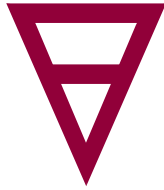




Svenska Geotekniska Föreningen
Swedish Geotechnical Society

Rapport 2:2020

Osäkerheter vid bestämning av organisk halt i jord



Svenska Geotekniska Föreningen
Swedish Geotechnical Society

SGF Rapport 2:2020

Osäkerheter vid bestämning av organisk halt i jord

Linköping 2020

SGF Rapport	Svenska Geotekniska Föreningen E-post: info@sgf.net
Beställning	Svenska Geotekniska Föreningen c/o Ernax Design AB Sveaborgsvägen 16 439 73 FJÄRÅS Tel: 070-813 77 73 E-post: info@sgf.net
ISSN	1103-7237
ISRN	SGF-R-2/20-SE
Upplaga	Digital utgåva
Tryckeri	www.sgf.net

Förord

Denna rapport är framtagen av Lars G Eriksson i samarbete med SGF:s Arbetsgrupp lab och har remissbehandlats, varefter den fastställts av SGF:s styrelse. Rapporten har granskats av Anders Dahlberg, Trafikverket, Håkan Garin, GeoVerkstan, Almut Werner, ELU samt Peter Claesson, Skanska.

Projektet har huvudsakligen finansierats av SGF och Trafikverket. Projektet har även delfinansierats av följande geotekniska laboratorier genom att bekosta delar av de gjorda laboratorieprovningarna: Bohus Geo, Labtek, LabMind, MRM Konsult, Ramböll, SGI, Sweco och Tyréns. Kemiska analyser har utförts av ALS Scandinavia.

Svenska Geotekniska Föreningen

Luleå i oktober 2020

Innehåll

1. Osäkerheter vid bestämning av organisk halt i jord.....	5
1.1 Glödgningsförlust och klassificering av jord	5
1.2 Glödgningsförlust	7
1.3 Kemisk analys	8
1.4 Geotekniska provningar	11
2. Korrektioner	12
2.1 Lermineral	12
2.2 Kalciumkarbonat, CaCO ₃	15
2.3 Svavel	15
3. Pilotstudie av glödgningsförlust	17
3.1 Omfattning	17
3.2 Resultat av förstudien	17
4. Laboratoriestudien.....	22
4.1 Försöksprogram	22
4.2 DTA – Differentiell Temperature Analysis	23
4.3 Resultat	23
4.3.1 Organisk halt – glödgningsförlust 550 °C	23
4.3.2 Organisk halt – glödgningsförlust 950 °C	24
4.3.3 DTA-försök	26
4.3.4 Karbonater	27
4.3.5 Viktförändring	29
4.4 Korrektioner	30
4.4.1 Svavel	30
4.4.2 Karbonater	33
4.4.3 Lerinnehåll	35
5. Sammanfattande synpunkter.....	43
5.1 Glödgning i 550 °C	44
5.2 Glödgning i 950° C	45
5.3 Övrigt	46
6. Slutsatser och rekommendationer	47

6.1	Slutsatser	47
6.2	Rekommendationer	47

Sammanfattning

I Sverige och i övriga världen används i stor utsträckning glödgningsförlust för att bestämma det organiska innehållet. Metoden utförs dock på många olika sätt, vilket givetvis resulterar i olika slutsatser om det organiska innehållet. Även krav och slutsatser om vilka halter organiskt innehåll som kan accepteras vid olika användningsområden varierar stort. I denna undersökning har fokus legat på att undersöka om det är lämpligt att använda en mycket hög glödgnings-temperatur för att därefter genomföra andra bestämningar och därefter korrigera den uppenbart för höga glödgningsförlusten som utgörs av lermineral, svavel, karbonater och eventuellt även salt (NaCl) från porvatten i marina leror.

Totalt har ca 100 jordprover provats av 8 olika svenska geotekniska laboratorier och de kemiska parametrarna har analyserats på ett ackrediterat kemilaboratorium.

Provningen har bestått av glödning i 550 °C samt vid 950 °C, det senare enligt svensk standard (SS 27105). De geotekniska laboratorierna har även utfört kornstorleksanalys (sedimentation) samt okulärbestämning. Provningarna har utförts på material med låga organiska halter (<≈10 %). De kemiska ämnena som analyserats är kol (totalinnehåll samt icke organiskt kol), kalcium, järn och svavel.

Trots det relativt stora antalet prover är det svårt att dra några säkra slutsatser, men några analysresultat kan lyftas fram

- Det organiska innehållet har förbränts redan vid 550 °C, liksom svavel från järnsulfider (FeS).
- Internationellt bedöms det organiska innehållet ofta genom kemisk analys av TOC (Total Organic Carbon) vilket ger OC (Organic Content) som $1,72 \times \text{TOC}$. Det innebär att man bedömer att det organiska kolet utgör 58 %

av det organiska innehållet. Denna analys betraktas närmast som ”facit” (LECO-analys).

- Karbonater CaCO_3 påverkas inte av glödning upp till $550\text{ }^\circ\text{C}$.
- Huvuddelen av det fast bundna vattnet i lerstrukturen i de vanligaste lermineralen avgår vid glödning i $550\text{ }^\circ\text{C}$. Undantagen är framför allt montmorillonitleror. Dessa kan förlora mycket vatten även i högre temperaturer, liksom klorit som förlorar huvuddelen av sitt kristallvatten över $600\text{ }^\circ\text{C}$.
- De idag använda korrektionsfaktorerna för lerinnehållet, $0,05\times$ lerhalten alternativt $0,75+0,06\times$ lerhalten, ger alltför hög korrektion vid framför allt höga lerhalter även vid glödning vid $950\text{ }^\circ\text{C}$.
- I dessa korrektioner används lerhalten, dvs andelen partiklar under $2\mu\text{m}$ som lerhalt. För det vattenhållande materialet utgör andelen lermineral kanske endast 40-60 % av lerhalten.
- Vid glödning i $950\text{ }^\circ\text{C}$ krävs korrektioner för såväl allt fast bundet vatten som för karbonater och svavel.
- För en bestämning av karbonatinnehållet, dvs CaCO_3 , där kolet utgörs av icke organiskt kol, TIC, är den idag lämpligaste analysmetoden LECO, där man analyserar TC (Total Carbon) samt TIC (Total Inorganic Carbon). Det innebär således att man direkt kan beräkna karbonatinnehållet med kännedom om mängden icke organiskt kol. Som en direkt följd av denna analys kan även mängden organiskt kol, TOC, beräknas som differensen mellan TC och TIC.
- Med LECO-metoden för bestämning av karbonatinnehållet blir således glödgningsförlustbestämning vid $950\text{ }^\circ\text{C}$ meningslös då LECO-analysen direkt ger det organiska innehållet som $\text{TOC}\times 1,72$.

Om glödgningsförlustmetoden används bedöms glödning i $550\text{ }^\circ\text{C}$ i minst en timme och med en korrektion för lerhalten på $0,04\times$ lerhalten ge resultat som närmast motsvarar den kemiska analysen, efter korrektion även för svavel. Glödning i $550\text{ }^\circ\text{C}$ i minst en timme enligt ovan förordas därför. Detta innebär således ett avsteg från nuvarande standard.

Kapitel 1.

Osäkerheter vid bestämning av organisk halt i jord

1.1 GLÖDGNINGSFÖRLUST OCH KLASSIFICERING AV JORD

Bestämning av organiskt innehåll i jord ligger till grund för klassificering av jord i flera avseenden. I Sverige betraktas jordar med mindre än 2 vikts-% organiskt innehåll som rena mineraljordar eller möjligen något humushaltiga (1-2 %), mellan 2 och 6 % benämns jordarna humushaltiga, till exempel gyttjig lera eller dyig silt. Vid organiskt innehåll över 6 % (men under 20 %) benämns jorden mellanorganisk, till exempel lerig gyttja eller siltig dy, dvs den organiska benämningen skall vara huvudord. Vid organiskt innehåll över 20 % benämns jorden högorganisk (humusjord), exempelvis gyttja eller torv.

Dessa gränser är numera antagna som internationell standard i SS-EN ISO 14688-2.

Ett försök att spåra ursprunget till dessa gränser har gjorts, utan att någon säker källa kunnat identifieras. Vid kontakt med Roland Pusch (Författare till SGF:s laboratorieanvisningar del 2, Jord uppbyggnad och medförfattare till del 3, Jordarternas indelning och benämning) nämner han att ursprunget sannolikt finns i ”gamla källor på SGI”, där Flodin och Odenstad jobbade med detta på 40/50-talet, liksom Rosenqvist och Bjerrum i Norge. Rapportförfattaren har inte kunnat hitta några källor kopplade till detta. I SGI:s Meddelanden nr 7¹ redovisas de då gällande klassificeringarna (1965), enligt nedan.

¹ Elementär lärobok i Geoteknik, Meddelanden nr 7, SGI 1965

Mineraljordar:

0 – 3 % ”brännbar substans”.

Gyttjiga jordarter:

3 – 6 % ”brännbar substans” ex gyttjig lera

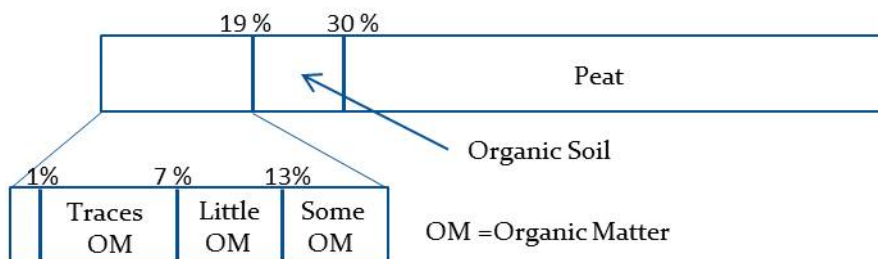
6 – 30 % ”brännbar substans”, ex lergyttja

>30 % ”brännbar substans” ex gyttja

Brännbar substans bestämdes i detta fall genom glödning i 800 °C, med korrektion för lerinnehåll på 6 % av lerinnehållet för de ”finaste” lerorna (dvs leror med hög lerhalt) och kalkfri jord.

Internationellt kan även noteras att gränser för mineraljord och organisk jord kan variera mycket, vilket delvis kan bero på metoden att bestämma det organiska innehållet.

Ett par exempel på detta redovisas nedan i Figur 1 och Tabell 1 dock utan analys av hur dessa värden bestämts.



Figur 1 Indiana Department of Transport och AASHTO, jordars klassificering

Tabell 1 Fransk klassificering av jord efter organiskt innehåll

Classification	% Organic Content
Poorly organic Soil	< 10
Medium Organic Soil	10 to 30 %
Highly Organic Soil	>30 %

De i Sverige och i övriga Europa använda gränserna ligger således numera klart under de franska, då standarden EN-ISO 14688 är styrande i hela Europa samt används även i resten av världen.

I litteraturen, exempelvis Classification of organic soils², redovisas omfattande sammanställningar och där nämns att den organiska halten i geotekniska sammanhang huvudsakligen uppskattas genom bestämning av glödgningsförlusten. Det framgår oftast inte i olika artiklar hur det organiska innehållet har bestämts, men även temperaturer mellan 375 och 440 °C används.

1.2 GLÖDGNINGSFÖRLUST

Det är sannolikt att bestämningen i viss äldre svensk litteratur gjorts genom glödning till 800 °C och med korrektioner som redovisas nedan och beskrivs närmare i SGF:s Laboratorieanvisningar del 3³.

I laboratoriekommitténs undersökningar på 1970-talet, Roland Pusch, SGF:s laboratorieanvisningar del 3, Jords uppbyggnad står, *..sannolikt är glödgningsförlust genom förlust av såväl organisk substans som svavel från svaveljärn likvärdigt då den amorfa järnsulfiden ger en likartad teknisk effekt.* (exempelvis sekundära deformationer – krypning, påverkan på permeabilitet mm).

I Sverige har ett uppskattat värde på det organiska innehållet oftast bestämts med hjälp av glödgningsförlustmetoden, ursprungligen enligt SGF:s laboratoriekommittés rekommendation, glödning vid 800°C. Vid införandet av svensk standard, 1990, (SS 27 105) angavs dock temperaturen till 950 °C. I SGI:s Rapport 27⁴ hänvisas till laboratorieanvisningar av Thalme & Almén⁵ där man rekommenderar att glödning utförs i över 900 °C för att förvissa sig om ”fullständig sönderdelning av kalciten”. Möjligen kan detta vara skälet till den i SS 27 105 föreskrivna temperaturen på 950 °C. Angående förbränning av kalcit, se även avsnitt 2.2.

I en rapport⁶ redovisas en variant på glödgningsmetoden där ett prov först glödgs i 17 timmar i 375 °C för att ta bort det organiska innehållet, varefter temperaturen höjs till 800 °C för att under 12 timmar ta bort det oorganiska kolet (TIC). I samma rapport redovisas även försök som tyder på att det krävs flera timmar

² Classification of organic soils, School of Civil Engineering, Purdue University, 2009

³ Jords uppbyggnad, SGF Laboratorieanvisningar del 3, 1974

⁴ SGI, Rapport 27, Bestämning av organisk halt, karbonathalt och sulfidhalt i jord, 1985

⁵ Jordartsanalys. Laboratorieanvisningar, Del 1. Kvartärgeologiska Institutionen, Stockholms Universitet.

⁶ Comparisons of Three Methods for Organic and Inorganic Carbon in Calcareous Soils of Northwestern China, Xiujun Wang, Jiaping Wang, Juan Zhang Published: August 31, 2012.

vid de lägre temperaturerna (375-440 °C) för att fullständigt förbränna det organiska materialet utan att exempelvis karbonaterna förbränns. Här nämns dock inte avgången av det fastare bundna vattnet i lermineralen.

I många europeiska standarder utförs bestämning av glödgningsförlust vid ca 525-550°C. Även lägre temperaturer (375 °C) förekommer (bl.a Kina) och i USA och Canada används ca 440 °C. Glödgningstemperaturer över 600 °C är ovanliga.

Vid höga temperaturer, 800 alternativt 950 °C avgår även:

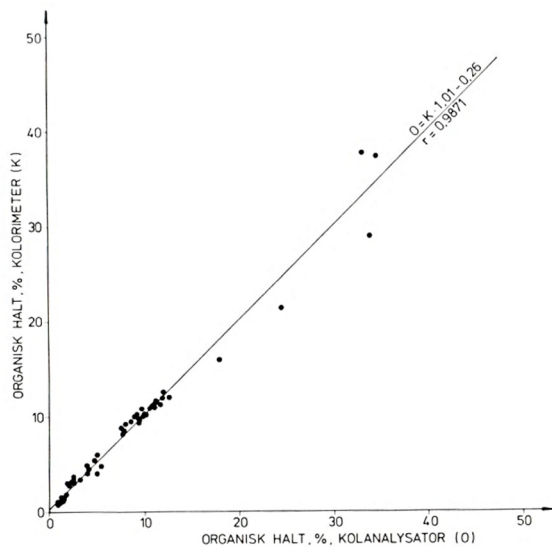
- allt vatten från lermineralens kristallstruktur
- koldioxid (CO₂), då kalciumkarbonat bränns till CaO
- svaveloxider (SO och/eller SO₂) avgår i någon form
- svavelväte om sulfider förekommer i jorden
- eventuellt kan man även behöva korrigera för saltinnehåll i marina leror med hög vattenkvot och ett ursprungligt saltinnehåll på 3,5 %.
- För att erhålla ett riktigt ”värde” på det organiska innehållet måste således glödgningsförlusten vid 800-950 °C korrigeras med hänsyn till dessa övriga källor till viktförluster vid glödning.

1.3 KEMISK ANALYS

SGI redovisar i en rapport⁷ ett starkt samband mellan organisk halt bestämd med kolanalysator (troligen LECO CR 12, direkt referens saknas, men en sådan utrustning visas i bild i rapporten) och kolorimetermetoden. Den väsentliga skillnaden när det gäller denna metod och SS-EN 1744-1⁸ är att färgomslagen läses av med en kolorimeter som arbetar med ett ljusfilter för våglängden 620 µm. Metoden kan dock bara utföras av ett av de av svenska geotekniska laboratorier (eller väglaboratorier). Det är även oklart i vilken utsträckning svavelsyra och kaliumdikromat som används i analysen påverkar ett eventuellt innehåll av järn, exempelvis FeS och FeS₂. Det framgår inte av rapporten om de testade jordarna innehåller järnsulfider. I SS-EN 1744-1 jämförs ett färgomslag på provet med en referens skala.

