



Branschsamverkan i Grunden

VIP- möte 2015

Branschsamverkan | Grunden

Small strain stiffness of some Swedish
clays and impact on deep excavations

Claes Alén



Projektets mål

- Identifiering av möjliga metoder för framtagning av metoder för att studera styvhet vid små töjningar i lös lera i Sverige
- Utförande och utvärdering av olika fält- och laboratoriemätningar av G_0 med senaste tekniken
- Inverkan av styvhet vid små töjningsnivåer vid dimensionering av djupa schakter

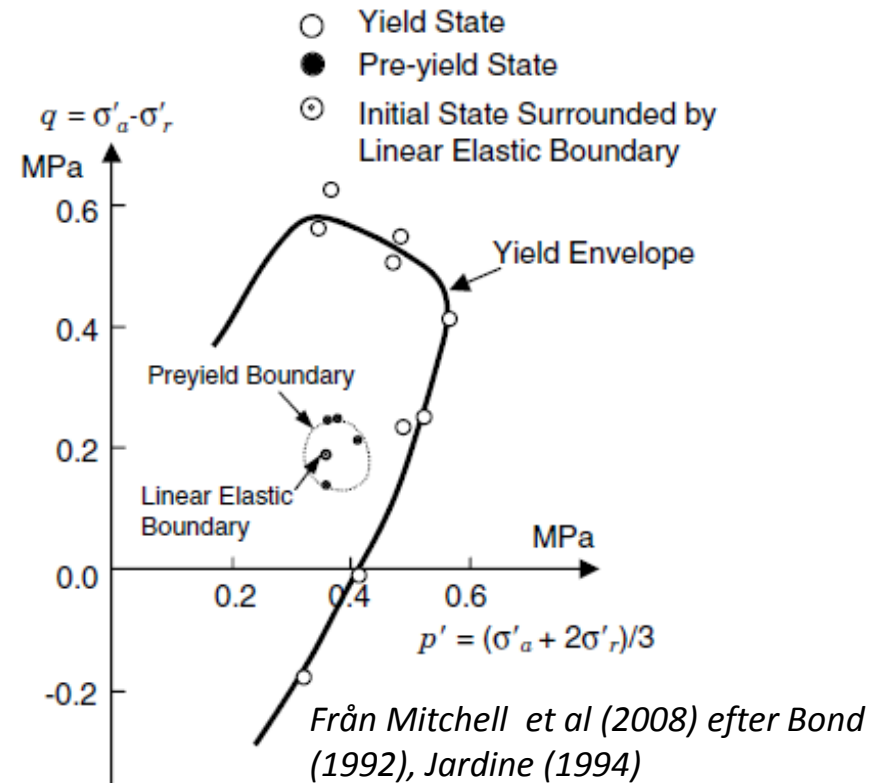
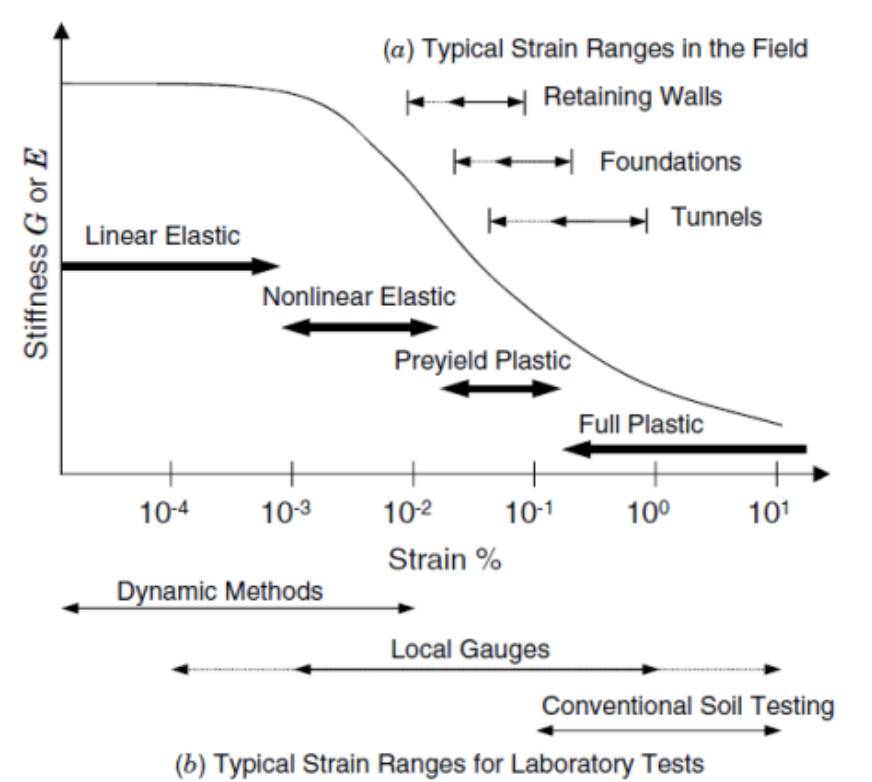
Projektet organisation

