

Banbrytare inom svensk geoteknik

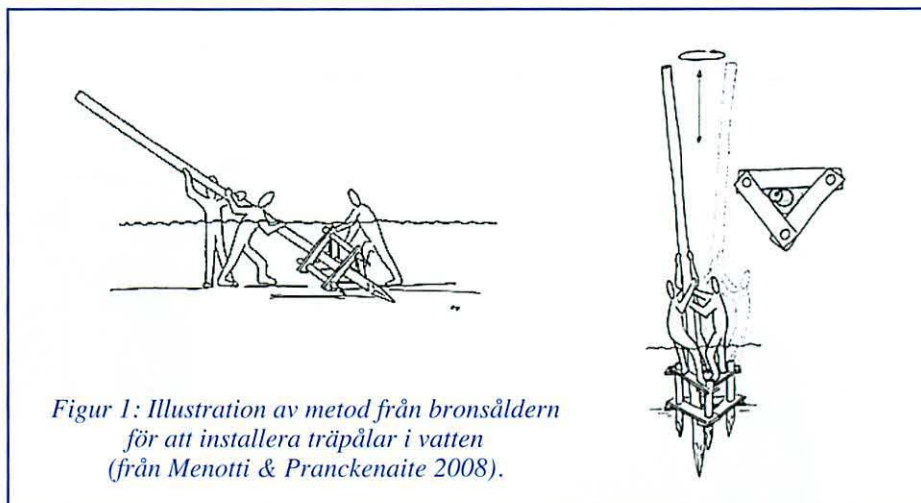
Många geotekniker, särskilt i den yngre generationen, är inte medvetna om att svenska ingenjörer och vetenskapsmän har haft stor betydelse för utvecklingen inom geoteknikområdet. Ett flertal undersöknings-, grundläggnings- och grundförstärkningsmetoder vilka i dag används i hela världen har sitt ursprung i Sverige. Orsaken till detta kan ha varit de svåra och varierande geologiska förutsättningarna längs landets kustområden, där många tidiga bosättningar uppstod, samt behovet att skapa en fungerande infrastruktur. Syftet med föreliggande artikel är att beskriva den tidiga utvecklingen inom geologin och den militära och civila anläggningstekniken som lade grunden till den moderna geotekniken.

Vikingaperioden (790 – 1100 e. Kr.)

Vikingarna valde sina bosättningar och handelsplatser längs stränder och byggde sina hus och byar på ogästvänliga platser, till exempel längs älvar, sjöar, stränder och flodmynningar. Dessa platser erbjöd effektiva, lättförsvarade boplatser men krävde välutvecklad anläggningsteknik. För att kunna bygga vägar över lösa lerområden användes "jordarmering" för separation av fyllnadsmassor och underliggande lösa jordlager – föregångare till modern jordarmering med geotextiler.



Artikelförfattare är
K. Rainer Massarsch, Geo Risk & Vibration Scandinavia AB, Solna, **Bengt H. Fellenius**, Kanada, och **Anders Bodare**, Geo Risk & Vibration Scandinavia AB, Solna.



Figur 1: Illustration av metod från bronsåldern för att installera träpålar i vatten (från Menotti & Pranckenaite 2008).

Grundförstärkning genom pålning var vanlig. Menotti & Pranckenaite (2008) beskriver en nu bortglömd teknik för installation av träpålar i mjuka sediment som illustreras i figur 1. Ett pålskaft trycktes ner under samtidig rotationsrörelse, vilket skapade ett utrymme runt pålen. Den minskade mantelfriktionen möjliggjorde djupare nedträngning av pålen. Utrymmet fylldes och packades sedan med sand och grus för att ge horisontell stabilitet och ökad bärkraft åt pålen.

De arkeologiska utgrävningarna vid Birka som grundades omkring 790 har visat att vikingarna kunde bygga en sofistikerad hamn. Under utgrävningarna påträffades flera hundra träpålar drivna i vatten, utformade som en vågbarriär i en halvcirkel. Hamnen erbjöd skydd vid an-

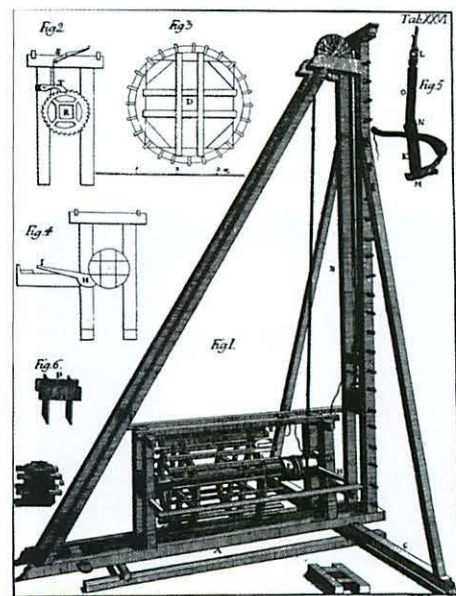
fall ifrån sjön. Pålarna användes också som grundkonstruktion för tunga kajer. En av de bäst bevarade bosättningarna från vikingatiden har nyligen upptäckts i County Louth på Irland. Arkeologer tror att hamnen byggdes omkring år 841, samma år som staden Dublin grundades. Av utgrävningarna framgår ett imponerande anläggningsarbete, som omfattade en konstgjord ö byggd för att erbjuda skydd mot attacker från Irlands urinvånare.

