,7	-50,1	5

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
Al(NO ₃) ₃ · 6 H ₂ O	s	-680,65	-525,82	111,8
Al(NO ₃) ₃ · 9 H ₂ O	s	-897,34	-700,2	136
NH ₄ Al(SO ₄) ₂	s	-561,24	-485,95	51,7
NH ₄ Al(SO ₄) ₂ · 12 H ₂ O	s	-1419,40	-1179,02	166,6
Al ₂ C ₃	s	-30,9	-29,0	25
Al ₂ SiO ₅ andalusiitti	s	-642,2	-607,8	25,0
Al ₂ SiO ₅ disteeni	s	-642,7	-607,0	20,7
Al ₂ SiO ₅ sillimaniitti	s	-648,9	-615,0	27,0
As	g	60,64	50,74	41,62
As	s	0	0	8,4
As ₂	g	29,6	17,5	57,3
As ₄	g	35,7	25,2	69
AsO ⁺	aq		-39,1	
AsO ₂ ⁻	aq		-83,7	
AsO ₄ ³⁻	aq	-208	-152	-34,6
As ₂ O ₃	s	-218,6	-184,6	25,2
As ₂ O ₅	s	-313,94	-275,36	51,2
AsH ₃	g	41,0	42,0	(52)
HAsO ₂	aq	-109,0	-96,25	30,3
HAsO ₄ ⁻	aq	-214,8	-169	0,9
H ₂ AsO ₃ ⁻	aq	-170,3	-140,4	
H ₂ AsO ₄ ⁻	aq	-216,2	-178,9	28
H ₃ AsO ₃	aq	-177,3	-152,9	47,0
H ₃ AsO ₄	aq	-214,8	-183,8	49,3
AsF ₃	g	-218,3	-214,7	69,08
AsF ₅	l	-226,8	-215,5	43,31
AsCl ₃	g	-71,5	-68,5	78,2
AsCl ₃	l	-80,2	-70,5	55,8
AsBr ₃	s	-46,61	-38,3	(38,5)
AsJ ₃	s	-13,7	-10,64	(49)
As ₂ S ₂	s	-31,9	-32,15	(32,9)
As ₂ S ₃	s	-35,0	-32,46	(26,8)
NH ₄ H ₂ AsO ₄	s	-251,47	-197,24	41,12
Au	g	82,29	72,83	43,120
Au	s	0	0	11,4
Au ⁺	aq		39,0	
Au ⁺⁺	aq		103,6	
AuO ₃ ⁻⁻⁻	aq		-5,8	
Au ₂ O ₃	s	19,3	39,0	30
Au(OH) ₃	s	-100,0	-69,3	29
Au(OH) ₃	aq		-61,8	
AuCl	s	-8,4	-4,2	(24)
AuCl ₃	s	-28,3	-11,6	(35)
AuCl ₃ · 2 H ₂ O	s	-167,7	-123,3	(54)
AuCl ₄ ⁻	aq	-77,8	-56,2	61
AuBr	s	-4,4	-3,7	(27)
AuBr ₃	s	-13,0	-5,9	(24)
AuBr ₄ ⁻	aq	-45,5	-38,1	75
AuJ	s	0,2	-0,76	(28,5)
Au(CN) ₂ ⁻	aq	58,4	51,5	99

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
B	g	97,2	86,7	36,649
B	s	0	0	1,56
BO	g	-5,3	-11,6	47,22
B ₂ O ₃	s	-302,0	-283,0	12,91
B ₂ O ₃	gls	-297,6	-280,4	18,8
BH	g	73,8	67,1	39,62
B ₂ H ₄	g	7,5	19,8	55,66
B ₂ H ₆	g	15,0	39,6	65,88
B ₂ H ₆	l	7,8	38,8	44,16
HBO ₂	s	-186,9	-170,5	11
H ₂ BO ₃ ⁻	aq	-251,8	-217,63	7,3
H ₃ BO ₃	s	-260,2	-230,2	21,41
H ₃ BO ₃	aq	-255,2	-230,24	38,2
BF ₃	g	-265,4	-261,3	60,70
BF ₄ ⁻	aq	-365	-343	40
BCl ₃	g	-94,5	-90,9	69,29
BCl ₃	l	-100,0	-90,6	50,0
BBr ₃	g	-44,6	-51,0	77,49
BBr ₃	l	-52,8	-52,4	54,7
B ₂ S ₃	s	-57,0	-53,3	(13,7)
BN	s	-32,1	-27,2	8
Ba	g	41,96	34,60	40,609
Ba	s	0	0	16
Ba ⁺⁺	aq	-128,67	-134,0	3
BaO	s	-133,4	-126,3	16,8
BaO ₂	s	-150,5	-135,8	(15,7)
BaO ₂ · H ₂ O	s	-223,5	-195	(25,1)
BaH	g	52	46	52,97
Ba(OH) ₂	s	-226,2	-204,7	(22,7)
BaF ₂	s	-286,9	-274,5	23,0
BaCl	s	-111	-105,3	(23,4)
BaCl ₂	s	-205,56	-193,8	30
BaCl ₂ · H ₂ O	s	-278,4	-253,1	40
BaCl ₂ · 2 H ₂ O	s	-349,35	-309,7	48,5
Ba(ClO ₂) ₂	s	-158,2	-136,8	(47,7)
Ba(ClO ₃) ₂	s	-181,7	-133,1	(53,7)
Ba(ClO ₄) ₂	s	-192,8	-127,9	(57,7)
BaBr ₂	s	-180,4	-174,4	(35,5)
BaJ ₂	s	-144,0	-143,1	(40,9)
Ba(JO ₃) ₂ · H ₂ O	s	-319,6	-211,1	
BaS	s	-106,0	-104,5	(18,7)
BaSO ₃	s	-282,6	-262,4	(28,6)
BaSO ₄	s	-350,2	-323,4	31,6
Ba(NO ₂) ₂	s	-174,0	-126,0	(43,7)
Ba(NO ₃) ₂	s	-237,06	-190,0	51,1
Ba ₃ (PO ₄) ₂	s	-998,0	-944,4	(85,1)
BaCO ₃	s	-291,3	-272,2	26,8
BaC ₂ O ₄ · 2H ₂ O	s	-470,1	-416,3	
Ba(CN) ₂	s	-47,9	-46,7	(25,7)
BaSiO ₃	s	-359,5	-338,7	(24,2)
Ba ₂ SiO ₄	s	-496,8	-470,6	(46,4)
BaMnO ₄	s	-282	-257	(36,8)

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
BaCrO ₄	s	-348,8	-324,0	(36,7)
BaMoO ₄	s	-373,8	-349,3	(38,7)
BaWO ₄	s	-407,7	-373,6	(41)
<hr/>				
Be	g	76,63	67,60	32,545
Be	s	0	0	2,28
Be ⁺⁺	aq	-93	-85,2	(-55)
BeO	g	11,8	5,7	47,18
BeO	s	-146,0	-139,0	3,37
BeO ₂ ⁻⁻	aq	-187,8	-155,3	-27
BeH	g	78,1	71,3	40,84
Be(OH) ₂ α	s	-216,8	-196,2	(13,3)
Be(OH) ₂ β	s	-216,1	-195,5	(13,3)
BeCl ₂	s	-122,3	-111,8	(20,5)
BeCl ₂ · 4H ₂ O	s	-436,8	-376	(58,1)
BeBr ₂	s	-88,4	-84,6	(26,1)
BeJ ₂	s	-50,6	-51	(31,5)
BeS	s	-55,9	-55,9	(9,3)
BeSO ₄	s	-286,0	-260,2	21,5
BeMoO ₄	s	-330	-306	(26)
<hr/>				
Bi	g	49,7	40,4	44,67
Bi	s	0	0	13,6
Bi ₂	g	59,4	48,0	65,4
BiO	s	-49,85	-43,5	(17)
BiO ⁺	aq		-34,54	
Bi ₂ O ₃	s	-137,9	-118,7	36,2
Bi(OH) ₃	s	-169,6	-137	(24,6)
BiCl	g	10,7	5,2	58,9
BiCl ₃	g	-64,7	-62,2	85,3
BiCl ₃	s	-90,61	-76,23	45,3
BiOCl	s	-87,3	-77,0	20,6
BiBr	g	12,7	3,8	61,6
BiJ	g	16	11	63,4
Bi ₂ S ₃	s	-43,8	-39,4	35,3
<hr/>				
Br	g	26,71	19,69	41,8052
Br ⁻	aq	-28,90	-24,574	19,29
Br ₂	g	7,34	0,751	58,639
Br ₂	l	0	0	36,4
Br ₂ ⁻	aq	-1,1	0,977	
Br ₃ ⁻	aq	-32,0	-25,27	40
BrO ₃ ⁻	aq	-9,6	10,9	38,9
HBr	g	-8,66	-12,72	47,437
BrCl	g	3,51	-0,210	57,34
<hr/>				
C	g	171,698	160,845	37,7611
C graf.	s	0	0	1,3609
C timant.	s	0,4532	0,6850	0,5829

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
CO	g	-26,4157	-32,8079	47,301
CO ₂	g	-94,0518	-94,2598	51,061
CO ₂	aq	-98,69	-92,31	29,0
CO ₃ ⁻⁻	aq	-161,63	-126,22	-12,7
HCO ₃ ⁻	aq	-165,18	-140,31	22,7
H ₂ CO ₃	aq	-167,0	-149,00	45,7
CN ⁻	aq	36,1	39,6	28,2
CNO ⁻	aq	-33,5	-23,6	31,1
HCN	g	31,2	28,7	48,23
HCN	l	25,2	29,0	26,97
HCN	aq	25,2	26,8	30,8
HCNO	aq	-35,1	-28,9	43,6
<hr/>				
Ca	g	46,04	37,98	36,993
Ca	s	0	0	9,95
Ca ⁺⁺	aq	-129,77	-132,18	-13,2
CaO	s	-151,9	-144,4	9,5
CaO ₂	s	-157,5	143	(10,3)
CaH ₂	s	-45,1	-35,8	10
Ca(OH) ₂	s	-235,80	-214,33	18,2
CaF ₂	s	-290,3	-277,7	16,46
CaCl ₂	s	-190,0	-179,3	27,2
CaCl ₂ · H ₂ O	s	-265,1		
CaCl ₂ · 2H ₂ O	s	-335,5		
CaCl ₂ · 4H ₂ O	s	-480,2		
CaCl ₂ · 6H ₂ O	s	-623,15		
CaBr ₂	s	-161,3	-156,8	31
CaJ ₂	s	-127,8	-126,6	34
CaS	s	-115,3	-114,1	13,5
CaSO ₃ · 2H ₂ O	s	-421,2	-374,1	44
CaSO ₄ anhydriitti	s	-342,42	-315,56	25,5
CaSO ₄ liukoinen α	s	-340,27	-313,52	25,9
CaSO ₄ liukoinen β	s	-339,21	-312,46	25,9
CaSO ₄ · $\frac{1}{2}$ H ₂ O α	s	-376,47	-343,02	31,2
CaSO ₄ · $\frac{1}{2}$ H ₂ O β	s	-375,97	-342,78	32,1
CaSO ₄ · 2H ₂ O	s	-483,06	-429,19	46,36
CaS ₂ O ₃ · 6H ₂ O	s		-602,2	
CaSe	s	-74,7	-73,5	16
Ca ₃ N ₂	s	-103,2	-88,1	25
Ca(NO ₂) ₂	s	-178,3	-144,2	(39,3)
Ca(NO ₃) ₂	s	-224,00	-177,34	46,2
Ca(NO ₃) ₂ · 2H ₂ O	s	-368,00	-293,51	64,3
Ca(NO ₃) ₂ · 3H ₂ O	s	-437,18	-349,0	74
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	s	-509,37	-406,5	81
Ca ₃ (PO ₄) ₂ α	s	-986,2	-929,7	57,6
Ca ₃ (PO ₄) ₂ β	s	-988,9	-932,0	56,4
CaHPO ₄	s	-435,2	-401,5	21
CaHPO ₄ · 2H ₂ O	s	-576,0	-514,6	40
CaHAsO ₄ · H ₂ O	s	-410	-363	35
CaC ₂	s	-15,0	-16,2	16,8
CaCO ₃ kalsiitti	s	-288,45	-269,78	22,2
CaCO ₃ aragoniitti	s	-288,49	-269,53	21,2
CaC ₂ O ₄ · H ₂ O saostettu	s	-400,4	-361,9	37,28
CaC ₂ O ₄ · 2H ₂ O	s	-470,4	-418,2	47

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
$\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$	s	-355,0	-309,7	(47,3)
$\text{Ca}(\text{CN})_2$	s	-44,2	-33,1	(21,3)
CaSiO_3 pseudov. α	s	-377,4	-357,4	20,9
CaSiO_3 vollast. β	s	-378,6	-358,2	19,6
CaSiO_4 β	s	-538,0	-512,7	(37,6)
CaSiO_4 γ	s	-539,0	-513,7	(37,6)
CaCrO_4	s	-329,6	-305,3	32
CaWO_4	s	-392,5	-368,7	(36,1)
$\text{CaO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$	s	-483,3	-457,7	25,1
$\text{CaO} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$	s	-798,8	-752,4	32,2
$2\text{CaO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$	s	-651,6	-618,6	34,7
$3\text{CaO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$	s	-817,7	-777,1	43,9
<hr/>				
Cb	g	184,5	173,7	44,482
Cb	s	0	0	8,3
Cb^{+++}	aq		(-76)	
Cb_2O_4	s	-387,8	-362,4	(29,2)
Cb_2O_5	s	-463,2	-432	(33)
<hr/>				
Cd	g	26,97	18,69	40,067
Cd α	s	0	0	12,3
Cd γ	s		0,140	
$\text{Cd}(\text{Hg})$ kyll. amalg.			-2,188	
Cd^{++}	aq	-17,30	-18,58	-14,6
CdO	s	-60,86	-53,79	13,1
CdH	g	62,54	55,73	50,76
$\text{Cd}(\text{OH})_2$	s	-133,26	-112,46	22,8
CdF_2	s	-164,9	-154,8	27
CdCl	g	4,6	-1,8	60,36
CdCl_2	s	-93,00	-81,88	28,3
$\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	s	-164,13	-140,13	40,8
$\text{CdCl}_2 \cdot 2 \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$	s	-269,97	-225,47	55,6
CdBr	g	-12	-22	63,09
CdBr_2	s	-75,15	-70,14	31,9
$\text{CdBr}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	s	-356,32	-297,64	74,7
CdJ	g	19,6	8,1	64,97
CdJ_2	s	-48,0	-48,00	40,2
CdS	s	-34,5	-33,6	17
CdSO_4	s	-221,36	-195,99	32,8
$\text{CdSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	s	-294,37	-254,84	41,1
$\text{CdSO}_4 \cdot \frac{3}{8} \text{H}_2\text{O}$	s	-411,82	-349,63	57,9
CdTe	s	-24,30	-23,82	22,6
$\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$	s	-107,98	-61	(47,3)
$\text{Cd}(\text{NH}_3)_4^{++}$	aq		-53,73	
Cd_3Sb_2	s	7,83	1,59	78,8
CdCO_3	s	-178,7	-160,2	25,2
$\text{Cd}(\text{CN})_2$	s	39,0	49,7	(24,9)
$\text{Cd}(\text{CN})_4^{--}$	aq		111,0	
<hr/>				
Ce	g	85		
Ce	s	0	0	13,8
Ce^{+++}	aq	-173,8	-170,5	-44

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
CeO_2	s	-233	-219	(15,8)
$\text{Ce}(\text{OH})^{+++}$	aq		-187,7	
$\text{Ce}(\text{OH})_2^{++}$	aq		-244,0	
CeCl_3	s	-260,3	-242,4	(34,5)
CeJ_3	s	-164,4	-163,1	(51,3)
CeS_2	s	-153,9	-151,5	(18,8)
Ce_2S_3	s	-298,7	-293,1	(31,5)
$\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$	s	-560	-507,4	(48,2)
$\text{Ce}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	s	-1308	-1157	(115,7)
<hr/>				
Cl	g	29,012	25,192	39,4569
Cl^-	aq	-40,023	-31,350	13,17
Cl_2	g	0	0	53,286
ClO^-	aq		-8,9	10,0
ClO_2	g	24,7	29,5	59,6
ClO_2^-	aq	-16,5	3,5	24,0
ClO_3^-	aq	-23,50	-0,62	39,0
ClO_4^-	aq	-31,41	-2,57	43,5
Cl_2O	g	18,20	22,40	63,70
Cl_2O_7	g	63,4		
HCl	g	-22,063	-22,769	44,617
HClO_4	l	-11,1		
ClF	g	-13,3	-13,6	52,05
ClF_3	g	-37,0	-27,2	66,61
<hr/>				
Co	g	105	94	42,881
Co	s	0	0	6,8
Co^{++}	aq	-16,1	-12,3	-37,1
Co^{+++}	aq		29,6	
CoO	s	-57,2	-51,0	10,5
Co_3O_4	s	-204	-179,4	(35,8)
$\text{Co}(\text{OH})_2$	s	-129,3	-109,0	(19,6)
$\text{Co}(\text{OH})_3$	s	-174,6	-142,6	(20,0)
CoF_2	s	-157	-146,45	(20)
CoF_3	s	-185	-168	(22,6)
CoCl_2	s	-77,8	-67,5	25,4
CoBr_2	s	-53,5	-50,3	(32,4)
CoJ_2	s	-22,2	-23,3	(37,8)
CoS α saostettu	s	-19,3	-19,8	(16,1)
CoS β	s		-25,2	
CoSO_4	s	-207,5	-182,1	27,1
$\text{Co}(\text{NO}_3)_2$	s	-100,9	-55,1	(46)
$\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{++}$	aq		-57,2	
$\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{+++}$	aq		-54,5	
$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6 \cdot \text{H}_2\text{O}]^{+++}$	aq	-192,9	-106,2	73,4
$[\text{Co}(\text{NH}_3)_5 \cdot \text{Cl}]^{++}$	aq	-162,1	-86,2	96,1
Co_3C	s	9,5	7,1	29,8
CoCO_3	s	-172,7	-155,57	
<hr/>				
Cr	g	80,5	69,8	41,637
Cr	s	0	0	5,68
Cr^{++}	aq	-33,2	-42,1	