⁷ SGI, Rapport 27, Bestämning av organisk halt, karbonathalt och sulfidhalt i jord, 1985

⁸ SS-EN 1744-1, Ballast – Kemiska egenskaper – Del 1: Kemisk analys



Figur 2 Sambandet mellan organisk halt bestämd med kolorimetermetod respektive kolanalysator (LECO CR-12)⁷

I SGF:s laboratorieanvisning del 3 (engelska utgåvan) står:

“This method (colorimetermetoden) also needs correction for influence of the mineral constituents in the evaluation of organic content, and in addition to this a correction for salt content of the pore water. Even if such corrections are made it is found that the accuracy is still not much better than that of the ignition method. Since....., the colorimeter method can hardly be suggested for general use.” Här har således Trafikverket trots detta antagit SGI:s rekommendation. Det är oklart om SGF:s anmärkning avser den av SGI nu rekommenderade metoden. Möjligen avser anmärkningen den äldre versionen där färgomslag jämförs med tillblandade referensvätskor och subjektiva avläsningar i varierande ljusförhållanden. (Den engelska utgåvan av SGF:s laboratorieanvisningar del 3 är dock publicerad efter SGI:s rapport 27).

Klassificeringen av jord från de helt skilda provningsmetoderna är emellertid märkligt nog desamma. Oftast redovisas inte vilken metod som använts vid bestämning av ”organiskt innehåll”, och även om det redovisas framgår sällan att det innebär stora skillnader i resultat beroende på vald metod!

Det kan även noteras att för svenska miljötekniska undersökningar bestäms ”organiskt innehåll” genom glödning i 550° C (SS 028113-1) om inte annan *kemisk analys* utförs (vanligtvis LECO).

Den vanligaste analysmetoden för kol är numera kolanalysator av typen LECO vilket är en förbränningsmetod där totalhalten kol bestäms liksom avgången av CO₂ då CaCO₃ förbränns.

Analysresultaten redovisas som TC (Total Carbon), TIC (Total Inorganic Carbon) samt TOC (Total Organic Carbon) vilken utgör differensen mellan TC och TIC. En vanlig bedömning är att organiskt material till 58 % består av organiskt kol. Övriga ca 42 % utgörs av bland annat syre, väte, kväve och organiskt svavel. Bestämningen av det organiska innehållet görs därefter genom en enkel beräkning, *innehållet av organiskt material = (TOC) × 1,72* (1/0,58=1,72). Metoden LECO är den som vanligtvis används som referens för vad som redovisas som organiskt innehåll (OC - Organic Content eller OM - Organic Matter). Analyslaboratoriet anger att mätnoggrannheten är ca ±10 %. Det innebär exempelvis att vid en bestämd halt TOC på 1,5 % motsvarar mellan 2,3 och 2,8 % organiskt innehåll.

Vid förfrågan hos ett svenskt ackrediterat kemilaboratorium uppges att man ofta använder glödgningsförlust (550 °C)×0,58 för bestämning av TOC (”beräknad”), beroende på att kunderna väljer denna metod då den är billigare än LECO. Detta innebär då att man jämsätter glödgningsförlust utan korrekationer med organiskt innehåll.

AMA Anläggning anger att organiskt innehåll bestäms med kolorimetermetod, SS 27107, en metod föreslagen av SGI⁹. Metoden kräver hantering av en del kemikalier och är inte vare sig enkel eller särskilt miljövänlig. I internationell litteratur nämns kolorimetermetoden, men man avser i dessa rapporter en enklare variant som i grunden är avsedd för bestämning av huruvida organiskt innehåll överhuvudtaget existerar i materialet, då den är avsedd att användas på ballast för betongtillverkning. I svenska väg/-geotekniklaboratorier används en variant beskriven i SS-EN 1744-1. Denna typ av provning kan dock ge upphov

⁹ SGI, Rapport 27, Bestämning av organisk halt, karbonathalt och sulfidhalt i jord, 1985

till felaktiga positiva utslag på grund av innehåll av järnjoner (Järnet oxideras och ger upphov till färgändring).

Som exempel på problemet med val av analysmetod så gäller i Trafikverkets föreskrifter om bland annat vägöverbyggnader att det organiska innehållet får vara maximalt 2 %. För deponering av inert avfall gäller att det får innehålla maximalt 3 % TOC, motsvarande ca 5 % organiskt material ($1,72 \times 3$ %). Dessa värden kan lätt överskridas i båda dessa fall om man väljer ”fel” analysmetod.

I denna rapport används även andra kemiska analyser för jämförande beräkningar, framför allt Ca och S. I dessa fall anger laboratoriet en noggrannhet på \pm ca 20 %.

1.4 GEOTEKNISKA PROVNINGAR

De provningar som utförts i laboratorierna är sedimentationsanalys (för att bestämma lerhalt) och glödgningsförlust. I de fall mätnoggrannhet redovisas kan noteras att felen ligger i storleksordningen 0,5-2 %. Det innebär för en glödgningsförlust på 5 % ett maximalt fel 0,1 %-enhet. För en bestämd lerhalt på 50 % ger det maximalt 1 %-enhet. I båda fallen innebär det måttliga fel i jämförande beräkningar

Kapitel 2

Korrektioner

För att korrigera det organiska innehållet från en bestämning av glödgningsförlust (800 eller 950 °C) måste en reduktion ske för innehåll av lermineral, karbonater, svavelföreningar (FeS och FeS₂ samt H₂S) och eventuellt även för saltinnehåll. Saltet (NaCl) kan inverka på glödgningsresultaten, framför allt för marina leror med högre vattenkvoter då saltet blir kvar i den torra massan efter torkning i 105 °C. Om delar av detta avgår i gasform vid glödgningen kan det orsaka en viktminskning. Tyvärr finns inga data för att gå närmare in på detta i projektet.

2.1 LERMINERAL

De vanligaste lermineralen i svenska jordar utgörs av illit, klorit, vermikulit, montmorillonit och kaolinit. Dessa är uppbyggda av skikt av SiO₄-tetraedrar som separeras av skikt som innehåller O, OH-grupper samt vanligen aluminium. Dessa skikt kan kopplas till varandra och bygger då den skiktade lerpartikeln. I de svällande lermineralen, innehållande montmorillonit, är bindningen mellan skikten svagare och mellan dessa skikt kan extra mycket vatten byggas in tillsammans med K eller Na.

I SGFs förslag till geotekniska laboratorieanvisningar, del 3, jords uppbyggnad, 1974, redovisas data från utförda undersökningar vid upphettning av lermineral till 800 °C, (Efter Grim, 1953). Även data redovisade av Velde, vilka redovisats i¹⁰ där ett stort antal prover hettats upp till 600 °C i TG (Thermogravimetric Analys) uppvisar likvärdiga eller till och med något högre värden än i ”SGF:S laboratorieanvisningar, del 3, se Tabell 2. *Man borde därför kunna utgå från att*

¹⁰ Classification of organic soils, School of Civil Engineering, Purdue University, 2009

de i Sverige använda korrektionerna för lerinnehållet vid upphettning inte är för låga.

Idag används framför allt två modeller för korrektion av glödgningsförlusten beroende på ingående lerhalt (uttryckt i %)

$g_c \approx 0,05 \times l_c$, där l_c är lerhalten ekv. 1 (SGF)

eller

$g_c = 0,75 + 0,06 \times l_c$, där l_c är lerhalten ekv. 2 (SGI)

Tabell 2 Glödgningsförlust hos olika mineral

Mineral	Symbol	Massförlust i % vid glödgning till 800 °C	Massförlust i % Velde, 1992, 200-600 °C
Kaolinit	K	12-13	14. Intervall 500-600 °C
Illit	I	6-7	7
Montmorillonit	M _m	9-10	7
Vermiculit	V	≈7	6
Klorit	Kl	10-12	8-12, (över 600 °C)
Muskovit	M	4,5-6	

Efter ett resonemang om fördelning av lermineral i svenska leror utmynnar förslaget i SGF:s Laboratorieanvisningar del 3 att glödgningsförlusten från lerinnehållet approximativt kan uttryckas som:

$g_c \approx 0,05 \times l_c$, där l_c är lerhalten i procentenheter ekv. 1 (SGF)

Huvudsakliga data från denna rekommendation är en bearbetning av Ekström¹¹. Korrektionen bygger på data från glödgningsförluster genomförda med prover i degel, vilken hettats upp direkt med gasbrännare under ca 1 timme tills vikten av provet blir konstant över tid. Temperaturen torde därför vara mycket osäker och sannolikt kan den överstiga 600 °C, så att även CO₂ från kalk kan ha avgått, åtminstone delvis. Ekström betraktar jordar med mindre än 1 % karbonat som kalkfria, och i utförda provningar på ”kalkfria jordar” kan ca 0,5 % viktminskning bero på avgång av koldioxid.

¹¹ Klassifikation av svenska åkerjordar, Ekström G, 1927

I en undersökning som redovisas i SGI:s rapport nr 27⁶ föreslås efter ytterligare analyser av data med relativt höga lerhalter (ca 40-70 %) följande korrektion:

$$g_c = 0,75 + 0,06 \times l_c, \text{ där } l_c \text{ är lerhalten i procentenheter} \quad \text{ekv. 2 (SGI)}$$

I en rapport av Skempton och Petley¹² redovisas viktminskning vid upphettning av mineral från 100 °C till mellan 800 °C och 1000 °C. Här redovisas även kalciumkarbonat, kalcit (observera dock skalan!). Vad som kunnat utläsas ur originalrapporterna är försöken utförda på rena mineral (lermineral).

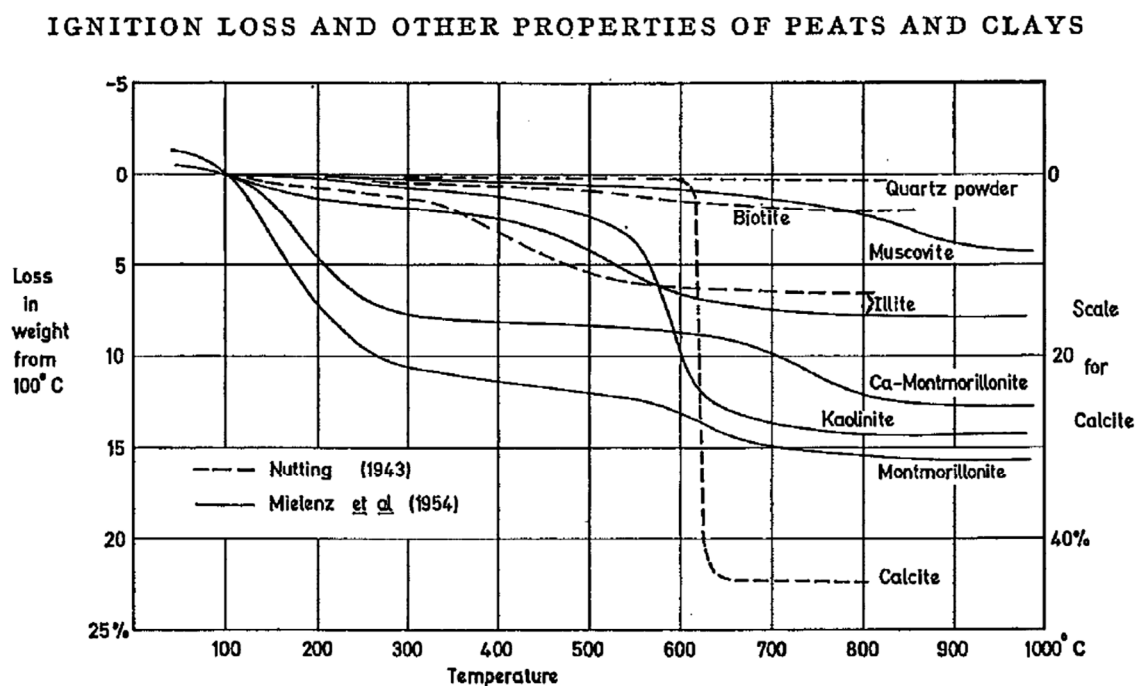


Fig. 4. Thermal dehydration curves

Figur 3 Effekten av upphettning av leror och karbonater (Skempton och Petley).

Här framgår bland annat att för vårt vanligaste lermineral, illit, är viktminskningen på ca 6 % upp till ca 550 °C väsentlig, varför även vid glödning i denna temperatur en korrektion behövs. Här kan även noteras att det bergartsbildande mineralet muskovit som är mycket vanligt förekommande har en viktminskning från cirka 0,5 % vid 550 °C till ca 4,5 % vid 950 °C. Även för montmorillonitleror är viktminskningen ca 10 % upp till 550 °C och ytterligare

¹²Ignition loss and other properties of peats and Clay.... Geotechnique 20, No4, Skempton & Petley, 1970

ca 4 % upp till 950 °C. I ett inledande skede av denna undersökning förefaller SGF:s reduktion i lägsta laget då glödningstemperaturen valts till 800 °C. Då svensk standard senare har fastställt att glödningstemperaturen skall vara 950 °C kan SGI:s förslag verka rimligt. Internationellt förekommer ett flertal korrektionsmodeller för lerinnehåll, men en jämförelse med svenska förhållanden är svår då modellerna ofta har sitt ursprung i helt annan geologi.

2.2 KALCIUMKARBONAT, CaCO₃

Källor till kalciumkarbonat i en jordstruktur kan till exempel vara skelettresten av djur eller snäckor. Snäckor förekommer ofta i skalbankar och då är karbonathalten så hög att glödningstestet i 800 eller 950 °C, för bestämning av organiskt innehåll, blir helt missvisande även om korrektion för karbonat utförs. Felmarginalen vid denna analys kan vara av samma storleksordning som det organiska innehållet. Ofta är emellertid spridda snäckor och dylikt i en sedimentstruktur osynlig vid en geoteknisk undersökning. Ibland kan enstaka snäckskal noteras och ibland kan något som mest påminner om ett ”skinn” observeras. Detta kan då vara rester av upplösta snäckskal och kalken förekommer då osynlig för ögat i makroskopisk skala.

Vid glödningstestbestämning enligt svensk standard skall synliga snäckskal först tas bort, därefter sker glödningen till 950 °C. Såsom framgår av Figur 3 sker en mycket markant viktnedgång (ca 44 %) hos kalciumkarbonaten (Calcite) då temperaturen passerar temperaturspannet ca 600-650 °C och koldioxiden avgår. Under respektive över detta temperaturspann sker mycket litet. Även teoretiskt skall viktnedgången vara 44 % vid fullständig förbränning av kalciumkarbonat.

2.3 SVAVEL

Om svavel finns i strukturen så avgår detta svavel vid upphettning. Det är emellertid något oklart i vilken form svavlet avgår. Då det förekommer huvudsakligen som FeS (järnsulfid) eller FeS₂ (pyrit) och i viss mån i gasform (i porvattnet) som H₂S (svavelväte) är den största osäkerheten i vilket temperaturspann svavlet avgår. Helt klart är att H₂S avgår tidigt vilket känns på lukten redan i rumstemperatur och vid torkning för vattenkvotsbestämning. Mängden H₂S är normalt mycket liten då gasen sannolikt helt har avgått redan vid torkningen inför glödning. Då återstår problemet med när svavlet i

sulfiderna avgår. Att de avgår i mycket hög grad vid glödning upp till 950 °C har konstaterats vid några pilottester då delprov analyserades på svavelinnehåll före glödning samt efter. I dessa försök avgick cirka 95 % av svavlet. En viss osäkerhet om dessa värden råder dock då även homogeniserade delprover kan variera något och de kemiska analyserna har en viss inbyggd osäkerhet samt att provantalet är litet. Testen ger dock en antydning att huvuddelen av svavlet förbränns. Detta stärks av det DTA-försök som redovisas i avsnitt 4.2. Med hänsyn till både detta test och utförda glödning förlustbestämningar kan man utan alltför felaktig uppskattning säga att allt svavel i princip förbränns redan upp till 550 °C, åtminstone vad gäller svavel från FeS. När det gäller FeS₂ är det något oklart, se avsnitt 4.3.3.1.

Ytterligare en faktor bör noteras när det gäller svavel. Svavel i form av FeS och/eller FeS₂ förekommer i nästan samtliga analyserade prover. Svavel förekommer även i mindre utsträckning i det naturliga organiska materialet. Vid upphettning avgår således såväl organiskt som oorganiskt svavel. Den organiska andelen ingår då i den teoretiska beräkningen av organiskt innehåll ur formeln $TOC \text{ (Total Organic Carbon)} \times 1,72 = OC \text{ (Organic Content)}$. Detta motsvarar att andelen organiskt kol utgör 58 % av det organiska materialet. Det organiska svavlet utgör således en andel av de återstående 42 %.