Tidiga ingenjörssatser (1600 – 1900)

Christopher Polhem (1661 – 1751) var en enastående vetenskapsman och ingenjör. Efter studier i matematik och mekanik vid Uppsala universitet startade han 1697 den första "Ingenjörsskolan" i Sverige.



Figur 2: Christoffer Polhem 1741 – konstruerade och lät tillverka en pålslagmaskin för byggandet av slussen i Stockholm.



Känd för sina många uppfinningar, utsågs han av *Karl XI* till "Direktör för Bergmekanik" med ansvar för driften av flera viktiga gruvor. Polhem lät projektera och bygga slussar längs Göta älv men också många gruvdammar. Han introducerade revolutionerande tekniska lösningar och ansvarade för många byggprojekt i Sverige och utomlands. Han utvecklade till exempel en pålkran för att installera lutande pålar, som beskrivs i Svenska ingenjörskademiens handlingar från 1753 (han var medlem av Akademien sedan dess bildande 1739). Pålningsmetoderna tillämpade han vid grundförstärkningen av Stockholms hamn.

Urban Hjärne (1641 – 1724) anses vara en av de stora vetenskapliga begåvningarna i stormaktstidens Sverige. Han



Figur 3: Urban Hjärne.

forskade i svenska naturprodukter och naturfenomen, var Vice President i Bergskollegium och invald i Royal Society, London. Av geotekniskt intresse är hans sammanställning av jordbävningar och "jordraskatastrofer" i Sverige, där han beskrev ett antal svenska jordskred och bergras (man skiljde vid denna tid inte mellan jordbävningar, jordskred och bergras). Sammanställningen omfattande fjorton händelser från tio platser under perioden 1661 till 1703 och lade grunden till intresset för de geologiska och geofysiska vetenskaperna i Sverige.

Baltzar von Platen (1766 – 1829) ansvarade för byggandet av flera kanaler i



Figur 4: Baltzar von Platen och (t.h.) en vy av Göta Kanal omkring 1840.

Sverige. Han anses vara "Göta Kanals fader", den 195 km långa förbindelsen mellan Östersjön och Nordsjön. Arbetet med kanalen börjades 1810. I samarbete med den brittiska ingenjören *Telford*, utformade och övervakade von Platen byggandet, som omfattade 58 slussar, stora schakter (mer än två miljoner kubikmeter), några på platser med mycket svåra markförhållanden (mjuk, skredbenägen lera). Den östra delen av kanalen stod färdig år 1822 och den västra delen 1832.

Alfred Nobel (1833 – 1896), son till *Immanuel Nobel*, självlärd byggmästare och uppfinnare från Gävle, utförde tillsammans med sin far och en av sina tre bröder experiment för att utveckla nitroglycerin som ett kommersiellt och tekniskt användbart sprängmedel. Han upptäckte att en blandning av nitroglycerinvätska med kisel-dioxid omvandlade vätskan till gelé som kunde tillverkas i stavar i en storlek och form lämpade för placering i borrhål. År 1867 patenterade han detta ämne under namnet "dynamit". För att kunna tända dynamiten uppfann han en tändkapsel, vilket möjliggjorde kontrollerad sprängning. Nobels uppfinningar gjordes samtidigt som diamanthackkronan och tryck-lufthammaren kom till allmän användning. Tillsammans förändrade dessa uppfinningar drastiskt kostnaden för bergsprängning, och öppnade nya, kostnadseffektiva lösningar för att bygga tunnlar, djupa schakter och kanaler i berg. Utan dem hade det varit svårt att utveckla gruvindustrin samt att utföra stora anläggningsprojekt, till exempel de omfattande sprängningsarbeten längs Söders sluttning i Stockholm. Genom Alfred Nobels arbetsinsatser kunde gruvdrift, järnvägens utbyggnad och andra anläggningsprojekt, inte minst dammkonstruk-



Figur 5: Alfred Nobel.

tioner, utföras säkrare, effektivare och billigare. Det är därför anmärkningsvärt att Nobelpriserna inte utdelas för framstående ingenjörinsatser!

Albert Atterberg (1846 – 1916) var en ledande kemist och jordbruksforskare. Han genomförde betydelsefulla studier om jordars mineralogiska sammansättning och införde den nu allmänt accepterade partikelstorleksindelningen: 0,002, 0,02, 0,2, 2, 20, 200 mm och 0,006, 0,06, 0,6, 6, 60 och 600 mm. Atterberg undersökte också flockulering av olika jordfraktioner vid sedimentering. Han föreslog enkla tester för att kunna skilja mellan mycket plastisk jord (lera) och något plastisk jord (silt) samt icke-plastiska jordar och klassificerade leror enligt deras konsistens utgående från vattenkvoten (och introducerade konsistensgränserna: plasticitetsindex, plasticitetsgräns och flytgräns). *Terzaghi* accepterade konsistensgränserna som Atterberg föreslagit och de ingår i *Terzaghis* banbrytande bok "Erdbaumechanik" publicerad 1925. Atterbergs jordklassificeringssystem används fortfarande över hela världen. Atterberg studerade också jordars permeabilitet och kapillaritet och bidrog till den grundläggande förståelsen av frostmekanismen i olika jordar.

Gerard De Geer (1858 – 1943) gav betydande bidrag till kvartärgeologins utveckling och studerade i synnerhet senkvartära avlagringar och deras betydelse för landskapsformerna i södra Sverige. År 1897 utnämndes De Geer till professor i geologi vid Stockholms universitet, där han senare blev dess rektor (1902 till 1910). Hans tidiga studier av landhöjningen används för att rekonstruera glacio-isostatiska förändringar av havsnivån. Genom kartläggning av glaciala moräners



Figur 6: Albert Mauritz Atterberg.