Namn	Företag	Roll i organisationen
Bitr. Prof. Claes Alén	Chalmers Teknisk Högskola	Projektledare
Magnus Karlsson	Trafikverket	TrV projekt representant
Tara Wood	NCC Construction Sverige AB	Forskare/utredare
Prof. Minna Karstunen	Chalmers Teknisk Högskola	Expert
Ass. Prof. Jelke Dijkstra	Chalmers Teknisk Högskola	PhD handledare/ Expert
Adj. Prof. Lars Olof Dahlström	NCC Construction Sverige AB	Industri handledare
Docent Leif Jendeby	COWI (f.d. Trafikverket)	Expert
Silvano & Deigo Marchetti	Studio Prof. Marchetti S.r.l.	Expert SDMT
Peter O'Connor	APEX Geoservices	Expert MASW (field and analysis)
Prof. Mike Long	University College Dublin	Koordinator: MASW testing
Peter Hedborg	Chalmers Teknisk Högskola	Teknisk support
Aarro Pirhonen	Chalmers Teknisk Högskola	Teknisk support
Ingemar Forsgren	Forsgren Konsult AB	Teknisk support

Tidplan

		Arbete avseende aktivitet pågår följande halvår
		2015
Aktivitet	Redovisas som	Q3+Q4
Identification of a representative site to assess the influence of ss stiffness on a deep excavation in Gbg	part of final report + Wood (2015) paper	Nej
Assessment & selection of the most suitable measurement and interpretation techniques for acquiring small strain stiffness of natural soft soil samples in the laboratory and in-situ	part of final report	Nej
Systematic study of small strain stiffness of post-glacial/glacial clays in the Gbg area using in-situ and lab techniques (other clay sites added)	part of final report	Nej (additional clay sites added to TrV report in Q3)
Numerical study into the effects of incorporating small strain stiffness in advanced geotechnical analysis using finite elements. Validation of approach on relevant projects	part of final report	Nej
Recommendations for the assessment and use of small strain stiffness in geotechnical design in soft soils in Sweden	part of final report	Ja
Final report on small strain stiffness	Final report	Ja (submitted for comment 2015-10-16)

Vad innebär styvhet vid små töjningar?