I litteraturen, exempelvis¹³, redovisas något lägre värden på andelen organiskt kol av det organiska innehållet uppdelat från arktiska till tropiska jordar. Skillnaden är inte stor, men för tempererade klimat nämns 53,8 -58,7 % för sura jordar och 55,5 – 56,7 % för neutrala. I denna rapport används dock det vanligaste %-talet 58 % som referens för andelen organiskt kol.

Vid beräkning av avgående mängd svaveloxider borde således denna beräkning utgå från totalsvavelmängden reducerad med andelen organiskt svavel. I en rapport¹⁴ redovisas ungefärliga andelen organiskt svavel till mellan 1 och 3 % av det organiska innehållet vilket med ett organiskt innehåll på 5 % skulle innebära 0,05 respektive 0,15 %. Detta kan således betraktas som försumbart i förhållande till andra felkällor.

¹³ Schnitzer and Khan, 1978

¹⁴ Classification of organic soils, School of Civil Engineering, Purdue University, 2009

Kapitel 3

Pilotstudie av glödgningsförlust

3.1 OMFATTNING

För att ytterligare visa på problemställningen redovisas i detta avsnitt data från en mindre intern undersökning som utförts vid MRM Konsults laboratorium i samband med ett forskningsprojekt (LTU/SGI studie med annat syfte).

Pilotstudien gjordes på prover från en djup sulfidjordsprofil i Norrbotten.

Proverna är tagna från 2-17 m djup och sulfidjorden är genomgående helsvart förutom den översta nivån som delvis var oxiderad (clSuSi ox – sur sulfatjord).

För samtliga prover har vattenkvoten bestämts och på dessa torkade prover har glödning utförts, först upp till 550 °C, därefter upp till 950 °C. Delprover har tagits ut för kemiska analyser (ALS Scandinavia, ackrediterat laboratorium).

Analyserna utgörs av Fe, S, TC, TIC samt TOC. Utan någon säker källa, har det antagits att det syre som avgår i gasform som svaveloxid eller svaveldioxid hämtas från luften och inte från mineraloxid, dvs någon viktförlust på grund av syreförlust från mineraler sker inte. På några av proverna utfördes svavelanalys på prov torkat i 105 °C och efter glödning i 950 °C. Medelvärdet för dessa prover visade på en svavelförlust på 95 % efter denna glödning. Såsom nämnts ovan och med få prover och en viss osäkerhet i den kemiska analysen kan man anta att allt svavel avgår vid dessa glödgningsförsök.

För samtliga prover har även sedimentationsförsök för bestämning av lerhalt genomförts. Ingen förbehandling förutom tillsats av dispergeringsmedel har gjorts. Detta innebär en viss osäkerhet i den bestämda lerhalten.

3.2 RESULTAT AV FÖRSTUDIEN

De utförda kemiska och geotekniska analyserna redovisas nedan i Tabell 3.

Någon direkt bestämning av karbonathalt har inte genomförts, därför antas att det inorganiska kolet (TIC), bestämd med LECO-analys, utgör kolandelen i kalciumkarbonat (CaCO₃), vilket ger en faktor på 3,67 för avgående koldioxid i

förhållande till innehållet av ickeorganiskt kol (CO₂/C). Med atomvikterna C=12, O = 16 fås $(12+2\times 16)/12=3,67$. Se även avsnitt 4.3.4

För lerhalten redovisas i avsnitt 2.1 två alternativa beräkningar av viktminskningen hos lermineralen vid upphettning SGF (ekv 1) och SGI (ekv 2). Dessa ger en relativt stor skillnad.

Tabell 3 Laboratoriebestämningar av grunddata för pilotstudien

Nivå	TC %	TIC %	TOC %	Svavel %	Lerhalt %	g ₀ 550 °C	g ₀ 950° C
3	2,30	0,03	2,27	0,20	28	6,34	7,48
4	2,83	0,07	2,76	1,67	32	6,09	8,37
6	2,75	0,06	2,69	1,31	36	7,27	9,71
8	2,87	0,10	2,77	1,27	37	7,21	9,94
10	2,86	0,14	2,72	1,21	40	7,10	9,47
12	2,01	0,27	1,74	0,97	40	4,95	6,91
13	2,06	0,08	1,98	1,14	40	5,35	7,57
15	1,73	0,06	1,67	1,93	40	4,48	6,83
17	1,53	0,03	1,50	0,65	35	4,29	5,61
3	1,11	0,22	0,89	0,04	25	3,61	4,44

Tabell 4 Beräknade korrigeringar enligt angivna modeller

Nivå	Organisk halt % ¹⁾	Korr lerhalt SGI ²⁾	Korr lerhalt SGF ³⁾	CO ₂ , % ⁴⁾	Svavel %	Summa "SGF" % ⁵⁾	Summa ""SGI"" % ⁶⁾
2	3,91	2,43	1,40	0,11	0,20	5,62	6,62
3	4,75	2,67	1,60	0,26	1,67	8,29	9,36
4	4,64	2,91	1,80	0,22	1,31	7,94	9,08
6	4,78	2,97	1,85	0,37	1,27	8,26	9,38
8	4,69	3,15	2,00	0,51	1,21	8,41	9,56
10	3,00	3,15	2,00	0,99	0,97	6,96	8,11
13	3,41	3,15	2,00	0,29	1,14	6,85	8,00
13	2,88	3,15	2,00	0,22	1,93	7,03	8,18
15	2,59	2,85	1,75	0,11	0,65	5,09	6,19
17	1,53	2,25	1,25	0,81	0,04	3,63	4,63

1) Organiskt halt=TOC×1,72

2) Korrigering för lerhalt enligt SGI: 0,75+0,06×lerhalt

3) Korrigering för lerhalt enligt SGF: 0,05×lerhalt

4) TIC×3,67

5) Summakorrektion enl SGF: 1,72×TOC + korr lerhalt (SGF) +CO₂ +S

6) Summakorrektion enl SGI: 1,72×TOC + korr lerhalt (SGI) +CO₂ +S

Som framgår av Tabell 4 ger korrektion enligt SGI i dessa fall ca 1%-enhet högre korrektion än SGF:s modell. Om man utgår från den totala glödgningsförlusten upp till 950 °C och att den skulle utgöras av angivna förluster enligt Tabell 4 kan detta illustreras i Diagram 1. Detta ger ett medelvärde för samtliga prover på 105 % av glödgningsförlusten.

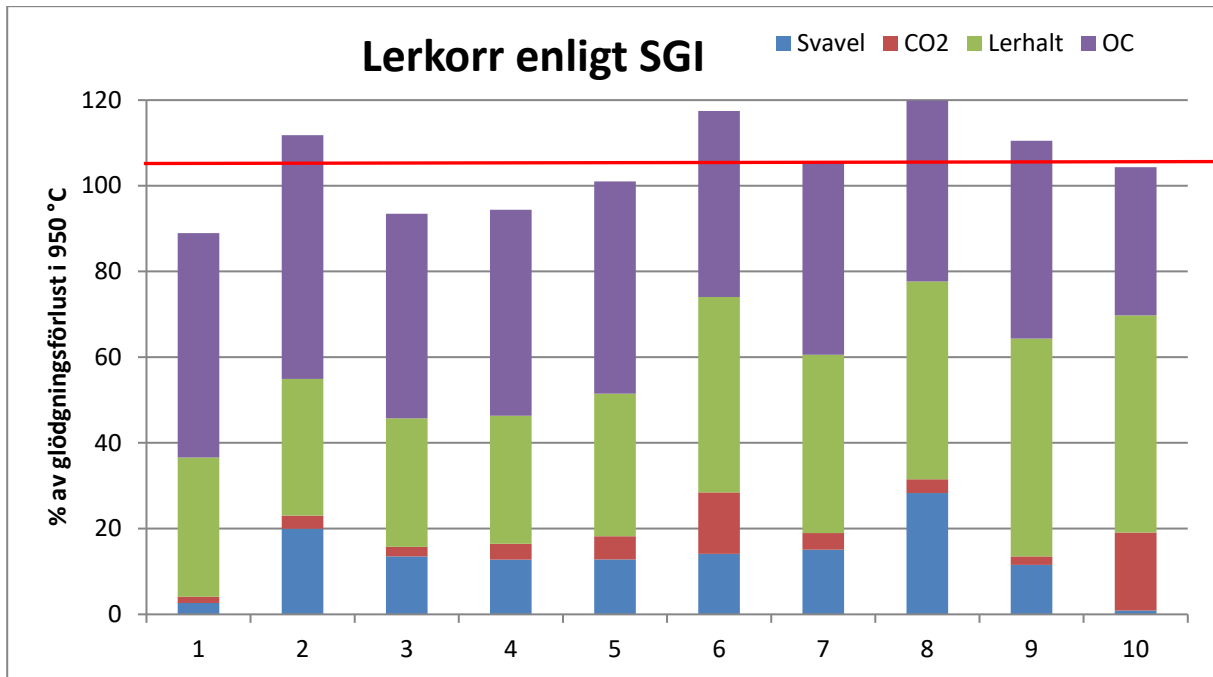


Diagram 1 Glödgningsförluster upp till 950 °C. Lerkorrektion enligt SGI.

Samma jämförelse, men med lerkorrektion enligt SGF, ger resultat enligt Diagram 2. Det ger ett medelvärde på de bortglödgade komponenterna på 90 %.

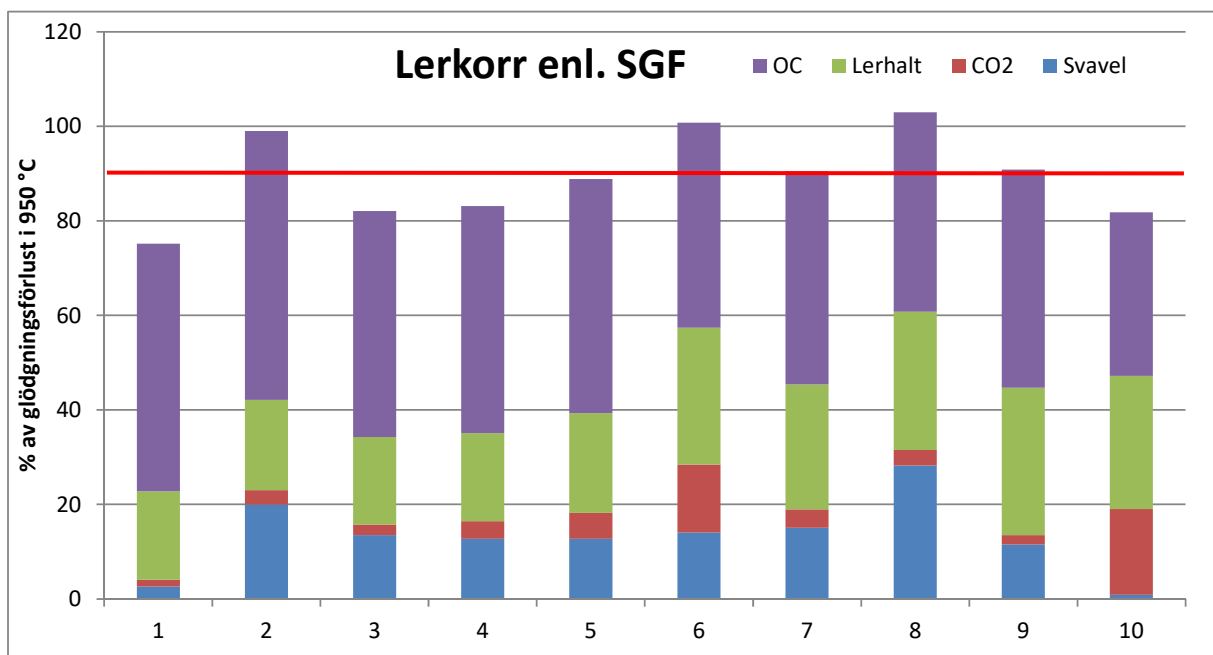


Diagram 2 Glödgningsförluster upp till 950 °C. Lerkorrektion enligt SGF.

Det är dessa resultat som ligger till grund för den nu genomförda studien där avsikten har varit att studera dessa parametrar på prover tagna i annan miljö än enbart sulfidhaltiga och i stort kalkfria sediment.

Kapitel 4

Laboratoriestudien

4.1 FÖRSÖKSPROGRAM

Avsikten med den utökade studien har varit att få en så bred bas som möjligt för bedömning av de parametrar som presenterats i förstudien. Projektet redovisades på ett branschmöte för de geotekniska laboratorier, på Chalmers, redan hösten 2015 och intresset där för medverkan var mycket positivt. Att få in en tillräckligt stor mängd delundersökningar från olika laboratorier har varit väsentligt för att inte sulfidjordar skulle bli statistiskt överrepresenterade. Sammanlagt har 96 delprover från 25 olika lokaler ingått i undersökningen. De är fördelade över hela landet, från bland annat: Kalix, Skellefteå, Uppsala, Stockholm, Linköping, Norrköping, Köping, Degerfors, Halmstad, Växjö, Vänersborg, Uddevalla och Helsingborg.

Laboratorierna har i samband med egna laboratorieuppdrag kompletterat med kornstorleksanalys (sedimentation) och glödgningsförlust (+550 °C och +950 °C) om dessa undersökningar inte ingick i det ursprungliga uppdraget. Principen för undersökningen har varit att en del på ca 5-6 cm ur en kolvborrtub har delats vertikalt i 4 lika delar. På dessa har sedan okulärbenämning gjorts på en fjärdedel, kornstorleksanalys på en, glödgningsförlust och vattenkvot på en samt den sista fjärdedelen har skickats till ALS Scandinavia för analys av Fe, S, Ca, Total Carbon (TC), Total Inorganic Carbon (TIC) samt Total Organic Carbon (TOC). Resultatet av analysen av TOC har i projektet använts som referensvärde på det organiska innehållet genom att multiplicera TOC med faktorn 1,72, vilket internationellt anses ge en god uppskattning av verkligt värde. Det innebär att det organiska kolet bedöms utgöra 58 % av organiskt innehåll.

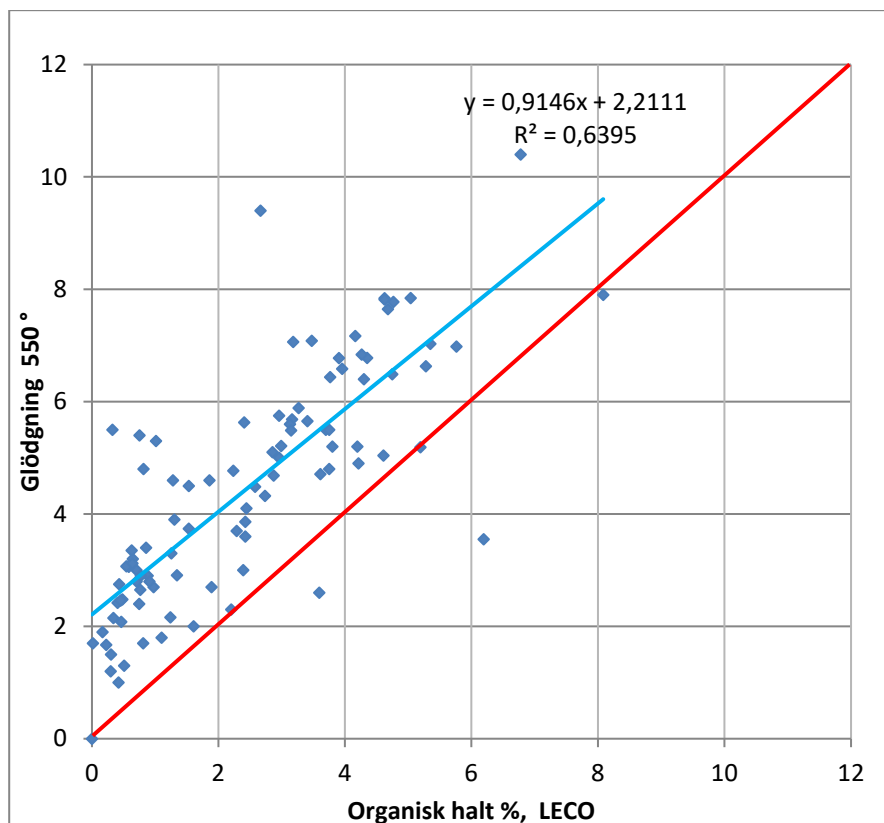
4.2 DTA – DIFFERENTIELL TEMPERATURE ANALYSIS

I ett pilotförsök undersöktes två sulfidhaltiga jordprover med Differentiell Temperature Analysis (DTA). Tekniken bygger på att ett material hettas upp med en viss hastighet, i detta fall från rumstemperatur till 950 °C, med en hastighet av 10 °C/min. Speciellt i dessa fall var att gaser som avgår vid upphettningen analyserades samtidigt som provets viktförändring registrerades. Det ena försöket genomfördes med tillgång till syre för jordprovet, medan det andra upphettades i argonatmosfär. Tyvärr kan inte gaserna kvantifieras, men man får en uppfattning om när de avgår. De gaser som analyserades var SO, SO₂ och CO₂. Avsikten med de två förbränningsmiljöerna var att se om det möjligen var så att syret i de förbrända gaserna kom från eventuella metalloxider eller liknande. Om syre tas från exempelvis en järn- eller aluminiumoxid måste således även denna syremängd ingå i korrektionen för viktminskningen. Resultaten redovisas här relativt ingående trots svårigheter att dra några säkra slutsatser ur dem.