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
Cr ⁺⁺⁺	aq	-61,2	-51,5	-73,5
CrO ₃	s	-138,4		
CrO ₄ ⁻⁻⁻	aq	-206,3	-168,8	9,2
Cr ₂ O ₃	s	-269,7	-250,2	19,4
Cr ₂ O ₇ ⁻⁻⁻	aq	-849,1	-300,5	51,1
HCrO ₄ ⁻	aq	-212,8	-177,5	16,5
H ₂ CrO ₄	aq	-213,5	-178,5	17,5
Cr(OH) ⁺	aq	-113,5	-103,0	-16,4
Cr(OH) ₃	s	-247,1	-215,3	(19,2)
CrF ₂	s	-181,0	-170,7	(19,6)
CrF ₃	s	-265,2	-248,3	(22,2)
CrCl ₂ ⁺	aq	-130,0	-115,2	(30)
CrCl ₂	s	-94,56	-85,15	27,4
CrCl ₃	s	-134,6	-118,0	30,0
CrO ₂ Cl ₂	l	-143,1	-125,4	(50)
CrJ ₂	s	-54,2	-55,3	(37,4)
(NH ₄) ₂ CrO ₄	s	-282,6	-238,0	(40,1)
Cr ₃ C ₂	s	-21,0	-21,2	20,4
Cr ₄ C	s	-16,4	-16,8	25,3
Cr ₇ C ₃	s	-42,5	-43,8	48,0
Ag ₂ CrO ₄	s	-170,15	-148,57	51,8
FeCr ₂ O ₄	s	-341,9	-317,7	34,9
Cs	g	18,83	12,24	41,944
Cs	s	0	0	19,8
Cs ⁺	aq	-59,2	-67,41	31,8
Cs ₂ O	s	-75,9	-65,6	(29,6)
Cs ₂ O ₂	s	-96,2	-78,2	(28,2)
Cs ₂ O ₃	s	-111,2	-86,1	(28,7)
Cs ₂ O ₄	s	-124,2	-92,5	(31,2)
CsH	g	29,0	24,3	51,25
CsOH	s	-97,2	-84,9	(18,6)
CsF	s	-126,9	-119,5	(19,1)
CsCl	s	-103,5	-96,6	(23,3)
CsClO ₄	s	-103,86	-73,28	41,89
CsBr	s	-94,3	-91,6	29
CsJ	s	-80,5	-79,7	31
Cs ₂ S	s	-81,1	-77,6	(35,4)
Cs ₂ SO ₄	s	-339,38	-310,7	(49,2)
CsNO ₃	s	-118,11	-94	(35,3)
Cs ₂ CO ₃	s	-267,4	-243,6	(42,4)
CsHCO ₃	s	-228,4	-198,8	(31)
Cs ₂ SIF ₆	s	-669,5	-629,6	(63,5)
CsAl(SO ₄) ₂ · 12H ₂ O	s	-1449,5	-1218,5	164
Cu	g	81,52	72,04	39,744
Cu	s	0	0	7,96
Cu(Hg) kyll. amalg.			-0,236	
Cu ⁺	aq	12,4	12,0	-6,3
Cu ⁺⁺	aq	15,39	15,53	-23,6
CuO	s	-37,1	-30,4	10,4
CuO ₂ ⁻⁻⁻	aq		-43,3	
Cu ₂ O	s	-39,84	-34,98	24,1

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
CuH	g	71	64	46,89
HCuO ₂ ⁻	aq		-61,2	
Cu(OH) ₂	s	-106,1	-85,3	(19)
CuF ₂	s	-126,9	-116	(20,2)
CuF ₂ · 2H ₂ O	s	-274,5	-235,2	36,2
CuCl	g	32	25	56,50
CuCl	s	-32,2	-28,4	21,9
CuCl ₂	s	-49,2	-42	(26,8)
CuCl ₂ ⁻	aq	-65,8	-58,1	51,0
CuBr	g	38	28	59,22
CuBr	s	-25,1	-23,81	21,9
CuBr ₂	s	-33,2	-30,3	(22,6)
CuBr ₂ · 4H ₂ O	s	-316,4	-258,4	(70,2)
CuBr ₂ ⁻	aq		-45,2	
CuJ	g	62	50	61,06
CuJ	s	-16,2	-16,62	23,1
CuJ ₂	s	-5,1	-5,7	(38)
CuJ ₂ ⁻	aq		-24,1	
CuS	s	-11,6	-11,7	15,9
Cu ₂ S	s	-19,0	-20,6	28,9
CuSO ₄	s	-184,00	-158,2	27,1
CuSO ₄ · H ₂ O	s	-259,00	-219,2	35,8
CuSO ₄ · 3H ₂ O	s	-402,27	-334,6	53,8
CuSO ₄ · 5H ₂ O	s	-544,45	-449,3	73,0
Cu ₂ SO ₄	s	-179,2	-156	(43,6)
Cu(NO ₃) ₂	s	-73,4	-27,3	(46,2)
Cu(NH ₃) ⁺	aq		-26,5	
Cu(NH ₃) ₂ ⁺⁺	aq		-29,8	
Cu(NH ₃) ₂ ⁺	aq		-39,2	
Cu(NH ₃) ₂ ⁺⁺	aq	-36,1	-41,2	133,3
Cu(NH ₃) ₃ ⁺⁺⁺	aq		-51,7	
Cu(NH ₃) ₄ ⁺⁺⁺	aq	-79,9	-61,2	192,8
Cu(NH ₃) ₅ ⁺⁺⁺	aq		-67,0	
CuCO ₃	s	-142,2	-123,8	21
Dy	s	0	0	(14,2)
Dy ⁺⁺⁺	aq	-166,0	-161,2	(-43,3)
Dy(OH) ₃	s		-305,8	
DyCl ₃	s	-237,8	-219,9	(35,0)
DyJ ₃	s	-144,5	-143,2	(51,9)
Er	s	0	0	(14,3)
Er ⁺⁺⁺	aq	-162,3	-157,5	(-44)
Er(OH) ₃	s	-340,5	-302,8	
ErCl ₃	s	-231,8	-214	(35,1)
ErJ ₃	s	-140,0	-138,8	(52)
Eu	s	0	0	(14,0)
Eu ⁺⁺	aq		-155,2	
Eu ⁺⁺⁺	aq	-169,3	-165,1	(-42,3)

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
EuCl ₃	s	-247,1	-229,2	(34,8)
Eu(OH) ₃	s		-308,6	
Eu ₂ (SO ₄) ₃ · 8H ₂ O	s	-1523,4	-1331,0	(156)
F	g	18,3	14,2	37,917
F ⁻	ag	-78,66	-66,08	-2,3
F ₂	g	0	0	48,6
F ₂ O	g	5,5	9,7	58,95
HF	g	-64,2	-64,7	41,47
HF ₂ ⁻	aq	-153,6	-137,5	0,5
Fe	g	96,68	85,76	43,11
Fe	s	0	0	6,49
Fe ⁺⁺	aq	-21,0	-20,30	-21,7
Fe ⁺⁺⁺	aq	-11,4	-2,52	-70,1
Fe _{0,95} O wustiitti.	s	-63,7	-58,4	12,9
Fe ₂ O ₃	s	-196,5	-177,1	21,5
Fe ₂ O ₄	s	-267,0	-242,4	35,0
Fe(OH) ₂ ⁺⁺	aq	-67,4	-55,91	-23,2
Fe(OH) ₂	s	-135,8	-115,57	19
Fe(OH) ₃ ⁺	aq		-106,2	
Fe(OH) ₃	s	-197,0	-166,0	(23)
FeCl ⁺⁺	aq	-42,9	-35,9	-22
FeCl ₂	s	-81,5	-72,2	28,6
FeCl ₃	s	-96,8	-80,4	(31,1)
FeBr ⁺⁺	aq	-34,2	-27,9	-28
FeBr ₂	s	-60,02	-56,8	(32,2)
FeJ ₂	s	-29,98	-30,9	(37,6)
FeS α	s	-22,72	-23,32	16,1
FeS β	s	-21,35		
FeS ₂ pyriitti	s	-42,52	-39,84	12,7
FeS ₂ markasiitti	s	-36,88		
FeSO ₄	s	-220,5	-198,3	(27,6)
FeSO ₄ · 7H ₂ O	s	-718,7	-597,7	(93,4)
Fe ₂ N	s	-0,9	2,6	24,2
Fe ₄ N	s	-2,55	0,89	37,3
FeNO ⁺⁺	aq	-9,7	1,5	-10,6
FePO ₄	s	-299,6	-272	(22,4)
Fe ₂ C	s	5,0	3,5	25,7
FeCO ₃	s	-178,70	-161,06	22,2
Fe(CN) ₆ ⁻⁻⁻⁻	aq	126,7	170,4	(68)
FeSiO ₃	s	-276	-257	(20,9)
Fe ₂ SiO ₄	s	-343,7	-319,8	35,4
FeMoO ₄	s	-257,5	-234,8	(33,4)
FeWO ₄	s	-274,1	-250,4	(35,4)
Ga	g	66,0	57,0	40,38
Ga	s	0	0	10,2
Ga ⁺⁺⁺	aq	-50,4	-36,6	-83
GaO ₃ ⁻⁻⁻⁻	aq		-148	
Ga ₂ O	s	-82	-75,2	(22)
Ga ₂ O ₃	s	-258	-237,2	(24)

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
GaCl ₂	s	-125,4	-117,8	(31,9)
GaBr ₃	s	-92,4	-84,5	(38,2)
GaN	s	-25	-18,6	(8,4)
Ge	g	78,44	69,50	40,106
Ge	s	0	0	10,14
GeO	g	-22,8	-28,2	52,56
GeO	s	-73	-66	(12)
GeO ₂ saostettu	s	-141	-127	(12)
GeCl ₄	l	-136	-119	60
GeJ ₄	s	-42	-41	(64)
GeJ ₂	s	-27	-26	(36)
Gd	g	87	77	46,41
Gd	s	0	0	14
Gd ⁺⁺⁺	aq	-168,8	-164,6	-47,1
Gd(OH) ₃	s		-308,1	
GdCl ₃	s	-245,5	-227,6	(34,9)
GdJ ₃	s	-147,6	-146,3	(51,8)
Gd ₂ (SO ₄) ₃ · 8H ₂ O	s	-1518,9	-1329,8	155,8
H	g	52,089	48,575	27,3927
H ⁺	aq	0	0	0
H ₂	g	0	0	31,211
OH	g	10,06	8,93	43,888
OH ⁻	aq	-54,957	-37,595	-2,519
H ₂ O	g	-57,7979	-54,6357	45,106
H ₂ O	l	-68,3174	-56,6902	16,716
H ₂ O ₂	g	-31,83		
H ₂ O ₂	l	-44,84	-27,240	(22)
H ₂ O ₂	aq	-45,68	-31,470	
¹ H	g	52,089	48,575	27,392
¹ H ₂	g	0	0	31,210
¹ H ₂ O	g	-57,7976	-54,6352	45,105
¹ H ₂ O	l	-68,3171	-56,6902	16,716
² H	g	52,982	49,358	29,456
² H ₂	g	0	0	34,602
¹ H ² H	g	0,037	-0,391	34,341
² H ₂ O	g	-59,5628	-56,0670	47,379
² H ₂ O	l	-70,4133	-58,2062	18,162
¹ H ² HO	g	-58,735	-55,828	47,66
¹ H ² HO	l	-69,393	-57,926	18,95
Hf	s	0	0	13,1
HfO ₂	s	-271,5	-258	(15,8)

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
Ho	s	0	0	(14,24)
Ho+++	aq	-163,7	-159,2	(-43,7)
HoCl ₃	s	-232,8	(-215,0)	(35,1)
HoJ ₃	s	-141,7	-140,5	(52)
Ho ₂ (SO ₄) ₃ · 8H ₂ O	s		-1318,0	(-156,1)
Hg	g	14,54	7,59	41,80
Hg	l	0	0	18,5
Hg++	aq	41,59	39,38	-5,4
Hg ₂ ++	aq		36,79	
HgO pun.	s	-21,68	-13,990	17,2
HgO kelt.	s	-21,56	-13,959	17,5
HgH	g	58,06	52,60	52,42
HHgO ₂ ⁻	aq		-45,42	
Hg(OH) ₂	aq		-60,0	
HgCl	g	19	14	62,2
HgCl ₂	s	-55,0	-44,4	(34,5)
HgCl ₄ ⁻⁻	aq		-107,7	
Hg ₂ Cl ₂	s	-63,32	-50,350	46,8
HgBr	g	23	18	65,0
HgBr ₂	s	-40,5	-35,22	(37,2)
HgBr ₄ ⁻⁻	aq	-99,9	-88,0	84
Hg ₂ Br ₂	s	-49,42	-42,714	50,9
HgJ	g	33	23	67,1
HgJ ₃ pun.	s	-25,2	-24,07	(42,6)
HgJ ₂ kelt.	s	-24,55	-23,1	(42,6)
HgJ ₄ ⁻⁻	aq	-55,4	-51,15	(90)
Hg ₂ J ₂	s	-28,91	-26,60	57,2
HgS pun.	s	-13,90	-11,87	18,6
HgS must.	s	-12,90	-11,05	19,9
HgSO ₄	s	-168,3	-141,0	(32,6)
Hg ₂ SO ₄	s	-177,34	-149,12	47,98
HgC ₂ O ₄	s	-161,8	-126,2	(33,1)
Hg(CN) ₂	s	62,5	74,3	(27,4)
Hg(CN) ₄ ⁻⁻	aq	126,0	141,3	(64)
In	g	58,2	49,6	41,51
In	s	0	0	12,5
In+++	aq	-23,7	-32,0	-62
In ₂ O ₃	s	-222,5	-200,5	(29)
InH	g	51	45	49,6
In(OH)++	aq		55,5	
In(OH) ₂	s	-214	-182	25
InCl	g	-18	-23	59,3
InCl	s	-44,5	-39,2	(23)
InCl ₂	s	-86,8	-75,9	(29,2)
InCl ₃	s	-128,4	-110,7	(33)
InBr	g	10	1	62,0
InBr ₂	s	-96,5	88,5	(40)
InJ	g	20	9	63,8
InJ ₃	s	-55,0	-33,9	(50,5)
In ₂ (SO ₄) ₃	s	-695	-613,4	(67,1)
InN	s	-4,8	2,7	(10,2)

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
Ir	g	165	154	46,25
Ir	s	0	0	8,7
Ir+++	aq		(69,2)	
IrO ₃	s	-40,1	-28,0	(17,2)
Ir ₂ O ₃	s		(-42,0)	
IrCl	s	-22,3	-19,8	(26,9)
IrCl ₂	s	-42,8	-33,7	(31,4)
IrCl ₃	s	-61,5	-45,6	(35,9)
IrCl ₄ ⁻⁻	aq	-155,0	-111,2	(53)
IrCl ₆ ⁻⁻⁻	aq	-186,4	-134,7	(43)
IrS ₂	s	-30,0	-30,4	(25,2)
Ir ₂ S ₃	s	-51	-49,8	34,3
J	g	25,482	16,766	43,1841
J ⁻	aq	-13,37	-12,35	26,14
J ₂	g	14,876	4,63	62,280
J ₂	s	0	0	27,9
J ₂ ⁻	aq	-12,4	-12,31	41,5
JO ⁻	aq	-34	-8,5	
JO ₃ ⁻	aq	-55,0	-32,4	27,7
HJ	g	6,20	0,31	49,314
HJO	aq	-38	-23,5	
JCl	g	4,20	-1,32	59,12
JCl ₃	s	-21,1	-5,36	41,1
JBr	g	9,75	0,91	61,80
K	g	21,51	14,62	38,296
K	s	0	0	15,2
K+	aq	-60,04	-67,466	24,5
K ₂	g	30,8	22,1	59,69
K ₂ O	s	-86,4	-76,2	(20,8)
K ₂ O ₂	s	-118	-100,1	(19,4)
K ₂ O ₃	s	-125	-100	(19,9)
K ₂ O ₄	s	-134	-99,6	(22,4)
KH	g	30,0	25,1	47,3
KOH	s	-101,78	-89,5	(14,2)
KF	s	-134,46	-127,42	15,91
KF · 2H ₂ O	s	-277,00	-242,7	36
KHF ₂	s	-219,98	-203,73	24,92
KCl	g	-51,6	-56,2	57,24
KCl	s	-104,475	-97,592	19,76
KClO ₃	s	-93,50	-69,29	34,17
KClO ₄	s	-103,6	-72,7	36,1
KBr	s	-93,73	-90,63	23,05
KBrO ₃	s	-79,4	-58,2	35,65
KJ	s	-78,31	-77,03	24,94
KJ ₃	s	-76,6	-73,5	(46,7)
KJO ₃	s	-121,5	-101,7	36,20
K ₂ S	s	-100	-96,6	(26,6)
K ₂ S ₄	s	-113,0	-110,8	(38,4)
K ₂ SO ₃	s	-266,9	-244,8	(37,4)
K ₂ SO ₄	s	-342,66	-314,62	42,0
KNO ₂	s	-88,5	-67,3	(28)

