STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT

BIG - Webbinarium 2023-02-17

Branschsamverkan i Grunden

TRAFIKVERKET

FORSKNINGSPROJEKT VID SGI (INOM TRV-BIG)

SÄTTNINGAR OCH HÅLLFASTHETSEGENSKAPER I SULFIDJORD (2017-2022) –

PROVBANKAR I LAMPEN OCH ANDRA BANKAR



FORSKARE VID SGI: Bo Vesterberg och Mattias Andersson
REFERENSGRUPP: Karin Spett, TrV och Niklas Thun, BPL(/TrV)
DISKUSSIONSPARTNER: Per-Evert Bengtsson, PEB Geoteknik
MEDVERKAN: Fält (Tyréns) och lab. (LTU)

Slutrapport ”Sättningar och hållfasthetsegenskaper i sulfidjord, En studie av provbankar i Lampen och andra bankar”
är publicerad på DiVA (www.diva-portal.org), Bo Vesterberg & Mattias Andersson, 2022

STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT

BAKGRUND – SÄTTNINGAR FINKORNIGA JORDAR – UNDER BANKAR

Prognostisera sättningar för bankar - på ***svenska finkorniga*** jordar **inklusive sulfidjordar:**

”Det kan vi väl redan?!!”

”Det kan väl inte vara så svårt?”

Ja, det är möjligt få rimlig precision i prognostiserade sättningar
men då krävs normalt att:

- ett antal förutsättningar (indata) är klargjorda
- relevanta egenskaper finns i vald materialmodell.

PROVFÄLT LAMPEN – PROVBANKAR PÅ SULFIDJORD

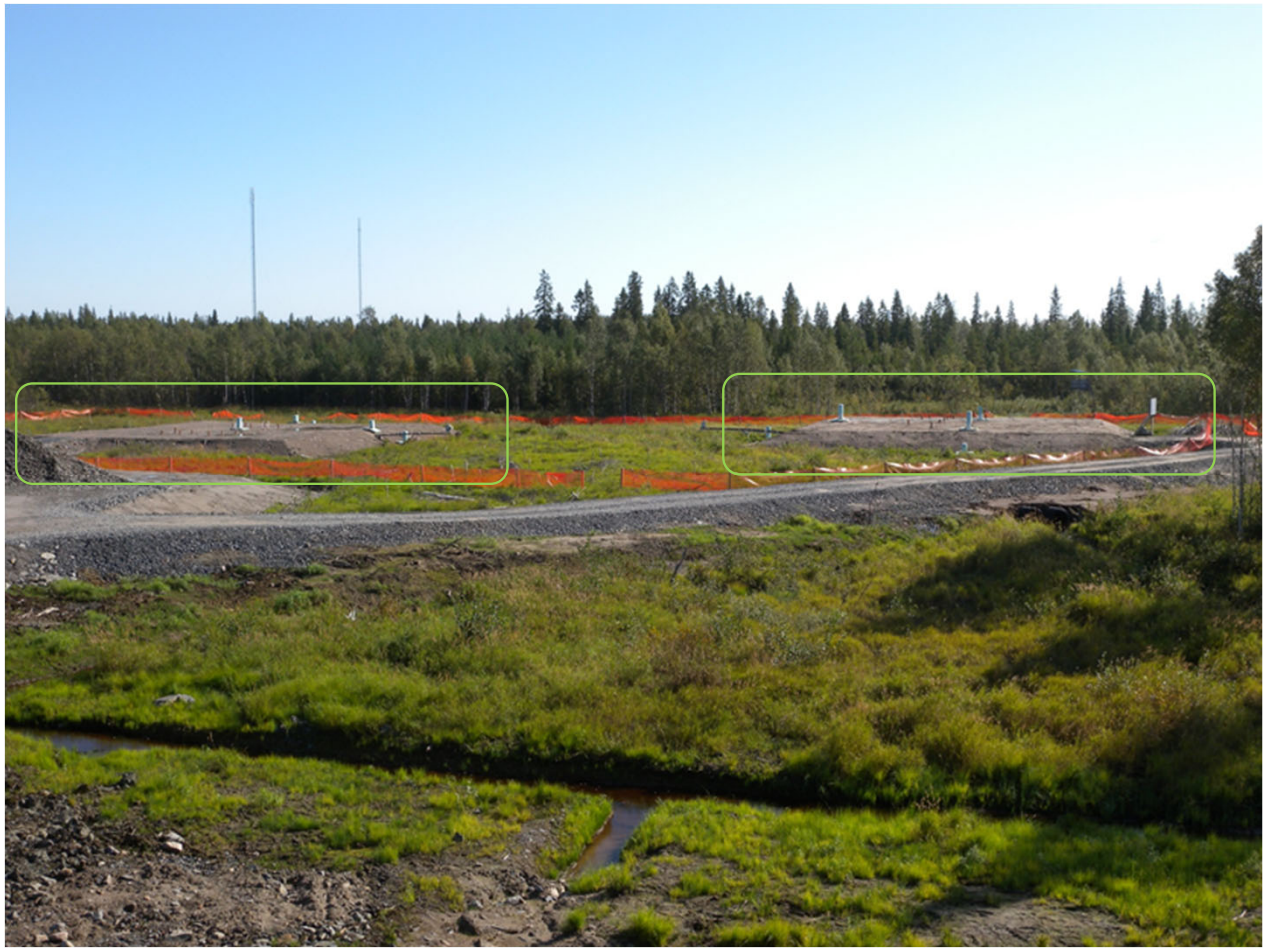
Provbankarna instrumenterades och byggdes år 2010, på sulfidjord i område Lampen strax utanför Kalix.

Provbank 1 (vänster) och provbank 2 (höger) och Nya Haparandabanan i bildens överkant.