Inom detta projekt har skjuvmodul G_0 och dess degradering studerats: $G_0 = \rho V_s^2$

Fältmätning av V_s : direkta/diffusa metoder

- Ytvågsseismiska metoder
 - Rayleigh wave (SSSW, CSW, SASW, **MASW**) V_s från V_R , Love wave
- Refraktionsseismisk V_s
- Direkt metoder
 - Seismisk probe: $V_{s_{vh}}$ (SCPT, **SDMT**), down/uphole, cross hole $V_{s_{hh}}$, $V_{s_{hv}}$
 - Där finns skillnader mellan $V_{s_{hh}}$, $V_{s_{hv}}$ och $V_{s_{vh}}$

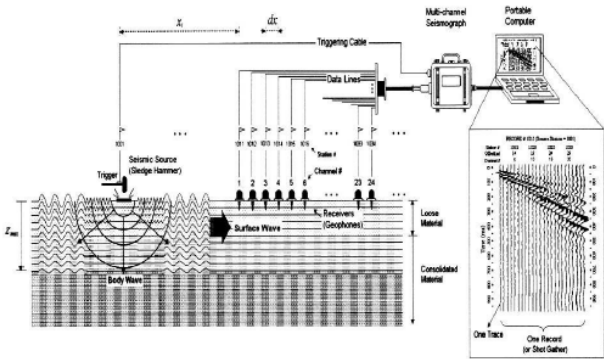
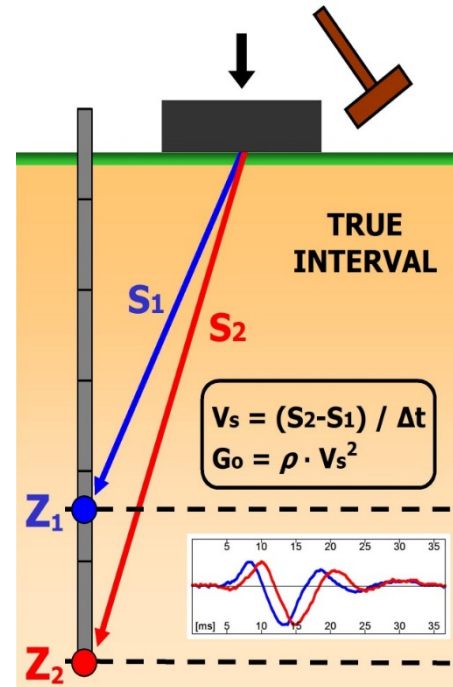
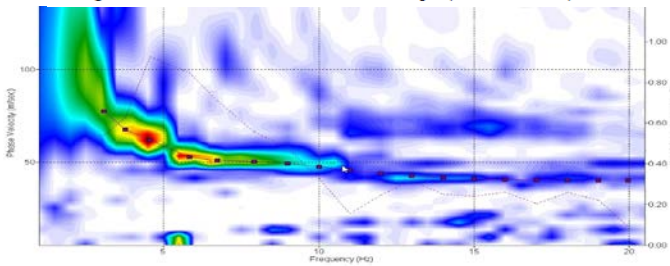
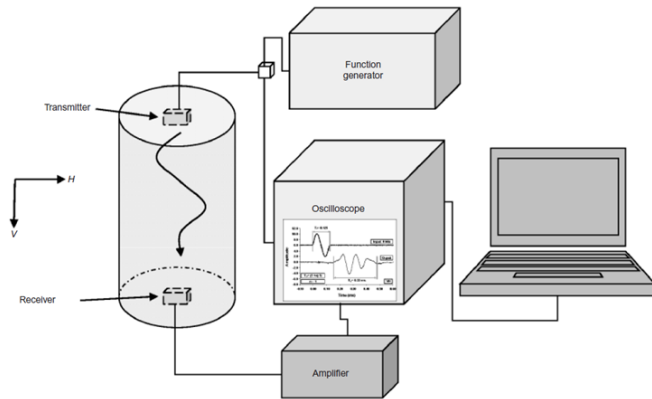


Figure 3.12 An overview of the MASW technique (from KGS 2003)