Figur 7: Gerard De Geer cirka år 1900 och vid provtagning av varvig lera i New England 1920.

bildningssätt kunde han bestämma utsträckningen av den senaste inlandsisen och betydelsen av dess avisning för landformationer. De Geer etablerade kvartärgeologin som en viktig del av den framväxande geoteknologin. Han upptäckte likheter mellan utseendet av skiktade sediment i glaciala sjöar i samband med avisningen och trädens årsringar. Han kallade dessa årliga sedimentära lager "varv", ett svenskt ord som nu har vunnit internationell status ("varved clay"). De Geer upptäckte möjligheten att med hjälp av dessa varv kunna upprätta en årlig kronologisk förteckning över tidigare klimatförhållanden och miljömässiga förändringar. Hans arbete banade väg för användningen av modern geokronologi. De Geer var den Geotekniska Kommissionens första ordförande.

Geotekniska Kommissionen (1914 – 1922)

En viktig utveckling av svensk geoteknisk ingenjörskonst ägde rum när en kommission bestående av geologer och tekniker utsågs av Statens Järnvägar med målet att undersöka orsaken till ett antal jordskred som nyligen hade inträffat. Kommittén benämndes "Statens Järnvägars Geotekniska Kommission" och arbetade mellan 1914 och 1922. Slutrapporten, vari termen "geoteknik" användes för

första gången, kan betraktas som en milstolpe i den moderna geoteknikens historia. Kommissionen inrättade ett permanent geotekniskt laboratorium som var det första av sitt slag i världen. Kommissionens ordförande var först professor Gerard De Geer och sedan professor Wolmar Fellenius. Kommissionens sekreterare var John Olsson.

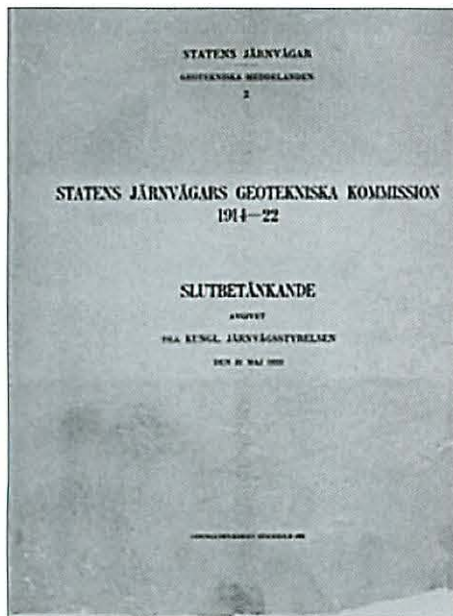
Betänkandet kännetecknas av ett effektivt kvantitativt jordklassificeringssystem och dess breda tillämpning av fält- och laboratorieundersökningar samt användningen av förbättrade metoder för provtagning och hållfasthetsbestämning. Viktsonderingsmetoden, som fortfarande är i allmänt bruk, blev ett effektivt verktyg för att undersöka jordlagerföljder och fasthetsvariationer. Figur 8 visar utförandet av viktsondering i enlighet med Geotekniska Kommissionens anvisningar; notera att ingenjören (mannen med hatt till höger) vidrör toppen av sondstången för att upptäcka stångvibrationer när sondspetsen går från mjuk lera ned i ett underliggande sandlager. Denna information ansågs redan då vara viktigt för att bedöma dräneringstiden vid belastning av en järnvägsbank.

Den Geotekniska Kommissionen undersökte mer än 300 ras av järnvägsbankar och deras grundläggningsförhållanden och införde nya fält- och laboratoriemetoder. Kommissionen utarbetade nya geotekniska analysmetoder som byggde på systematiska och standardiserade undersökningsförfaranden. I slutrapporten redovisas banbrytande nytänkande men också konkreta åtgärdsförslag hur stabilitetsfrågor skulle kunna bemästras. Kommittén påkallar särskild uppmärksamhet på det faktum att det i flera fall inte ännu är möjligt att exakt fastställa förutsättningarna för kraftjämnvikt på svag undergrund. I det svenska slutordet framhålls:

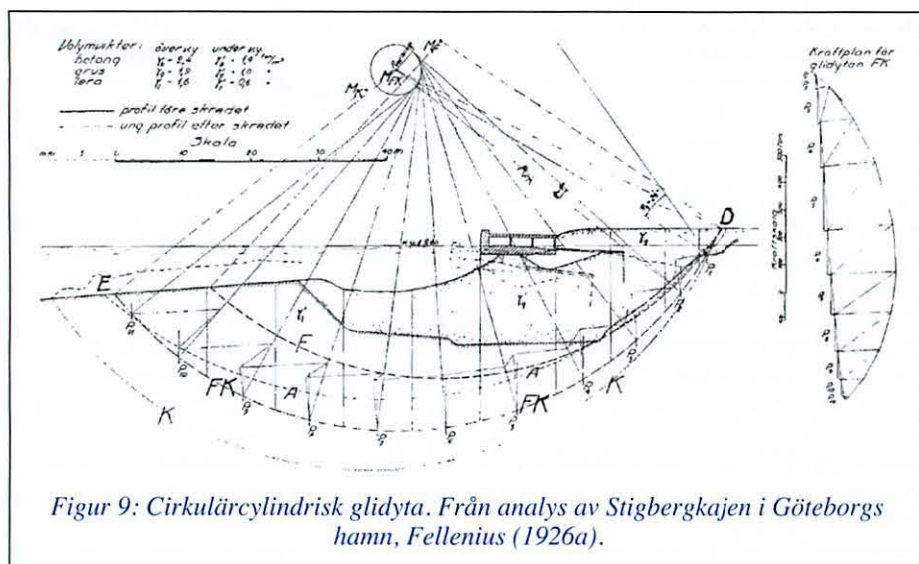
"Ur rent ekonomisk synpunkt är det lätt att påvisa, att uppställandet av fordran på "absolut" trygghet icke är hållbar. – En överslagsberäkning visar, att dessa skred kostat Statsverket i runt tal 2 miljoner kronor. Fördelas denna summa jämt över den ifrågavarande 10-årsperioden, motsvarar densamma 200 000 kronor per år, vilket belopp efter räntefot av 5 % utgör årlig ränta å 4 miljoner kronor. Det inses utan vidare, att ett förhållandevis så ringa kapital icke på långt när skulle täcka de kostnader, som vore förenade med ett "absolut" säkerställande av hela statsbanenätet. – För sådana platser där ett fullständigt stabiliserande av banan skulle ställa sig orimligt dyrbart, och där man sålunda icke med visshet kan trygga sig mot en markförskjutning, är det enligt kommissionens mening den riktiga vägen att lösa de vid markförhållandena bundna trafiksäkerhetsfrågorna den att söka urkoppla möjligheten för tågolyckor och därmed förbundna risker för människoliv. Detta kan ske genom införande av särskilda försiktighetsåtgärder i avseende å låg tågshastighet och bevakning. Effektivast i detta avseende torde vara de ovan beskrivna skredvarningssystem, vilka enligt kommissionens mening eliminera praktiskt taget varje risk för tågolycka av geoteknisk anledning och därför i många fall kunna ersätta en dyrbar ombyggnad eller förstärkning av banan. – Till sist vill kommissionen framhålla såsom ett önskemål, att snarast möjligt även andra statens verk, vilka omhänderhåva byggnadsfrågor av större utsträckning, inrätta dylika specialorgan för geotekniska utredningar. Härigenom skulle vinnas icke blott direkta fördelar för de ifrågavarande verken utan jämväl, att de olika geotekniska problemen inom landet bleve mera allsidigt belysta."

Svenska stabilitetsanalysmetoden. Två år efter Geotekniska Kommissionens bildande inträffade det nu klassiska skredet av Stigbergskajen i Göteborgs hamn, mars 1916, ett år efter dess konstruktion. Även här inrättades en särskild kommitté med uppgiften att undersöka orsakerna till skredet och att utfärda rekommendationer för dimensioneringen av en ny kajkonstruktion. Vid analysen av Stigbergsskredet användes en cirkulär cylindrisk glidyta, en metod som hade framtagits av **Sven Hultin** (1889 – 1952), professor vid Chalmers tekniska högskola och **Knut Pettersson**, ingenjör hos Göteborgs hamn. Den ursprungliga metoden var baserad på antagandet att lera kunde behandlas som ett material "utan kohesion". Vid beräkningen av kajens stabilitet erhöles en mycket låg friktionsvinkel (nio grader) för lera.

Wolmar Fellenius (1876 – 1957) var professor i vattenbyggnad vid Kungliga tekniska högskolan och forskade aktivt bland annat med bedömning av stabilitet

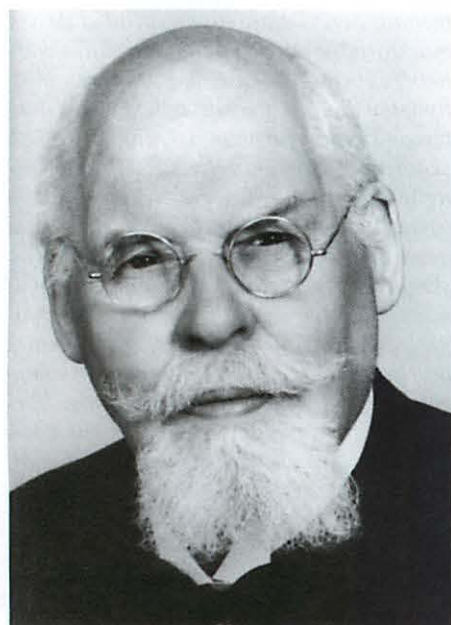


Figur 8: Geotekniska Kommissionens slutrapport (1922) och (th) en illustration av viktsonderingsmetoden.



exemplet på sådan) som användes 1919 vid byggandet av Lidingöbron. Syftet var att fastställa jordlagrens styvhet (deformationsmodulen) in situ för att kunna bedöma risken för knäckning i långa pålar. Två prov utfördes på samma djup med två blad av olika storlek (båda blad hade en höjd av 500 mm, och en bredd av 300 respektive 700 mm). Vid vridning av bladen fastställdes jordens motstånd, där modulen erhöles genom att subtrahera de båda värdena, Bjerrum & Flodin (1960). Omkring 1923 utvecklade John Olsson den första kolvprovtagaren, som han presenterade i en rapport för ICOLD-kongressen i Washington. Svenska viktsonderingsmetoden (figur 8) härrör från kommissionens rapport och är en vidareutveckling av den metod som användes av Wolmar Fellenius för Göteborgs hamn så tidigt som 1908. En manual för jordprovtagning publicerades i Meddelande 1 (Statens Järnvägar 1917) och blev tidigt en vägledning för fältundersökningar, hantering av jordprover, klassificering av jordar och presentation av fält- och laboratorierundersökningar.