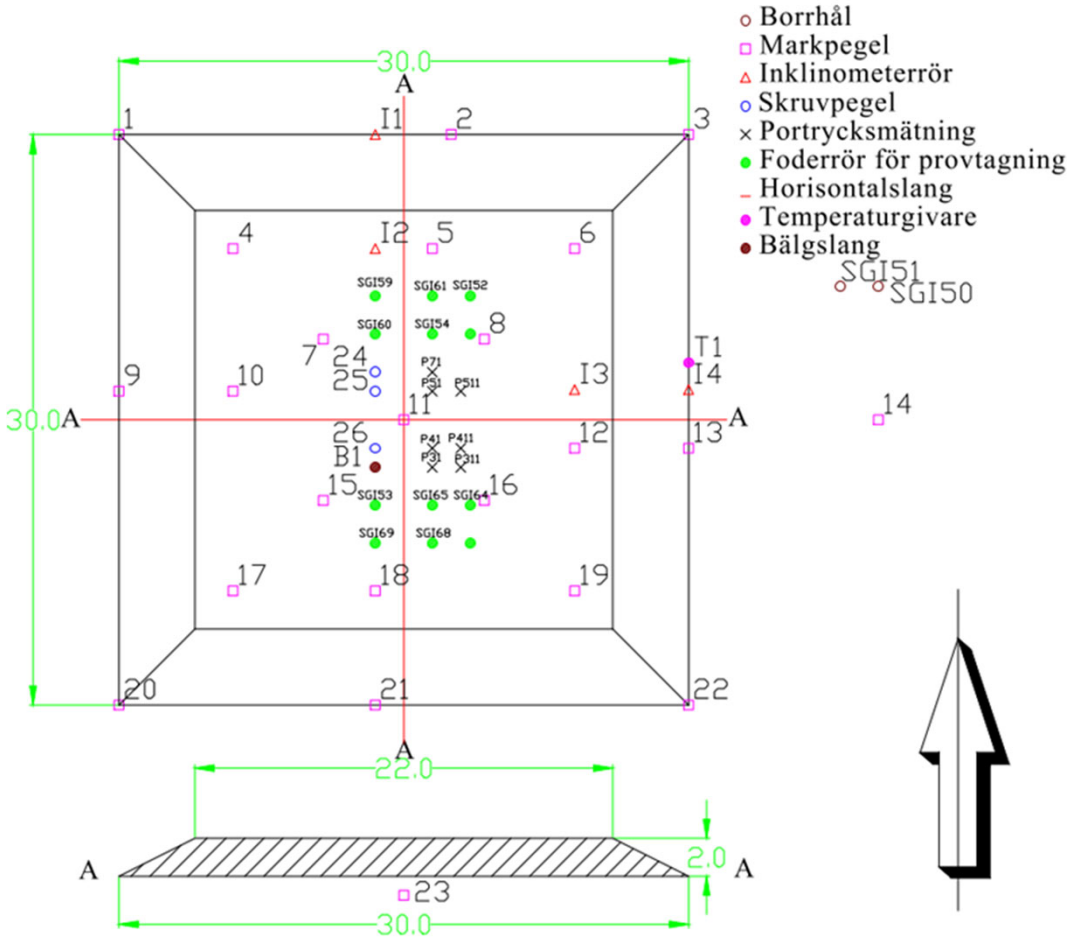
Med begreppet sulfidjord avses ur geoteknisk synvinkel: en jord från Norrlands kustland och där den organiska halten är minst 1 a´2 % (Larsson et al., 2007a).

Provbank 2 (vänster) och provbank 1 (höger) år 2011.

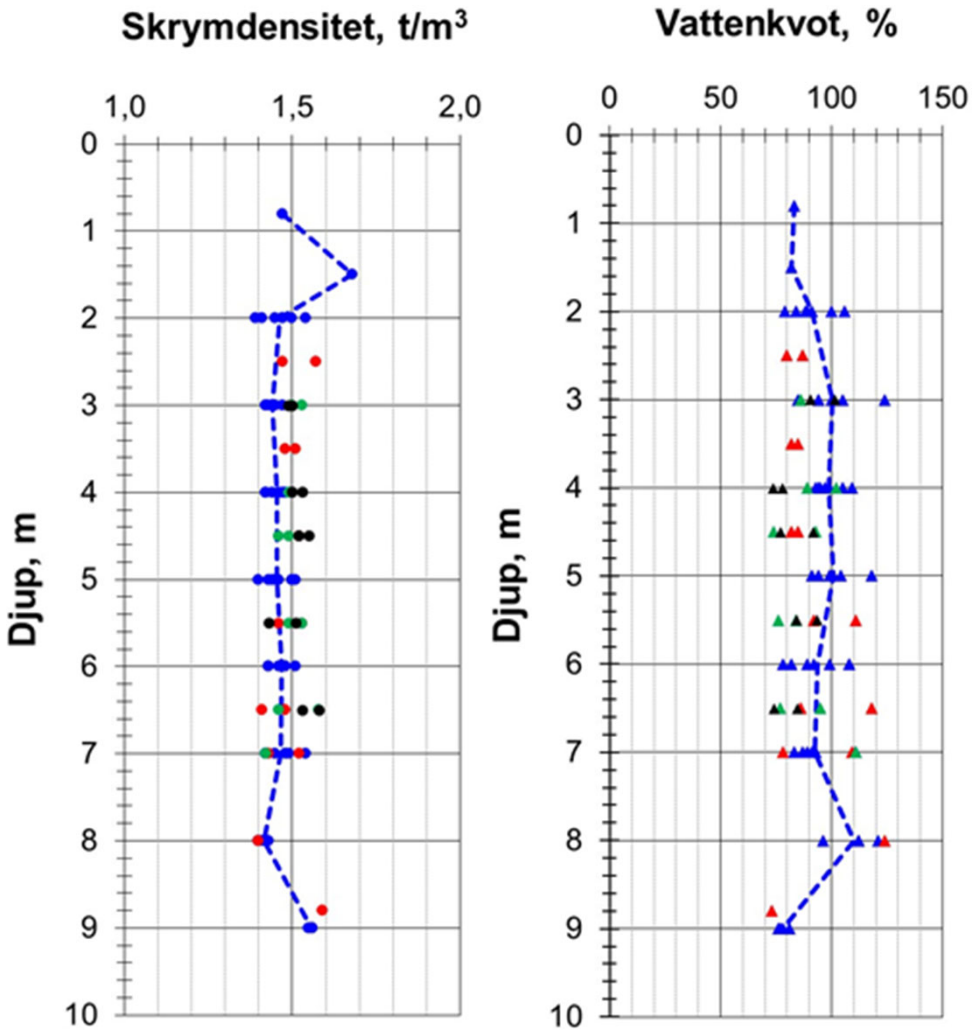


PROVFÄLT LAMPEN - PROVBANK 1 - INSTRUMENTERING

Instrumentering provbank 1 (höga banken) samt borrhål för provtagningar och sonderingar 2010/2011, 2015, 2018 och 2021.



PROVFÄLT LAMPEN - BASDATA



Skrymdensitet och vattenkvot:

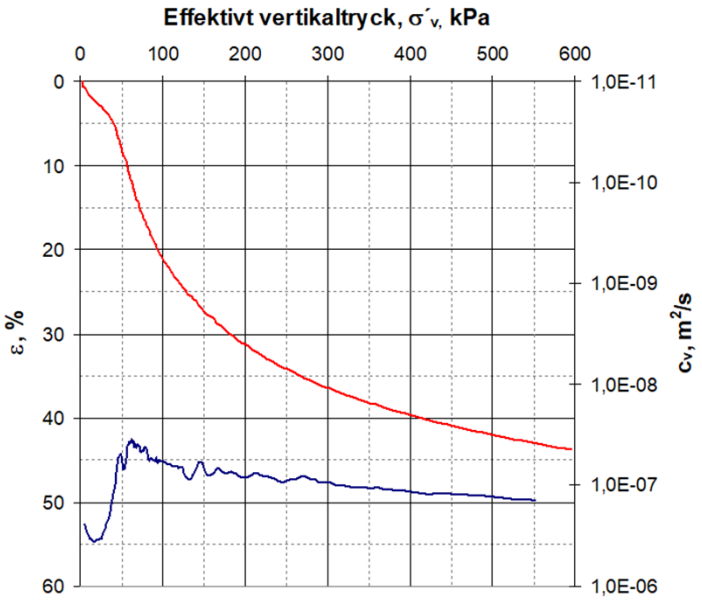
- ursprunglig (blåa; streckad medelvärde)
- efter 5 år (röda), 8 år (gröna) och 11 år (svarta).