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
KNO ₃	s	-117,76	-93,96	31,77
KH ₂ PO ₄	s	-374,9	-339,2	(34,3)
KH ₂ AsO ₄	s	-271,5	-237,0	37,08
K ₂ CO ₃	s	-237,93	-255,5	(33,6)
K ₂ C ₂ O ₄	s	-320,8	-296,7	(40,4)
KCHO ₂	s	-158,0	-141,3	(25,2)
KHCO ₃	s	-229,3	-205,7	(26,6)
KCN	s	-26,90	-20	(16,4)
K ₂ SiF ₆	s	-671	-651	(54,7)
K ₂ SnCl ₆	s	-362,9	-327,2	(75,1)
KAg(CN) ₂	s	-3,9	8,6	(34,0)
K ₂ PtCl ₆	s	-301,0	-265,1	79,8
K ₃ Fe(CN) ₆	s	-41,4	-3,3	(77)
K ₄ Fe(CN) ₆	s	-125,1	-84,0	(86,6)
KMnO ₄	s	-194,4	-170,6	41,04
K ₂ CrO ₄	s	-338,0	-310,5	(44,6)
KAl(SO ₄) ₂	s	-589,24	-534,29	48,9
KAl(SO ₄) ₂ · 12H ₂ O	s	-1447,74	-1227,8	164,3
La	g	88	79	43,57
La	s	0	0	13,7
La+++	aq	-176,2	-172,9	-44
La ₂ O ₃	s	-458	-426,9	(29,1)
La(OH) ₃	s	-345,0	-313,2	(25)
LaCl ₃	s	-263,6	-245,9	(34,5)
LaJ ₃	s	-167,4	-166,1	(51,3)
LaS ₂	s	-156,7	-154,7	(18,8)
La ₂ S ₃	s	-306,8	-301,2	(31,5)
Li	g	37,07	29,19	33,143
Li	s	0	0	6,70
Li+	aq	-66,554	-70,22	3,4
Li ₂	g	47,6	37,6	47,06
Li ₂ O	s	-142,4	-133,9	9,06
Li ₂ O ₂	s	-151,7	-135	(8)
LiH	g	30,7	25,2	40,77
LiH	s	-21,61	-16,72	5,9
LiOH	s	-116,45	-106,1	12
LiOH · H ₂ O	s	-188,77	-164,8	22
LiF	s	-146,3	-139,6	8,57
LiCl	g	-53	-58	51,01
LiCl	s	-97,70	-91,7	(13,2)
LiCl · H ₂ O	s	-170,31	-151,2	24,8
LiBr	g	-41	-50	53,78
LiBr	s	-83,72	-81,2	(16,5)
LiJ	g	-16	-26	55,68
LiJ	s	-64,79	-64	(18,1)
Li ₂ SO ₄	s	-342,83	-316,6	(27)
LiNO ₃	s	-96,6	-79,5	(21,3)
LiNO ₃	s	-115,279	-93,1	(25,2)
Li ₂ CO ₃	s	-290,54	-270,66	21,60
Li ₂ SiO ₃	gls	-376,7	-356,1	(23,8)

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
Lu	g	87		44,14
Lu	s	0	0	(14,5)
Lu+++	aq	-160,1	-155,0	(-45,7)
Lu(OH) ₃	aq		-301,0	
LuCl ₃	s	-227,9	(-110,1)	(35,4)
LuJ ₃	s	-133,2	-131	(51,3)
Lu ₂ (SO ₄) ₃ · 8H ₂ O	s		-1308,1	(156,8)
Mg	g	35,9	27,6	35,504
Mg	s	0	0	7,77
Mg++	aq	-110,41	-108,99	-28,2
MgO	s	-143,84	-136,13	6,4
MgO hienojak.	s	-142,95	-135,31	6,66
MgO ₂	s	-148,9		
MgH	g	41	34	47,61
Mg(OH) ₂	s	-221,00	-199,27	15,09
MgF ₂	g	-20	-27	54,85
MgF ₂	s	-263,5	-250,8	13,68
MgCl ₂	s	-153,40	-141,57	21,4
MgCl ₂ · H ₂ O	s	-231,15	-206,11	32,8
MgCl ₂ · 2H ₂ O	s	-305,99	-267,32	43,0
MgCl ₂ · 4H ₂ O	s	-454,00	-390,49	63,1
MgCl ₂ · 6H ₂ O	s	-597,42	-505,65	87,5
Mg(ClO ₄) ₂	s	-140,6	-79,4	(51,6)
Mg(OH)Cl	s	-191,3	-175,0	19,8
MgBr ₂	s	-123,7	-119,3	(29,4)
MgBr ₂ · 6H ₂ O	s	-575,4	-491,0	95
MgJ ₂	s	-86,0	-86,0	(34,8)
MgS	s	-83,0	-83,6	(12,6)
MgSO ₃	s	-241,0	-221,2	(22,5)
MgSO ₄	s	-305,5	-280,5	21,9
MgTe	s	-50	-50	(19)
Mg(NO ₃) ₂	s	-188,72	-140,63	39,2
Mg ₃ (PO ₄) ₂	s	-961,5	-904	(56,8)
Mg ₃ (AsO ₄) ₂	s	-731,3	-679,3	(53,8)
MgCO ₃	s	-266	-246	15,7
MgSiO ₃	s	-357,9	-337,2	16,2
Mg ₂ SiO ₄	s	-488,2	-459,2	22,7
Mn	g	68,34	58,23	41,493
Mn a	s	0	0	7,59
Mn γ	s	0,37	0,33	7,72
Mn++	aq	-52,3	-53,4	-20
Mn+++	aq	(-27)	(-19,6)	
MnO	s	-92,0	-86,8	14,4
MnO ₂	s	-124,5	-111,4	12,7
MnO ₄ ⁻	aq	-123,9	-101,6	45,4
Mn ₂ O ₃	s	-232,1	-212,3	(22,1)
Mn ₃ O ₄	s	-331,4	-306,0	35,5
Mn(OH) ₂ amorf.	s	-165,8	-145,9	21,1
Mn(OH) ₂ amorf.	s	-212	-181	(23,8)
MnF ₂	s	-189	-179	22,2
MnCl ₂	s	-115,3	-105,5	28,0

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S $^\circ$
MnCl ₂ · H ₂ O	s	-188,5	-164,5	(35,9)
MnBr ₂	s	-90,7	-87,4	(32,1)
MnBr ₂ · 4H ₂ O	s	-367,5	-308,9	(69,7)
MnJ ₂	s	-59,3	-59,9	(37,5)
MnS vihrea	s	-48,8	-49,9	18,7
MnS pun.	s	-47,6	-45,7	
MnS saost.	s		-53,3	
MnSO ₄	s	-254,4	-228,48	26,8
MnSe	s	-28,0	-29,2	21,7
Mn(N ₃) ₃	s	92,2	122,8	44,3
Mn(NO ₃) ₂	s	-166,32	-118,6	(40,3)
Mn ₂ (PO ₄) ₃ saost.	s	-771	-683	(71,6)
Mn ₃ C	s	-1	-1	23,6
MnCO ₃	s	-231,9	-195,4	20,5
MnCO ₃ saost.	s	-212	-194,3	23,8
MnC ₂ O ₄	s	-258,2	-234,2	(28)
Mn(CHO ₂) ₂	s	-242,2	-212,0	(38,3)
Mn(C ₂ H ₃ O ₂) ₂	s	-273,0	-222,6	(48,3)
MnSiO ₃	s	-302,5	-283,3	21,3
<hr/>				
Mo	g	155,5	144,2	43,462
Mo	s	0	0	6,83
Mo + + +	aq		(-13,8)	
MoO ₂	s	-130	-117,3	(13,3)
MoO ₃	s	-180,33	-161,95	18,68
MoO ₄ --	aq	-254,3	-218,8	(14)
MoCl ₂	s	-44	-34,6	(28,5)
MoCl ₃	s	-65	-48,8	(33,0)
MoCl ₄	s	-79	-58,5	(44,7)
MoCl ₅	s	-90,8	-64,6	(53)
MoCl ₆	s	-90	-58	(61)
MoBr ₂	s	-29	-26,3	(34,1)
MoBr ₃	s	-41	-34,4	(39,3)
MoBr ₄	s	-45	-36,9	(52,3)
MoBr ₅	s	-51	-40,7	(63)
MoJ ₂	s	-12	-13,4	(39,5)
MoJ ₃	s	-15	-15,4	(49,8)
MoJ ₄	s	-18	-18,5	(64,3)
MoJ ₅	s	-18	-18,7	(78)
MoS ₂	s	-55,5	-53,8	15,1
MoS ₃	s	-61,2	-57,6	(18)
Mo ₂ C	s	4,3	2,9	19,7
<hr/>				
N	g	85,565	81,471	36,6147
N ₂	g	0	0	45,767
N ₃ ⁻	aq	60,3	77,7	32
NO	g	21,600	20,719	50,339
NO ₂	g	8,091	12,390	57,47
NO ₂ ⁻	aq	-25,4	-8,25	29,9
NO ₃ ⁻	aq	-49,372	-26,41	35,0
N ₂ O	g	19,49	24,76	52,58
N ₂ O ₂ --	aq	-2,59	33,0	6,6
N ₂ O ₄	g	2,309	23,491	72,73

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S $^\circ$
N ₂ O ₅	s	-10,0	32	27,1
NH ₃	g	-11,04	-3,976	46,01
NH ₃	aq	-19,32	-6,37	26,3
NH ₄ ⁺	aq	-31,74	-19,00	26,97
N ₂ H ₄	aq	8,16	30,56	(33)
N ₂ H ₄ H ₂ + +	aq	-4,0	22,50	19
HN ₃	g	70,3	78,5	56,74
NH ₄ N ₃	s	20,4	47,3	(31,3)
HNO ₂	aq	-28,4	-12,82	
HNO ₃	l	-41,404	-19,100	37,19
HNO ₃ · H ₂ O	l	-112,960	-78,410	51,83
HNO ₃ · 3H ₂ O	l	-252,203	-193,701	82,92
NH ₂ OH	aq	-21,7	-5,60	(40)
NH ₂ OHH ⁺	aq	-30,7	-13,54	37
NH ₄ OH	aq	-87,64	-63,05	43,0
HN ₂ O ₂ ⁻	aq	-9,4	18,0	34
H ₂ N ₂ O ₂	aq	-13,7	8,4	52
NH ₄ NO ₂	s	-63,1		
NH ₄ NO ₃	s	-87,27		
NOCl	g	12,57	15,86	63,0
NH ₄ Cl	s	-75,38	-48,73	22,6
NOBr	g	19,56	19,70	65,16
NH ₄ Br	s	-64,61		
NH ₄ J	s	-48,30		
(NH ₄) ₂ SO ₄	s	-281,80	-215,19	52,65
<hr/>				
Na	g	25,98	18,67	36,715
Na	s	0	0	12,2
Na ⁺	aq	-57,279	-62,589	14,4
Na ₃	g	33,97	24,85	55,02
Na ₂ O ₂	s	-61,9	-46,5	(9,5)
Na ₂ O	s	-99,4	-90,0	17,4
Na ₂ O ₂	s	-120,6	-102,8	(16)
NaH	g	29,88	24,78	44,93
NaOH	s	-101,99	-90,1	(12,5)
NaOH · H ₂ O	s	-175,17	-149,00	20,2
NaF	s	-136,0	-129,3	14,0
NaCl	s	-98,232	-91,785	17,30
NaClO ₂	s	-72,65	-54,45	(26,7)
NaClO ₃	s	-85,73		
NaClO ₄	s	-92,18	-61,4	(33,5)
NaBr	s	-86,030	-83,1	(20,5)
NaJ	s	-68,84	-56,7	(22,1)
Na ₂ S	s	-89,2	-86,6	(23,2)
Na ₂ SO ₃	s	-260,6	-239,5	34,9
Na ₂ SO ₄	s	-330,90	-302,78	35,73
Na ₂ SO ₄ · 10 ₂ HO	s	-1033,48	-870,93	141,7
NaN ₂ O ₂	s	-85,9	-67,8	(25,3)
NaN ₂ O ₃	s	-111,54	-87,45	27,8
Na ₃ PO ₄	s	-460	430,6	(46,5)
Na ₂ CO ₃	s	-270,3	-250,4	32,5
Na ₂ (C ₂ O ₄)	s	-314,3	-308	(37)
NaHCO ₃	s	-226,5	-203,6	24,4
NaCN	s	-21,46	-14,7	(21,8)

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
Na_2SiO_3	s	-363	-341	27,2
Na_2SiF_6	s	-677	-610,4	(51,3)
NaBH_4	s	-43,82	-28,57	25,02
<hr/>				
Nd	s	0	0	(13,8)
Nd^{+++}	aq	-171,2	-167,6	(-41,6)
Nd_2O_3	s	-442,0	-420,6	(29,3)
$\text{Nd}(\text{OH})_2$	s		-309,6	
NdCl_3	s	-254,3	-236,4	(34,6)
$\text{NdCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	s	-692,3	-591,8	(93)
NdJ_3	s	-158,9	-157,7	(51,4)
Nd_2S_3	s	-281,8	-276,2	(31,6)
$\text{Nd}_2(\text{SO}_4)_3$	s	-948,1	-866,1	(68,9)
$\text{Nd}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	s	-1524,7	-1334,5	
<hr/>				
Ni	g	101,61	90,77	43,592
Ni	s	0	0	7,20
Ni^{++}	aq	-15,3	-11,1	-38,1
NiO	g	59,3	51,8	57
NiO	s	-58,4	-51,7	9,22
$\text{Ni}(\text{OH})_2$	s	-128,6	-108,3	19
$\text{Ni}(\text{OH})_3$	s	-162,1	-129,5	(19,5)
NiF_2	s	-159,5	-148,8	(19,9)
$\text{NiF}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	s		-379,9	
NiCl_2	s	-75,5	-65,1	25,6
$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	s	-505,8	-410,5	75,2
NiBr_2	s	-54,2	-50,8	(32,8)
NiJ_2	s	-20,5	-21,3	(37,7)
$\text{Ni}(\text{JO}_3)_2$	s	-124,5	-86,7	(54,5)
NiS α	s		-15,6	
NiS β	s		-23,0	
NiS γ	s		-25,4	
NiSO_4	s	-213,3	-184,9	18,6
$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sininen	s	-642,5	-531,0	73,1
$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$	s	-102,2	-56,4	(45,9)
$\text{Ni}(\text{NH}_3)_4^{++}$	aq		-46,6	
$\text{Ni}(\text{NH}_3)_6^{++}$	aq		-59,8	
NiCO_3	s	-158,7	-147,0	(21,9)
$\text{Ni}(\text{CN})_2$	s	27,1	37	(22,5)
$\text{Ni}(\text{CN})_4^{--}$	aq	86,9	117,1	(33)
<hr/>				
O	g	59,159	54,994	38,4689
O_2	g	0	0	49,003
O_3	g	34,0	39,06	56,8
<hr/>				
Os	g	174	163	45,97
Os	s	0	0	7,8
OsO_4	g	-79,9	-67,9	65,6
OsO_4 valk.	s	-91,7	-70,5	34,7
OsO_4 kelt.	s	-93,4	-70,7	29,7

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
OsO_4	aq		-68,59	
HOSOs^-	aq		-108,78	
H_2OsO_5	aq		-125,28	
OsS_2	s	-35	-34,4	(20,1)
<hr/>				
P	g	75,18	66,71	38,98
P valk.	s	0	0	10,6
P pun.	s	-4,4	-3,3	(7,0)
P musta	s	-10,3		
P_2	g	33,82	24,60	52,13
P_4	g	13,12	5,82	66,90
PO_4^{---}	aq	-306,9	-245,1	-52
PH_3	g	2,21	4,36	50,2
HPO_3	aq	-234,8	-215,8	(36)
HPO_2^{--}	aq	-233,8	-194,0	
HPO_4^{--}	aq	-310,4	-261,5	-8,6
H_2PO_4^-	aq	-311,3	-271,3	21,3
H_2PO_3	aq	-145,6	-125,1	(38)
H_2PO_2	aq	-232,2	-204,8	(40)
H_3PO_4	aq	-308,2	-274,2	42,1
PCl_3	g	-73,22	-68,42	74,49
PCl_5	l	-81,0	-68,6	
PCl_5	g	-95,35	-77,59	84,3
POCl_3	g	-141,5	-130,3	77,59
PBr_3	g	-35,9	-41,2	83,11
PJ_3	s	-10,9	-8,99	(46)
P_2J_4	s	-19,76	-19,8	(44,2)
PN	g	-20,2	-25,3	50,45
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	s	-346,75	-290,46	36,32
<hr/>				
Pb	g	46,34	38,47	41,800
Pb	s	0	0	15,51
Pb^{++}	aq	0,39	-5,81	5,1
PbO pun.	s	-52,40	-45,25	16,2
PbO kelt.	s	-52,07	-45,05	16,6
PbO_2	s	-66,12	-52,34	18,3
Pb_2O_4	s	-175,6	-147,6	50,5
$\text{Pb}(\text{OH})_2$	s	-123,0	-100,6	21
PbF_2	s	-158,5	-148,1	29
PbF_4	s	-222,3	-178,1	(35,5)
PbCl_2	s	-85,85	-75,04	32,6
PbBr_2	s	-66,21	-62,24	38,6
PbJ_2	s	-41,85	-41,53	42,3
PbJ_3^-	aq		-48,55	
PbJ_4^{--}	aq		-63,02	
PbS	s	-22,54	-22,15	21,8
PbSO_4	s	-219,50	-193,89	35,2
PbS_2O_3	s	-150,1	-134,0	(35,4)
PbS_3O_6	s	-283,0	-213,8	(55,4)
$\text{PbSO}_4 \cdot \text{PbO}$	s	-282,5	-258,9	(48,7)
PbSe	s	-18,0	-15,4	(26,9)
PbSeO_4	s	-148	-122	(37)
PbTe	s	-17,5	-18,1	(27,6)