Gunnar Beskow (1901 – 1991). På grund av de klimatförhållanden som råder i Sverige är det vid byggandet av vägar och järnvägar nödvändigt att beakta inverkan av frost i mark – tjälskjutning. Gunnar Beskow var först att påpeka betydelsen av sambandet mellan frost och kapillaritet för att kunna bedöma tjälning och upptningsmekanismer. År 1927, vid 26 års ålder, utvecklade han ett laboratorieprov för att snabbt kunna avgöra den kapillära stighöjden med hjälp av små mängder av ett jordprov. Detta försök visade sambandet mellan friktionsjordars kapillära stighöjd och kornstorlek. År 1949 blev Beskow professor i geologi vid Chalmers tekniska högskola. Hans arbeten om jordars kapillära stighöjd och tjälning blev internationellt uppmärksammade och anses fortfarande vara gällande. Det bör även nämnas att Beskow



Figur 10: Wolmar Fellenius.

av slänter och dammar. Han tilldelades hedersdoktorat från tyska universitet i Karlsruhe och Darmstadt.

Wolmar Fellenius utvidgade glidytemetoden för jordar med såväl friktion och kohesion. Han införde begreppet "säkerhetsfaktorer" för slänter som fortfarande används idag, Fellenius (1926a, 1926b). För att ange en slänts säkerhet tillämpade Fellenius förhållandet mellan tillgänglig hållfasthet och pådrivande krafter. Arbetet resulterade i utvecklingen av "den svenska glidytemetoden" ofta kallad "Fellenius metod", där den farligaste glidyten bestäms genom en kombinerad analytisk och grafisk metod (se figur 9). Metoden fick internationell uppmärksamhet efter det att två ledande geotekniker, Terzaghi och Taylor, började tillämpa den i praktiken. Fellenius publicerade mellan 1916 och 1927 flera artiklar om släntstabilitet varav den mest kända är "Erdstatistische Berechnungen" publicerad 1926 (som åberopar det tidiga arbetet med Petterson och Hultin) och "Calculation of the Stability of Earth Dams" som publicerades 1936 vid Second International Congress

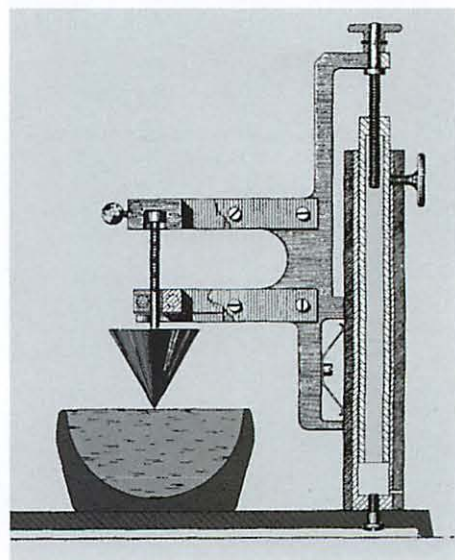
on Large Dams (ICOLD), Washington, DC. Flera av hans tidiga publikationer under tiden 1902 till 1910 utgjorde grunden för dimensioneringen av konstruktioner där armerad betong användes. Han var en av initiativtagarna till "International Society of Hydraulic Research", där han var ordförande från dess start, 1935, till andra världskrigets slut.

John Olsson (1880 – 1969) var sekreterare i Geotekniska Kommissionen och gjorde enastående insatser i dess arbete. När Statens Järnvägars Geotekniska Laboratorium bildades utsågs han till dess chef, där han tjänstgjorde fram till 1946. John Olsson blev "Fadern till svensk geoteknisk ingenjörsexpraxis".

Som sekreterare utvecklade John Olsson en apparat för en-axiella tryckförsök och uppfann hösten 1915 fallkonsmetoden för att bestämma lösa lerors fasthet. Han införde begreppet sensitivitet och undersökte skjuvhållfastheten i lera och hur den påverkas av omrörning och störningar. Fallkonsmetoden användes också för att bestämma "finleksgrad" i lerjord, som idag kallas "konflytgränsen". Dessutom skapade Olsson en vingborr (första



Figur 11: John Olsson som utvecklat konprovningssmetoden för bestämning av lerors skjuvhållfasthet och sensitivitet.





WWW.EMECA.FI

EMECA

WORLD'S FINEST
PILING COMPONENTS

under sin tid var en mycket uppskattad poet.

Statens Geotekniska Institut

Sedan starten år 1944 har Statens Geotekniska Institut (SGI) varit en viktig grund för svenska geotekniker som på ett väsentligt sätt bidragit till utvecklingen, provningen och tillämpningen av geotekniska undersöknings- och analysmetoder. SGI spelade och fortsätter att spela en viktig roll i den praktiska tillämpningen av geoteknisk forskning och utvecklingen av nya grundläggnings- och jordstabiliseringsmetoder. SGI blev också en internationell mötesplats för ledande geotekniker och forskare från olika länder. Flera av dem vistades länge vid SGI och har sedan spritt kunskap om svenskt geotekniskt kunnande i världen.