Ämneshalter:

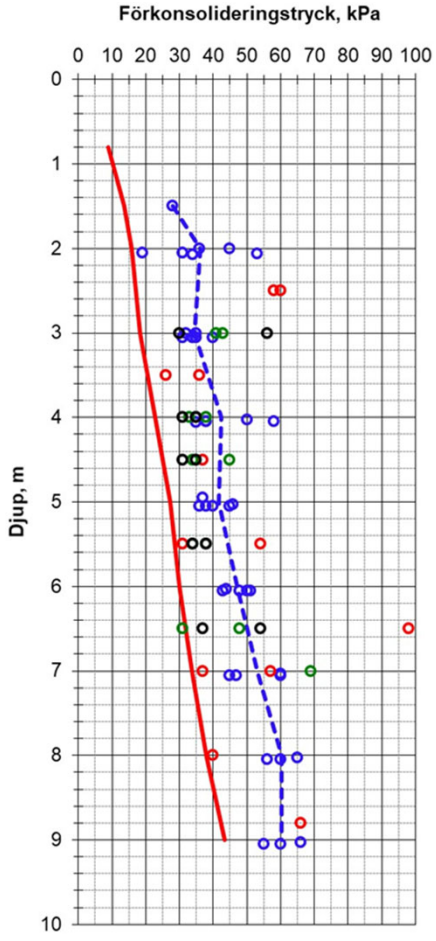
- Järnhalten: 3-4 %
- Svavelhalten: 0,5-1,5 %
- Organiska halten:
  - kolanalys (TOC): 2-3 %
  - glödgning i 550 Gr. C: 4-6 %

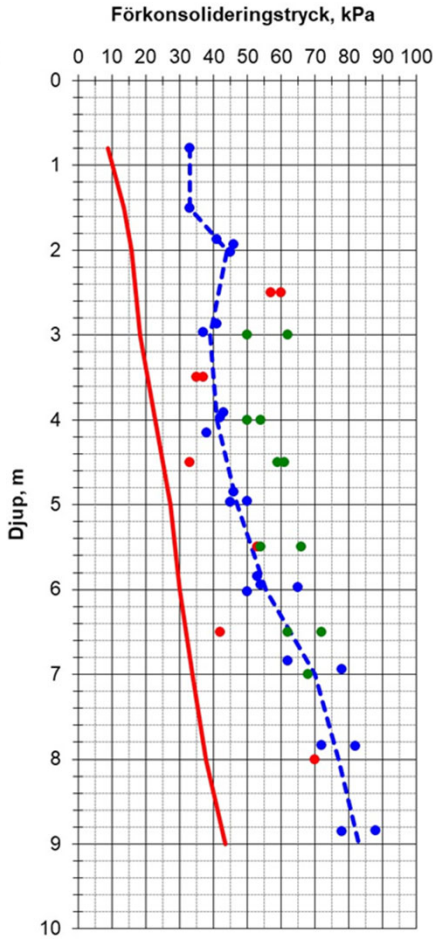
PROVFÄLT LAMPEN - Förkonsolideringstryck

Utvärderat från CRS-försök (vänster) och stegvisa ödometerförsök (höger)



Exempel på försöksresultat, CRS, Lampen





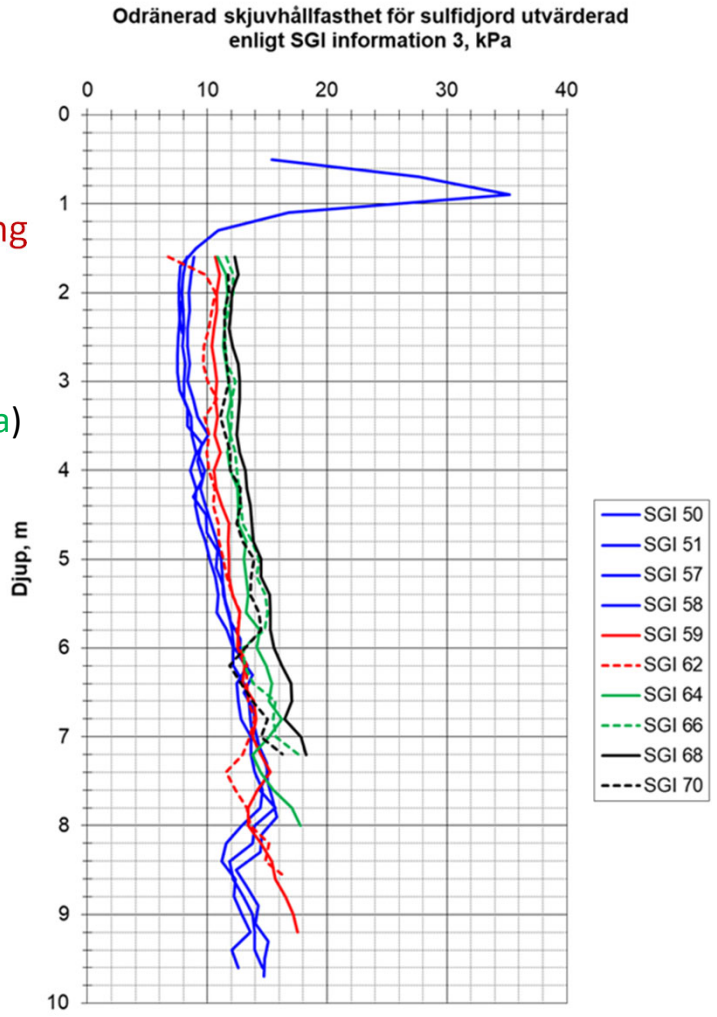
Förkonsolideringstryck:

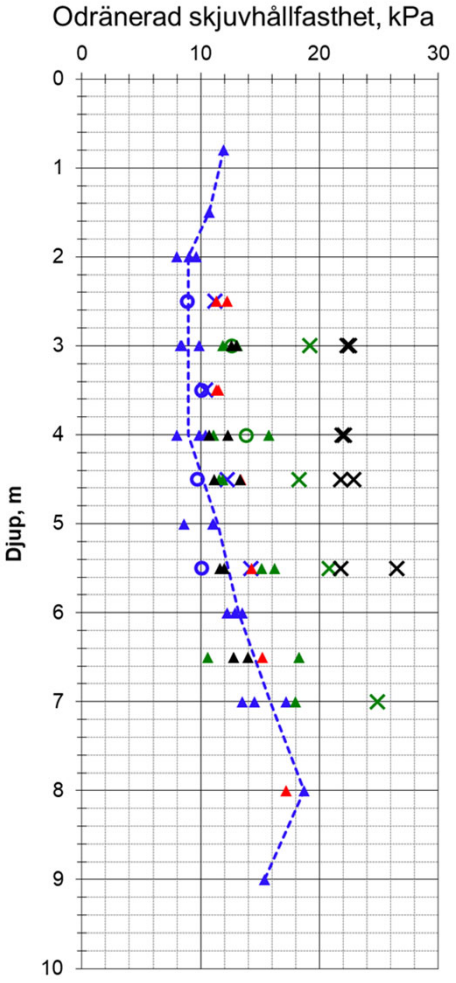
- ursprunglig (blåa; streckad medelvärde)
- efter 5 år (röda), 8 år (gröna) och 11 år (svarta).