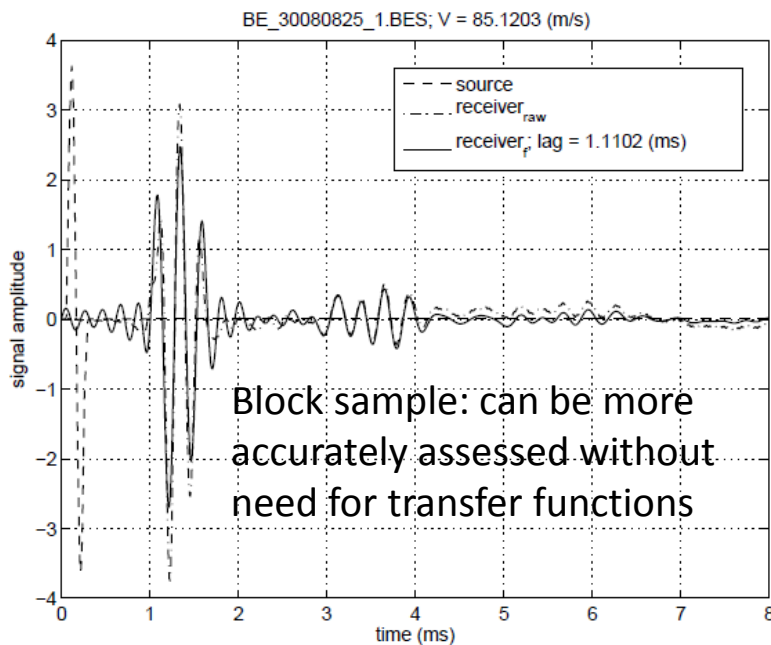
Laboratoriemätning av V_s : Bender Elements



Tolkning av V_s är svårt (dispersion, attenuation, boundary effects)

Utvärderingsmetoder som finns är:

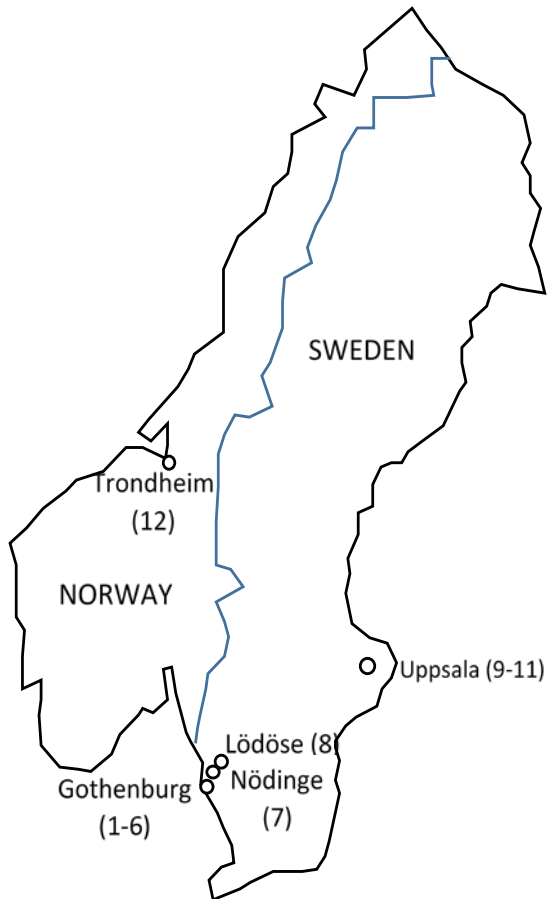
1. Time domain (olika positioner)
2. Spectral frequency spectral analysis
3. Frequency domain cross correlation
4. Signal matching (determination of transfer functions) or "self healing tests"