Walter Kjellman (1905 – 1955), student hos Terzaghi i Wien, utnämndes till chef för Kungliga Vägförvaltningens geotekniska avdelning vid dess början år 1936. Institutionen omorganiserades som Statens Geotekniska Institut år 1944. Vid den tidpunkten rådde betydande osäkerhet beträffande utvärderingen av lerors skjuvhållfasthet. Kjellman var bland de första att utveckla dränerade triaxial- och skjuvförsök för analys av slänter och schakter i lös lera. Han konstruerade en "sann triaxialapparat", ursprungligen avsedd för sand, där kubiska jordprover an-



Figur 12: Walter Kjellman och demonstration av dränstickaren 1945 i Upplands Väsby med Karl Terzaghi som deltagare.

vändes för att kunna variera huvudspänningarna oberoende av varandra. I början av 1940-talet uppfann han den första förtillverkade dränen, pappersdränen, figur 12. Den bestod av en tunn, 100 mm bred bandformad drän som tillverkades av kartong och innehöll vertikala dräneringskanaler. Han utvecklade även en maskin för installation av pappersdräner. Testbankar användes för att genom fullskaleförsök kunna bestämma konsolideringsförloppet. Kjellman utvecklade också förbelast-



ning av bankar genom vakuummetoden. Han, och de många ingenjörer som arbetade med honom på SGI, har bidragit avsevärt till den snabba utvecklingen och spridningen av svensk geotekniskt kunnande.

Kjellman upptäckte tidigt betydelsen av att geoteknisk dimensionering baseras på in-situ försök, och särskilt sonderingsmetoder. Han uppfann en genial anordning, "iskymetern", som bygger på paraplyprincipen (figur 13). Iskymetern består



www.peabgrundlaggning.se

MODERN GRUNDLÄGGARE MED MILJÖN I FOKUS.

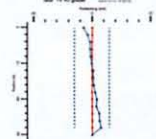
Peab Grundläggning erbjuder:

- Certifierade grundläggare
- Ljuddämpad hejare vid påslagning
- Totallösning, från konstruktion till metodval
- Egen tillverkning av CE-märkta betongpålar
- Alla metoder inom grundläggning, även Jetinjektering, över hela Sverige

PEAB
Peab Grundläggning

Samla in, bearbeta, analysera, kommunicera, larma och spara geoteknisk data för:

- Grundvattennivå
- pH-värde
- Temperatur
- Konduktivitet
- Turbiditet
- Flöde
- Portryck
- Inklination



AvaNet

Automatisk miljömätning via GPRS/Internet

AvaNet är öppet för alla mätinstrument oavsett tillverkare. Kontakta oss så berättar vi mer.
penttech.com

Penttech
Monitor with AvaNet®



Figur 13: En iskyrometer.

av två vingar som kan dras ihop för att bilda en sondspets som trycks ner i marken samtidigt som nedträngningsmotståndet mäts. Denna information ("sonderingsmotståndet") ger en bild av jordlagerföljden. När iskymetern har nått fullt undersökningsdjup fälls vingarna ut och uppdragningsmotståndet registreras kontinuerligt. Denna information blir ett mått på jordlagrens skjuvmotstånd. Iskymetern liknar kul- och balkpenetrometern som "uppfanns" av Randolph mer än femtio år senare, Randolph & Stewart (1994). Kjellman och många ingenjörer som arbetade med honom på SGI har bidragit till utvecklingen av svenskt geotekniskt kunnande. Nedan nämns några särskilt framstående geotekniker vid SGI.

Torsten Kallstenius (1910 – 1979) var chef för mekaniska avdelningen vid SGI, där han ansvarade för utveckling av geoteknisk utrustning. Han konstruerade 1947 första dränstickaren, som användas vid byggandet av Arlanda flygplats. Kallstenius utvecklade också olika typer av geoteknisk utrustning, till exempel en hydrauliska piezometer, sättningsmätare, SGI:s inklinometer och kolvborrprovtagare. Han var ordförande i Svenska Geotekniska Föreningens Sonderingskommitté och under hans ledning togs fram riktlinjer för den praktiska tillämpningen och tolkningen av olika sonderingsmetoder, inklusive iskymetern, Kallstenius (1961). Han blev internationellt känd för utveckling av SGI:s kolv- och folieprovtagare. År 1963 erkändes Kallstenius banbrytande arbete med en doktorsexamen.

Nils Flodin (1915 – 1991) började vid SGI som fältingenjör men utvecklade snart stort intresse för geoteknisk litteratur och särskilt svensk geoteknisk historia. Han var djupt involverad i framtagningen av det internationella klassificeringssystemet för geoteknisk litteratur som påbörjades år 1953. SGI:s bibliotek, med Nils Flodin som chef har idag blivit internationellt erkänt (SGI Line) och har en viktig funktion för marknadsföring av svenskt geotekniskt kunnande. Flodin var medförfattare till uppsatsen "A History of Civil Engineering in Soft Clay", Flodin & Broms (1981). Nils Flodins bestående insatser för Svenska Geotekniska Föreningen (SGF) och entusiastiska stöd för yngre



Figur 14: Nils Flodin.

geotekniker kan inte överskattas. Han var medlem i SGF sedan dess start år 1950 och fram till sin bortgång, dess sekreterare 1963 till 1981 och en ovärderlig länk i föreningens kontinuitet under flera decennier. Hans framstående roll inom SGF beskrivs kanske bäst av det faktum att han är den enda medlemmen av SGF som att har varit permanent medlem av dess styrelse. År 1978 valdes Flodin in som hedersmedlem i föreningen.