4.3 RESULTAT

4.3.1 Organisk halt – glödgningsförlust 550 °C

Den lägsta glödgningsstemperatur som i Sverige regelmässigt används för bedömning av organiskt innehåll är 550 °C. Internationellt används ofta betydligt lägre temperaturer (375-440 °C). Såsom även redovisats i avsnitt 2.1 försvinner redan i temperaturintervallet 105-550 °C en del vatten bundet i lerstrukturen. Detta vatten är bundet till *lermineralen*. I Figur 4 redovisas glödgningsförlust vid 550 °C jämförd med laboratorieanalys av organiskt innehåll (1,72×TOC). Här framgår inte oväntat att glödgningsförlusten är större än det organiska innehållet och att spridningen är relativt stor. Figuren redovisar även en linjär regressionslinje i blått för glödgningsförlusten, vilken ligger cirka 2 %-enheter högre än det organiska innehållet. Den teoretiska linjen vid 100 % överensstämmelse är markerad 1:1 rött (även i kommande avsnitt).

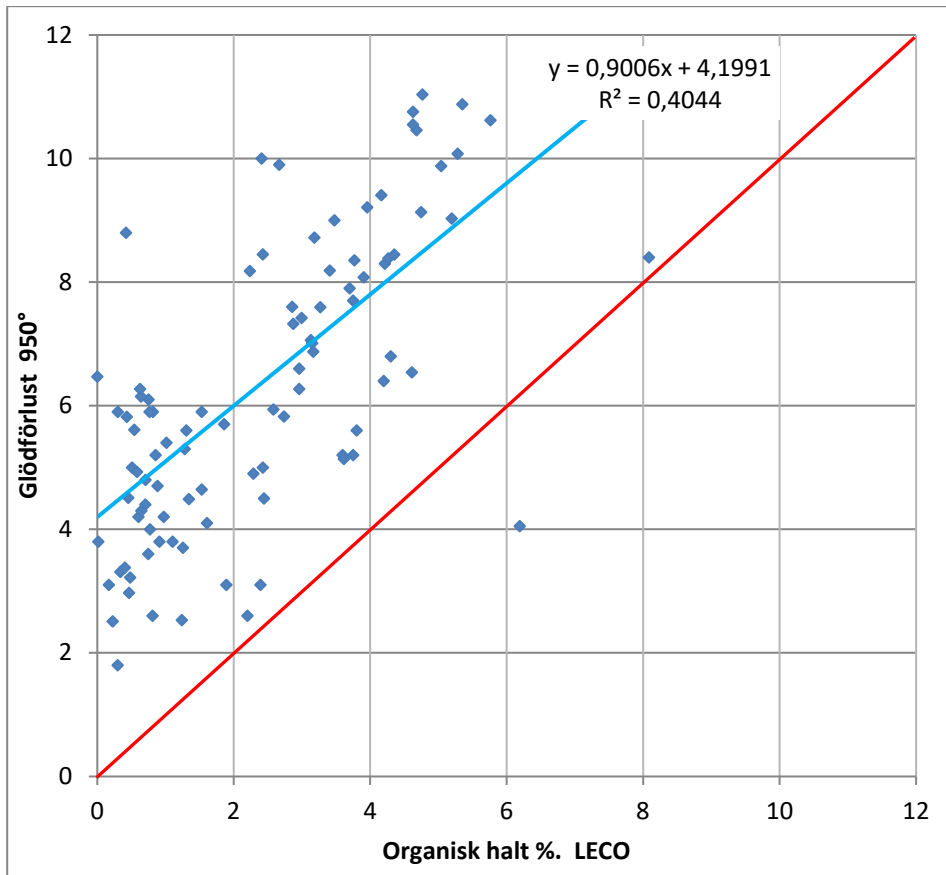


Figur 4 Glödgningsförlust, 550 °C jämförd med organisk halt

4.3.2 Organisk halt – glödgningsförlust 950 °C

Vid glödning i 950 °C kan ytterligare viktninskning förväntas. I första hand avgår resterande kristallvatten från lermineralen

Det vanligaste lermineralet i svenska sediment är illit, medan de svällande lermineralen av montmorillonittyp förekommer, men i klart mindre omfattning, detsamma gäller vermikulit. Vid temperaturer över 550 °C bör således inte kristallvatten från lermineral avgå i någon större omfattning om jorden inte innehåller väsentliga mängder kaolinit, muskovit eller de svällande lermineralen, då huvuddelen av kristallvattnet avgått redan under 550 °C. Ur Figur 4 kan denna viktninskning uppskattas till ca 1-2 %. Övrig viktförlust bör således i detta intervall främst bestå av koldioxid. Som framgår av Figur 4 är glödgningsförlusten väsentligt högre än det organiska innehållet.



Figur 5 Glödgningsförlust, 950 °C och organisk halt

Såsom framgår av Figur 3 sker en markant avgång av CO₂ från kalciumkarbonat, CaCO₃ i ett temperaturintervall vid ca 600-650 °C. Om man antar att det huvudsakliga kolinnehållet från icke organiskt kol utgörs av karbonat från skalrester och dylikt så kan en omräkning av TIC till CO₂ ske genom att för varje kolmolekyl som avgår följer två syremolekyler vilket ger en viktninskning av TIC×(44/12).

När det gäller svaveloxider och svavelväte, såsom redovisades i avsnitt 2.3, avgår svavelgaserna med stor sannolikhet till 100 % redan vid glödning upp till 550 °C. Det framgår även att de börjar avgå vid förhållandevis låga temperaturer.

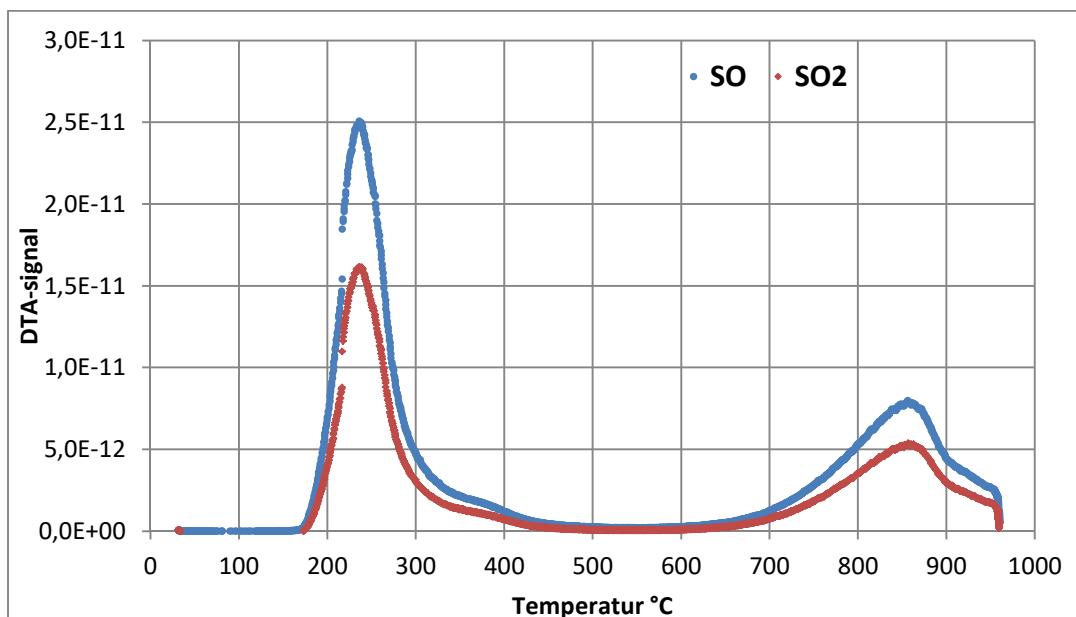
4.3.3 DTA-försök

4.3.3.1 Svaveloxider

För svaveloxiderna konstaterades, med början vid 200 °C en märkbar förändring av den mätsignal som registrerar de olika komponenterna. Signalen avtar ned mot "noll" vid drygt 400 °C. Detta tolkas som att vid denna temperatur har svaveloxiderna bränts bort och således kan de inte avge någon signal. Detta tillsammans med tidigare konstaterande att vid glödning i 950 °C avgår i princip allt svavel och således sker det redan under 550 °C. Korrektion för svavelavgång bör därför ske vid glödgningsförsök vid såväl 550 °C som vid 950 °C.

Vad som sker i temperaturintervallet ca 700 - ca 950 °C är oklart, men som framgår av Figur 10 sammanfaller denna även med en ökad viktminskning.

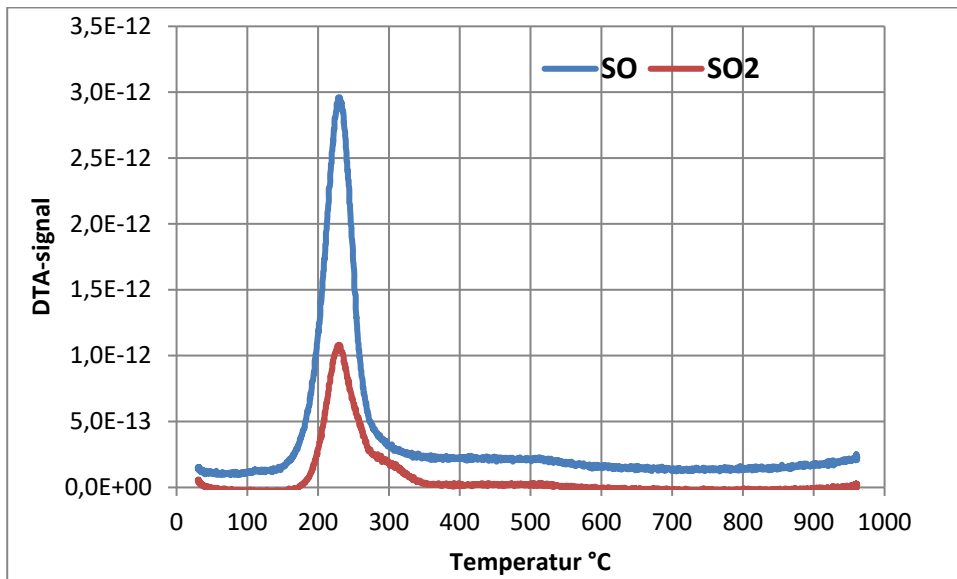
Försöket visade att svavel förbrändes under 550° C, men möjligen kan det vara så att det enbart gäller FeS, medan FeS₂ avgår vid den högre temperaturen (950 °C).



Figur 6 DTA-kurvor för svaveloxider vid förbränning i luft

För försöket som genomfördes i argonmiljö sker en gasavgång i samma temperaturintervall som för försöket i luft (syreatmosfär). Det är oklart varifrån syret kommer i detta fall, men detta ligger inte inom ramen för detta projekt att utreda det. Man kan dock konstatera att om det inte finns syre i form av luft i

provet och syre avgår i form av svaveloxider bör detta syre komma från andra komponenter i provet och därmed skulle även detta syre bidra till viktnedgången. Det kan möjligen vara så att det finns en mindre mängd lättillgängligt syre som bidrar till svaveloxidavgången i lägre temperatur, men detta syre är förbrukat och därför sker ingen avgång av svaveloxider i det högre temperaturintervallet. Observera att grafens topp enbart visar att svaveloxider avgår, inte hur mycket.

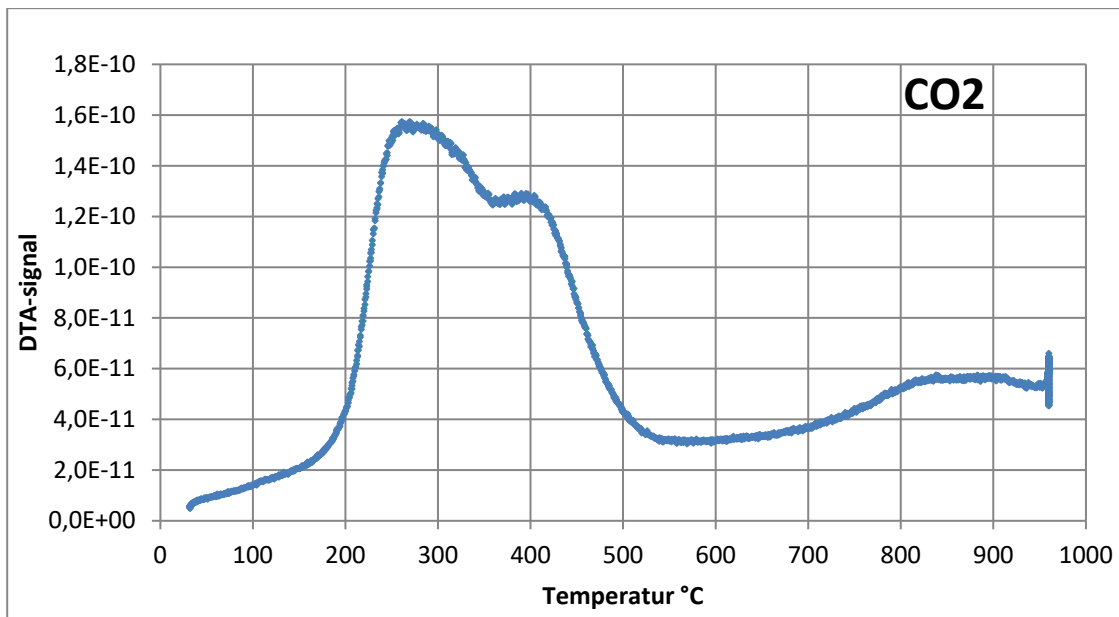


Figur 7 DTA-kurvor för svaveloxider vid förbränning i argonatmosfär

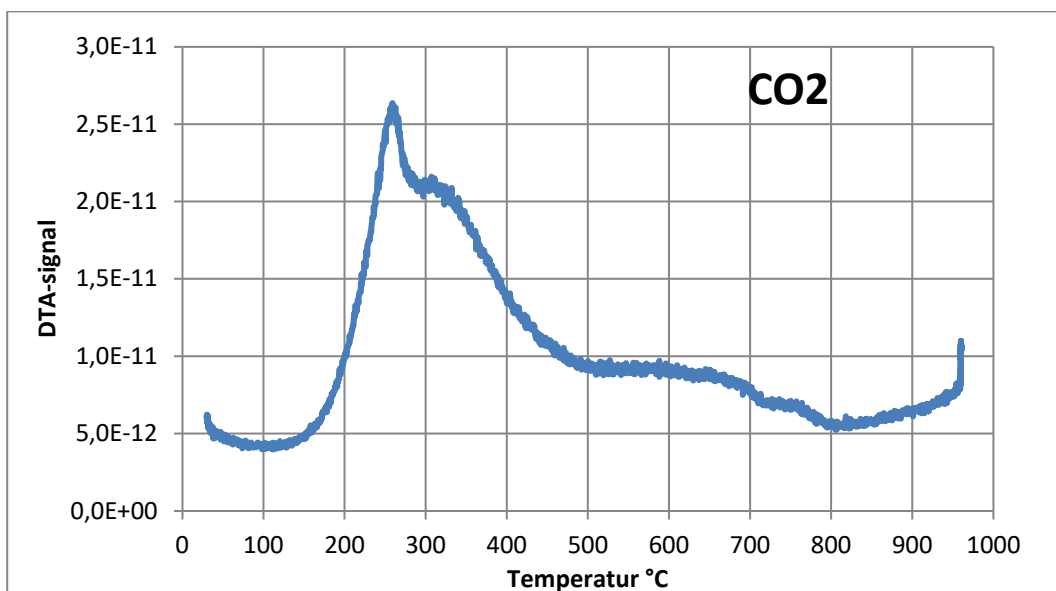
Det framgår således att svaveloxider avgår då tillgång till syre finns vid förbränningen och syre tas från omgivningen och inte från mineraloxider el dyl.