PROVFÄLT LAMPEN – Odränerad skjuvhållfasthet

CPT-sondering

CPT-sondering:
- ursprunglig (blåa)
- efter 5 år (röda), 8 år (gröna) och 11 år (svarta).

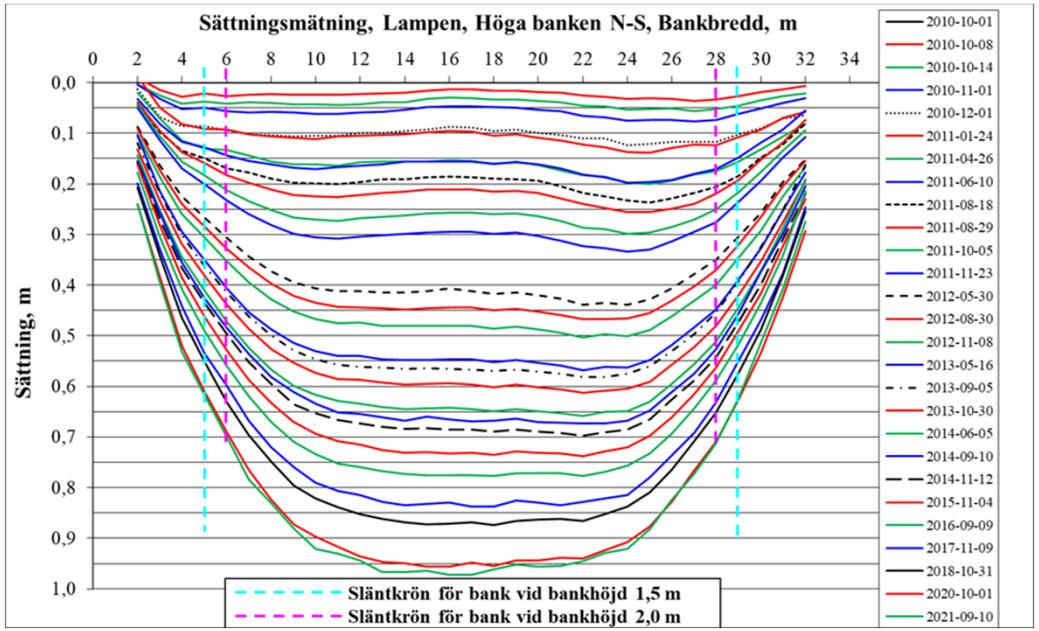




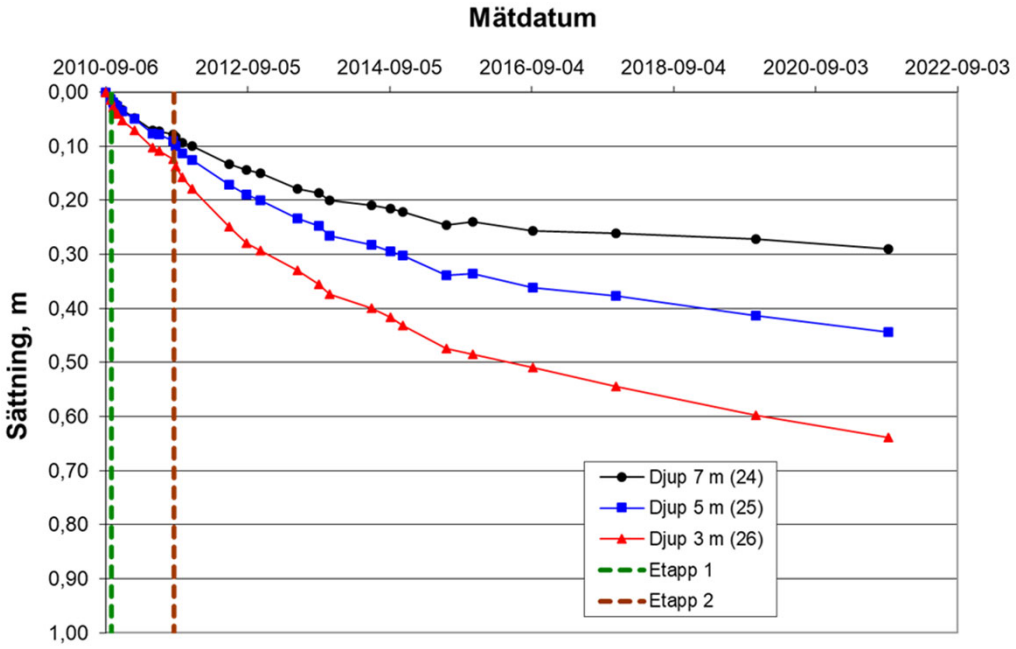
- Triaxialförsök – aktivt (kryss)
- Triaxialförsök – passivt (cirkel)
- Direkt skjuvförsök (triangel)

- ursprunglig (blåa; streckad mv dir skjuvf)
- efter 5 år (röda), 8 år (gröna) och 11 år (svarta).