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
Pb(N ₃) ₂	s	104,3	135,1	(49,5)
Pb(NO ₃) ₂	s	-107,35	-60,3	(50,9)
Pb(OH)NO ₃	s	-117,9	-72,6	(37,7)
Pb ₃ (PO ₄) ₂	s	-620,3	-581,4	84,45
PbHPO ₃	s	-234,5	-208,3	(31,9)
PbCO ₃	s	-167,3	-149,7	31,3
PbC ₂ O ₄	s	-205,1	-180,3	(33,2)
PbO · PbCO ₃	s	-220,0	-195,6	48,5
2PbO · PbCO ₃	s	-273	-242	65
PbSiO ₃	s	-258,8	-239,0	27
Pb ₂ SiO ₄	s	-312,7	-285,7	43
<hr/>				
Pd	g	93	84	39,91
Pd	s	0	0	8,9
Pd ⁺⁺	aq		45,5	
PdO	s	-20,4	-14,4	(13,2)
Pd(OH) ₂	s	-92,1	-72	(21,7)
Pd(OH) ₄	s	-169,4	-126,2	(24,7)
PdCl ₄ ⁻⁻⁻	aq	-128,3	-96,7	41
PdCl ₆ ⁻⁻⁻	aq	-156,7	-99,6	(52)
PdBr ₂	s	-24,9	-21,8	(34,5)
PdBr ₄ ⁻⁻⁻	aq	-88,6	-70,7	(44)
PdJ ₂ · H ₂ O	s	-87,3	-74,4	(49,3)
<hr/>				
Po	s	0	0	(15,5)
Po ⁺⁺	aq	17,1	30,0	(4)
PoO ₂	s	-60,5	-46,6	(18,3)
<hr/>				
Pm	s	0	0	(13,9)
Pm ⁺⁺⁺	aq	-170,4	-167,6	(-41,2)
PmCl ₃	s	-251,9	-234	(34,6)
Pm(OH) ₃	s		-309,0	
<hr/>				
Pr	s	0	0	(13,7)
Pr ⁺⁺⁺	aq	-172,7	-169,1	(-41,1)
PrO ₂	s	-234,0	-220,0	(15,8)
Pr ₂ O ₃	s	-444,5	-423	(21,4)
Pr(OH) ₃	s		-310,7	(22,8)
PrCl ₃	s	-257,8	-239,9	(34,5)
PrJ ₃	s	-162,0	-160,7	(51,3)
Pr ₂ (SO ₄) ₃ · 8H ₂ O	s	-1536	-1337,0	(153)
<hr/>				
Pt	g	121,6	110,9	45,96
Pt	s	0	0	10,0
Pt(OH) ₂	s	-87,2	-68,2	26,5
PtCl	s	-17,7	-14,1	(24,9)
PtCl ₂	s	-35,5	-26,3	(31,4)
PtCl ₃	s	-49,9	-33,6	(35,9)
PtCl ₄	s	-62,9	-42,3	(47,6)

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
PtCl ₄ · 5H ₂ O	s	-425,8	-336,4	(94,6)
PtCl ₄ ⁻⁻⁻	aq	-123,4	-91,9	42
PtCl ₆ ⁻⁻⁻	aq	-167,4	-123,1	52,6
PtBr ₄	s	-41,3	-33,1	(55,2)
PtBr ₄ ⁻⁻⁻	aq	-91,1	-71,5	(49)
PtJ ₄	s	-21,1	-22,0	(67,2)
PtS	s	-20,8	-21,6	(20,2)
PtS ₂	s	-27,8	-25,6	(17,8)
<hr/>				
Pu	s	0	0	(12,1)
Pu ⁺⁺⁺	aq	-141,8	-140,5	-39
PuCl ₃	s	-230,0	-214	(38)
PuBr ₃	s	-187,8	-182,4	(49)
PuJ ₃	s	-133	-133,6	(56)
<hr/>				
Ra	g	31	23	42,15
Ra	s	0	0	17
Ra ⁺⁺	aq	-126	-134,5	13
RaO	s	-125	-117,5	(16,3)
RaCl ₂ · 2H ₂ O	s	-351	-311,7	50
RaSO ₄	s	-352	-326,0	34
Ra(NO ₃) ₂	s	-237	-190,3	52
<hr/>				
Rb	g	20,51	13,51	40,628
Rb	s	0	0	16,6
Rb ⁺	aq	-58,9	-67,45	29,7
Rb ₂ O	s	-78,9	-69,5	(26,2)
Rb ₂ O ₂	s	-101,7	-83,6	(24,8)
Rb ₂ O ₃	s	-116,7	-92,4	(25,3)
Rb ₂ O ₄	s	-126,2	-94,6	(27,8)
RbOH	s	-98,9	-87,1	(16,9)
RbF	s	-131,28	-124,3	(17,4)
RbCl	s	-102,91	-96,8	(22,6)
RbClO ₂	s	-93,8	-69,8	36,3
RbClO ₄	s	-103,87	-73,19	38,4
RbBr	s	-93,03	-90,38	25,88
RbJ	s	-78,5	-77,8	28,21
Rb ₂ S	s	-83,2	-80,6	(32)
Rb ₂ SO ₄	s	-340,50	-312,8	(45,8)
RbNO ₃	s	-117,04	-93,3	(33,6)
Rb ₂ CO ₃	s	-269,6	-249,3	(23,3)
RbHCO ₃	s	-228,5	-204,4	(29,3)
<hr/>				
Re	g	189	179	45,13
Re	s	0	0	10
ReO ₄ ⁻	aq	-190,3	-168,3	(50)
ReS ₂	s	-44,3	-45,8	(20)
<hr/>				
Rh	g	138	127	41,39
Rh	s	0	0	7,6

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
Rh+++	aq		(55,3)	
RhO	s	-21,7	-16,0	(13)
Rh ₂ O	s	-22,7	-19,1	(27,4)
Rh ₂ O ₃	s	-68,3	-50,0	(26,5)
RhCl	s	-16	-12,4	(22,2)
RhCl ₂	s	-36	-26,4	(29)
RhCl ₃	s	-56	-39,6	(33)
RhCl ₆ ---	aq	-207,8	-158,3	(50)
Ru	g	160	149	44,57
Ru	s	0	0	6,9
RuO ₂	s	-52,5	-40,7	(16,5)
RuCl ₃	s	-63	-46,9	(33,5)
RuS ₂	s	-48,1	-46,7	(17,5)
S	g	53,25	43,57	40,085
S romb.	s	0	0	7,62
S monokl.	s	0,071	0,023	7,78
S--	aq	10,0	20,0	5,3
S ₂ --	aq	9,3	21,8	(0)
S ₃ --	aq	7,8	21,1	(5)
S ₄ --	aq	5,3	19,4	(10)
SO	g	19,02	12,78	53,04
SO ₂	g	-70,96	-71,79	59,40
SO ₃	g	-94,45	-88,52	61,24
SO ₃ --	aq	-149,2	-118,8	10,4
SO ₄ --	aq	-216,90	-177,34	4,1
S ₂ O ₃ --	aq	-154	-127,2	29
S ₂ O ₄ --	aq	-164	-138	57
S ₂ O ₅ --	aq	-231	-189	(25)
S ₂ O ₆ --	aq	-280,4	-231	(30)
S ₂ O ₈ --	aq	-324,3	-262	(35)
S ₃ O ₆ --	aq	-279	-229	(33)
S ₄ O ₆ --	aq	-290	-246,3	62
S ₅ O ₃ --	aq	-281	-228,5	(40)
HS-	aq	-4,22	3,01	14,6
H ₂ S	g	-4,815	-7,892	49,15
H ₂ S	aq	-9,4	-6,54	29,2
H ₂ SO ₃ -	aq	-150,09	-126,03	31,64
H ₂ SO ₄ -	aq	-211,70	-179,94	30,32
H ₂ SO ₃	aq	-145,5	-128,59	56
H ₂ S ₂ O ₄	aq	-164	-140,0	
SF ₆	g	-262	-237	69,5
S ₂ Cl ₂	l	-14,4	-5,9	(40)
Sb	g	60,8	51,1	43,06
Sb	s	0	0	10,5
Sb ₂	g	52	40	60,9
SbO+	aq		-42,0	
Sb ₂ O ₄	s	-214	-188	30,3
Sb ₂ O ₅	s	-234,4	-200,5	29,0

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
Sb ₂ O ₆	s	-336,8	-298,0	58,8
SbH ₃	g	34	35,3	(53)
SbO ₂ -	aq		-82,5	
HSbO ₂	aq		-97,5	
SbF ₃	s	-217,2	-199,8	25,2
SbCl ₃	g	-75,2	-72,3	80,8
SbCl ₅	s	-91,34	-77,62	44,5
SbBr ₃	s	-62,1	-54,4	(40,2)
SbJ ₃	s	-23,0	-22,5	(50,7)
Sb ₂ S ₃ orans.	s	-36,0	-32,0	(30,3)
Sc	s	0	0	(8)
Sc+++	aq	-148,8	-143,7	(-56)
ScCl ₃	s	-220,8	-205,7	(30,4)
ScBr ₃	s	-179,4	-171,5	(36,7)
Se	g	48,37	38,77	42,21
Se heksag.	s	0	0	10,0
Se--	aq	31,6	37,2	20,0
Se ₂	g	33,14	21,15	60,22
SeO ₂	s	-55,00	-41,5	(13,6)
SeO ₃ --	aq	-122,39	-89,33	3,9
SeO ₄ --	aq	-145,3	-105,42	5,7
HSe-	aq	24,6	23,57	42,3
H ₂ Se	g	20,5	17,0	52,9
H ₂ Se	aq	18,1	18,4	39,9
HSeO ₃ -	aq	-123,5	-98,3	30,4
HSeO ₄ -	aq	-143,1	-108,2	22,0
H ₂ SeO ₃	aq	-122,39	-101,8	45,7
SeF ₆	g	-246	-222	75,10
SeCl ₄	s	-45,0	-23,3	(44)
Se ₂ Cl ₂	l	-20,0	-11,60	(45)
Si	g	88,04	77,41	40,120
Si	s	0	0	4,47
SiO	g	-26,72	-32,77	49,26
SiO ₂ kvartsi	s	-205,4	-192,4	10,00
SiO ₂ kristobal.	s	-205,0	-192,1	10,19
SiO ₂ tridymiitti	s	-204,8	-191,9	10,36
SiO ₃	gls	-202,5	-190,9	11,2
SiH ₄	g	-14,8	-9,4	48,7
H ₂ SiO ₃	s	-270,7	-244,5	
H ₂ SiO ₄	s	-340,6		
SiF ₄	g	-370	-360	68,0
SiF ₆ --	aq	-558,5	-511	-12
SiCl ₄	g	-145,7	-136,2	79,2
SiCl ₄	l	-153,0	-136,9	57,2
Si ₃ N ₄	s	-179,3	-154,7	22,4
SiC	s	-26,7	-26,1	3,935

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
Sm	s	0	0	(13,95)
Sm+++	aq	-169,8	-165,9	(-42,3)
Sm(OH) ₃	s		-308,8	
SmCl ₃	s	-249,8	-231,9	(34,8)
SmJ ₃	s	-153,4	-152,1	(51,6)
Sm ₂ (SO ₄) ₃ · 8H ₂ O	s	-1522	-1332,6	(154,1)
Sn	g	72	64	40,245
Sn valk.tetrag.	s	0	0	12,3
Sn harm.kuut.	s	0,6	1,1	10,7
Sn++	aq	-2,39	-6,275	-5,9
Sn++++	aq		0,65	
SnO	s	-68,4	-61,5	13,5
SnO ₂	s	-138,8	-124,2	12,5
Sn(OH)+	aq		-61,1	
H ₂ SnO ₃ ⁻	aq		-97,9	
Sn(OH) ₂	s	-138,3	-117,6	23,1
Sn(OH) ₄	s	-270,5	-227,5	(29)
SnF ₆ ⁻⁻	aq	-474,7	-420	(0)
SnCl ₂	s	-83,6	-72,2	(29,3)
SnCl ₄	l	-130,3	-113,3	61,8
SnBr ₂	s	-63,6	-59,5	(34,9)
SnJ ₂	s	-34,4	-34,4	(40,3)
SnS	s	-18,6	-19,7	23,6
Sn(SO ₄) ₂	s	-393,4	-346,8	(37,1)
Sr	g	39,2	26,3	39,325
Sr	s	0	0	13,0
Sr++	aq	-130,38	-133,2	-9,4
SrO	s	-141,1	-133,8	13,0
SrO ₂	s	-153,6	-139	(13)
SrH	g	52,4	45,8	49,43
Sr(OH) ₂	s	-229,3	-207,8	(21)
SrF ₂	s	-290,3	-277,8	(21,4)
SrCl ₂	s	-198,0	-186,7	28
SrBr ₂	s	-171,1	-166,3	(33,8)
SrJ ₂	s	-135,5	-135	(39,2)
SrS	s	-108,1	-97,4	(17)
SrSO ₄	s	-345,3	-318,9	29,1
Sr(N ₃) ₂	s	48,9	80,0	(46)
Sr(NO ₂) ₂	s	-179,3	-145,1	(42)
Sr(NO ₃) ₂	s	-233,25	-186	(47,4)
Sr ₃ (PO ₄) ₂	s	-987,3	-932,1	(70)
SrHPO ₄	s	-431,3	-399,7	(31,2)
Sr ₃ (AsO ₄) ₂	s	-800,7	-770,1	(74,6)
SrCO ₃	s	-291,2	-271,9	23,2
SrC ₂ O ₄ · H ₂ O	s		-360,8	
Sr(HCO ₂) ₂	s	-325,5	-295	(40)
SrSiO ₃	s	-371,2	-350,8	(22,5)
Sr ₂ SiO ₄	s	-520,6	-495,7	(43)
SrWO ₄	s	-398,3	-366,5	(37,8)

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
Ta	g	185	175	44,244
Ta	s	0	0	9,9
Ta ₂ O ₅	s	-499,9	-470,6	34,2
Tb	s	0	0	(14,15)
Tb+++	aq	-168,4	-163,9	(-42,8)
Tb(OH) ₃	s		-305,7	
TbCl ₃	s	-241,6	-123,7	(34,9)
Tb ₂ (SO ₄) ₃ · 8H ₂ O	s	-1517,3	-1328,2	(155,8)
Te	g	47,6	38,1	43,64
Te	s	0	0	11,88
Te ⁻⁻	aq		52,7	
Te ₂	g	41,0	29,0	64,07
Te ₂ ⁻⁻	aq		38,75	
TeO ₂	s	-77,69	-64,60	16,99
TeO ₃ ⁻⁻	aq	-142,1	-108,0	(-2)
H ₂ Te	g	36,9	33,1	56,0
H ₂ TeO ₃	s	-144,7	-115,7	47,7
H ₂ TeO ₄ · 2H ₂ O	s	-306,6	-245,3	47
TeF ₆	g	-315	-292	80,67
TeCl ₄	s	-77,2	-56,7	(50)
Th	s	0	0	13,6
Th++++	aq	-183,0	-175,2	(-75)
ThO ₂	s	-292	-278,4	(16,9)
Th(OH) ₄	s	-421,5	-379	(32)
ThF ₄	s	-477	-454,7	(35,9)
ThCl ₄	s	-285	-263,9	(48,3)
ThBr ₄	s	-227,1	-218,0	(55,9)
ThJ ₄	s	-131	-131	(67,9)
Th ₂ S ₃	s	-262,0	-257,7	(35,7)
Ti	g	112	101	43,069
Ti	s	0	0	7,24
TiO++	aq		-138	
TiO ₂ rutiili	s	-218,0	-203,8	12,01
TiO ₂ saost.amorf.	s	-207	-196,3	
TiO(OH) ₂	s		-253	
Ti ₂ O ₃	s	-367	-346	18,83
Ti ₃ O ₅	s	-584	-550	30,92
TiF ₄	s	-198	-187,1	(19,2)
TiF ₃	s	-315	-290,9	(21,8)
TiF ₂	s	-370	-346,3	(29,8)
TiF ₆ ⁻⁻	aq	-555,1	-506,3	(20)
TiCl ₂	s	-114	-96	(26)
TiCl ₃	s	-165	-148	(30,5)
TiCl ₄	l	-179,3	-161,2	60,4
TiBr ₂	s	-95	-91,4	(31,6)
TiBr ₃	s	-132	-124,6	(36,8)

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
TiBr ₄	s	-155	-146	(49,8)
TiJ ₃	s	-61	-61,6	(37)
TiJ ₃	s	-80	-76,5	(47,3)
TiJ ₄	s	-102	-102	(61,8)
TiN	s	-73,0	-66,1	7,20
TiC	s	-54	-53	5,8
FeTiO ₃	s	-288,5	-268,9	25,3
Tl	g	43,34	35,05	43,23
Tl	s	0	0	15,4
Tl+	aq	1,38	-7,775	30,4
Tl+++	aq	27,7	50,0	-106
Tl ₂ O	s	-41,9	-32,5	23,8
TlH	g	48	42	51,39
TlOH	s	-56,9	-45,5	17,3
Tl(OH) ₃	s	-156	-123,0	(24,4)
TlCl	g	-16	-22	61,1
TlCl	s	-48,99	-44,19	25,9
TlBr	g	-5	-14	63,8
TlBr	s	-41,2	-39,7	28,6
TlJ	g	7	-4	65,6
TlJ	s	-29,7	-29,7	29,4
TlJO ₃	s	-65,7	-47,6	(40,9)
Tl ₂ S	s	-20,8	-21	(39)
Tl ₂ SO ₄	s	-221,7	-196,8	(52,8)
Tl ₂ Se	s	-18	-19,8	(46,8)
Tl ₂ Te	s	-7	-8,4	(47,3)
TlNO ₃	s	-58,01	-36,07	38,2
Tm	s	0	0	(14,4)
Tm+++	aq	-161,3	-156,5	-44,8
TmCl ₃	s	-229,5	-111,7	(35,2)
TmJ ₃	s	-137,8	-136,6	(52,1)
Tm(OH) ₃	s		-302,4	
U	s	0	0	12,03
U+++	aq	-123,0	-124,4	-30
U++++	aq	-146,7	-138,4	-78
UO ₂	s	-270	-257	18,6
UO ₂ +	aq	-247,4	-237,6	12
UO ₂ ++	aq	-250,4	-236,4	-17
UO ₃	s	-302	-283	23,57
UO ₃ · H ₂ O	s	-375,4	-343	(33)
UOH+++	aq	-204,1	-193,5	-30
UF ₃	s	-357	-339	26
UF ₄	s	-443	-421	36,1
UF ₅	s	-488	-461	43
UF ₆	g	-505	-485	90,76
UF ₆	s	-517	-486	54,45
UCl ₃	s	-213,0	-196,9	37,99
UCl ₄	s	-251,2	-230,0	47,4