Oleg Wager (1915 – 1992) började sin verksamhet vid Statens Vägverk med Walter Kjellman som chef och följde med



Figur 15: Oleg Wager.

Kjellman till SGI vid dess start 1944. Han medverkade i många forsknings- och utvecklingsprojekt och ägnade alltid stort intresse åt lösningen av praktiska problem. Wager medverkade vid utvecklingen av innovativa mätsystem (till exempel olika sättningsmätare) och bidrog särskilt vid framtagningen av folieprovtagaren, som var specialutvecklad för upptagning av långa ostörda prover, Kjellman *et al* (1950). Han medverkade vid många av SGI:s omfattande fältförsök. I början av 1950-talet ledde han fältundersökningarna av Kjellmans metod för vakuumförbelastning. År 1970 vidareutvecklade han pappersdränen genom användningen av geotextilväv som filter och en central plastdrän. Hans uppfinning blev modell för den moderna "wick dränen". På 1970-talet uppfann Wager även en ny metod för armering av vägbankar med stålspons och geotextiler och genomförde omfattande fältförsök för att demonstrera dess praktiska användning. Holtz och Masarsch (1976) beskrev en tillämpning av Wagers jordarmeringsprincip för stabilisering av slänter i kombination med vertikala stödpålar, Holtz *et al* (1994).

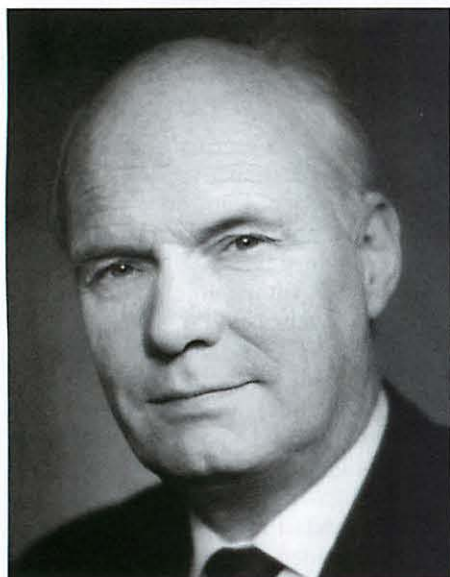
Lyman Cadling (1917 – 2010) fick sin mastersexamen från Harvard University under Arthur Casagrande och är mest känd för utvecklingen av den moderna vingborrmetoden. Den första vingborrustningen, upfunnen av John Olsson, var försedd med två blad. Lyman Cadling (som ändrade sitt namn från Carlsson) utvecklade systemet till fyra blad, som presenterades vid den andra internationella geoteknikkonferensen i Rotterdam, 1948. Två år senare presenterades en mer avancerad och praktiskt användbar utrustning, Cadling & Odenstad (1950). Den ursprungliga vingborrustningen, som användes endast i mycket lös lera, trycktes ned i jorden utan förbörning. Vingbladen utformades så tunna som möjligt för att minska störningen av jorden vid nedtryckningen. I den vidareutvecklade utrustningen var stängen omgiven av ett skyddsrör för att eliminera mantelfriktionens inverkan på vridmomentet. Från det uppmätta vridmoment och vingens geometri kunde finkorniga jordars skjuvhållfasthet beräknas.

Pålkommissionen

Pålkommissionen grundades år 1957, när Statens Järnvägars Geotekniska Avdelning stod inför stora utmaningar vid val av lämpliga pålningsmetoder, främst vid projekt i Stockholm och Göteborg. Chefen för den geotekniska avdelningen, Bror Fellenius, samlade företrädare för den akademiska världen (bland dem Hans-Christian Fischer, Uppsala universitet) och praktiker (bland dem Sölve Severinsson, Nya Asphalt AB), för att starta en kommitté för pålforskning, som senare ställdes under Ingenjörsvetenskapsakademin, IVA:s beskydd.

Från starten fungerade kommissionen som ett "tvärvetenskapligt forum" för utbyte av information och forskningsresultat mellan entreprenörer, konsulter, forskare och företrädare för myndigheter. I Pålkommisionen deltar också representanter för företag från grannländerna. År 1958 till 1959 utfördes och rapporteras de första stötvågmätningarna på pålar – stålplålar vid Stockholms Central och mycket långa, förtillverkade betongplålar i Göteborg. De senare mätningarna visade bland annat inverkan av dragspänningar vid slagning samt lasttillväxt med tiden. Pålkommisionen har haft en mycket positiv inverkan på utvecklingen av den svenska betongplåletekniken samt framtagningen av anvisningar och moderna byggnormer. Pålkommisionen har spritt svenskt ingenjörskunnande internationellt genom utgivning av ett stort antal rapporter på svenska och engelska.

Bror Fellenius (1903 – 1990), son till Wolmar Fellenius och far till andreförfattaren, började sin yrkeskarriär vid Göte-



Figur 16: Bror Fellenius.

borgs Hamn, men flyttade senare till Väg- och Vattenbyggnadsstyrelsen (numera Trafikverket) i Stockholm. År 1946 efterträdde han John Olson som chef för Statens Järnvägars Geotekniska Avdelning. Bror Fellenius utvecklade metoder för bestämning av lösa lerors skjuvhållfasthet och visade att den ökar i normal-konsoliderade leror linjärt med djupet (publicerat år 1936 vid den första internationella geotekniska kongressen). Hans forskningsarbete på 1930-talet kastade också ljus över många av de då ännu olösta frågorna om verkningssättet av långa pålar i lera. Han pekade till exempel på betydelsen av negativ mantelfriktion och att mycket slanka stålplålar i mycket lös oorganisk lera inte kan knäckas, förutsatt att de installeras raka, det vill säga utan krökning.