Ingen konsensus internationellt **trots** ISSMGE TC report

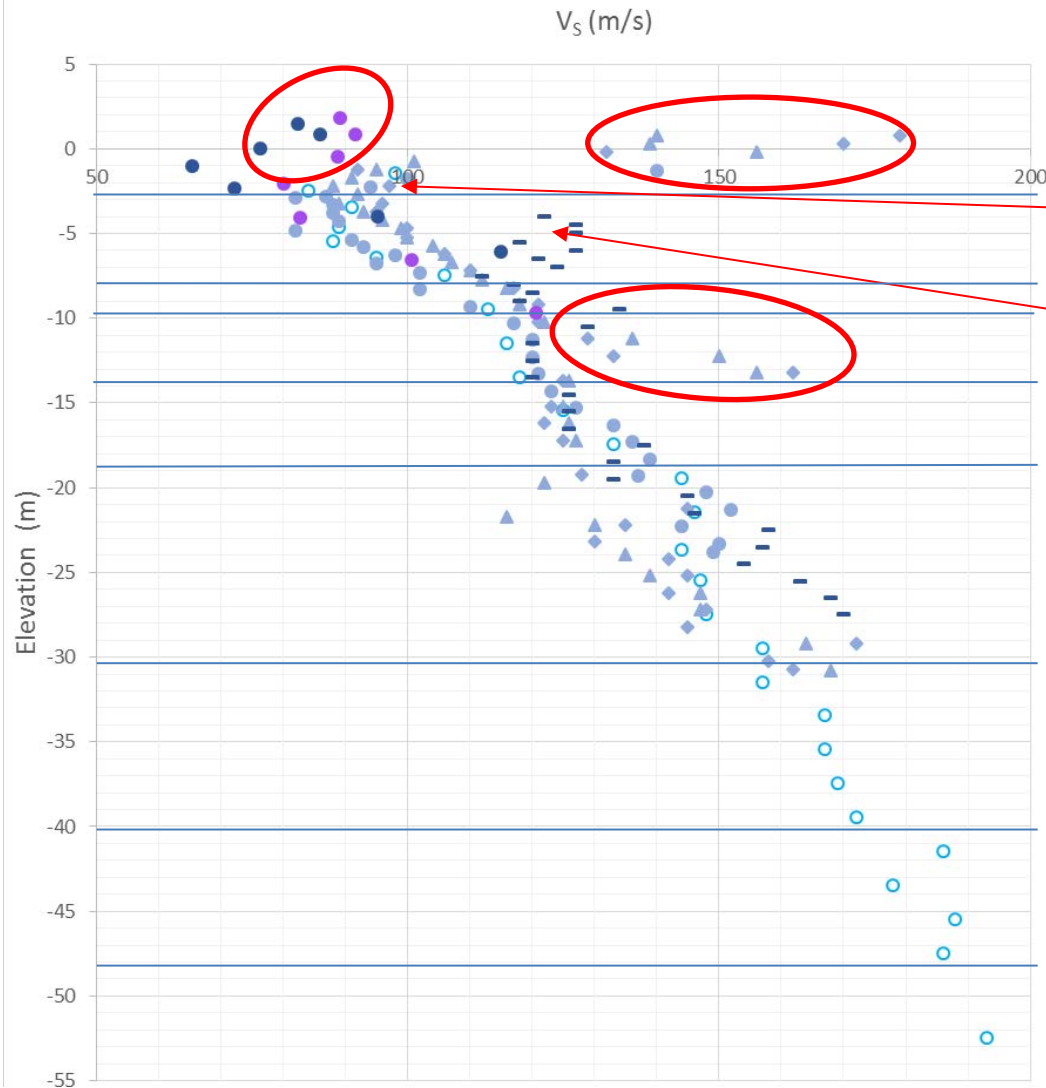
- alla tycker att deras egna metod är den bästa, fler förespråkar användning av flera utvärderingsmetoder pga osäkerheten