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
UCl ₅	s	-262,1	-237,4	62
UCl ₆	s	-272,4	-241,5	68,3
UBr ₃	s	-170,1	-164,7	49
UBr ₄	s	-196,6	-188,5	58
UJ ₃	s	-114,7	-115,3	56
UJ ₄	s	-127,0	-126,1	65
UCl ₃ J	s	-219,9	-204,4	54
UO ₂ SO ₄ · 3H ₂ O	s	-666,8	-586,0	63
U(SO ₄) ₂	s	-563	-515,6	(64)
UN	s	-80	-75	18
U ₂ N ₂	s	-213	-194	29
UO ₂ (NO ₃) ₂	s	-329,2	-273,1	66
UO ₂ (NO ₃) ₂ · H ₂ O	s	-404,8	-335,3	76
UO ₂ (NO ₃) ₂ · 2H ₂ O	s	-480,0	-396,6	85
UO ₂ (NO ₃) ₂ · 3H ₂ O	s	-552,2	-454,7	94
UO ₂ (NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	s	-764,3	-625,0	120,85
UC ₂	s	-42	-42	14
V	g	120	109	43,540
V	s	0	0	7,05
V++	aq		-54,7	
V+++	aq		-60,6	
VO++	aq		-109	
V ₂ O ₃	s	-200	-189	(24)
V ₂ O ₃	s	-290	-271	23,58
V ₂ O ₄	s	-344	-318	24,65
V ₂ O ₅	s	-373	-344	31,3
HV ₆ O ₁₇ ---	aq		-1127,3	
H ₂ V ₄ O ₁₇ ---	aq		-1130	
VCl ₂	s	-108	-97	23,2
VCl ₃	s	-137	-120	31,3
VN	s	-41	-35	8,91
NH ₄ VO ₃	s	-251,2	-211,8	33,6
W	g	201,6	191,6	41,552
W	s	0	0	8,0
WO ₂	s	-136,3	-124,4	(17)
WO ₃	s	-200,84	-182,47	19,90
WO ₄ ---	aq	-266,6	-220	(15)
WCl ₂	s	-38	-27	(31,2)
WCl ₄	s	-71	-51	(47,4)
WCl ₅	s	-84	-59	(58)
WCl ₆	s	-98,7	-70	(69)
WBr ₂	s	-19	-16,7	(36,8)
WBr ₄	s	-35	-27,4	(55)
WJ ₂	s	-1	-2,7	(41,9)
WJ ₄	s	0	-1	(67)
WS ₂	s	-46,3	-46,2	23
Y	s	0	0	(11,3)
Y+++	aq	-168,0	-164,1	(-48)

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
Y(OH) ₃	s	-337,6	-308,3	(23)
Y ₂ (SO ₄) ₃ · 8H ₂ O	s	-1512,6	-1327,3	(140,6)
Yb	s	0	0	(14,45)
Yb+++	aq		-129,0	
Yb++++	aq	-160,6	-155,5	(-45,4)
Yb(OH) ₃	s		-301,7	
YbCl ₃	s	-228,7	-110,9	(35,3)
Yb ₂ (SO ₄) ₃ · 8H ₂ O	s		-1308,8	(156,6)
Zn	g	31,19	22,69	38,45
Zn	s	0	0	9,95
Zn++	aq	-36,43	-35,184	-25,45
ZnO	s	-83,17	-76,05	10,5
ZnO ₂ --	aq		-93,03	
ZnH	g	54,4	47,5	48,70
ZnOH+	aq		-78,8	
Zn(OH) ₂	s	-153,5	-132,6	(19,9)
ZnCl	g	1	-5	58,3
ZnCl ₂	s	-99,40	-88,255	25,9
ZnBr ₂	s	-78,17	-74,142	32,84
ZnBr ₂ · 2H ₂ O	s	-220,9	-190,3	56,2
ZnJ	g	15	3	63,0
ZnJ ₂	s	-49,98	-50,01	38,0
ZnS sfaleriitti	s	-48,5	-47,4	13,8
ZnS wurtz.	s	-45,3	-44,2	(13,8)
ZnSO ₄	s	-233,88	-208,31	29,8
ZnSO ₄ · H ₂ O	s	-310,6	-269,9	34,9
ZnSO ₄ · 6H ₂ O	s	-663,3	-555,0	86,8
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	s	-735,1	-611,9	92,4
ZnSe	s	-34	-34,7	(22,3)
ZnTe	s	-30	-29	19
Zn(NO ₃) ₂	s	-115,12	-71,42	(46,3)
ZnCO ₃	s	-194,2	-174,8	19,7
Zn(CN) ₂	s	18,4	29	(22,9)
Zn(CN) ₄ --	aq	82,0	100,4	
ZnSiO ₃	s	-294,6	-274,8	(21,4)
Zr	g	125	115	43,313
Zr	s	0	0	9,18
Zr++++	aq		-141	
ZrO++	aq	-223,1	-200,9	
ZrO ₂	s	-258,2	-244,4	12,03
ZrO(OH) ₂	s	-338,0	-311,5	(22)
Zr(OH) ₄	s	-411,2	-370	(31)
HZrO ₃ --	aq		-287,7	
ZrF ₃	s	-230	-219,2	(21,5)
ZrF ₃	s	-350	-332,8	(24,1)
ZrF ₄	s	-445	-424,3	(32,1)
ZrCl ₃	s	-145	-134,8	(28,3)
ZrCl ₃	s	-208	-191	(32,8)

Kaava	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
ZrCl ₄	s	-230	-209	44,5
ZrBr ₃	s	-120	-116,5	(33,9)
ZrBr ₃	s	-174	-166,6	(39,1)
ZrBr ₄	s	-192	-183,1	(52,1)
ZrJ ₃	s	-90	-90,7	(39,3)
ZrJ ₃	s	-128	-128	(49,6)
ZrJ ₄	s	-130	-130	(64,1)
Zr(SO ₄) ₂	s	-597,4	-538,9	(24,1)
ZrN	s	-82,2	-75,4	9,23

ΔH° -arvoja vesiliuoksissa

Merkintä aq tarkoittaa tässä taulukossa laimeaa liuosta.

Kaava	H ₂ O	ΔH°	Kaava	H ₂ O	ΔH°
As ₂ O ₅	aq	-224,6	BeSO ₄	15	-301,50
As ₄ O ₆	aq	-299,4		50	-303,09
				100	-303,50
				1.000	-304,46
HBO ₂	aq	-186,9		5.000	-305,10
H ₃ BO ₃	50	-255,28			
	700	-255,21			
	∞	-255,2	HBr	1	-18,56
BF ₃	aq	-289,8		2	-22,18
				3	-24,36
				5	-26,27
Ba(OH) ₂	600	-238,5		10	-27,72
BaF ₂	aq	-286,0		50	-28,54
BaCl ₂	31,1	-208,072		100	-28,65
	100	-208,110		1.000	-28,80
	500	-208,257		10.000	-28,86
	1.000	-208,338		100.000	-28,89
	10.000	-208,544		∞	-28,90
	100.000	-208,650			
	∞	-208,72			
Ba(ClO ₃) ₂	aq	-175,6	CaCl ₂	25	-208,51
Ba(ClO ₄) ₂	aq	-191,5		50	-208,86
BaBr ₂	300	-186,047		100	-209,055
	1.000	-186,153		1.000	-209,41
	10.000	-186,326		∞	-209,82
	100.000	-186,417	CaBr ₂	400	-187,0
	∞	-186,47		1.000	-187,17
BaJ ₂	400	-155,15		4.000	-187,30
	1.000	-155,28		∞	-187,57
BaS	aq	-118,4	CaJ ₂	400	-156,0
Ba(NO ₃) ₂	800	-178,6		∞	-156,51
Ba(NO ₃) ₂	150	-226,27	CaS	aq	-119,8
	500	-227,104	CaSO ₄	2.500	-345,95
	1.000	-227,317		10.000	-346,174
	10.000	-227,488		100.000	-346,520
	100.000	-227,456		500.000	-346,620
	∞	-227,41		∞	-346,67
Ba(CN) ₂	aq	-50,7	CaS ₂ O ₃	35	-282,86

Kaava	H ₂ O	ΔH°	Kaava	H ₂ O	ΔH°
CaS ₂ O ₃	100	-283,10	CoCl ₂	aq	-96,1
	1.000	-283,4	CoBr ₂	aq	-73,9
Ca(NO ₂) ₂	aq	-180,5	CoJ ₂	aq	-42,8
Ca(NO ₃) ₂	10	-229,48	CoSO ₄	aq	-232,0
	50	-229,123	Co(NO ₂) ₂	aq	-114,8
	100	-228,832			
	1.000	-228,345	CrO ₃	2	-139,37
	10.000	-228,374		5	-140,03
	100.000	-228,456		10	-140,43
	∞	-228,51	CrO ₃	50	-140,88
Ca(C ₂ H ₃ O ₂) ₂	aq	-362,5		80	-140,9
Ca(CN) ₂	aq	-57,5	H ₃ CrO ₄	80	-209,2
CaCrO ₄	aq	-336,0		∞	-213,5
			CrCl ₂	aq	-113,2
			CrJ ₂	aq	-59,9
CdF ₂	aq	-173,6	CsOH	2,2	-111,5
CdCl ₂	200	-96,290		200	-114,0
	500	-96,410		∞	-114,2
	1.000	-96,520	CsF	500	-135,85
	10.000	-96,965		1.000	-135,86
	100.000	-97,270		10.000	-135,88
	∞	-97,39		∞	-135,9
CdBr ₂	100	-75,827	CsCl	50	-99,55
	500	-75,926		100	-99,346
	1.000	-75,958		1.000	-99,150
	10.000	-75,890		10.000	-99,174
	100.000	-75,820		∞	-99,2
	∞	-75,822	CsBr	500	-88,065
CdJ ₂	400	-47,46		1.000	-88,060
	1.000	-47,000		10.000	-88,076
	10.000	-45,840		∞	-88,1
	100.000	-44,990	CsJ	500	-72,57
	∞	-44,660		1.000	-72,56
CdSO ₄	100	-232,413		10.000	-72,58
	500	-232,785		∞	-72,6
	1.000	-232,935	Cs ₂ S	aq	-108,4
	10.000	-233,500	Cs ₂ SO ₄	200	-333,261
	100.000	-233,950		1.000	-335,145
	∞	-234,20		10.000	-335,184
Cd(CN) ₂	aq	30,3		100.000	-335,268
			CsNO ₃	100	-109,08
				1.000	-108,620
				10.000	-108,581
				100.000	-108,591
				∞	-108,6
HCl	1	-28,331	CuCl ₂	10	-55,48
	10	-38,671		100	-59,98
	100	-39,713		1.000	-61,24
	500	-39,874	CuBr ₂	400	-42,0
	1.000	-39,913	CuSO ₄	50	-199,998
	∞	-40,023			
HClO	400	-28,18			
HClO ₂	aq	-12,4			
HClO ₃	aq	-23,4			
HClO ₄	1	-19,7			
	10	-31,38			
	100	-31,47			
	∞	-31,41			

Kaava	H ₂ O	ΔH°	Kaava	H ₂ O	ΔH°
CuSO ₄	100	-200,110	KHF ₂	25	-213,73
	1.000	-200,491		100	-213,39
	10.000	-200,964	KCl	50	-100,105
	100.000	-201,364		100	-100,015
	∞	-201,51		800	-99,982
Cu(NO ₃) ₂	10	-83,11		6.400	-100,026
	100	-83,88		∞	-100,06
	800	-83,8	KClO ₃	100	-84,09
				1.000	-83,531
				10.000	-83,515
				100.000	-83,530
				∞	-83,54
HF	2	-75,167	KClO ₄	500	-91,580
	10	-75,605		1.000	-91,499
	100	-75,686		10.000	-91,433
	1.000	-75,872		100.000	-91,442
	∞	-78,66		∞	-91,450
			KBr	10	-89,770
FeCl ₂	200	-100,40		50	-89,068
	1.000	-100,70		100	-88,942
	∞	-101,0		1.000	-88,883
FeBr ₂	aq	-79,1		10.000	-88,915
FeJ ₂	aq	-49,03		100.000	-88,931
FeSO ₄	200	-236,0		∞	-88,94
			KBrO ₃	500	-69,64
				1.000	-69,59
				10.000	-69,58
				∞	69,6
H ₂ O ₂	1	-45,43	KJ	6	-74,94
	5	-45,64		10	-74,55
	10	-45,66		100	-73,471
	∞	-45,68		1.600	-73,357
				∞	-73,41
HgCl ₂	aq	-51,8	KJO ₃	200	-115,16
HgBr ₂	aq	-37,1		1.000	-115,02
				10.000	-114,98
				∞	-115,0
HJ	2	-6,4	K ₂ S	7	-107,04
	10	-12,48		10	-108,95
	100	-13,18		100	-110,02
	1.000	-13,28		400	-109,9
	∞	-13,37		600	-336,731
				1.000	-336,748
				10.000	-336,852
				100.000	-336,930
				∞	-336,98
KOH	3	-111,77	KNO ₂	400	-85,2
	5	-113,31		400	-109,480
	10	-114,363		1.000	-109,412
	100	-114,796		10.000	-109,389
	1.000	-114,894		100.000	-109,403
	10.000	-114,964		∞	-109,412
	∞	-115,000			
			KH ₂ PO ₄	35	-370,70
KF	4	-137,35		100	-370,51
	10	-138,34		300	-370,34
	100	-138,534			
	1.000	-138,609			
	∞	-138,70			

Kaava	H ₂ O	ΔH°	Kaava	H ₂ O	ΔH°
KH ₂ AsO ₄	aq	-276,2	LiBr	100	-95,216
	50	-281,02		800	-95,360
	100	-281,03		1.600	-95,384
	1.000	-281,56		6.400	-95,414
K ₂ C ₂ O ₄	100	-316,88	∞	-95,45	
	1.000	-316,783	LiJ	100	-79,781
	10.000	-316,951	500	-79,860	
	100.000	-317,051	1.000	-79,878	
KCHO ₂	∞	-317,1	∞	-79,92	
	aq	-157,7	Li ₂ SO ₄	17,75	-348,40
	1.500	-224,5	200	-349,44	
	aq	-24,1	1.000	-349,590	
KCN	140	-184,44	10.000	-349,845	
	1.000	-183,98	100.000	-349,957	
	4.000	-183,9	∞	-350,01	
	17,2	-328,2	LiNO ₃	3	-115,1
KMnO ₄	54	-327,0	10	-115,54	
	1.080	-326,0	50	-115,677	
	2.000	-325,7	100	-115,721	
	∞	-326,0	800	-115,825	
KAl(SO ₄) ₂	aq	-616,9	1.600	-115,849	
			6.400	-115,884	
			∞	-115,926	
			Li ₂ CO ₃	1.900	-293,92
LaCl ₃	400	-294,984	∞	-294,74	
	1.000	-295,254	LiHCO ₃	1.000	-231,4
	10.000	-295,784	∞	-231,73	
	100.000	-296,114			
La ₂ (SO ₄) ₃	∞	-296,3	MgCl ₂	10	-185,65
	1.800	-994,06	50	-189,14	
	10.000	-995,02	100	-189,49	
	100.000	-997,61	1.000	-190,05	
LiOH	∞	-1003,1	10.000	-190,31	
	11	-120,51	100.000	-190,41	
	50	-121,090	∞	-190,46	
	100	-121,198	Mg(ClO ₄) ₂	aq	-172,5
LiCl	800	-121,381	MgBr ₂	25	-166,66
	3.200	-121,434	100	-167,41	
	6.400	-121,464	1.000	-167,80	
	∞	-121,511	10.000	-168,05	
LiBr	3	-102,62	100.000	-168,16	
	5	-104,431	∞	-168,21	
	10	-105,554	MgSO ₄	200	-326,23
	50	-106,221	1.000	-326,47	
LiOH	100	-106,315	10.000	-326,88	
	800	-106,467	100.000	-327,16	
	1.600	-106,497	∞	-327,31	
	6.400	-106,536	Mg(NO ₃) ₂	15	-208,410
LiBr	∞	-106,577	50	-208,658	
	3	-91,34	100	-208,706	
	5	-93,484	1.000	-208,865	
	10	-94,506	10.000	-209,000	
50	-95,121	100.000	-209,098		
		∞	-209,15		

Kaava	H ₂ O	ΔH°	Kaava	H ₂ O	ΔH°	
MnF ₂	aq	-209,2	NaOH	3	-108,894	
	400	-132,0		5	-111,015	
	MnCl ₂	aq		-110,1	10	-112,148
	MnBr ₂	aq		-79,0	100	-112,108
MnJ ₂	30	-266,52	1.000	-112,139		
	100	-267,47	10.000	-112,201		
	1.000	-268,28	∞	-112,236		
	10.000	-268,74	NaF	50	-135,71	
MnSO ₄	100.000	-269,10	100	-135,74		
	∞	-269,2	1.000	-135,84		
	Mn(NO ₃) ₂	2,5	-142,58	∞	-135,94	
	5	-146,21	NaCl	10	-97,768	
NH ₃	10	-148,69	100	-97,260		
	100	-151,41	1.000	-97,228		
	1.000	-151,65	10.000	-97,271		
	∞	-97,302	∞	-97,302		
NaClO ₂	1.000	-73,80	NaClO ₃	1.000	-80,744	
	400	-80,744	1.000	-80,733		
	1.000	-80,733	10.000	-80,752		
	∞	-80,78	∞	-80,78		
NaClO ₄	400	-88,76	NaClO ₄	400	-88,76	
	1.000	-88,70	1.000	-88,70		
	∞	-88,69	∞	-88,69		
	NaBr	10	-86,846	100	-86,142	
NaBr	100	-86,142	1.000	-86,108		
	1.000	-86,149	10.000	-86,149		
	∞	-86,18	∞	-86,18		
	NaJ	10	-71,424	50	-70,708	
NaJ	50	-70,708	100	-70,598		
	1.000	-70,576	10.000	-70,619		
	∞	-70,65	∞	-70,65		
	Na ₂ S	20	-105,42	100	-104,55	
Na ₂ S	100	-104,55	800	-104,36		
	aq	-263,8	Na ₂ SO ₃	aq	-263,8	
	100	-331,64	100	-331,64		
	1.000	-331,215	10.000	-331,318		
Na ₂ SO ₃	10.000	-331,318	100.000	-331,407		
	∞	-331,46	∞	-331,46		
	NaNO ₂	aq	-82,6	NaNO ₃	aq	-82,6
	10	-108,10	10	-108,10		
NaNO ₃	50	-107,02	50	-107,02		
	100	-106,83	100	-106,83		
	1.000	-106,604	1.000	-106,604		
	10.000	-106,622	10.000	-106,622		
Na ₂ PO ₄	100.000	-106,640	∞	-106,651		
	∞	-106,651	Na ₂ CO ₃	300	-475,0	
	Na ₂ CO ₃	1.000	-473,9	1.000	-473,9	
	15	-278,13	15	-278,13		