Bror Fellenius var medlem av SGF sedan dess start år 1950. År 1970 utsågs han till hedersmedlem i SGF.

Tack

Författarna vill rikta ett varmt tack till *Ingrid Gårlin*, SGI:s Bibliotek och Informationstjänster för värdefull hjälp vid framtagandet av denna artikel.

Slutsatser

En av de viktigaste orsakerna till den tidiga utvecklingen av innovativa grundläggningsmetoder var utmaningen att bygga längs sjöar, vattendrag och kustområden med mycket lös sensitiv lera. Redan tidigt under industrialiseringen av Sverige utvecklades nya anläggnings- och grundläggningsmetoder för byggandet av vägar och järnvägar, hamnar och kanaler. Svensk geoteknisk praxis har en lång tradition av innovationer som möjliggjordes av många enastående ingenjörssatser. Endast ett fåtal av dessa bidrag har nämnts i föreliggande artikel, som begränsats till personer som inte längre finns bland oss. Inrättandet av en tvärvetenskaplig "Geoteknisk Kommission" bestående av geologer och civilingenjörer med uppgift att studera jordskred och släntskred lade grunden för den moderna geoteknikens fält- och laboriemetoder. Denna tidiga utveckling bidrog till att befästa nyckelrollen av svensk geoteknisk kunskande inom väg- och vattenbyggnadsområdet. Vid flera svenska universitet och högskolor spelar geotekniken fortfarande en viktig roll vid utbildningen av väg- och vattenbyggnadsingenjörer.

Sverige har haft stor nytta av ett stort antal framstående geotekniker – men den förmodligen viktigaste aspekten är andan av nära samarbete mellan praktiserande ingenjörer, forskare och företrädare för beställare och myndigheter. ■

Litteratur

Bjerrum, L. & Flodin, N. (1960). *Development of soil mechanics in Sweden, 1900–1925*. Geotechnique 10(1), s. 1–18.

Beskow, G. 1929. *Om jordarternas kapillaritet* (With English summary: On the capillarity of soils). Sveriges Geologiska Undersökning Årsbok 23 (1929), No. 1, 64 s.

Cadling, L. & Odenstad, S. (1950). *Vane borer. An apparatus for determining the shear strength of clay soils directly in the ground*. Statens Geotekniska Institut, SGI Proc. 2, 13 s.

Fellenius, W. (1926a). *Jordstatiska beräkningar med friktion och kohesion och under antagande av cirkulär cylindriska glidytor*. Kungliga Väg- och Vattenbyggnadskåren 1851–1926, Festskrift, Stockholm, s. 79–127.

Fellenius, W. (1926b). *Erdstatistische Berechnungen mit Reibung und Kohäsion und unter Annahme kreiszylindrischer Gleitflächen*. Ernst Vorlag, Berlin, 48 s.

Flodin, N. & Broms B. B. (1981). *History of Civil Engineering in Soft Clay*.

Soft Clay Engineering. Edited by Brand, E.W. and Brenner R. P., Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, s. 27–156.

Holtz, R. D. & Massarsch, K. R. (1976). *Improvement of the Stability of an Embankment by Piling and Reinforced Earth*. Proceedings of the 6th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vienna 1976, Session III 25, s. 473–478.

Holtz, R.D., Viberg, L., & Hartlen, J. (1994). *Obituary – Oleg Wager 1915–1992*. Geotechnique 44(2), s. 375–378.

Kallstenius, T. (1961). *Development of two modern continuous sounding methods*. Fifth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris, July 1961. Proceedings, Vol. 1, s. 475–480.

Kallstenius, T. (1963). *Studies on clay samples taken with standard piston sampler*. Statens Geotekniska Institut, SGI, Proceedings No 21, 210 s.

Kjellman, W., Kallstenius, T., & Wager, O. (1950). *Soil sampler with metal foils*. Swedish Geotechnical Institute, SGI, Proceedings No. 1, 75 s.

Menotti, F., & Pranckenaite, E., (2008). *Lake-dwelling building techniques in prehistory: driving wooden piles into lacustrine sediments*. EuroREA, Journal of Reconstruction and Experiment in Archaeology, 5/2008 s. 3–7.

Randolph, M.F. & Stewart, D.P. (1994). *T-bar penetration testing in soft clay*. ASCE Journal of Geotechnical Engineering (120)12, s. 2230–2235.

Statens Järnvägar (1917). *Vägledning vid jordborrningar för järnvägsändamål*. Statens Järnvägars Geotekniska Kommission (Swedish State Railways Geotechnical Commission), Statens Järnvägars Geotekniska Avdelning, Meddelanden 1, Stockholm, 37 s.

Statens Järnvägars Geotekniska Kommission (1922). *Slutbetänkande*. Authors: Fellenius, W., Blidberg, F., von Post, I. och Olsson, J.. Avgivet till Kungl. Järnvägsstyrelsen den 31 maj 1922. Statens Järnvägars Geotekniska Avdelning, Meddelanden 2, Stockholm, 180 s.

Terzaghi, K. (1925). *Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage*. Publisher Franz Deuticke, Wien, 399 s.

Bygg & teknik direkt på nätet

Årgångarna 2008 till 2010 av
Bygg & teknik finns nu att
läsa i fulltext på vår hemsida:
www.byggteknikforlaget.se