4.3.4 Karbonater

DTA-försöken är mycket svårbedömda vad gäller koldioxiden. Den kemiska analysen (ALS Scandinavia) visade på en mycket låg halt icke organiskt kol (TIC = 0,02 %) vilket kan vara ännu mindre med hänsyn till mätnoggrannhet. Detektionsnivån är 0,01 %.



Figur 8 Avgång av CO₂ vid förbränning i luft



Figur 9 Avgång av CO₂ vid förbränning i argon

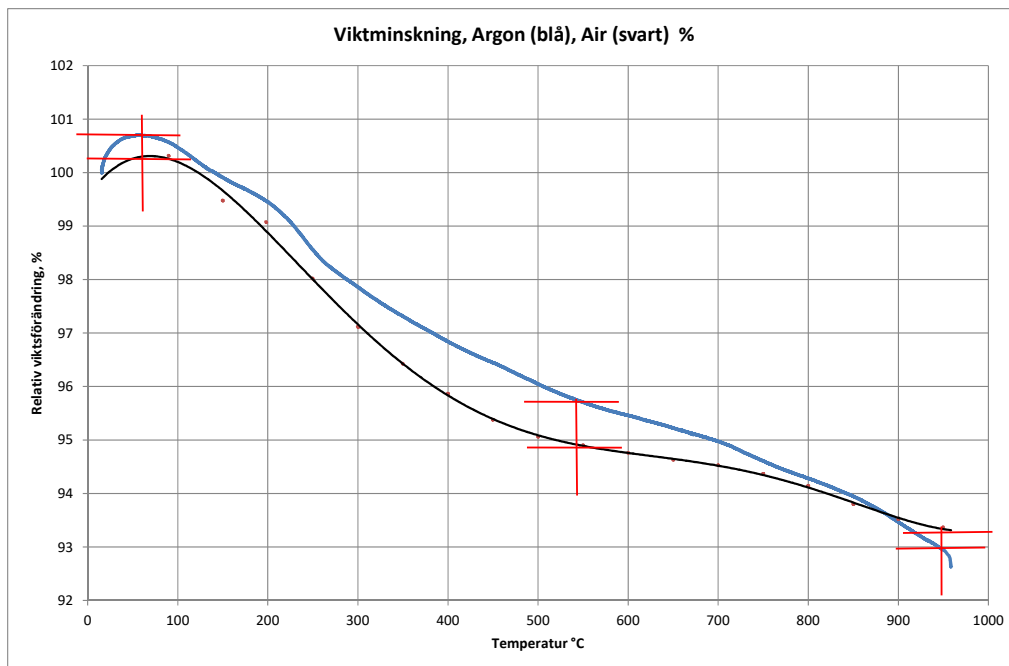
Som framgår av Figur 8 och Figur 9 händer något i temperaturintervallet 150 - ca 500 °C. Det ska noteras att DTA-signalen inte utgör ett mätbart mått på mängden CO₂ som avgår utan endast på temperaturintervallet där något händer. Vad som däremot kan konstateras är att det inte händer något specifikt i temperaturintervallet 600-650 °C då karbonatförbränningen borde ske. Detta tolkas här som att det inte förekommer karbonater i någon mätbar mängd. Att ändå något händer i intervallet 150-500 °C beror sannolikt på att organiskt kol förbränns, vilket ju är avsikten med förbränningen. Det bör även ses som en klar

indikation på att det organiska kolet förbränns vid upphettning redan under 550 °C.

För dessa gaser kan enbart konstateras att DTA-signalerna är väsentligt lägre för förbränning i argon, se vidare i avsnitt 4.3.5

4.3.5 Viktförändring

Vid den genomförda temperaturökningen sker en viktninskning som vid ett glödgningsförlustförsök, med skillnaden att viktninskningen mäts kontinuerligt. I Figur 10 visas hur den kontinuerligt ökande temperaturen ger upphov till en viktninskning. En viss viktökning sker vid försökens start, så att en maximal vikt fås vid ca 50 °C, varefter vikten minskar. Kurvorna antyder att förbränningen med syretillgång sker snabbare än i argonmiljö upp till ca 600 °C, men sedan går viktninskningen snabbare i argonmiljö och blir till slut större än vid syretillgång. Det antyder att vid den högre temperaturen tas syre från annat håll än ur luft, dvs från mineralpartiklar. Det tyder på att förbränningen inte är beroende av extern syretillförsel. Möjligen kan det vara klorit som bryts ned vid en temperatur över 600 °C. Av den totala viktninskningen upp till 950 °C, 7,1 till 7,7 %, sker mellan 1,8 och 2,7 % över 550 °C. Vad som förbränns över ca 550 °C i dessa försök kan inte förklaras genom de avgående gaserna. En förklaring kan dock vara avgång av bundet vatten från lerstruktur, jämför Figur 3, samt att FeS₂ bryts ned i ett högre temperaturintervall och att syre tas från någon mineraloxid, vilket ger den större viktninskningen vid argonförsöket.



Figur 10 Viktminskning vid upphettning i argon respektive normal atmosfär (syretillgång)

4.4 KORREKTIONER

Med utgångspunkt i de kemiska analyserna kan i stor utsträckning relativt tillförlitliga bestämningar av effekterna av svavelavgång och koldioxidavgång göras (detta även med visst stöd i DTA-försöken).

4.4.1 Svavel

Av vad som redovisats i avsnitt 2.3 samt i avsnitt 4.3.3.1 kan konstateras att i princip 100 % av svavlet i form av SO och SO₂ avgår. Det framgår även att syret tas ur luften och sannolikt inte från några mineraler i jorden. Det är därför av mindre intresse i detta sammanhang i vilken form svavlet avgår. Det är även konstaterat att avgången i princip helt sker under temperaturen 550 °C. En korrektion för svavelinnehållet bör således göras oberoende av vid vilken temperatur en glödgningsförlustbestämning utförs. En oklarhet är dock nedbrytning av FeS₂ som eventuellt sker i ett högre temperaturintervall. Enligt uppgifter i¹⁵ sker en fasförändring av FeS₂ vid rostning över ca 630 °C. Andra uppgifter har redovisat ca 700 °C. Detta skulle kunna förklara svaveloxidavgången över ca 650 °C i Figur 6 glödgnings i syremiljö (DTA-försök).

¹⁵ Treatise on Geochemistry, Reference Work, 2003

Det förklarar även varför ingen motsvarighet syns i Figur 7, då glödgningsförsöket sker i syrefri miljö.

Det kan konstateras att huvuddelen av proverna med svavelinnehåll av viss betydelse är klassade som sulfidjordar (från ”Norrland”). En inte oväsentlig andel är dock från södra delarna av landet och utgörs därför inte av sulfidjord. Den högsta halten (2 %) är noterad i ett prov från Mellansverige. I dagsläget klassificeras dock sulfidjordar efter sin färg och då är i princip inga ”sulfidjordar” med högt svavelinnehåll i form av FeS_2 klassificerade som sulfidjord då de inte är genomgående svarta eller mörkgrå.

Eftersom glödning enligt svensk standard sker och har skett i 800 eller 950 °C förbränns allt svavel. 2 % svavel kommer då att ge ett bidrag på 2 % till glödgningsförlusten. Det krävs således inte mycket organiskt material för att en jord skall klassificeras som gyttjig, om inte korrigering för svavelinnehållet görs. Här kan man anta att det idag är sällsynt att man bestämmer svavelinnehåll på en icke svart jord från ”Mellansverige”.

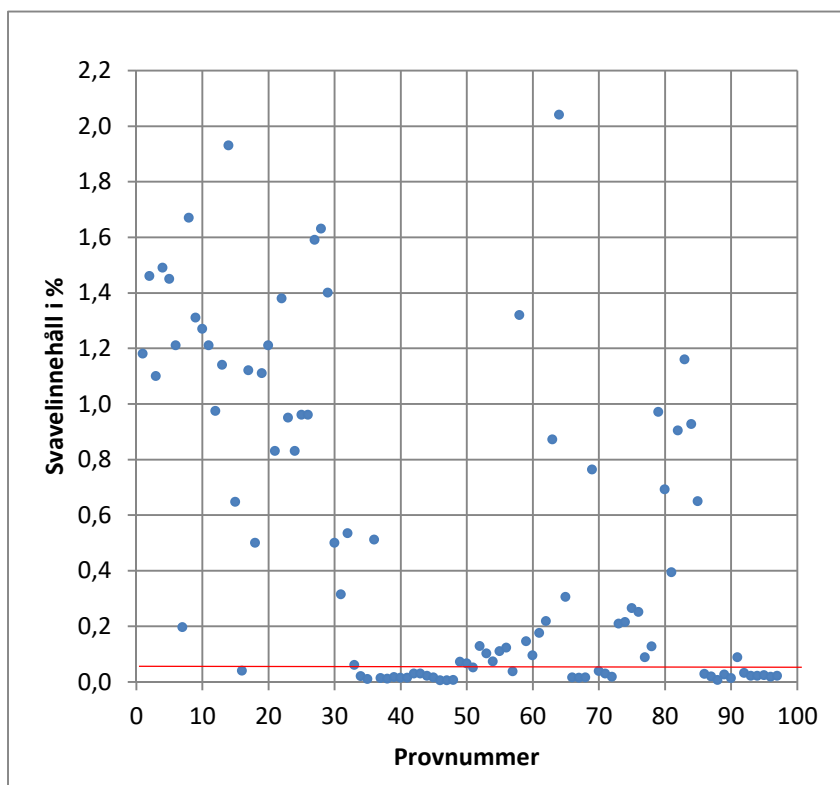
FeS_2 har inte samma amorfa struktur som FeS utan har en kristallstruktur som inte ger upphov till samma deformationer och krypning som FeS .

I detta projekt har det inte gått att urskilja i vilken form järnsulfiderna förekommer, men det förefaller som om FeS_2 dominerar i mellersta Sverige medan FeS dominerar i norra. Det kan bero på att sedimentationen och landhöjningen i södra Sverige pågått något längre än i norra Sverige vilket medfört att en större andel FeS har ombildats sekundärt till FeS_2 .

I Figur 11 redovisas svavelinnehållet i samtliga prover som bedöms innehålla oorganiskt svavel. Det bör i detta sammanhang påpekas att ett relativt stort antal prover utgörs av fyllningsmaterial, där såväl finjordshalt som sulfider i princip saknas då fyllningens funktion normalt är sådan att dessa krav ställs på materialet. Detta har tyvärr inte kunnat undvikas i projektet då laboratorierna använt material som ingått i den dagliga verksamheten. Det hade varit önskvärt med fler sedimentprover. Det är å andra sidan av stort intresse om glödgningsförlust används som ett mått på organiskt innehåll i dessa jordar då alltför högt

”organiskt innehåll” kan medföra att ett fyllningsmaterial underkänns på felaktiga grunder. Här kan noteras att ofta används SS-EN 1744-1, vilket är en kolorimetrisk metod som i princip ger positivt eller negativt svar, dvs det finns eller finns inte organiskt material. Såsom nämnts kan dock denna metod även ge upphov till falska positiva svar om lösligt järn förekommer (exempelvis rostutfällningar).

I samband med hantering av sulfidjordar har riktlinjer tagits fram med avseende på risken för försurning genom oxidation av sulfider. Försurningsrisken betraktas som låg vid mindre än 0,06 % svavel i provet¹⁶. Dessa jordar betraktas därför i princip som problemfria ur försurningsynpunkt. Här framgår att ca 70 % av proverna har över 0,06 % svavel. Här kan således risk för miljöproblem uppkomma vid hantering. Ungefär 30 % av proverna i Figur 11 utgörs av fyllningar och varvig lera, dvs material som kan förväntas ha lågt svavelinnehåll. Figur 11 visar svavelinnehållet för samtliga prover.



Figur 11 Svavelinnehåll i samtliga undersökta prover

¹⁶ Miljöteknisk bedömning och hantering av sulfidjordsmassor, K. Pousette, Luleå Tekniska Universitet, 2010

4.4.2 Karbonater

I avsnitt 2.2 görs antagandet att de karbonater som huvudsakligen förekommer är skalrester i mer eller mindre upplöst form. De utgörs således av kalciumkarbonater, dvs icke organiskt kol. I samtliga analyserade prover har TIC (Total Inorganic Carbon) analyserats (LECO), liksom innehållet av Ca. Eftersom dessa två analyser är oberoende av varandra är det av intresse att se om de ger en rimlig överensstämmelse vid beräkning av karbonathalten. Beräkningen kan göras enligt:

$$\text{CaCO}_3 = \text{Ca}(\text{halt i \%}) \times 100/40 \quad \text{ekv 3}$$

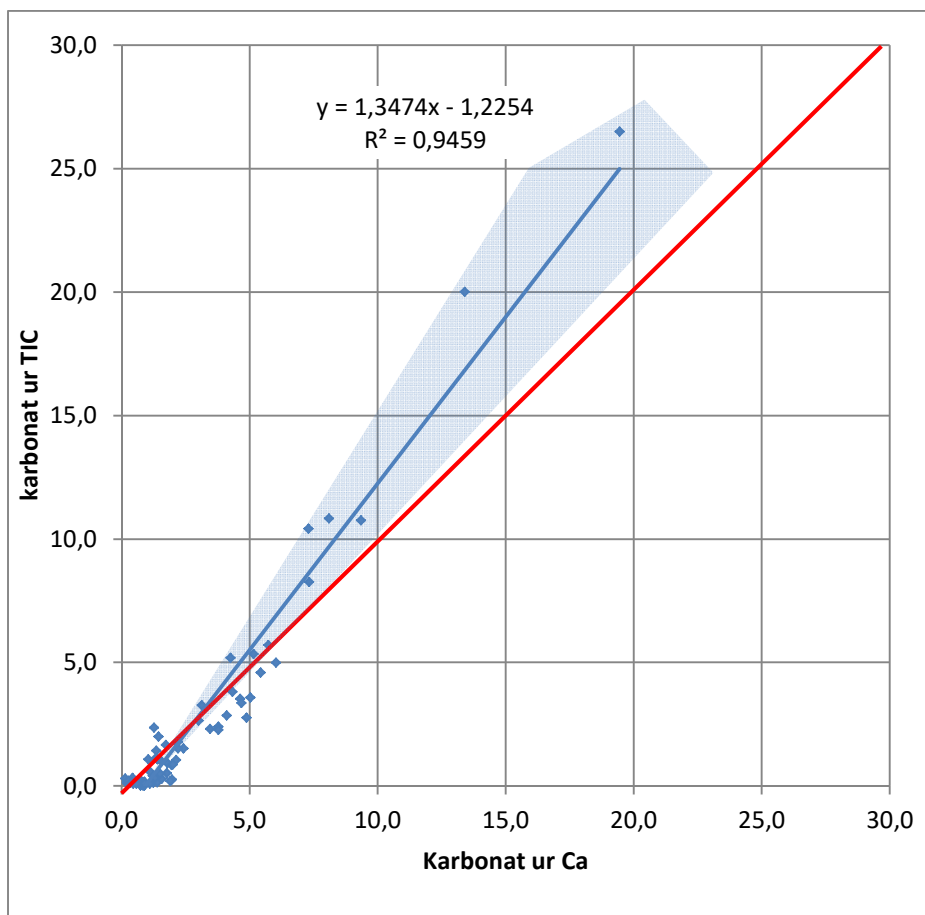
eller

$$\text{CaCO}_3 = \text{TIC}(\text{halt i \%}) \times 100/12 \quad \text{ekv 4}$$

Från beräknad karbonathalt kan därefter CO₂-halten beräknas ur:

$$\text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 (\text{halt i \%}) \times 44/100 \quad \text{ekv 5}$$

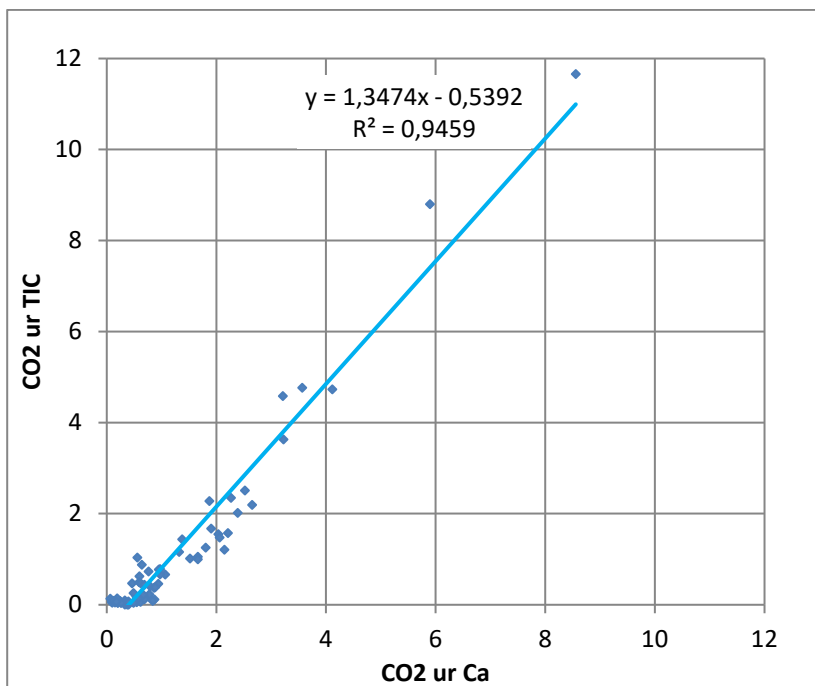
I ekvationerna ovan används atommassan C=12 u, O=16 u, Ca=40 u, vilket ger molekylmassan 40+12+3×16=100 u för CaCO₃, respektive 12+2×16=44 u för CO₂,



Figur 12 Beräknat karbonatinnehåll med ekv 3 och ekv 4

I Figur 12 framgår ett relativt bra samband mellan de två analysmetoderna. Man bör således genom analys av antingen kalciuminnehåll eller TIC kunna göra en korrektion för avgången av koldioxid vid glödningsförlustbestämning. En svårighet med dessa kemiska analyser är dock, att ur ett ursprungligt prov på i storleksordningen 20-25 g TS efter homogenisering och neddelning, plocka ut ett prov på 1-2 gram så att det blir representativt även om provet homogeniseras. Det organiska materialet är i högre utsträckning bundet till de finaste partiklarna och då är det svårt att göra en verkligt homogen homogenisering. Förutom den angivna analysosäkerheten ca 10 % för LECO, respektive ca 20 % för Ca tillkommer således svårigheten att i kemilaboratoriet ta ut ett representativt prov. Här verkar det som om TIC-analyser ger något högre värden vid höga halter. I detta fall utgörs de två proverna med beräknade karbonathalter på över 20 % av moränleror. Ytterligare en osäkerhet är att det ”homogeniserade” provet delas för LECO-respektive kalciumanalysen, enbart med angivna analysosäkerheter erhålls ett spann för dessa analyser, som redovisas av det skrafferade området i Figur 12.