Kaava	H ₂ O	ΔH°	Kaava	H ₂ O	ΔH°		
Na ₂ CO ₃	50	-277,09	RbBr	10.000	-87,774		
	100	-276,57		∞	-87,8		
	400	-275,9		Rb ₂ SO ₄	400	-334,508	
Na ₂ C ₂ O ₄	600	-310,5	1.000		-334,479		
	NaCN	200	-21,2		10.000	-334,565	
NiF ₂	aq	-171,5	RbNO ₃	100.000	-334,652		
	NiCl ₂	25		-93,20	∞	-334,7	
	100	-94,20		60	-109,00		
	1.000	-94,84		100	-108,76		
	10.000	-95,13		1.000	-108,305		
	NiBr ₂	aq		-73,1	10.000	-108,278	
		NiJ ₂		aq	-42,0	∞	-108,3
	NiSO ₄	200		-230,3	Rb ₂ CO ₃	200	-279,4
		1.000		-230,52	2.000	-278,0	
	10.000	-230,90		SO ₂	200	-78,5	
∞	-232,2	1.000	-79,27				
Ni(NO ₃) ₂	aq	-114,0	10.000		-80,86		
H ₃ PO ₄	1	-305,6	H ₂ SO ₄	0,5	-197,67		
	5	-308,0		1	-200,62		
	10	-308,56	2	-203,93			
	100	-309,18	5	-207,78			
	1.000	-309,36	10	-209,93			
	3.000	-309,4	50	-211,44			
	NH ₄ H ₂ PO ₄	20	-343,07	100	-211,59		
		50	-343,01	1.000	-212,69		
		100	-342,97	10.000	-214,72		
		700	-342,89	100.000	-216,29		
PbF ₂	aq	-155,7	∞	-216,90			
	Pb(NO ₃) ₂	400	-100,10	H ₂ SeO ₄	100	-141,5	
		∞	-98,35		1.000	-142,6	
∞	-98,35	∞	-145,3				
PtCl ₄	aq	-82,4	Sr(OH) ₂	1.000	-240,11		
	RbOH	3,2		-110,5	100	-209,70	
		200		-113,7	1.000	-210,06	
		100		-137,45	10.000	-210,27	
RbF	1.000	-137,534	100.000	-210,37			
	10.000	-137,576	∞	-210,43			
	100.000	-137,591	SrBr ₂	100	-187,56		
	∞	-137,6		1.000	-187,86		
	RbCl	100	-98,90	10.000	-188,05		
1.000		-98,840	100.000	-188,15			
10.000		-98,872	∞	-188,2			
RbBr	∞	-98,9	SrJ ₂	1.000	-156,8		
	200	-87,766		20	-231,950		
	1.000	-87,748	Sr(NO ₃) ₂	100	-229,736		
			1.000	-228,838			
			10.000	-228,894			
			100.000	-228,968			
			∞	-229,02			

Kaava	H ₂ O	ΔH°	Kaava	H ₂ O	ΔH°
TiOH	500	-53,7	ZnSO ₄	1.000	-252,462
	2.000	-54,0		10.000	-252,866
				100.000	-253,198
ZnCl ₂	4	-106,30	∞	-253,33	
	10	-108,98	Zn(NO ₃) ₂	1,5	-120,9
	100	-114,00		5	-129,63
	∞	-116,48		10	-133,88
ZnSO ₄	20	-251,71		100	-134,99
	100	-252,139	400	-135,18	

Orgaaniset yhdistykset

Kaava	Nimi	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
CH ₄	metaani	g	-17,889	-12,140	44,60
HCO ₂ ⁻	formaatti-ioni	aq	-98,0	-80,0	21,9
CH ₂ O	formaldehydi	g	-27,7	-26,3	52,26
CH ₂ O ₂	muurahaishappo	g	-86,67	-80,24	60,0
CH ₂ O ₂	»	l	-97,8	-82,7	30,82
CH ₂ O ₂	»	aq	-98,0	-85,1	39,1
CH ₄ O	metanoli	g	-48,08	-38,69	56,8
CH ₄ O	»	l	-57,02	-39,73	30,3
CH ₄ O	»	aq	-58,77	-41,88	31,6
CF ₄	tetrafluormetaani	g	-162,5	-151,8	62,7
CCl ₄	tetraklormetaani	g	-25,5	-15,3	73,95
CCl ₄	»	l	-33,3	-16,4	51,25
COCl ₂	karbonylkloridi, fosgeeni	g	-53,30	-50,31	69,13
CH ₃ Cl	metylkloridi	g	-19,6	-14,0	55,97
CH ₂ Cl ₂	diklormetaani	g	-21	-14	64,68
CH ₂ Cl ₂	»	l	-28,0	-15,1	42,7
CHCl ₃	kloroformi	g	-24	-16	70,86
CHCl ₃	»	l	-31,5	-17,1	48,5
CBr ₄	tetrabrommetaani	g	12	8,6	85,6
CH ₃ Br	metylbromidi	g	-8,5	-6,2	58,74
CH ₂ Br ₂	dibrommetaani	g	-1	-1,4	70,16
CHBr ₃	tribrommetaani	g	6	3,8	79,18
CHBr ₃	»	l	-4,8	0,7	53,0
CH ₃ J	metyljodidi	g	4,9	5,3	60,85
CH ₃ J	»	l	-2,0	4,9	38,9
CS ₂	riikkihiili	g	27,55	15,55	56,84
CS ₂	»	l	21,0	15,2	36,10
COS	hiilioksisulfidi	g	-32,80	-40,45	55,34
CH ₄ S	metylmerkapttaani	g	-2,97	0,21	60,90
CH ₃ N	metylamini	g	-6,7	6,6	57,73
CH ₃ NO ₂	nitrometaani	l	-21,28	2,26	41,1
CH ₄ N ₂ O	virtsa-aine	s	-79,634	-47,120	25,00
CH ₄ N ₂ O	»	aq	-76,30	-48,72	41,55
CH ₆ N ₂ O ₂	ammoniumkarbamaatti	s	-154,21	-109,47	39,70

Kaava	Nimi	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
CNCl	syankloridi	g	34,5	32,9	56,31
CH ₆ NCl	metylammoniumkloridi	s	-68,31	-35,09	33,13
CNJ	syanjodidi	g	54,6	47,7	61,26
CNJ	"	s	40,4	42,6	30,8
CNJ	"	aq	43,2	43,3	37,9
C ₃ O ₄ ²⁻	oksaalaatti-ioni	aq	-197,0	-161,3	12,2
C ₂ H ₂	asotyleeni	g	54,194	50,000	47,997
C ₂ H ₄	etyleeni	g	12,496	16,282	52,45
C ₂ H ₆	etaani	g	-20,236	-7,860	54,85
HC ₂ O ₄ ⁻	bioksaalaatti-ioni	aq	-195,5	-167,1	36,7
C ₂ H ₂ O ₄	oksaalihappo	s	-197,6	-166,8	28,7
C ₂ H ₄ O	asetaldehydi	g	-39,76	-31,96	63,5
C ₂ H ₄ O	etylenoksidi	g	-12,19	-2,79	58,1
C ₂ H ₄ O ₂	etikkahappo	l	-116,4	-93,8	38,2
C ₂ H ₄ O ₄	muurahaishappo dimeer.	g	-187,7	-163,8	83,1
C ₂ H ₆ O	etanoli	g	-56,24	-40,30	67,4
C ₂ H ₆ O	"	l	-66,356	-41,77	38,4
C ₂ H ₆ O	dimetyleetteri	g	-44,3	-27,3	63,72
C ₂ H ₆ O ₂	etylenglykoli	l	-108,58	-77,12	39,9
C ₂ H ₅ Cl	etylkloridi	g	-25,1	-12,7	65,90
C ₂ H ₄ Cl ₂	etylenkloridi	l	-39,7	-19,2	49,84
C ₂ H ₇ ClO	dimetyloksonium kloridi	g	-71,1	-49,1	89,3
C ₂ H ₅ Br ₂	etylenbromidi	l	-19,30	-4,94	53,37
C ₂ H ₆ S	dimetylsulfidi	g	-6,9	3,7	68,28
C ₂ H ₆ S	"	l	-13,6	3,4	46,94
C ₂ N ₂	disyaani	g	73,60	70,81	57,86
C ₂ H ₃ N	asetonitrili	g	21,0	25,2	58,18
C ₂ H ₃ N	"	l	12,7	24,0	34,5
C ₂ H ₃ N	metyl-isosyanidi	g	35,9	40,0	58,78
C ₂ H ₇ N	dimetylammiini	g	-6,6	14,1	65,30
C ₂ H ₅ NO ₂	glykokolli (glysiini)	s	-126,33	-88,61	26,1
C ₂ H ₇ NO ₃ S	2-aminoetansulfonihappo	s	-187,8	-136,7	36,8
C ₃ H ₄	propyyini	g	44,319	46,313	59,30
C ₃ H ₆	propeeni	g	4,879	14,990	63,80
C ₃ H ₈	propaani	g	-24,820	-5,614	64,51
C ₃ H ₈ O	asetoni	g	-51,79	-36,45	70,1
C ₃ H ₈ O	"	l	-59,32	-37,16	49,9
C ₃ H ₈ O	isopropanoli	l	-74,32	-38,83	43,0
C ₃ H ₈ O ₃	glyseroli	l	-159,16	-113,65	48,9
C ₄ H ₆	1-butyyni	g	39,70	48,52	69,51
C ₄ H ₆	2-butyyni	g	35,374	44,725	67,71
C ₄ H ₈	1-buteeni	g	0,280	17,217	73,48
C ₄ H ₈	cis-2-buteeni	g	-1,362	16,046	71,90
C ₄ H ₈	trans-2-buteeni	g	-2,405	15,315	70,86
C ₄ H ₈	2-metyl-2-propeeni, isobytyleeni	g	-3,343	14,582	70,17
C ₄ H ₁₀	n-butaani	g	-29,812	-3,754	74,10
C ₄ H ₁₀	2-metylpropaani (isobutaani)	g	-31,452	-4,296	70,42
C ₄ H ₄ O ₄	fumaarihappo	s	-194,1	-156,7	39,7
C ₄ H ₄ O ₄	maleiinihappo	s	-188,6	-149,4	38,1
C ₄ H ₈ O	metyletylketoni	l	-66,66	-37,71	57,7

Kaava	Nimi	Olotila	ΔH°	ΔG°	S°
C ₄ H ₆ O	n-butyraldehydi	l	-58,94	-30,38	59,0
C ₄ H ₈ O ₂	etylasettaatti	l	-110,72	-76,11	62,0
C ₄ H ₁₀ O	n-butanoli	l	-79,61	-40,37	54,5
C ₄ H ₁₀ O	dietyleetteri	l	-65,2	-27,75	60,5
C ₅ H ₆	1-pentyyni	g	34,50	50,17	79,10
C ₅ H ₁₀	1-penteeni	g	-5,000	10,787	83,08
C ₅ H ₁₂	n-pentaani	g	-35,00	-1,96	83,27
C ₅ H ₁₂	"	l	-41,36	-2,21	62,79
C ₅ H ₆ O ₂	furfurylalkoholi	l	-66,03	-36,86	51,6
C ₅ H ₁₀ O	syklopentanol	l	-71,74	-30,58	49,3
C ₆ H ₆	bentseeni	g	19,820	30,989	64,34
C ₆ H ₆	"	l	11,718	29,756	41,30
C ₆ H ₁₀	1-heksyyini	g	29,55	52,19	88,27
C ₆ H ₁₂	1-hekseeni	g	-9,96	20,80	92,25
C ₆ H ₁₄	n-heksaani	g	-39,96	0,05	92,45
C ₆ H ₁₄	"	l	-47,515	-0,913	70,34
C ₆ H ₇ N	aniliini	l	7,34	35,4	45,8
C ₇ H ₈	tolueeni	g	11,950	29,228	76,42
C ₇ H ₈	"	l	2,848	27,995	53,38
C ₇ H ₁₂	1-heptyyni	g	24,62	54,24	97,45
C ₇ H ₁₄	1-hepteeni	g	-14,89	22,84	101,43
C ₇ H ₁₆	n-heptaani	g	-44,89	2,09	101,64
C ₇ H ₁₆	"	l	-53,629	0,42	77,92
C ₇ H ₆ O ₂	bentsoehappo	s	-91,7	-60,1	40,8
C ₈ H ₁₀	etylbentseeni	g	7,120	31,208	86,15
C ₈ H ₁₀	"	l	-2,977	28,614	60,99
C ₈ H ₁₀	o-ksyleeni	g	4,540	29,177	84,31
C ₈ H ₁₀	"	l	-5,841	26,370	58,91
C ₈ H ₁₀	m-ksyleeni	g	4,120	28,405	85,49
C ₈ H ₁₀	"	l	-6,075	25,730	60,27
C ₈ H ₁₀	p-ksyleeni	g	4,290	28,952	84,23
C ₈ H ₁₀	"	l	-5,838	26,310	59,12
C ₈ H ₁₄	1-oktyyni	g	19,70	56,29	106,63
C ₈ H ₁₆	1-okteeni	g	-19,82	24,89	110,61
C ₈ H ₁₈	n-oktaani	g	-49,82	4,14	110,82
C ₈ H ₁₈	"	l	-59,74	1,77	85,50
C ₉ H ₁₂	n-propylbentseeni	g	1,870	32,810	95,74
C ₉ H ₁₂	"	l	-9,178	29,600	69,44
C ₉ H ₁₂	kumeeni	g	0,940	32,738	92,87
C ₉ H ₁₂	"	l	-9,848	29,708	66,87
C ₉ H ₁₂	pseudokumeeni	g	-3,330	27,912	94,73
C ₉ H ₁₂	"	l	-14,785	25,462	67,93
C ₉ H ₁₂	mesityleeni	g	-3,840	28,172	92,15
C ₉ H ₁₂	"	l	-15,184	24,832	65,35

C_9H_{16}	l-nonyyni	g	14,77	58,34	115,82
C_9H_{18}	l-noneeni	g	—24,74	26,94	119,80
C_9H_{20}	n-nonaani	g	—54,74	6,18	120,00
$C_{10}H_{14}$	n-butylbentseeni	g	—3,30	34,62	104,91
$C_{10}H_{18}$	l-dekyyni	g	9,85	60,39	125,00
$C_{10}H_{20}$	l-dekeeni	g	—29,67	28,99	128,98
$C_{10}H_{22}$	n-dekaani	g	—59,67	8,23	129,19
$C_{11}H_{16}$	n-amylbentseeni	g	—8,23	36,67	114,09
$C_{11}H_{24}$	n-undekaani	g	—65,60	10,28	138,37
$C_{12}H_{18}$	n-heksylbentseeni	g	—13,15	38,72	123,28
$C_{12}H_{26}$	n-dodekaani	g	—69,52	12,33	147,55
$C_{13}H_{20}$	n-heptylbentseeni	g	—18,08	40,76	132,46
$C_{13}H_{28}$	n-tridekaani	g	—74,45	14,37	156,74
$C_{14}H_{22}$	n-oktylbentseeni	g	—23,00	42,81	141,64
$C_{14}H_{30}$	n-tetradekaani	g	—79,38	16,42	165,42
$C_{15}H_{24}$	n-nonylbentseeni	g	—27,93	44,86	150,82
$C_{15}H_{32}$	n-pentadekaani	g	—84,31	18,47	175,10
$C_{20}H_{42}$	n-eikosaani	g	—108,93	28,71	221,02
$C_{22}H_{38}$	n-heksadekylbentseeni	g	—62,41	59,20	215,11

Spectroscopic and Other Studies of Carboxyl Groups in Lignin

*Preliminary communication**

Kurt H. Ekman

Institute of Chemistry, University of Helsinki

The investigation concerning acidic groups in lignin has hitherto been directed almost entirely to the determination of the true content of phenolic groups. The literature up to 1949 has been reviewed by Brauns (1), and the results reported there together with later published results vary from almost nil to one phenolic hydroxyl group to every three phenylpropane units, depending on isolation and analytical methods (2—7), while e.g. sulfate lignin seems to have about one phenolic hydroxyl group pro benzene nucleus (7—9).

With regard to carboxyl groups the general consensus of opinion seems to be that the protolignin of the wood does not contain any such groups (10). Nevertheless, there remains the possibility that carboxyl groups might arise from some oxidation or disproportionation reactions (11, 12). An indication that such reactions are possible is provided by the fact that vanillic acid has been isolated from black liquors (13).

In connection with investigations concerning the formation of sulfate and soda lignin, which are carried out at this Institute, the author has previously tried different procedures, i.e. the calcium acetate method (8) and potentiometric titration (14), in order to determine quantitatively acidic groups stronger than phenols. In order to provide complementary data these groups have now been investigated, not only by the methods mentioned but also by methylation, reduction, infra-red and ultra-violet spectrophotometry.

After this work in the main already had been completed, Mikawa and co-workers (Bulletin of the Chemical Society of Japan, 29 (1956) 254) reported that the content of phenolic and carboxyl groups in thiolignin could be determined by methylation followed by hydrolysis with alkali, and that the ultra-violet

* Presented at the meeting held at 15th April 1957

spectrum of thioglignin could be explained by assuming the existence of carbonyl groups, double bonds conjugated with the nucleus and carboxyl groups directly attached to the benzene ring (cf. (15)).

Experimental

1. The initial lignins: a) Soda lignin was isolated by digestion of acetone extracted, air dried spruce sawdust, in two stages at 100 and 170°, as previously described (8)*. Found: OCH₃, 15.11 %. b) Ethanol lignin. Acetone extracted spruce sawdust (50 g) was digested with concentrated hydrochloric acid-ethanol (6 : 50) (560 ml) for 24 h in an atmosphere of carbon dioxide. The lignin was precipitated from aqueous solution and washed with distilled water at 50° until the filtrate was free from hydrochloric acid. Found: alkoxy, 19.52 % calculated as OCH₃.

2. Methylation with diazomethane. The methylation was mainly carried out as has been described by Enkvist (16), although some modifications were made (i.e. temperature kept at 20°). Found for diazomethane methylated (dzm-) soda lignin: OC₂H₅, 23.71 % after methylation in dry solution, 25.22 % after methylation in moist solution.