PROVFÄLT LAMPEN – Exempel mätningar rörelser i fält – Bank 1



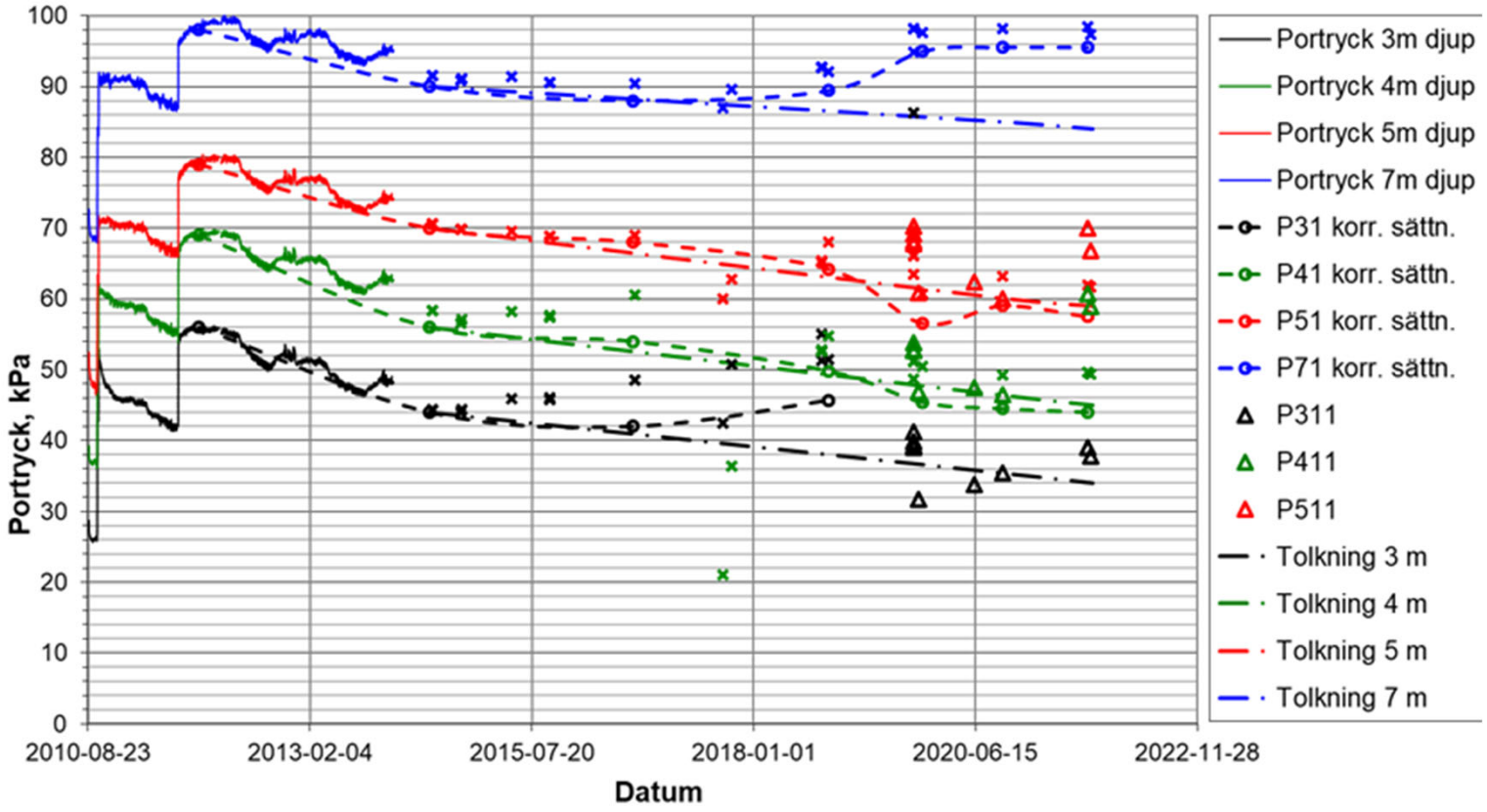
Mätning med horisontalslang, bank 1 N-S riktning (+0,1 m sättning ska adderas till mätresultaten kopplat till val av nollavläsning).



Avvägning av skruvpeglar för bank 1.

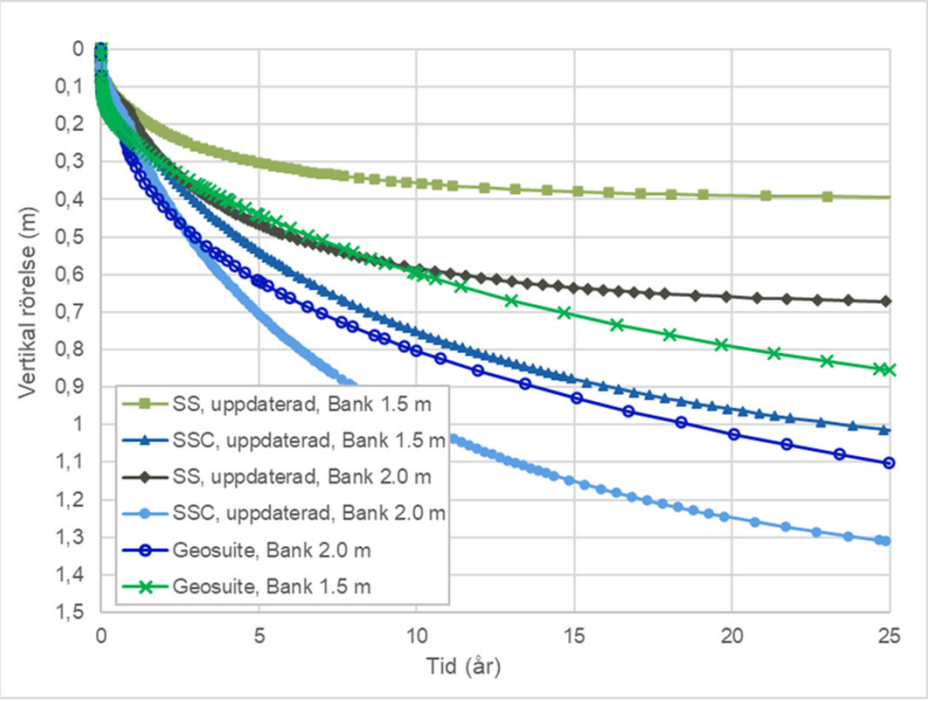
PROVFÄLT LAMPEN – Portrycksmätningar – Bank 1

Uppmätta portryck under bank 1

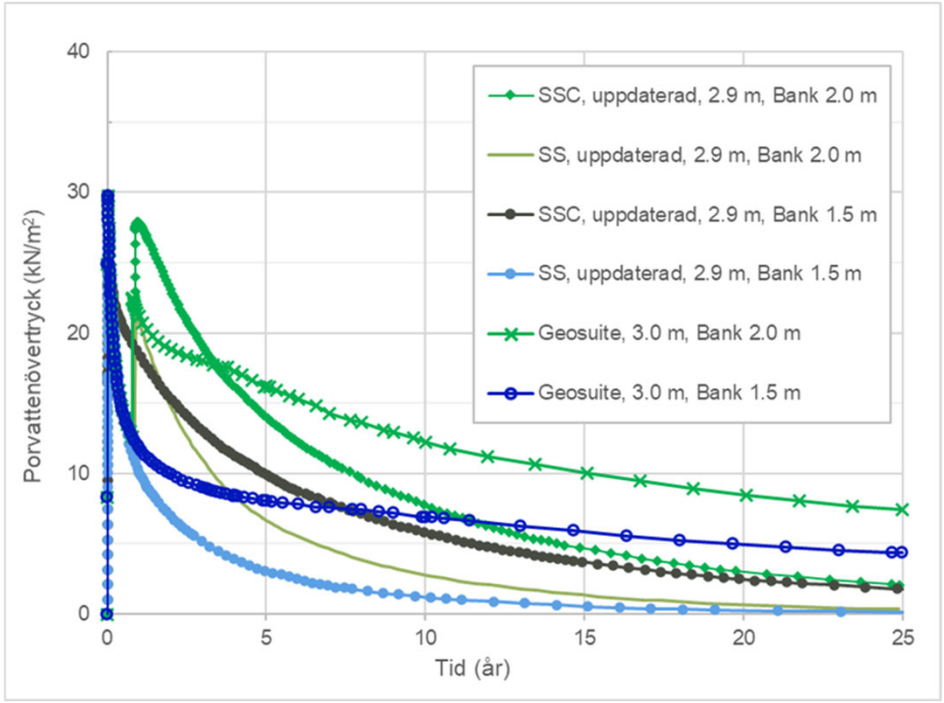


PROVBANK 1 och 2 – Lampen – Prognostisering av sättningar och portryck

Sättningar under 25 år vid bankmitt under höga banken (2,0 m) och låga banken (1,5 m) prognostiserat med SS- respektive SSC-modellen och 1D-modellen i Geosuite.