Ur ekvation 5 kan avgången av CO₂ beräknas. Resultaten ger således en ganska god bild av CO₂-avgången trots analysosäkerheter, se Figur 13.



Figur 13 Beräknad CO₂ (från ekv 5) ur ekvationerna 3 och 4

4.4.3 Lerinnehåll

Sammantaget visar denna genomgång ganska klart att korrektioner för lerhalt, svavelhalt och icke organiskt kol måste utföras för att få en uppfattning om det organiska innehållet i jordprover.

Av Figur 3 (även redovisad nedan som Figur 14) framgår att för de flesta lermineralen i undersökningarna är inte viktminskningen avstannad vid 550 °C, varför lerhaltsreduktionen blir oklar tills en fullständig vattenavgång har skett.

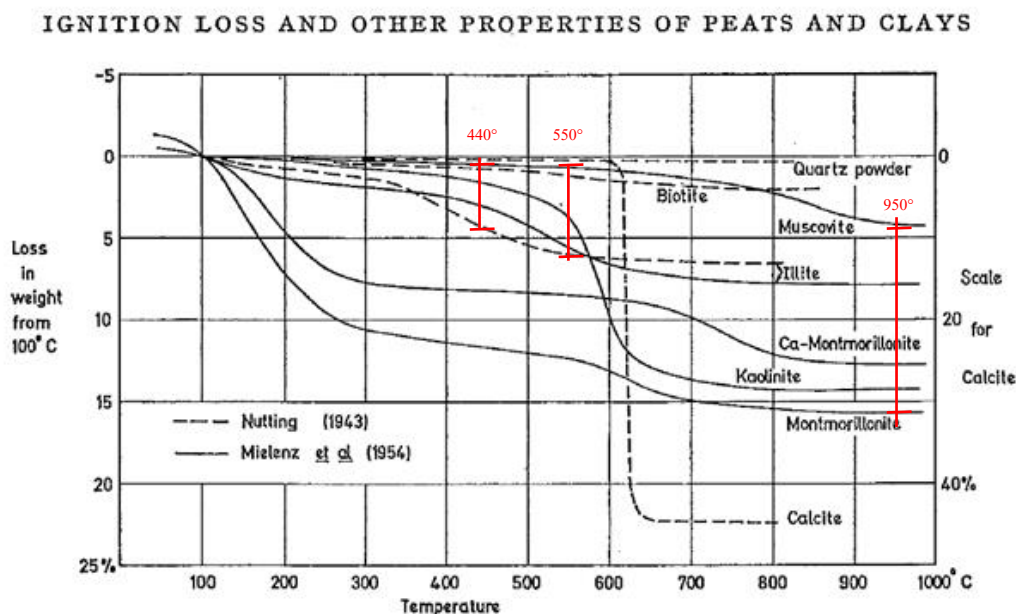


Fig. 4. Thermal dehydration curves

Figur 14 Glödgningsförluster hos några olika leror

Här framgår att för det klart vanligaste lermineralet illit avgår ca 6 % upp till 550 °C och för mineralen muskovit och biotit avgår 0,5 - 1 % samt för kaolinit cirka 3,5 %. Innehållet av montmorillonit är normalt mycket lågt i svenska leror, men här är glödförlusten mellan 8 och 12 %. Klorit förekommer vanligt i svenska leror och vid glödning upp till 800 °C avgår 8-10 %. Enligt Velde (Tabell 2) sker denna viktminskning över 600 °C. Enligt SGF:s Laboratieanvisningar del 3 utgörs den svenska lerfraktionen approximativt av illit, glimmer och andra blandskiktmineral till 30-50 %, 20-30 % utgörs av kaolinit, klorit och vermikulit samt 20-50 % av kvarts, fältspat och andra bergartsbildande mineral än glimmer. Om man från dessa siffror uppskattar glödgningsförlusterna så bör ingen glödförlust uppstå vid glödning av de

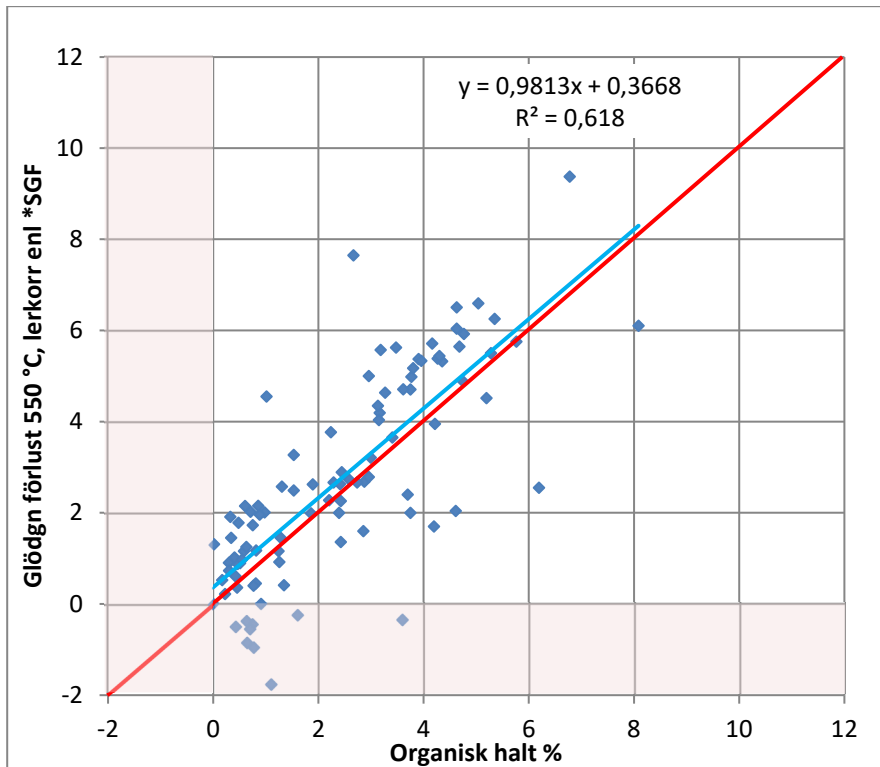
bergartsbildande mineralen. Med ett försök till uppskattning av medelvärden av fördelningen i grupperna ovan och med vissa andra litteraturuppgifter samt glödningstemperaturerna skulle en korrektionsfaktor för typ av lermaterial kunna vara som redovisas i Tabell 5.

Tabell 5 Reduktion i % för olika mineralgrupper i lerfraktionen vid glödförlustbestämning

	Illit, vermikulit	kaolinit	glimmer	klorit	Kvarts, fältspat mm	Summa %
Medelvärde, %	40	10	10	10	30	100
440 °C	1,6	0,2	0,05	0,1	0	2,0
550 °C	2,4	0,4	0,1	0,2	0	3,1
950 °C	2,8	1,4	0,3	1	0	5,5

Ur denna uppskattning stämmer reduktionen ganska väl med tidigare redovisade värden för glödning i 800-950 °C. Vid glödning i 550 °C skulle reduktionsfaktorn således bli knappt 3 % av lerhalten.

I Figurerna 15 och 16 redovisas glödning förlust i 550 °C reducerad för innehållet av lera enligt SGF respektive SGI jämfört med det organiska innehållet bestämt ur LECO-analys av TOC (Organisk halt = TOC×1,72).

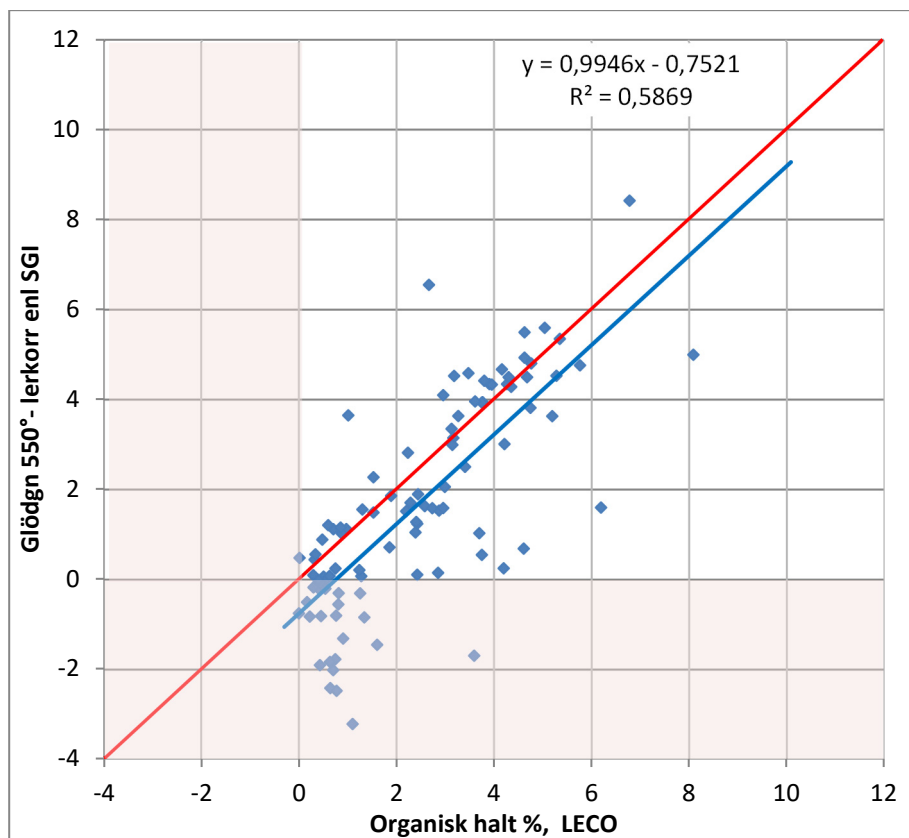


Figur 15 Glödgningsförlust, 550 °C, reducerad enbart med lerkorrektion (SGF) jämförd med organisk halt (LECO)

Om glödgningsförlusten reduceras med den från SGF rekommenderade korrektionen för lerinnehållet ($0,05 \times l_c$) fås de resultat som visas i Figur 15. Skillnaden mot Figur 4 är markant och regressionslinjen hamnar endast några 10-dels %-enheter från en tänkt linje för det organiska innehållet. Här har inte någon korrektion för svavelinnehållet gjorts.

I Figur 16 redovisas samma data, men med lerkorrektion enligt SGI ($0,75 + 0,06 \times l_c$). Här ligger således regressionslinjen något mer fel och nu under ”börmlinjen” och överkorrigerar i större utsträckning än SGF-reduktionen.

Samtidigt hamnar ytterligare 10 prover på större lerkorrektion än den totala glödgningsförlusten. De flesta av dessa prover har förhållandevis höga lerhalter (mellan cirka 50 och 80 %).



Figur 16 Glödgningsförlust, 550 °C, reducerad enbart med lerkorrektion (SGI) jämförd med organisk halt (LECO)

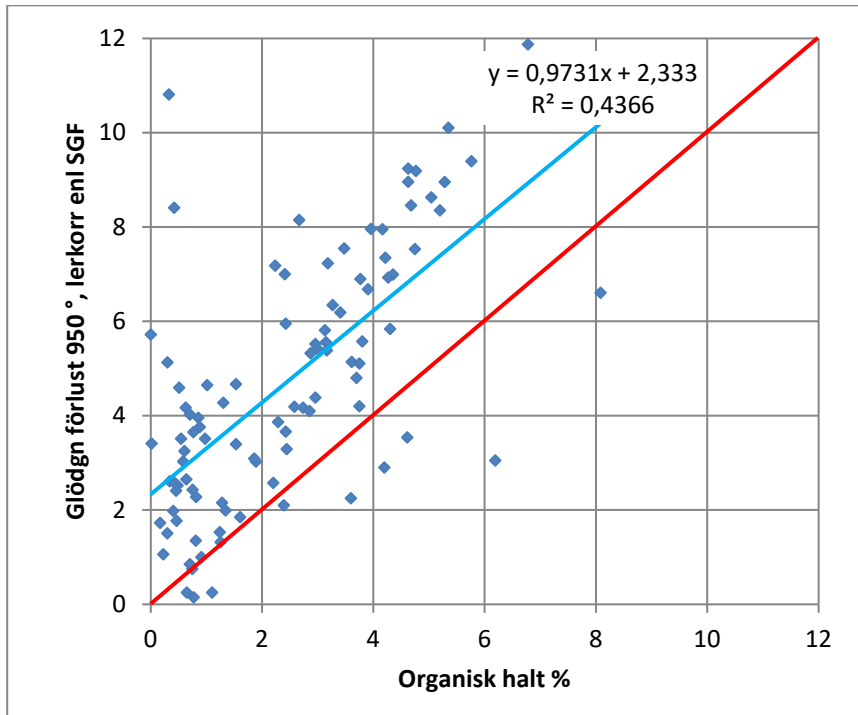
Vid en korrektion för lerinnehållet enligt såväl SGFs som SGI:s förslag blir överensstämmelsen inte särskilt bra då korrektionen vid låga organiska halter till och med blir korrigerade till negativa värden, framför allt vid höga lerhalter.

I figurerna 17 och 18 redovisas glödgningsförlusten i 950 °C reducerad för lerinnehållet enligt SGF respektive SGI jämfört med det organiska innehållet bestämt ur LECO-analys av TOC (Organisk halt = $\text{TOC} \times 1,72$).