3. Methylation with 0.5 % methanolic hydrochloric acid. The procedure was mainly similar to that already reported by Enkvist (16), although some modifications were made (i.e. the methylation was carried out during 72 h at room temperature and lignins dissolved and undissolved in the methylating solution were not separated). Found for methanol-hydrochloric acid methylated soda lignin: OCH₃, 18.94 %.

4. Alkaline hydrolysis. The diazomethane and methanol — hydrochloric acid methylated lignins were hydrolysed for 48 h at room temperature with 0.5 N NaOH in an atmosphere of nitrogen. The lignins were isolated as already described (8) and freed from cations using 0.1 N HCl and washed as described in paragraph 1. Found for hydrolysed soda lignin: OCH₃, dzm-methylated in dry solution 21.47 %, methanol-hydrochloric acid methylated 16.50 %.

5. Reduction with complexe hydrides. The reductions were carried out with sodium borohydride, lithium borohydride and lithium aluminium hydride. The ability of these hydrides to reduce carbonyl compounds increases in the mentioned order i.e. with decreased salt character of the metal hydride (17). Different solvents for lignin and for the two borohydrides were tried and the order of their usefulness was: ethanol < isopropanol < methyl cellosolve (mono-methyl ether of ethylene glycol) < dimethyl formamide. The reaction temperature varied from 20° to 80° and the time from 2 to 24 h. The reduction with lithium aluminium hydride was carried out by refluxing in tetrahydrofuran for 3 h. The lignins were isolated according to references (18, 19), freed from cations and washed as has been described in paragraph 4. Found for soda lignin reduced a) with sodium borohydride: OCH₃, 15.45 % b) with lithium aluminium hydride: OCH₃, 15.16 %; for dzm-methylated soda lignin reduced with lithium borohydride: OCH₃, 22.97 %; for ethanol lignin reduced with sodium borohydride: alkoxy (calculated as OCH₃), 18.95 %.

6. Quantitative analytical methods. The carboxyl groups were determined by cation exchange and potentiometric titrations as already described by the author (8, 14).

7. Spectroscopic investigations. a) Infra-red spectroscopy. The lignins were investigated in the 5.5—6.5 μ region as described by Lindberg (20). When solutions were used, the solvent was methyl cellosolve. b) Ultra-violet spectro-

* The designation soda lignin is applied by these authors to the lignin obtained from the digestion with sodium hydroxide solution at 170°.

scopy. The absorption spectra of the lignins in methyl cellosolve were measured using a Beckman DU spectrophotometer. The solutions were prepared by dissolving 10 to 20 mg of lignin in 10 ml methyl cellosolve and diluting as required. The ε-values were calculated for equal methoxyl contents and the equivalent weight of the untreated soda lignin or ethanol lignin was used as molecular weight. The corresponding spectra in alkaline solution were measured in 0.5 N methyl cellosolve — KOH containing 20 % water. In all cases, the difference curves Δε were calculated as has been described in connection with the results in paragraph C.

Some results obtained

A. Quantitative analyses. Carboxyl groups in the soda lignin were estimated not only by cation exchange and potentiometric titrations but also by methylation and subsequent alkali hydrolysis of the methylated lignin.

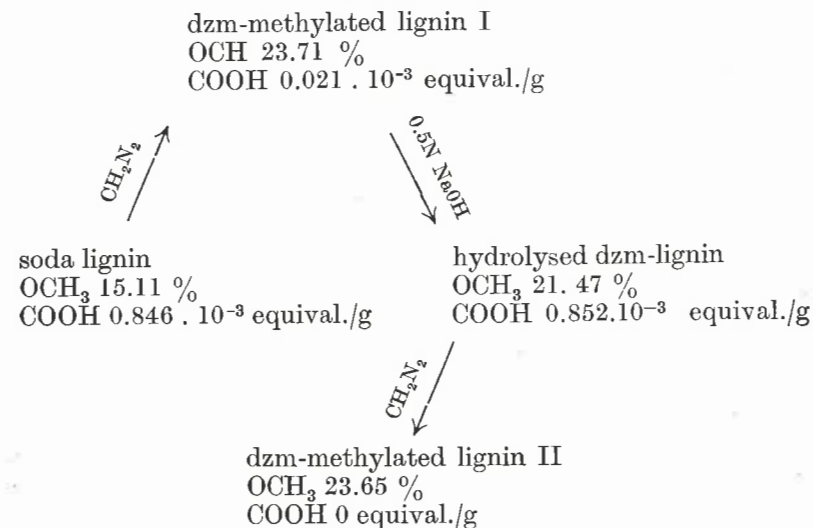


Fig. 1. Analyses of soda lignin and the products obtained on methylation and subsequent hydrolysis*.

The difference between the methoxyl content of the dzm-methylated soda lignin before and after hydrolysis converted into COOH equivalent/g should give the carboxyl content of the soda lignin. The value 0.834 · 10⁻³ equivalent/g obtained by this method seems to be in agreement with the carboxyl values of untreated soda lignin and hydrolysed dzm-lignin obtained by the calcium acetate method. Furthermore, the methoxyl con-

* The content of carboxyl groups are in all cases calculated on untreated soda lignin with a methoxyl content of 15.11 % and an equivalent weight of 205.4. The carboxyl values were in this case determined by the calcium acetate method.

tents of the dzm-methylated lignins I and II show that the number of groups in the soda lignin which can be methylated, has not changed appreciably during hydrolysis. In a similar way the content of carboxyl groups can be calculated from the difference of methoxyl of the methanol-hydrochloric acid methylated soda lignin before (18.94 % OCH_3) and after hydrolysis (16.50 % OCH_3). This value was $0.866 \cdot 10^{-3}$ equival./g.

The ethanol lignin did not lose any alkoxy group during hydrolysis with alkali which goes to show that no such groups are present as ester groups (21). Neither could the presence of carboxyl groups be shown titrimetrically.

B. The infra-red spectra of soda lignin and its derivatives in the 5.5—6.5 μ region seem to confirm the presence of carboxyl groups (cf. (20)).

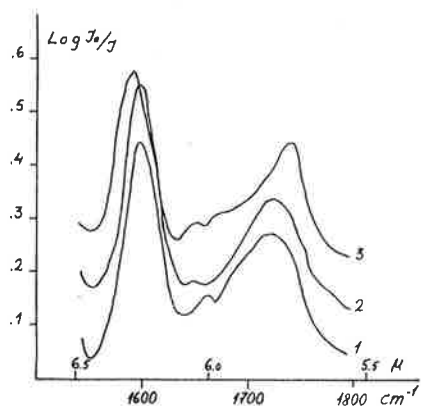


Fig. 2. Infra-red spectra of soda lignins in the 5.5—6.5 μ region. C. 10 per cent solutions in methyl cellosolve; 0.1 mm sodium chloride cell. 1, soda lignin, 2, sodium borohydride reduced and 3, dzm- methylated soda lignin. The base-line of 2 and 3 displaced 0.1 extinction unit upwards in relation to the previous one.

As can be observed from fig. 2 the spectrum of the soda lignin examined shows, besides the band at 1600 cm^{-1} , which is ascribed to the aromatic ring itself (22), two other bands at 1664 and 1725 cm^{-1} . The band at 1664 cm^{-1} , which according to Hergert and Kurth (23) is caused by aldehyde or keto carbonyl groups conjugated with the benzene nucleus, is eliminated by reduction with sodium borohydride (cf. (24)) while that at 1725 cm^{-1} remains intact. Since this band disappears by reduction with lithium aluminium hydride (fig. 3), it seems probable that it is due to the carboxyl groups of the soda lignin, especially since after the last mentioned reduction no such groups could be shown titrimetrically.

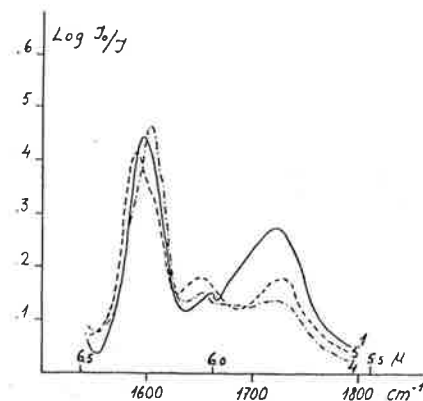


Fig. 3. Infra-red spectra of soda lignins in the 5.5—6.5 μ region. 1 (—), soda lignin, 4 (---), lithium aluminium hydride reduced soda lignin and 5 (----), dzm-methylated soda lignin reduced with lithium borohydride.

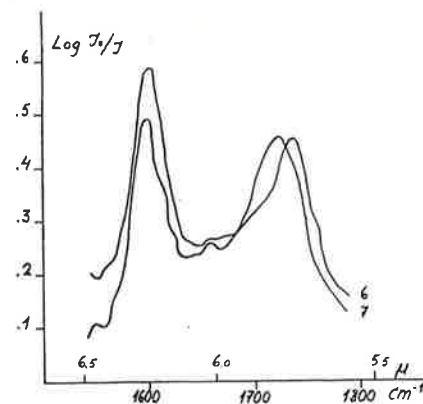


Fig. 4. Infra-red spectra of methanol-hydrochloric acid methylated soda lignin (methanol soluble). 6, methylated lignin and 7, after hydrolysis with 0.5 N NaOH. The base-line of 6 displaced 0.1 extinction unit upwards in relation to 7.

Methylation of the soda lignin with diazomethane causes the 1725 cm^{-1} band to disappear but it is replaced by a new one at 1740 cm^{-1} (fig. 2). On hydrolysis with alkali a band at lower wave-numbers is found to arise again (cf. fig. 4). Since the intensity of the 1740 cm^{-1} band diminishes already on reduction with lithium borohydride it must be caused by ester carbonyl groups (cf. (17)). The nature of the 1650 cm^{-1} band is still unknown, but the position corresponds to the frequencies of conjugated double bonds (25).

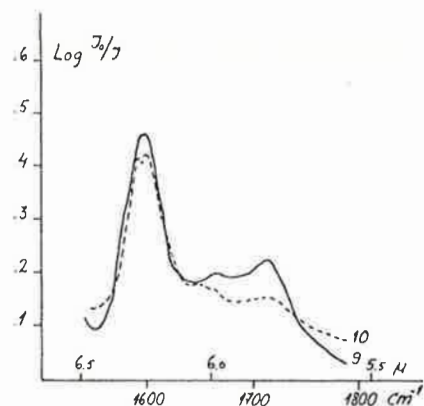


Fig. 5. Infra-red spectra of ethanol lignin in the 5.5–6.5 μ region. 9(—), ethanol lignin and 10 (---), after reduction with sodium borohydride.

The infra-red spectrum of the ethanol lignin also shows bands at 1600 and 1664 cm^{-1} and furthermore a band at 1710 cm^{-1} (fig. 5) is evident, indicating the presence of unconjugated carbonyl or carboxyl groups (26). Since the intensity of this and the 1664 cm^{-1} band diminishes on reduction with sodium borohydride, it seems most probable that the band at 1710 cm^{-1} is caused mainly by unconjugated carbonyl groups. Likewise these spectra show that ethanol lignin has no free or esterified carboxyl groups (cf. A).

Table I. Reactive groups of various soda lignins.

No	Lignin	Reactive groups			
		phenol-OH	C=O	COOH	COOCH ₃
1	Soda lignin	+	+	+	—
2	(1) red. with NaBH ₄	+	—	+	—
3	(1) dzm-methylated	—	+	—	+
4	(1) red. with LiAlH ₄	+	—	—	—
5	(3) red. with LiBH ₄	—	—	—*	(+)
6	(1) methanol-HCl methylated .. (methanol soluble)	+	+	—	+
7	(6) hydrolysed with 0.5 N NaOH	+	+	+	—
8	(3) hydrolysed with 0.5 N NaOH	—	+	+	—

C. The ultra-violet absorption spectra of soda lignin and its derivatives (fig. 6; cf. table 1) show, in neutral medium, a maximum in the region 278–281 $\text{m}\mu$. The molar extinction is considerably higher than the corresponding value of native

* Free carboxyl is to a small extent reduced (17). In this case the carboxyl group is esterified.

lignin (27). On reduction or methylation the absorption near 280 $\text{m}\mu$ shows both a weak bathochromic displacement, i.e. displacement towards longer wave-lengths, and a stronger hypochromic effect, i.e. decreased intensity. This gives perhaps an indication of the influence of conjugated carbonyl or carboxyl groups on the shape and position of the absorption band. Since the absorption in the 300–350 $\text{m}\mu$ region disappears almost completely already by reduction with sodium borohydride it seems probable that this band is caused by carbonyl groups conjugated with the benzene nucleus (cf. fig. 2 (15)).

In alkaline medium a displacement towards longer wave-lengths of the maximum near 280 $\text{m}\mu$, is observed, owing to transition of the phenolic hydroxyl group into phenolate ion

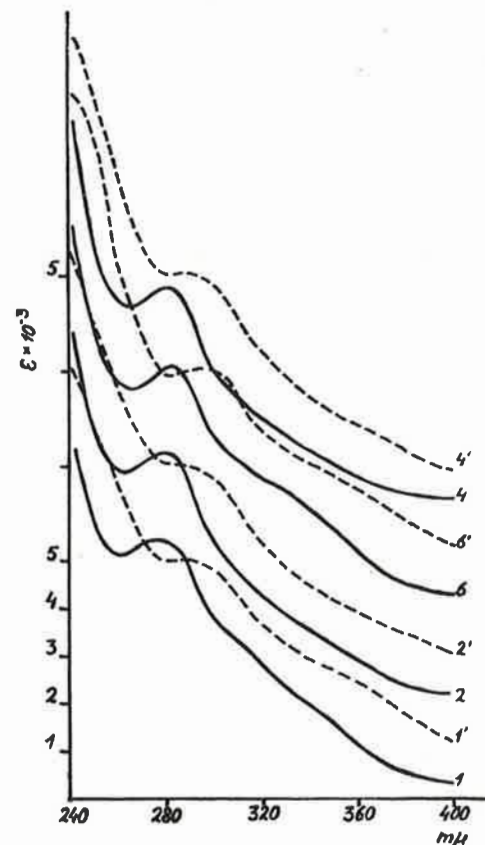


Fig. 6. Ultra-violet spectra of the soda lignins 1, 2, 4 and 6 (table 1) — in methyl cellosolve, --- in methyl cellosolve-KOH, 20 % water. The baseline of 2, 4 and 6 in both neutral and alkaline media is displaced two extinction unit upwards in relation to the previous one.

(28). If the bathochromic effect was a function of the absorption of the phenolate ion only, proportionality between the change in molar extinction ϵ and the content of phenolic groups is to be expected (3, 28).

Aulin-Erdtman (3) (cf. Goldschmid (4)) has developed a spectroscopic method for the determination of phenolic groups by subtracting, at each wave-length, the molar extinction ϵ in neutral medium from that in alkaline and plotting the values thus obtained against the wave-lengths so as to give a difference curve, a $\Delta\epsilon$ -curve. In order to determine the amount of phenolic groups present in the lignin molecule, this curve is compared with the $\Delta\epsilon$ -curves similarly obtained for various phenolic model substances. The values obtained using this method have particularly with regard to thioglignins, been considerably lower than those obtained using other methods (8, 29).

Fig. 7 shows that no agreement between the $\Delta\epsilon$ -curves can be observed for preparations of soda lignin, which in spite of different treatments (reduction or methylation with methanol-hydrochloric acid), were expected to have the same content of phenolic hydroxyl groups. This seems to indicate that there exists no simple correlation between the $\Delta\epsilon$ -curves of soda lignin and its derivatives and their amount of phenolic groups.

In fact, experiments which are still in progress have shown, that even a small number of lignin units having conjugated unsaturation contribute appreciably to the absorption spectrum

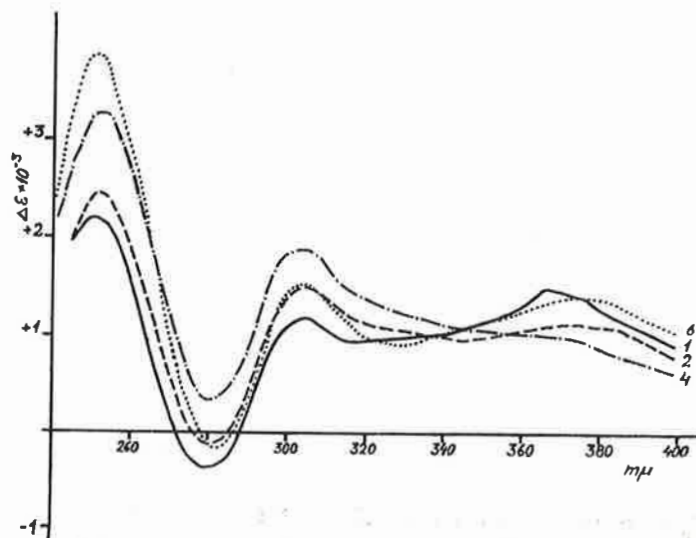


Fig. 7. Difference ($\Delta\epsilon$ -) curves of soda lignins 1, 2, 4 and 6 (table 1) corresponding to each pair of the absorption curves in fig. 6.

in ultra-violet in both alkaline and neutral media (4, 15). This view is confirmed i.a. by spectra not reproduced here, of diazomethane methylated hydrolysed soda lignin (table 1), which in alkaline medium shows a hypsochromic as well as a weak hypochromic displacement of the maximum near 280 $m\mu$. This effect, which acts in opposite direction to the bathochromic and hyperchromic displacement caused by the phenolate ion, depends obviously on the fact that the carboxyl ion absorbs at shorter wave-lengths and with lower intensity than the free carboxyl group (30).

The investigated lignin derivatives differ further from the original soda lignin in that they show decreased absorption in neutral medium, the absorption being almost identical in alkaline medium. It seems possible that in methyl cellosolve — KOH (20 % water) solution all other hydroxyl groups except alcoholic ones are transformed into Na-salt bonds and in this way the possibilities for inter and intra molecular hydrogen bond formation are strongly reduced (cf. (31)). This suggests that besides unsaturation, hydrogen bond formation (32) contributes to the difference in absorption of the lignin preparations in ultra-violet light.