Fält- och provtagning, omfattning



Site Number	Sampler & sample quality	SDMT/MASW	No. sample levels	Bender on confined/unconfined/reconsolidated	Notes
1	ST _{II} (very good)	yes/no	6	conf/unconf/recons	slow extraction
2	ST _{II} (good)	yes/no	4	conf/unconf	
3	ST _{II} & ST _{II60} (good) Block (excellent)	yes/no	3	conf/unconf	
4	ST _{II} (good)	yes/no	1	conf/unconf	
5	ST _{II} (fair)	yes/no	4	conf	data from Persson
6	ST _{II} (good)	no/yes	4	conf/unconf	
7	ST _{II} , ST _{II60} (very) good	yes/yes	8	conf/unconf/recons	(new slow) old and ST _{II60} new samples
8	Block (excellent)	no/no	1: 6 blocks	conf/unconf	diff stress histories
9	ST _{II} (good)	yes/no	4	conf/unconf	
10	ST _{II} (good)	yes/no	7	conf/unconf	diff stress histories
11	ST _{II} (fair)	yes/no	3	unconf	
12	ST _{II} (fair)	yes/no	2	conf/unconf	diff stress histories

Karakterisering med hjälp av seismisk



Frusen mark

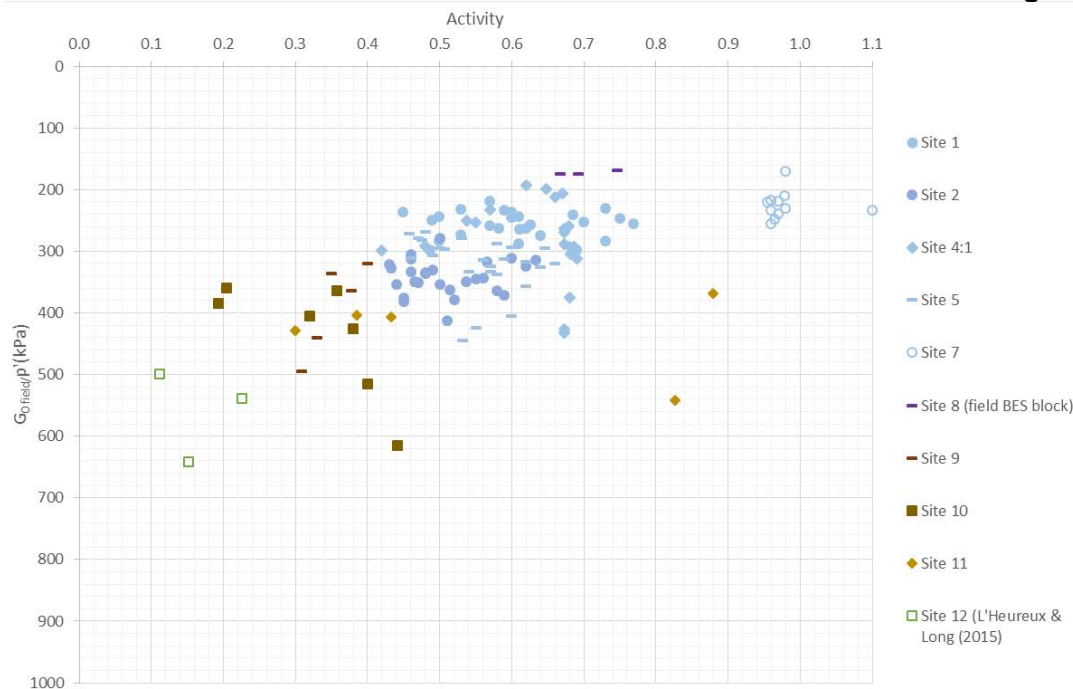
Effekt av kanal från sen 1800 talet

Effekt av infylld dock från 1950 talet

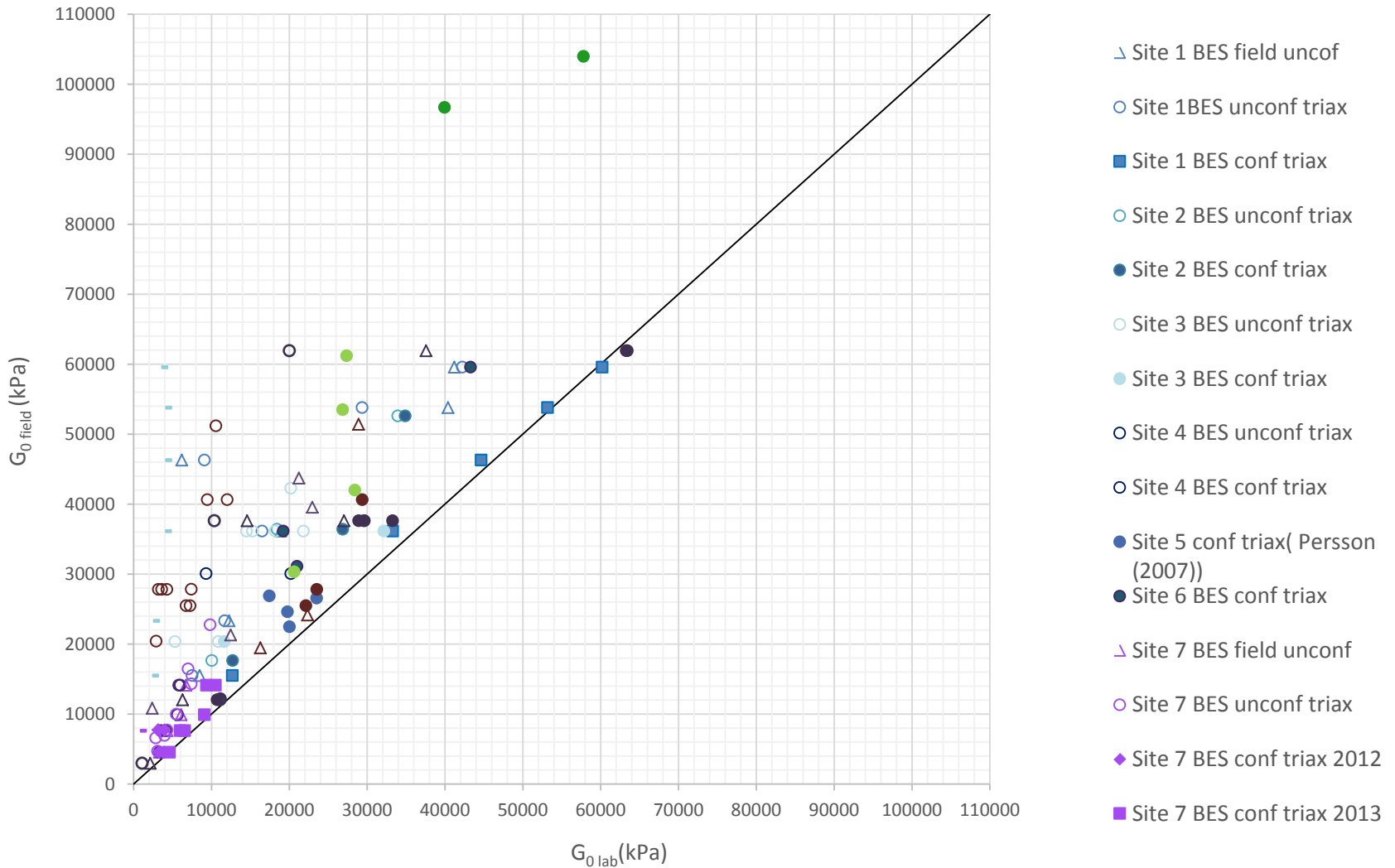
Sandlager kopplad till tömning av
Baltic Ice Lake

Finns det trender från fältmätningar som fungerar för samtliga sites?