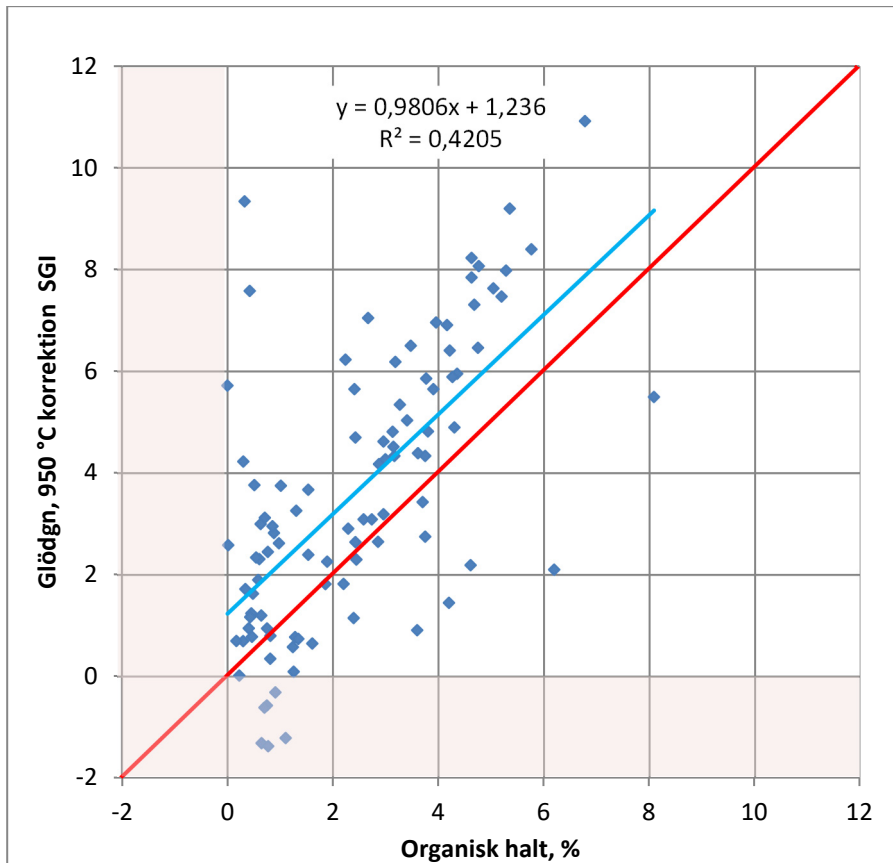
Av Figur 17 framgår att det krävs ytterligare korrektion för glödgningsförlusterna då regressionslinjen ligger cirka 2 %-enheter över "börmlinjen". Dessa ca 2 % bör då utgöra korrektionen för svavel samt karbonatinnehåll.

Figur 18 visar på motsvarande sätt sambandet, men i denna figur har korrektion för lerhalten enligt SGI använts. I detta fall ligger regressionslinjen cirka 1 %-enhet över "börmlinjen".

Av Figur 18 framgår tydligt att om de redovisade korrektionerna används fullt ut av dessa ämnen så blir enbart lerkorrektionerna (enligt SGIs förslag) större än det konstaterade organiska innehållet i flera fall.

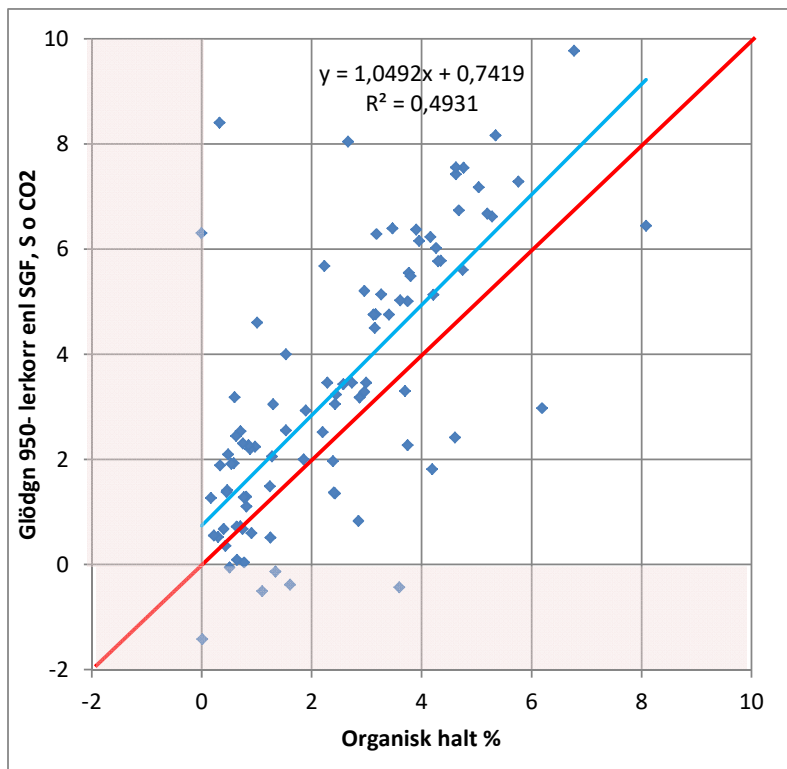


Figur 17 Glödgningsförlust, vid 950 °C, reducerad enbart med lerkorrektion (SGF) jämförd med organisk halt (LECO)

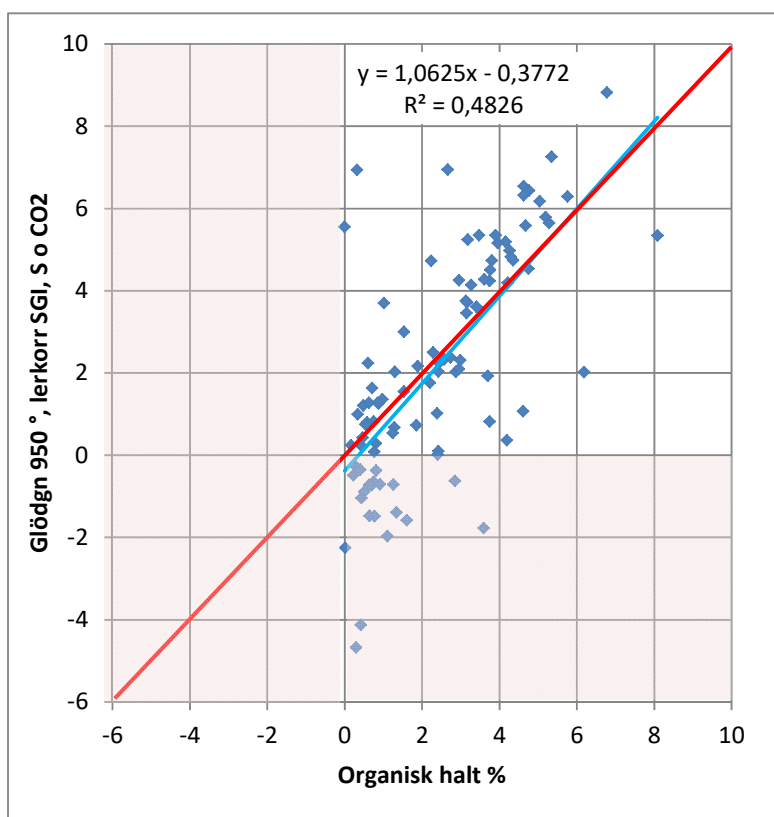


Figur 18 Glödgningsförlust, vid 950 °C, reducerad enbart med lerkorrektion (SGI) jämförd med organisk halt (LECO)

Vid glödning i 950 °C är således det organiska innehållet större än den för lerinnehållet korrigerade glödgningsförlusten. Vid ytterligare korrektioner för svavel och karbonater kommer ett antal prover bli klart överkorrigerade.



Figur 19 Glödgningsförlust, 950 °C, reducerad med lerkorrektion (SGF), svavel samt karbonat jämförd med organisk halt



Figur 20 Glödgningsförlust, 950 °C, reducerad med lerkorrektion (SGI), svavel samt karbonat jämförd med organisk halt

I figurerna 15-18 har således enbart korrektioner för lerhalt redovisats. Vid glödning i 950 °C och med samtliga nödvändiga korrektioner kommer således ett stort antal prover ha korrektioner som väsentligt överstiger det organiska innehållet. Figur 19 och Figur 20 visar att vid låga organiska halter kan glödgningsförlusten reducerad för lerinnehåll, svavel och karbonat uppgå till negativa värden på upp till 4 %, Till detta kommer även en ej utredd korrektion för eventuell avgång av klor från salt (NaCl) för marina leror.

I de analyserade jordproverna är utgångspunkten att det organiska innehållet från LECO-analyserna ger den bästa uppskattningen.

Det är även tydligt att den största korrektionen kommer från lerhalter. I vissa fall är enbart denna korrektion lika stor eller till och med större än hela glödgningsförlusten i 950 °C. En anledning till att korrektionen för lerhalten blir så stor är att korrektionen bestäms av att lerhalten bedöms som densamma som lermineralhalten. En inte oväsentlig andel av lerfraktionen kan dock bestå av andra mineral med en korndiameter mindre än 2 µm. Det förfaller som att vid höga lerhalter består lerfraktionen i större utsträckning av andra partiklar än lermineral.

Kapitel 5

Sammanfattande synpunkter

Projektet har genomförts med hjälp av ett antal av Sveriges geotekniska laboratorier. Grunden för alla utförda provningar är den beskrivning av hur provuttag skall ske samt svensk standard för dessa provtagningars genomförande. De undersökta materialen har varit av starkt varierande typ, från sulfidleror, moränleror, fyllningar av blandad karaktär till leror med mycket höga lerhalter. Det var även avsikten med projektet, att testa material av olika typ och ursprung.

I ett fall har laboratoriet inte utfört kornstorleksanalyser, men uppskattat lerinnehållet, vilket kan ge en felmarginal sannolikt på ca ± 10 %-enheter. Detta skulle kunna ge ett fel på 0,5 - 0,6 % i korrektionsfaktor för lerinnehåll. Det bör således ge upphov till ett marginellt fel.

En faktor som möjligen kan vara av betydelse är att ingen detaljinstruktion lämnades om hur glödgningsförlust i 550 °C skulle utföras. Det är tyvärr oklart hur laboratorierna genomfört sin glödgning i 550 °C. I de flesta fall torde glödgningen utförts under 1 timme. I viss litteratur redovisas att glödgningsförlusterna ökar vid glödgning under ett antal timmar, dock för försök i temperaturintervallet 375 – 440 °C. Artiklarna antyder att det organiska materialet då behöver en glödgningstid på kanske 10-15 tim för fullständig förbränning. Möjligen betyder detta att glödgningsförlusten i 550 °C skulle bli något högre om glödgningen utförts under längre tid.

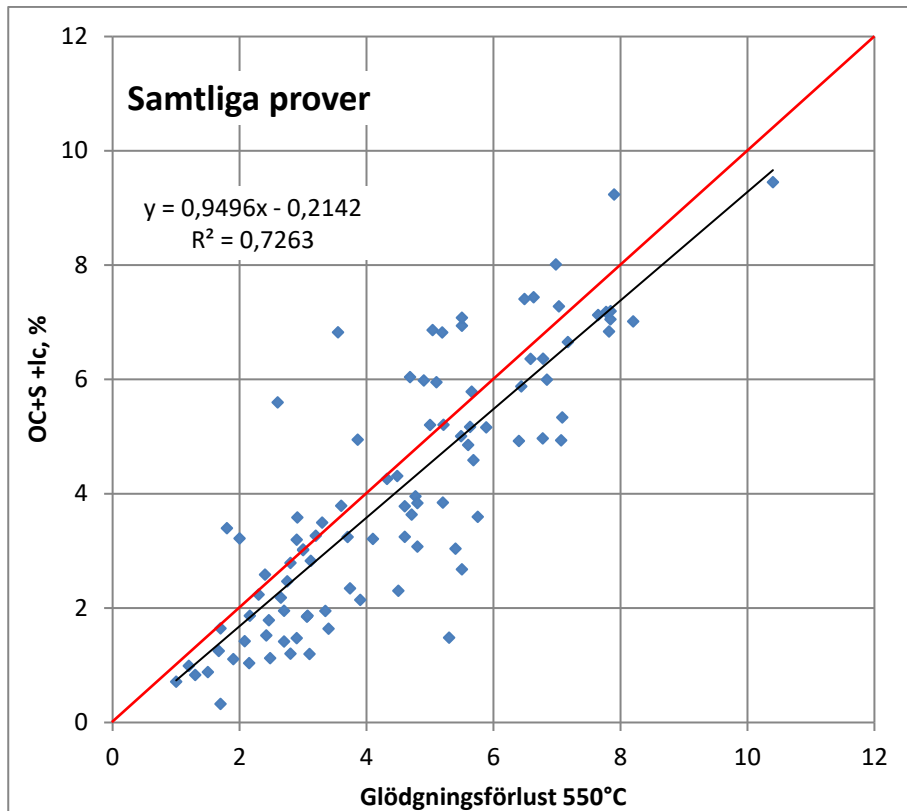
Glödgning i 950 °C skall enligt svensk standard utföras från kall ugn till glödgning i minst 1 tim i 950 °C.

Analyserna visar att drygt 40 % av proverna innehåller karbonater till mer än 1 %. För ca 10 % av proven är dessutom karbonathalten över 5 %. För glödning i 550 °C krävs då ingen korrektion, men vid glödning i 950 °C är det nödvändigt då redan ett karbonatinnehåll på ca 1 % ger en glödgningsförlust på ca 0,5 %. Som framgår av Figur 12 har 90 % av proverna ett karbonatinnehåll på upp till 5 %.

5.1 GLÖDGNING I 550 °C

- Korrektion för lermineralinnehåll
 - Lermineralen utgör sannolikt endast 40 – 60 % (50 % i medeltal) av bestämd lerhalt
 - Kristallvattenavgången i aktuella lermineral är inte fullständig vid glödning i 550 °C, men av de vanligaste lermineralen avgår ca 5 % (kaolinit ca 4 %, illit ca 6 %, glimmer ca 1 % och svällande lermineral – små mängder normalt). Övriga mineral avger mindre.
 - Korrektionen bör därmed vara endast maximalt ca 3,1 % av lerhalten såsom redovisats i 4.4.3
- Korrektion för svavel
 - Svavel från FeS avgår till i princip 100 %. Det organiska svavlet utgör en mycket liten andel som kan försummas.
 - Ur geoteknisk synpunkt: krypning, sättningar mm redovisas i SGF:s Laboratieanvisningar del 3 – Jords uppbyggnad: ”järnsulfiden (FeS) i amorf form behöver inte särskiljas från det organiska innehållet då de har ungefär samma inverkan på de geotekniska egenskaperna”.
 - Innehållet av FeS₂ ”rostas” till järnoxider och svaveloxider vid tillgång till syre och i en temperatur över ca 650 °C.
 - Ur geoteknisk synvinkel är det sannolikt inte nödvändigt att få klarhet i mängden S i FeS₂ då den inte ger upphov till geotekniska problem.
 - Ur korrosionssynpunkt är däremot allt svavel som kan oxidera och ge korrosionsproblem på betong och stålkonstruktioner av intresse.
- Korrektion för karbonater
 - CaCO₃ bränns till CaO (bränd kalk) och CO₂ vid temperatur mellan ca 600 °C och 650 °C. Korrektion för karbonat behövs således inte.

Ovan har effekterna av olika korrektioner redovisats separat. För samtliga prover kan dessa sammanfattas i Figur 21. Ett uppenbart felaktigt resultat har tagits bort. Nedan redovisas de komponenter som glödgningsförlusten består av, det organiska innehållet samt svavel (ur FeS) och det avgående kristallvattnet i lerinnehållet, enligt uppskattning i Tabell 5. Med hänsyn till de i tidigare avsnitt redovisade osäkerheterna i analyser är spridningen i data förväntad och resultaten kan därför inte förväntas bli bättre.



Figur 21 Glödgningsförlust vs summa organiskt innehåll + Svavel + lerkorrektion (3,1 %)

5.2 GLÖDGNING I 950° C

- Korrektion för lermineralinnehåll
 - Lermineralen utgör sannolikt endast 40 – 60 % av bestämd lerhalt
 - Korrektionen bör därmed vara ca 5,5 % gånger lerhalten, Tabell 5.
 - Undersökningen har dock påvisat alltför höga korrektioner, vilket ger orimliga värden, oklart varför då även denna undersökning kommer fram till en korrektion på 5,5 %, dvs ett medelvärde av SGF:s respektive SGI:s rekommendation. Enligt SGI skall en reduktion på 0,75 %-enheter göras redan för lerhalter på 0 %.

- Korrektion för karbonater
 - Idag bestäms karbonatinnehållet enklast med kolanalysator av LECO-modell. Om detta görs får man även en analys av det organiska kolet och därmed det organiska innehållet.

5.3 ÖVRIGT

- Vid höga temperaturer föreligger även en viss risk för att vissa mineral påverkas med okänd glödgningsförlust.
- Ett problem med att övergå till bestämning i 550 °C är hur man kopplar resultaten till geotekniska och miljötekniska frågeställningar. De nuvarande gränserna för benämning, 2, 6 och 20 % organiskt innehåll bygger på den ”ursprungliga” bestämningsmetoden, glödning i 800 °C, dock med korrektion för lerinnehåll, l_c , $(0,05 \times l_c)$ samt korrektion för karbonatinnehållet vilket redan vid halter på 1 % ger upphov till fel i glödgningsförlust på ca 0,5 %-enheter. Samtidigt anges att man inte behöver särskilja glödgningsförlust på organiskt innehåll från den från amorf järnsulfid FeS då den har i princip samma effekt på jordens geotekniska egenskaper.
- Idag har gränserna 2, 6 och 20 % antagits som en internationell standard, SS-EN ISO 14688. Här måste utgångspunkten i denna rapport vara att denna standard är väl underbyggd och att dessa gränser är rimliga. Det innebär därmed att resultaten i denna rapport bör vara att rekommendera den metod som närmast svarar upp mot en så bra bestämning av organiskt innehåll som möjligt, framför allt vid gränserna 2 och 6 %.