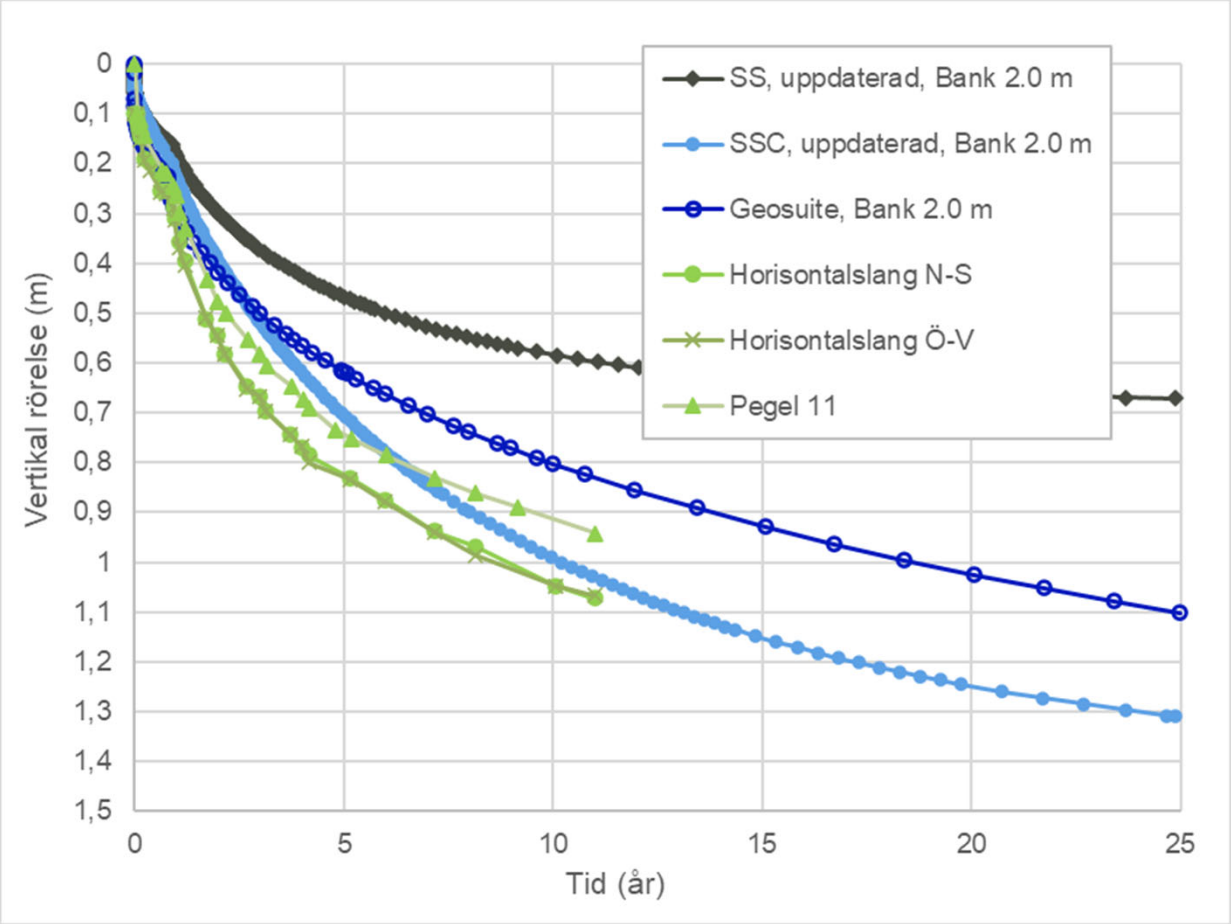


Prognostiserat porvattenövertryck, med SS-modellen, SSC-modellen och 1D-modellen i Geosuite, under 25 år på djupet 3,0 m djup vid bankmitt under höga (2,0 m) och låga (1,5 m) banken.



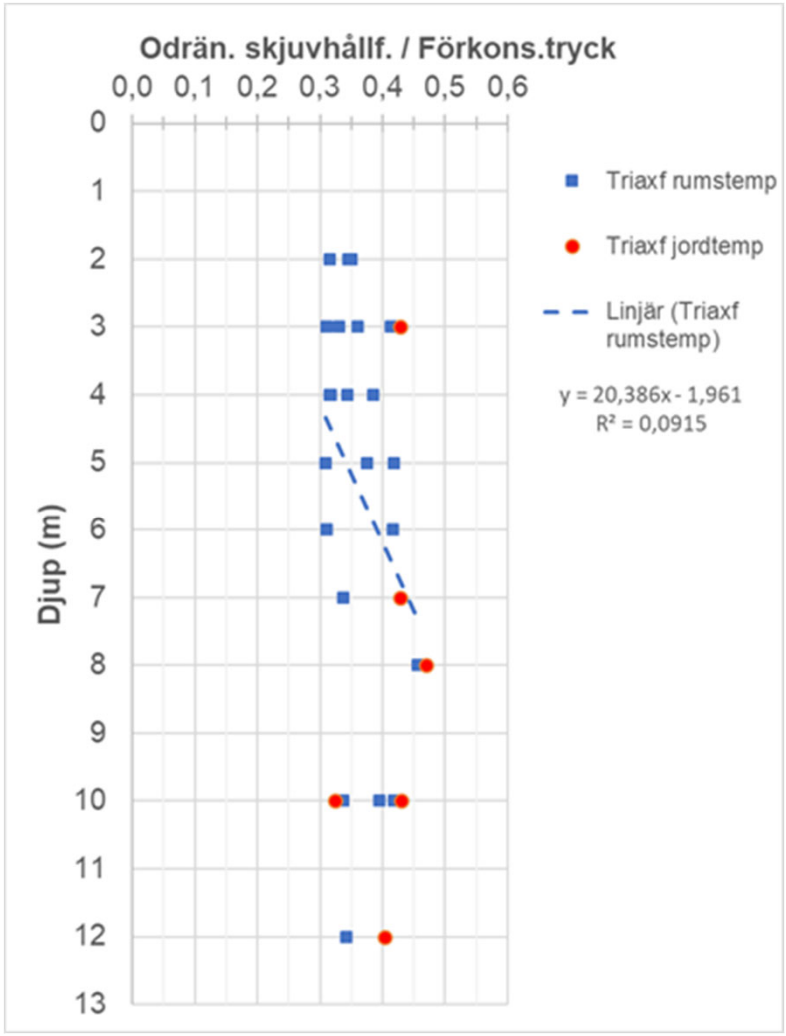
PROVBANK 1 – Lampen – Exempel - Prognostiserade och uppmätta sättningar

Prognostiserade, med SS-, SSC-modellen och 1D-(Geosuite) modellen, och uppmätta (11 år) **sättningar** vid bankmitt för höga banken (bank 1).



STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT

SULFIDJORD – Triaxialförsök – Normaliserad skjuvhållfasthet

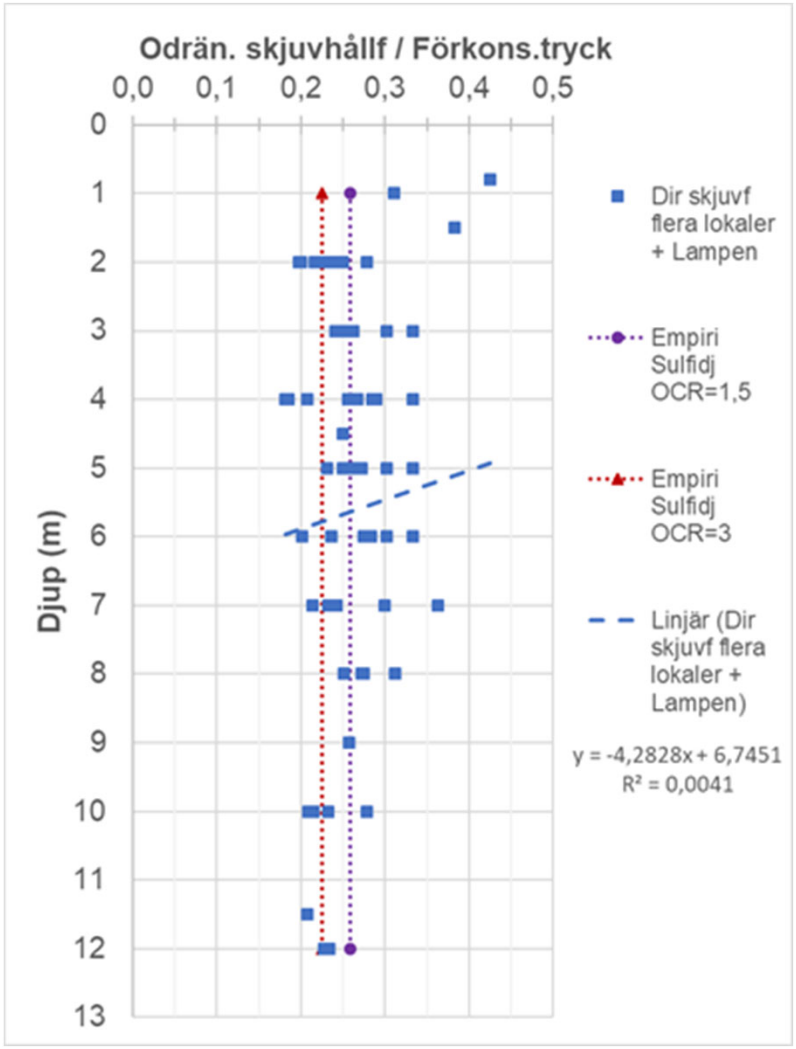


Främst: finkornigare sulfidjord
(lera, siltig lera, lerig silt)

Kvoten mellan odränerad skjuvhållfasthet och vertikala förkonsolideringstrycket är för aktiva triaxialförsök (olika lokaler):

- medel: 0,36 rumstemperatur (0,31-0,46)
- medel: 0,41 vid jordtemperatur (0,32-0,47)

SULFIDJORD – Direkta skjuvförsök – Normaliserad skjuvhållfasthet



Främst: finkornigare sulfidjord
(lera, siltig lera, lerig silt)

Kvoten mellan odränerad skjuvhållfasthet och vertikala förkonsolideringstrycket för direkta skjuvförsök (olika lokaler):

- medel: 0,27 (varierar huvudsakligen mellan 0,20 och 0,30)

Empiri sulfidjord (Westerberg, Müller och Larsson, 2015):

$$\frac{c_u^{DSS}}{\sigma_c'} = 0{,}28OCR^{-0{,}2}$$

NÅGRA SLUTSATSER – FINKORNIGA SULFIDJORDAR

Sättningsprognostisering

Det är **möjligt** att för en bank genomföra en **prognos av sättningens och portryckets storlek och tidsförlopp** och uppnå en **rimlig precision** i resultaten (i jämförelse med verkligt utfall i fält).

Skillnader mellan **beräknade och uppmätta sättningar och portryck** visar att det är viktigt att beakta resultaten **över en längre tid** och **på olika djup**, och inte bara sättningar på markytan vid några tidpunkter.

NÅGRA SLUTSATSER – FINKORNIGA SULFIDJORDAR

Sättningsprognostisering

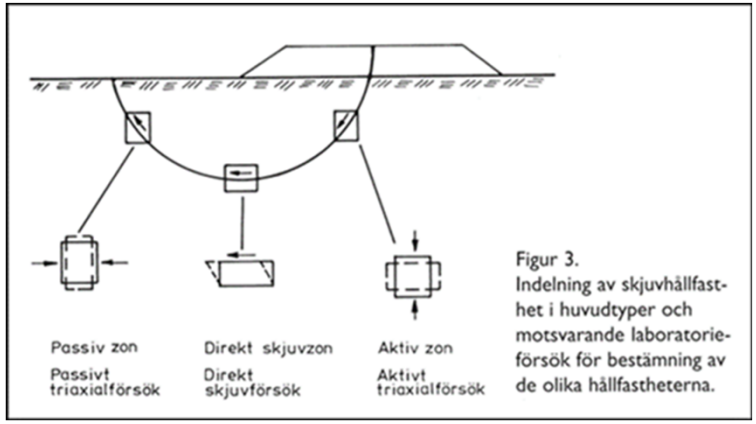
Viktigt beakta – vid prognostisering av sättningar av **svenska finkorniga** jordar **inkl. sulfidjordar** (storlek, tidsförlopp):

- Provkvalitet – prover i laboratorieförsök
- Utvärdering av parametrar
  - Förkonsolideringstryck, moduler, permeabilitet, krypparametrar, etc.
- Initiala förhållanden i fält
  - Grundvattennivå, portryck, vilojordtryckskoefficienten
- Val av materialmodell – särskilt vad gäller krypsättningar och långtidssättningar och deformationstillstånd.
- Dräneringsförhållanden – vertikalt/horisontellt, avvikande jordlager, jordlager under finkorniga jorden, lokal geohydrologi
- Årstidsaspekter – frysning/tining, grundvattenförhållanden
- Känslighetsanalyser – göra - särskilt inverkan av *antagna* parametrar/förhållanden och *signifikant påverkande* parametrar på resultaten.
- Jämför 2D- (3D) och 1D-numeriska beräkningar med överslagsberäkningar och/eller erfarenhetsbedömningar.