The investigation is continued.

Summary

The nature of the strongly acidic groups of soda lignin has been investigated and they have been shown to be of carboxyl origin.

The determinations of these groups by methylation and subsequent hydrolysis with alkali and by the calcium acetate method gave coincident values, i.e. 0.83—0.87 milliequivalents per g.

The infra-red spectra of soda lignin showed a band at 1725 cm^{-1} which disappeared on reduction with lithium aluminium hydride. On methylation it was replaced by a band at 1740 cm^{-1} , which again either diminished on reduction with lithium borohydride or was displaced to lower wave-numbers on hydrolysis. This seems to indicate that the 1725 cm^{-1} band is of carboxyl and the band at 1740 cm^{-1} of ester carbonyl origin.

Studies of ethanol lignin seems to indicate that the 1710 cm^{-1} band is caused by unconjugated carbonyl groups. This, together with the quantitative determination, shows that this lignin has no free or esterified carboxyl groups.

The ultra-violet spectra of soda lignin and its derivatives are discussed on the basis of the » $\Delta\epsilon$ -method» (3), and conclusions are drawn regarding the influence of conjugated unsaturation, especially of carboxyl groups, on the shape and position of the absorption band in neutral and alkaline media.

References

1. F. E. Brauns, *Chemistry of Lignin*, New York (1952), pages 246—254.
2. K. Freudenberg and W. Heimberger, *Ber.* 83 (1950) 519.
3. G. Aulin-Erdtman, *Svensk Papperstidn.* 55 (1952) 745; 56 (1953) 287; 57 (1954) 745.
4. O. Goldschmid, *J. Am. Chem. Soc.* 75 (1953) 3780; *Analyt. Chem.* 26 (1954) 1421.
5. K. Freudenberg, *Fortschritte d. Chem. organ. Naturstoffe* 11 (1954) 49.
6. E. Hägglund and H. Riechtzenhain, *Tappi* 35 (1952) 281.
7. T. Enkvist and B. Alfredsson, *Svensk Papperstidn.* 54 (1951) 185.
8. K. Ekman and T. Enkvist, *Papper och Trä* 37 (1955) no 8, 369.
9. T. Enkvist, B. Alm and B. Holm, *Papper och Trä* 38 (1956) no 1, 1.
10. E. Hägglund, *Chemistry of Wood*, New York (1951), page 287.
11. A. v. Wacek and K. Kratzl, *Journal of Polymer Science*, 3 (1948) 539.
12. B. Leopold, *Acta Chem. Scand.* 4 (1950) 1523.
13. T. Enkvist and B. Alfredsson, *Tappi* 36 (1953) 211.
14. J. J. Lindberg and K. Ekman, *Suomen Kemistilehti B* 29 (1956) 20.
15. E. J. Jones, Jr., *Tappi* 32 (1949) 311.
16. T. Enkvist and B. Hougberg, *Papper och Trä* 37 (1955) no 5, 201.
17. H. Hörmann, *Angewandte Chemie* 68 (1956) no 19, 601.
18. H. C. Brown, E. J. Mead and B. C. Subba Rao, *J. Am. Chem. Soc.* 77 (1955) 6209.
19. R. F. Nystrom and W. G. Brown, *J. Am. Chem. Soc.* 69 (1947) 1197.
20. J. J. Lindberg, *Finska Kem. Samf. Medd.* (1955) 23.
21. B. Holmberg and S. Runius, *Svensk Kem. Tidskr.* (1925) 189; *Papierfabrik* 26 (1928) 506.
22. L. J. Bellamy, *The Infra-red Spectra of Complex Molecules*, London (1954) page 60.
23. H. L. Hergert and E. F. Kurth, *J. Am. Chem. Soc.* 75 (1953) 1622.
24. E. Adler and J. Gierer, *Acta Chem. Scand.* 9 (1955) 84.
25. *Loc.cit.* (22) page 36, 124.
26. *Loc.cit.* (22) page 114, 140.
27. G. Aulin-Erdtman, *Tappi* 32 (1949) 160.
28. W. Stendstrom and M. Reinhard, *J. Phys. Chem.* 29 (1925) 1477; H. W. Lemon, *Analyt. Chem.* 19 (1947) 846; *J. Am. Chem. Soc.* 69 (1947) 2998.
29. K. Freudenberg and K. Dall, *Die Naturwissenschaften* 42 (1955) 606.
30. H. Dannenberg, *Zeitschr. Naturforsch.* 4 b (1949) 332.
31. J. J. Lindberg, *Papper och Trä* 37 (1955) 206.
32. J. J. Lindberg and T. Enkvist, *Suomen Kemistilehti B* 28 (1955) 23.

Nordisk Metodikkommitté för livsmedel

höll sitt årsmöte 4—7 september i Oslo. Kommittén, vilken konstituerade sig för 10 år sedan, utgör det centrala organet för de fyra skandinaviska ländernas samarbete i syfte att utarbeta gemensamma analysmetoder och befrämja standardiseringen vid undersökning och kontroll av livsmedel. Kommittén är organiserad på så sätt att varje land har sin egen nationella kommitté, som handhar de uppgifter som tillkommer resp. land. Det slutliga godkännandet av metoderna samt antagandet av nya uppgifter avgöres på kommitténs årsmöte, vid vilket alla deltagarländernas nationella kommittéer äro representerade. De i många avseenden likartade förhållandena i de nordiska länderna samt isynnerhet den i samma riktning gående lagstiftningen å livsmedelsområdet erbjuda en god grund för kommitténs arbete. Å andra sidan fordra livsmedelstillverkningens ökade industrialisering och de därvid i bruk tagna nya förfaringsätten och tillsatsmedlen en till denna utveckling ständig anpassning av de erforderliga undersöknings- och kontrollmetoderna.

Av de frågor som behandlades vid årsmötet kunna följande anföras:

Livsmedelsfärger

I Förenta staterna har listan över de tillåtna livsmedelsfärgerna justerats på så sätt att några färger strukits. Andra förändringar i listan äro att förvänta. England har i juni detta år efter en längre tids övervägande även anslutit sig till den positiva listans anhängare i det att en lista över tillåtna färger där utgivits, i motsats till det tidigare förfarandet vid vilket några få som hälsovådliga ansedda färgers användning voro förbjudna. De skandinaviska länderna ha även sedan några år i sin lagstiftning upptagit en positiv färglista. Finlands, Sveriges och Norges lista äro med avseende å de syntetiska färgerna identiska. Danmark har ansett sig tvungen att av handelspolitiska skäl upptaga några i England tillåtna färger. Å mötet beslöts att två färger på den gemensamma nordiska listan skulle strykas och att densamma skulle kompletteras med en ny färg. Vidare beslöts, att de tillåtna syntetiska färgernas renhet bör föreskrivas vara möjligast hög såväl med avseende å oorganiska föroreningar som med avseende å vid tillverkningen uppkomna mellan- och biprodukter.

En europeisk livsmedelsbok

I några centraleuropeiska länder har för någon tid sedan lanserats idén att få till stånd internationellt godkända normer för bedömning och klassificering av livsmedel. Det är närmast fråga om förhållanden, som kunna orsaka tvistigheter i den internationella handeln med livsmedel. Detta gäller exempelvis begrepp i fråga om förskämda, förfalskade och hälsovådliga livsmedel. I några europeiska länder äro för internt bruk dylika och andra detaljerade bestämmelser rörande livsmedels kvalitét samlade i en s.k. livsmedelsbok. En av de mest kända är Österrikes livsmedelsbok »Österreichs Lebensmittelbuch» (*Codex alimentarius austriacus*). Det är klart, att dylika gemensamma normer för större områden, exempelvis för hela Europa, skulle underlätta handelsutbytet av livsmedel länderna emellan. Det har gjorts i detta avseende en hänvändelse till de skandinaviska länderna och denna fråga har diskuterats inom Metodik-kommittén. Kommitténs generalsekreterare har deltagit som observatör i de internationella mötena, vid vilka frågan om en europeisk livsmedelsbok dryftats. Generalsekreteraren har tilldelats uppgiften att hålla de nationella kommittéerna å jour med framstegen betr. den europeiska livsmedelsboken.

Gemensam definiering av konserverade livsmedel för de nordiska länderna

Efter en längre tids förberedelse godkände Metodikkommitténs Osломöte ett förslag betr. definiering av begreppen konserv, helkonserv och halvkonserv.

Förslaget kommer att behandlas av de nationella kommittéerna, varefter det slutliga godkännandet sker vid följande årsmöte. Det är synnerligen önskvärt, att de nordiska länderna får gemensamma definitioner för ifrågavarande livsmedel och att den osäkerhet i begreppen, som rått å detta gebit, avlägsnas.

Växtskyddsmedel

Å kommitténs arbetsprogram har kontrollen av ovannämnda medel varit upptagen. Då emellertid en speciell skandinavisk kommitté tillsatts för behandling av frågan, beslöt mötet att stryka denna från sitt program. Utarbetandet av metoder för bestämning av rester av växtskyddsmedel i livsmedel bibehålls dock som arbetsuppgift.

Analysmetoder

Frågor rörande analysmetoder funnos inalles 44 på arbetsprogrammet. Till genomprövning godkändes 4 metodförslag. För närvarande genomprövas 7 metodförslag. Av de genomprövade metoderna godkändes till tryckning 11. Av dessa sistnämnda kunna nämnas: en metod för kontroll av mjölkpastörisering, bestämning av dränerad vikt hos konserver, kvalitativ kromatografisk bestämning av några sockerarter, bestämning av fluor i dricksvatten samt påvisande av vatten- och fettlösliga livsmedelsfärger i livsmedel.

Nya uppgifter

Följande nya uppgifter antogs, vilka alla gingo ut på bestämning av additiver i livsmedel nämligen: antibiotiska medel, sorbinsyra, antioxidanten DPPD (difenylparafenylen-diamin) och rester av växtskyddsmedel.

Ordförandeposten vid mötet handhades av prof. E. Abramson, Stockholm, och sekreterare var laboratorieföreståndaren tekn.dr J. Bielefeldt, Köpenhamn. Kommittén har haft den stora förmånen att dessa bägge, den förra som ordförande och den senare som generalsekreterare handhaft ledningen för verksamheten under den förgångna 10-årsperioden. I Osломötet deltog 36 kommittémedlemmar. Från Finland närvaro vid mötet den finska nationella kommitténs ordförande fil.mag. Väinö I. Salminen och sekreterare, dipl.ing. Bertel Willberg samt fil.dr Birgit Monnberg och vet.dr Bertel Österholm.

Väinö I. Salminen

Uutisia — Notiser

III Teollisuuskemistien päivät pidetään Helsingissä, Tieteellisten Seuran talossa, Snellmanink. 9—11 marraskuun 29—30 p:nä 1957.

Ohjelma

Perjantai 29. 11.

- 9.00 Teollisuuskemistipäivien avaus. Dipl.ins. A. W. Heino
- Puheenjohtaja tri R. Lindahl
- 9.10 Teollisuus O. Ollila: Kemian teollisuutta koskevan lainsäädännön viimeaikainen kehitys
- 9.40 Tri Y. Talvitie: Uusi tullitariffiohdotus
- 10.05 Fil.tri O. Vaasjoki: Uraanimahdollisuuskistamme
- 10.30 Prof. O. Erämetsä: Maasälvan hajoittamisesta kali- ja alumiini-suolatanäköpiirissä
- 11.30 Keskustelua edellisten esitelmien johdosta
- 12.00 Lounastauko
- 13.30 Puheenjohtajana dipl.ins. E. Elman
Tekn.lis. U. A. Luoto: Prosessidynamiikka ja automaattiset säätimet

- 14.00 Tri O. Harva: Neste Oyn tuotantolaitos ja sen merkitys kemian teollisuuden raaka-aineen antajana
- 14.30 Dipl.ins. R. Örnholm: Den nya peroxidfabriken i Kymmene
- 15.10 Dipl.ins. Kaarlo Marvia: Pakkaukset kemian teollisuudessa
- 15.45 Dipl.ins. B. Idström: Uusimmista muoveista ja niiden käytöstä
- 16.05 Dipl.ins. T. Brännback: Muoviteollisuuden viimeaikainen kehitys Suomessa
- 16.25 Keskustelua
- 19.30 Tekniska Föreningenin huoneistossa. Rajatammi: Lasiputkistoa esittävä tshenkiläinen filmi. 30' Algol: Demagin filmi uusista kuljetusvälineistä. 30' Selustus: dipl.ins. Erkki Lampén

Lauantai 30. 11.

- 9.10 Kokous jatkuu. Puheenjohtaja dipl.ins. Harald Nyberg esittelee prof. Lundinin
- 9.15 Prof. Harry Lundin (Tukholma): Om B₁₂-faktorer och deras förekomst i aerobt och anaerobt jäst slam
- 10.10 Prof. M. H. Tikkanen: Corrosion in action. Filmi ja selustus.
- 11.20 Tri P. Sumari: Työterveyslaitos ja sen merkitys kemian teollisuudelle. Filmi
- 11.50 Keskustelua
- 20.00 Iltajuhla Insinööritalossa, Ratak. 9.

Ilmoittautuminen pyydetään suorittamaan joko postitse tai puhelimitse Kemian Keskusliiton toimistoon puh. 625 160.

VI Kemistipäivät pidetään Helsingissä, Tieteellisten Seuran talossa, Snellmanink. 9—11 tammikuun 13—14 p:nä 1958.

Ohjelma

Maanantaina 13. 1.

- 10.00 Prof. A. I. Virtanen: Avajaissanat
Prof. H. Theorell: Om enzymernas verkningsätt
- 11.30 Lounastauko. Käynti laboratoriovälinenäyttelyssä Teknillisen korkeakoulun kemian laboratoriossa
- 14.00 Symposium selluloosateollisuuden jäteliuksista (jäteliipeistä):
Prof. R. H. Roschier: Jäteliivosten koostumus
Prof. Terje Enkvist: Kemikaalioita selluloosateollisuuden jäteliuksista
Dipl.ins. A. Enroth: Jäteliipeän talteenotto, haihdutus ja poltto
Fil.dr T. Smedlund: Förädling av metylsulfid
Fil.mag. O. Gadd: Om jäsningsindustri baserad på avlut och träsocker
Fil.dr H. Tötterman: Vattenförening genom avfallsvatten från sulficellulosafabriker och sätt att motverka densamma

Tiistaina 14. 1.

- 9.00 Prof. H. J. Emelius: Some recent advances in the chemistry of fluoro-carbons and their derivatives
Filtri J. K. Miettinen: Kaasukromatografia
- 11.00 Lounastauko
- 13.00 Tiedonantoja
Prof. A. I. Virtanen: Lopettajaisanat
- Kemistien toivotaan esittävän Kemistipäivillä lyhyehköjä (15 min) tiedonantoja kemian koskevista tieteellisistä ja teknillisistä tutkimuksistaan. Tiedonannot pyydetään ilmoittamaan mieluummin joulukuun 15 päivään mennessä Kemistipäivien sihteerialle fil.lis. Ermo Kailalle, os. Arkadiank. 4 F 15 Helsinki, puh. 44 01 01.

Innehåll 1957 Sisältö

Lars Andersen: Nitration of Phenols Substituted with Carboncontaining Groups II	1
Lars Andersen: Nionde Nordiska kemistmötet (referat)	57
Ingvar Danielsson: Associationen i dikarboxylat-lösningar (<i>The Association in Dicarboxylat solutions</i>)	7
Kurt H. Ekman: Spectroscopic and Other Studies of Carboxyl Groups in Lignin	115
Olof Forsander: Biokemiska alkoholproblem (<i>Biochemical Alcohol Problems</i>)	19
P. Kivalo, A. Ekman ja J. Rastas: Eräiden aineiden termodynaamisia arvoja (<i>Tables of Chemical Thermodynamic Data</i>)	76
F. W. Klingstedt: Bombattentat som kampmedel (<i>The Bomb Attack as Fighting Instrument</i>)	50
Bengt Lindberg: Nedbrytning av vedens kolhydrater vid kolning och blekning (<i>The Degradation of the Hydrocarbons in Wood by Pulping and Bleaching</i>)	65
Väinö I. Salminen: Nordisk Metodikkommitté för livsmedel (referat)	125
Lars Sjöblom: Om absorbtionen av östron genom huden (<i>On the Percutaneous Absorption of Oestrone</i>)	39
Jacobus Sundman: Om kelaters användning i medicinen (<i>On the Use of Chelates in Medicine</i>)	32

FUELSLIP

— Brännoljetillsatsmedel

FÖR EKONOMISK OLJEELDNING

Fullständig förbränning genom katalytisk inverkan och reduktion av oljans ytpänning.

Motorbetar:

Svavelskador

Slambildning

Korrosion

Igensättning av munstycken

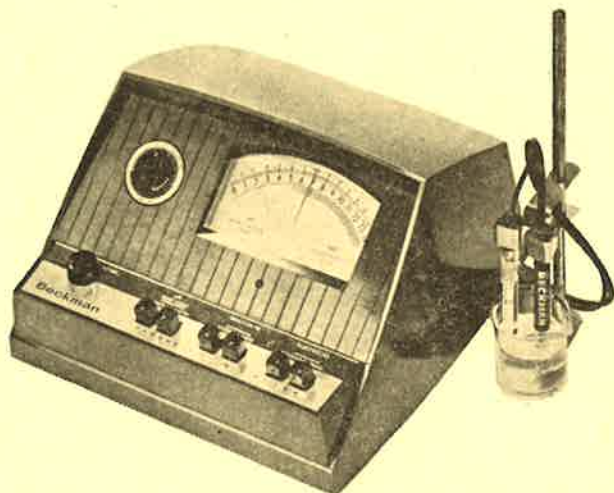
Onödig oljeförbrukning

Leverans från lager



BANG & CO AKTIEBOLAG

Ny pH-mätare Beckman "Zeromatic"



- driffri
- ingen uppvärmningstid
- tryckknapp-system
- spänningskompensation
- kan kopplas till standard potentiometerskrivare
- Beckmans automatiska termokompensator kan användas
- Beckmans samtliga elektroder kan användas

Leverans från lager



G. W. BERG & Co

Helsingfors — Fabiansg. 14
Tel. 11 541