Såsom redovisats i tidigare avsnitt blir redan korrektion för lerhalten i många fall större än hela det organiska innehållet med de idag använda korrektionsfaktorerna. Vid glödning över ca 650 °C avgår dessutom en okänd mängd koldioxid vid förbränningen av karbonater. För att korrigera för detta krävs bestämning av andelen ickeorganiskt kol, TIC, (alternativt kalcium) vilket enklast utförs genom en LECO-analys där man även får information av andelen organiskt kol, TOC. Det finns således inte någon anledning att överhuvudtaget genomföra en glödgningsförlustbestämning i 950 °C, för att därefter korrigera för karbonatinnehållet.

Kapitel 6

Slutsatser och rekommendationer

6.1 SLUTSATSER

- Kemisk analys av typen LECO, ger mängden organiskt kol (och därmed det organiska innehållet) samt icke organiskt kol i huvudsak karbonater.
- Glödning i 550 °C ger summa organiskt material + svavel (S ur FeS). Korrektur för lerinnehåll, 3,1 % av I_c förordas.
- Glödning i 950 °C rekommenderas inte då korrektur för karbonatinnehåll är nödvändig i sådana fall. Detta då analyser med LECO-metoden bestäms samtidigt det organiska innehållet enligt $TOC \times 1,72$.
- Nuvarande standard bör ses över.

6.2 REKOMMENDATIONER

- En kompletterande undersökning av nödvändig tid för glödning i 550 °C bör genomföras. I litteraturen hänvisas till att det kan krävas flera timmar för att uppnå fullständig förbränning av det organiska materialet. Dessa undersökningar är dock gjorda i lägre temperatur. Skempton & Petley¹¹ anger att det krävdes 3 timmar i 550 °C i deras undersökningar.
- Kommentaren i "SGF:S Laboratieanvisningar del 3" att ur geoteknisk synpunkt kan glödförlusten från FeS likställas med organiskt innehåll på något sätt verifieras om "glödgningsförlusten" används som ett mått i någon empirisk beräkning av exempelvis sättningar/krypegenskaper.
- I vägbyggnadssammanhang gäller maximalt 2 % organiskt innehåll. Även ur denna synvinkel bör slutsatserna avseende svavelinnehållet undersökas.

Bilaga A.

Rådata

Benämning	Glödning 550 °C	Glödning 950 °C	Lerhalt %	Svavel %	Kalcium %	TC %	TOC %	TIC %
sasiCl	4,9	8,3	19	1,18	0,5	2,73	2,45	0,28
siCl	6,6	10,1	22,5	1,46	0,6	3,31	3,07	0,24
siCl	4,8	8,2	20	1,1	0,7	1,41	1,30	0,11
sasiCl	7,0	10,6	24,5	1,49	0,5	3,52	3,35	0,17
sasiCl	7,0	10,9	15,5	1,45	0,5	3,25	3,11	0,14
saClSi	5,2	9,0	13,5	1,21	0,4	3,15	3,02	0,13
siSuCl	6,8	8,1	28	0,19		2,30	2,27	0,03
siSuCl	6,5	9,1	32	1,67		2,83	2,76	0,07
siSuCl	7,8	10,8	36	1,31		2,75	2,69	0,06
siSuCl	7,8	11,0	37	1,27		2,87	2,77	0,10
siSuCl	7,6	10,5	40	1,21		2,86	2,72	0,14
siSuCl	5,2	7,4	40	0,97		2,01	1,74	0,27
siSuCl	5,7	8,2	40	1,14		2,06	1,98	0,08
siSuCl	4,7	7,3	40	1,93		1,73	1,67	0,06
siSuCl	4,5	5,9	35	0,64		1,53	1,50	0,03
siSuCl	3,7	4,6	25	0,04		1,11	0,89	0,22
siSuCl	5,9	7,6	25	1,12		1,92	1,90	0,02
siSuCl	5,7	6,9	30	0,5		1,87	1,84	0,03
siSuCl	6,8	8,4	29	1,11		2,56	2,53	0,03

Benämning	Glödning	Glödning	Lerhalt	Svavel	Kalcium	TC	TOC	TIC
	550 °C	950 °C						
siSuCl	6,4	8,4	29	1,21		2,23	2,19	0,04
siSuCl	6,8	8,4	29	0,83		2,50	2,48	0,02
siSuCl	7,8	9,9	25	1,38		2,95	2,93	0,02
siSuCl	5,6	7,1	25	0,95		1,85	1,82	0,03
siSuCl	7,1	8,7	30	0,83		1,88	1,85	0,03
siSuCl	5,5	7,0	29	0,96		1,86	1,83	0,03
siSuCl	7,1	9,0	29	0,96		2,07	2,02	0,05
siSuCl	7,2	9,4	29	1,59		2,46	2,42	0,04
siSuCl	6,6	9,2	25	1,63		2,35	2,30	0,05
siSuCl	7,8	10,6	26	1,40		2,77	2,69	0,08
siSuCl	4,3	5,8	33	0,5		1,65	1,59	0,06
(su)siCl	3,7	4,9	20,7	0,31	0,03	1,35	1,33	0,03
sisuCl	3,6	5,0	26,8	0,53	0,04	1,43	1,41	0,02
siSuCl	1,7	2,6	25	0,06	0,03	0,47	0,47	0,00
Mg:hu(gr)saClpr	3,9	5,6	26,5	0,02	1,95	1,09	0,76	0,33
Mg:hu(gr)saClpr	4,5	5,9	24,6	0,01	0,97	1,07	0,89	0,18
Mg:husaclGr	1,2	1,8	5,9	0,05	0,56	0,30	0,17	0,13
Mg:hugrsaclSi	2,7	4,2	13,8	0,01	1,64	0,91	0,57	0,34
Mg:hugrsaclSi	2,9	4,7	18,8	0,01	1,85	0,94	0,51	0,42
Mg:hugrsaclSi	2,8	4,8	15,5	0,01	1,87	0,81	0,41	0,40
Mg:husasiCl	3,4	5,2	24,9	0,01	1,73	0,95	0,50	0,46
Mg:husaSipr	2,7	3,1	1,5	0,01	0,22	1,12	1,10	0,02
Mg:hugrsiSa	4,8	5,2	1,9	0,03	0,29	2,20	2,18	0,02
Mg:husaSi	5,2	5,6	0,5	0,03	0,17	2,22	2,21	0,02
Mg:husiSapr	2,3	2,6	0,5	0,02	0,18	1,28	1,28	0,01
Cldcsi	9,4	9,9	35	0,01	0,14	1,57	1,55	0,03

Benämning	Glödgnig	Glödgnig	Lerhalt	Svavel	Kalcium	TC	TOC	TIC
	550 °C	950 °C						
clSa	3,0	3,1	20	0,005	0,06	1,43	1,39	0,04
siClTi	3,1	4,2	19	0,005	0,08	0,37	0,35	0,02
husiClTi	5,3	5,4	15	0,006	0,09	0,60	0,59	0,01
elsaTi	1,3	5,0	8,1	0,07	2,92	1,57	0,30	1,25
elsaTi	1,7	3,8	7,8	0,07	3,24	1,31	0,01	1,30
elsaTi	1,0	8,8	7,8	0,05	7,78	3,50	0,25	3,18
clGy (Cl)	5,5	14,4	71,8	0,13	1,70	1,08	0,19	0,62
sasiClTi	1,5	5,9	15,4	0,10	5,36	2,82	0,18	2,40
Cl su	2,4	3,6	57	0,07	0,36	0,43	0,43	0,00
vCl(<u>si</u>)	3,2	4,3	81	0,11	0,50	0,39	0,38	0,02
(gy)siCl(su)	3,0	4,4	71	0,12	0,34	0,41	0,41	0,00
vCl (<u>si</u>)	2,9	4,0	77	0,04	0,49	0,47	0,45	0,02
(gy)siCl (su)	5,5	7,0	62	1,32	0,49	2,20	2,15	0,05
vCl (<u>si</u>)	2,8	3,8	56	0,15	0,44	0,60	0,53	0,07
gyCl(pr)(su)	1,8	3,8	71	0,09	0,88	0,82	0,64	0,18
Cl su	2,6	5,2	59	0,18	2,29	2,77	2,09	0,68
vCl (<u>si</u>)	2,0	4,1	45	0,22	2,17	1,48	0,93	0,55
suCl	5,0	6,6	44,3	0,87	0,71	1,78	1,72	0,06
gysiCl	10,4	12,9	20,5	2,04	0,56	3,95	3,94	0,02
suCl	4,6	5,7	52,2	0,31	0,88	1,29	1,08	0,21
Clde	4,8	5,9	72,5	0,01	1,20	0,79	0,47	0,32
Cl(dc)	5,4	6,1	73,4	0,01	0,79	0,47	0,44	0,03
Clde	4,6	5,3	62,9	0,01	0,76	0,77	0,75	0,02
Cl(dc)	3,3	3,7	47,6	0,76	0,30	0,74	0,73	0,01
husaCl pr	7,9	8,4	35,9	0,04	0,63	4,73	4,70	0,03
husasiCl pr	6,4	6,8	19,2	0,03	0,36	2,51	2,50	0,01

Benämning	Glödgnig	Glödgnig	Lerhalt	Svavel	Kalcium	TC	TOC	TIC
	550 °C	950 °C						
hu(fsa)siCl(dc)pr	4,1	4,5	24,2	0,02	0,44	1,43	1,42	0,01
(si)Cl(sh)/vass	2,5	3,2	14	0,21	0,60	0,34	0,28	0,06
(si)Cl (sh)	2,1	3,0	24	0,21	0,52	0,31	0,27	0,04
siCl vass?	2,2	3,3	14	0,27	0,85	0,32	0,20	0,13
(gy)siCl	2,4	3,4	28	0,25	1,51	0,52	0,24	0,29
(gy)siCl (su)	1,9	3,1	27,5	0,09	0,78	0,20	0,10	0,10
(gy)siCl (su)	1,7	2,9	29	0,13	0,80	0,24	0,13	0,10
gyCl (<u>si</u>)	3,9	8,5	50	0,97	2,93	2,26	1,41	0,99
gyCl (sa)	2,9	4,5	50	0,69	1,25	1,13	0,78	0,39
Cl	5,0	6,5	60	0,39	0,69	2,73	2,53	0,20
Cl	5,6	10,0	60	0,90	3,74	2,58	1,40	1,29
clGy vx	5,5	7,7	70	1,16	0,86	2,39	2,18	0,21
clGy vx	5,1	7,6	70	0,93	2,06	2,30	1,66	0,64
siClGy	5,2	6,4	70	0,65	0,62	2,56	2,44	0,12
Mg:[husaSi vx]	-	6,5	0	0,03	0,17	3,93	3,89	0,04
Svbr(rost) clSide	5,8	6,3	20	0,02	0,14	1,73	1,72	0,01
Mg:[grhusasiCl]	2,2	2,5	20	0,01	0,23	0,72	0,72	0,01
husaSi, vx	4,7	5,1	0	0,03	0,11	2,13	2,10	0,02
Mg:[husasiCl vx]	3,6	4,1	20	0,01	0,16	3,66	3,64	0,02
vCl	3,1	4,9	38	0,09	1,38	0,61	0,34	0,28
vCl	2,5	4,5	42	0,03	1,51	0,53	0,26	0,27
vCl	2,8	5,8	65	0,02	2,41	0,86	0,25	0,60
vCl	3,1	5,6	42	0,02	2,01	0,74	0,32	0,43
vCl	2,7	5,9	45	0,02	2,78	1,04	0,45	0,64
vCl	3,1	6,2	70	0,02	2,15	0,89	0,37	0,52
vCl	3,4	6,3	42	0,02	2,07	0,82	0,37	0,47

SGF Rapport/Report

- 1:93 Rekommenderad standard för CPT-sondering.
- 1:93E Recommended Standard for Cone Penetration Tests.
- 2:93 Rekommenderad standard för vingförsök i fält.
- 2:93E Recommended Standard for Field Vane Shear Test.
- 1:95 Rekommenderad standard för dilatometerförsök.
- 1:95E Recommended Standard for Dilatometer Tests.
- 2:95 Några pionjärprofiler i svensk geoteknik. SJ Geotekniska Kommission 1914–1922.
- 3:95 Proceedings of the International Symposium on Cone Penetration Testing, CPT'95.
- 4:95 Kalk- och kalkcementpelare. Vägledning för projektering, utförande och kontroll.
- 4:95E Lime and Lime Cement Columns. Guide for Project Planning, Construction and Inspection.
- 1:96 Geoteknisk fälthandbok. Allmänna råd och metodbeskrivningar.
- 1:99 Tätskikt i mark. Vägledning för beställare, projektörer och entreprenörer.
- 2:99 Metodbeskrivning för Jord-bergsondering.
- 3:99 Metodbeskrivning för Viktsondering.
- 1:2000 Geotekniken i Sverige 1920–1945.
- 2:2000 Kalk- och kalkcementpelare. Vägledning för projektering, utförande och kontroll.
- 1:2001 Fälthandbok – Miljötekniska markundersökningar (ersätts av 1:2004).
- 1:2003 Att bygga med avfall. Miljörättsliga möjligheter och begränsningar för återvinning av avfall i anläggningsändamål
- 1:2004 Fälthandbok – Miljötekniska markundersökningar.
- 2:2004 Armerad jord och fyllning – Nordisk vägledning.
- 3:2004 NGM 2004 – XIV Nordic Geotechnical Meeting. May 19th – 21th 2004.
- 1:2006 Metodbeskrivning för Jb-totalsondering
- 2:2006 Metodbeskrivning för installation av inklinometerrör
- 1:2008 Användning av restprodukter inom EU
- 1:2009 Metodbeskrivning för provtagare med standardkolvprovtagare. - Ostörd provtagning i finkornig jord
- 2:2009 Åtgärds mål vid in-situsanering. Formulering och kontroll av åtgärds mål.
- 1:2010 Förorenade byggnader. Provtagning och riskbedömning.
- 1:2011 Stimulerad reduktiv deklorering. En praktisk handledning
- 2:2011 Klorerade lösningsmedel i mark och grundvatten – Att tänka på inför provtagning och upphandling
- 3:2011 Hantering och analys av prover från förorenade områden - Osäkerheter och felkällor
- 1:2012 EYGEC 2012 - Setting the scene for future European geotechnical research
- 2:2012 Triaxialförsök – en vägledning
- 3:2012 SGF:s dataformat
- 4:2012 Metodbeskrivning för jord- bergsondering
- 1:2013 Fälthandbok – Geoteknik
- 1:2014 Riskhantering 1
- 1:2014E Risk Management methodology

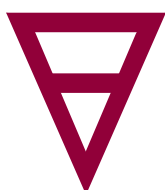
2:2014 Riskidentifiering 2
1:2016 Jordarternas indelning och benämning
2:2016 Akustisk JB Sondering
2:2016 Akustisk JB Sondering - Bilagor
1:2017 Metodik för bestämning av cu
2:2017 Fältgeoteknik Mät- och ersättningsregler
3:2017 Dynamiska miljöundersökningar
1:2019 Kvalitetskontroller för provtagning
1:2020 Riskstruktureringsverktyg (RBS) - Stöd vid identifiering av risker i geoprojekt

Svenska Geotekniska Föreningen (SGF) bildades 1950 och består av drygt 1900 enskilda medlemmar, med minst två års praktisk erfarenhet av geoteknik. Dessutom ingår ca 30 korporativa medlemmar i form av institutioner, högskolor, myndigheter, konsult- och entreprenadföretag samt tillverkare inom det geotekniska området.

SGF har till ändamål att främja utvecklingen inom geoteknik med grundläggning och miljöteknik i ett nationellt och internationellt perspektiv.

Föreningen företräder i Sverige den internationella föreningen, the International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE).

I SGF:s Rapport- och Notatserie utges föreningens metodbeskrivningar, monografier och dokumentation från konferenser, temadagar m.m.



Svenska Geotekniska Föreningen
Swedish Geotechnical Society

c/o Ermax Design AB, Sveaborgsvägen 16, 439 73 FJÄRAS Tel: 0708-137773

Internet: www.sgf.net E-post: info@sgf.net