NÅGRA SLUTSATSER – FINKORNIGA SULFIDJORDAR

Odränerad skjuvhållfasthet (anisotropi, hållfasthetstillväxt)

Främst: finkornigare sulfidjord (lera, siltig lera, lerig silt)



Figur 3. Indelning av skjuvhållfasthet i huvudtyper och motsvarande laboratorieförsök för bestämning av de olika hållfastheterna.

Sulfidjordar uppvisar en tydlig **hållfasthetsanisotropi (aktiv störst)**.

Odränerad skjuvhållfasthet och kvoten odränerad skjuvhållfasthet / förkonsolideringstryck uppvisar **ingen koppling till flytgränsen** (även konstaterats av Westerberg, Müller och Larsson, 2015). Sulfidjord följer ungefär **samma mönster som för övrig organisk mineraljord**.

Exempel: Samtliga metoder: aktiva och passiva triaxialförsök, direkta skjuvförsök, CPT-sondering och fallkonförsök visar tydlig ökning av odränerad skjuvhållfasthet under 11 år för provbankarna i Lampen. En relativt stor ökning av odränerad skjuvhållfasthet sker i fält före effektivspänningarna överskrider det ursprungliga förkonsolideringstrycket.

CPT-sonderingarna: med **kalibrerad utrustning och rätt utförande (följer standard) kan hög tillförlitlighet och precision** fås i resultaten.

Exempel: CPT-resultaten från provbankarna i Lampen visar tydligt den hållfasthetstillväxt som successivt sker under 11 år under låga respektive höga banken i Lampen.

CPT-sondering kan vara **särskilt viktig för hållfasthetsbestämning** då det kan vara problem att få upp ostörda prover i sulfidjord.

NÅGRA SLUTSATSER – FINKORNIGA SULFIDJORDAR

Sättningar, effektivspänningar och förkonsolideringstryck i fält

Stora sättningar och en väsentlig tillväxt av odränerad skjuvhållfasthet kan ske i fält redan för **spänningsökningar under ursprungligt förkonsolideringstryck.**

Exempel: provbankarna vid Lampen och Gammelgården visar på stora sättningar efter fem år och en odränerad hållfasthetsökning, men inte någon ökning utan snarare minskning av förkonsolideringstryck

Provningstemperatur

Det är särskilt viktigt för **sulfidjord att beakta provningstemperaturen** vid utvärdering av odränerad skjuvhållfasthet och förkonsolideringstryck från laboratorieförsök och **korrigera värden för temperaturen.** Helst bör försök utföras i jordtemperatur.

PRAKTISKA REKOMMENDATIONER – FINKORNIG SULFIDJORD

Praktiska Rekommendationer ges i avsnitt 5.2 (Vesterberg & Andersson, 2022, dvs. Slutrapporten) för finkornig sulfidjord vad gäller:

- Odränerad skjuvhållfasthet – anisotropi och hållfasthetstillväxt – för bärförmåge- och stabilitetsberäkningar
- Sättningsprognostisering
- Belastning av bankar på sulfidjord – sättningsförlopp och hållfasthetstillväxt
- Inverkan av temperatur vid laboratorieprovning av sulfidjord

Några centrala skrifter (från forskningen 2010-2022):

Vesterberg, B. & Andersson, M. (2022). Sättningar och hållfasthetsegenskaper i sulfidjord, En studie av provbankar i Lampen och andra bankar, Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2022-09-30. (hittas på DiVA: www.diva-portal.org)

Vesterberg, B. & Andersson, M. (2017). Sulfidjord – kompressionsegenskaper och sättningar, En studie av provbankar i Lampen och andra bankar, Statens geotekniska institut, Publikation 41, Linköping. (hittas på DiVA)

Andersson, M. (2012). Kompressionsegenskaper hos sulfidjordar – En fält- och laboratoriestudie av provbankar. Licentiatuppsats, Avdelningen för geoteknologi, Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser, Luleå: Luleå tekniska universitet. (hittas på DiVA)

Vesterberg, B. & Andersson, M. (2022). Settlement and pore pressure behaviour and predictions of test embankments on an organic clay. International Journal of Geotechnical Engineering, Published online: 31 Jan 2022, DOI: 10.1080/19386362.2022.2030129. (laddas ner från tidskriftens web.)



CHAT
Webbinarium 2022-12-16: Påverkan av pålar

[12:16] Måns Ryttmäster

Om ni hade gjort om samma sak igen hade ni ändrat något? Någon mer installation eller någon mer undersökning som ni skulle ha gjort?

[12:19] Erik Eriksson m fl TRV (Gäst) Är portrycket kompenserat för sättningarna?
[12:20] Torbjörn
Ungefär hur mycket har det kostat att ”få till” provbankarna, följa upp dem och utvärdera dem…?

[12:21] Åkerlund, Albin Vad får ni för permeabilitet i beräkning utan kryp?
[12:26] Jelke Dijkstra did you back analyse the 'in-situ' c_v
[12:27] Jelke Dijkstra (that seems the main issue in the predictions) use Asoaka's method
[12:30] Per Gunnvard Good tip, Jelke
[12:32] Jelke Dijkstra

temperature affects both strength and preconsolidation pressure, so you need correct both (or test at ground temperature like at Chalmers)

[12:33] Åkerlund, Albin

Kan man få se första bilden från presentationen (krymdensitet)? [Alla bilder delas med deltagarna]

[12:35] Per Gunnvard
Jelke Dijkstrantemperature affects both strength and preconsolidation pressure, so you need correct both (or test at ground temperature like at Chalmers). I believe Lars Eriksson, previously at LTU and MRM (now Mitta), found a temperature dependency of the creep strain as well

[12:36] Jelke Dijkstra

yes creep too (check PhD thesis of Yanling Li or her paper)

[12:37] Jelke Dijkstra

https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29GT.1943-5606.0001965

[12:45] Håkan Garin Är det permeabilitet eller hydraulisk konduktivtet som studerats?
[12:45] Jelke Dijkstra they are linked
[12:45] Jelke Dijkstra c_v is easier
[12:46] Jelke Dijkstra intrinsiic permeability is not temperature dpendent
[12:46] Jelke Dijkstra hydr. conductiviy is
[12:46] James Barber Stort tack för väldigt intressant studie och projekt!
[12:47] Clifford, Fredrik



[12:47] Christina Berglund Tack, mycket intressant.