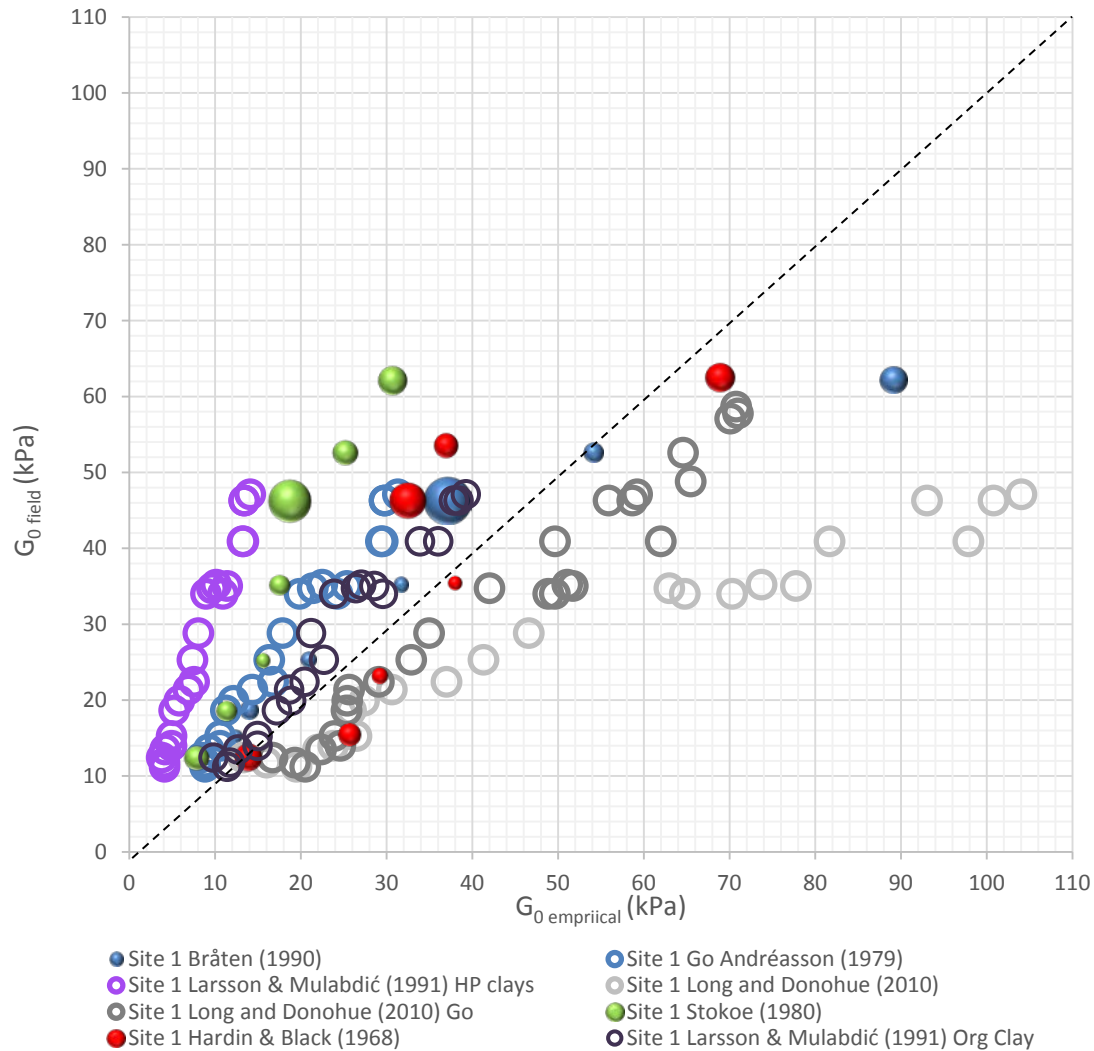
- Flera metoder indikerar platsspecifika trender; CPTU, W_L , S_u , PI när G_0 är normaliserad med p' (medel effektiv spänning) eller q_t
- Mest lovande var aktivitet ($PI/lerhalt$) mot G_0 / p'



Jämförelser $G_{0 \text{ lab}}$ mot $G_{0 \text{ fält}}$



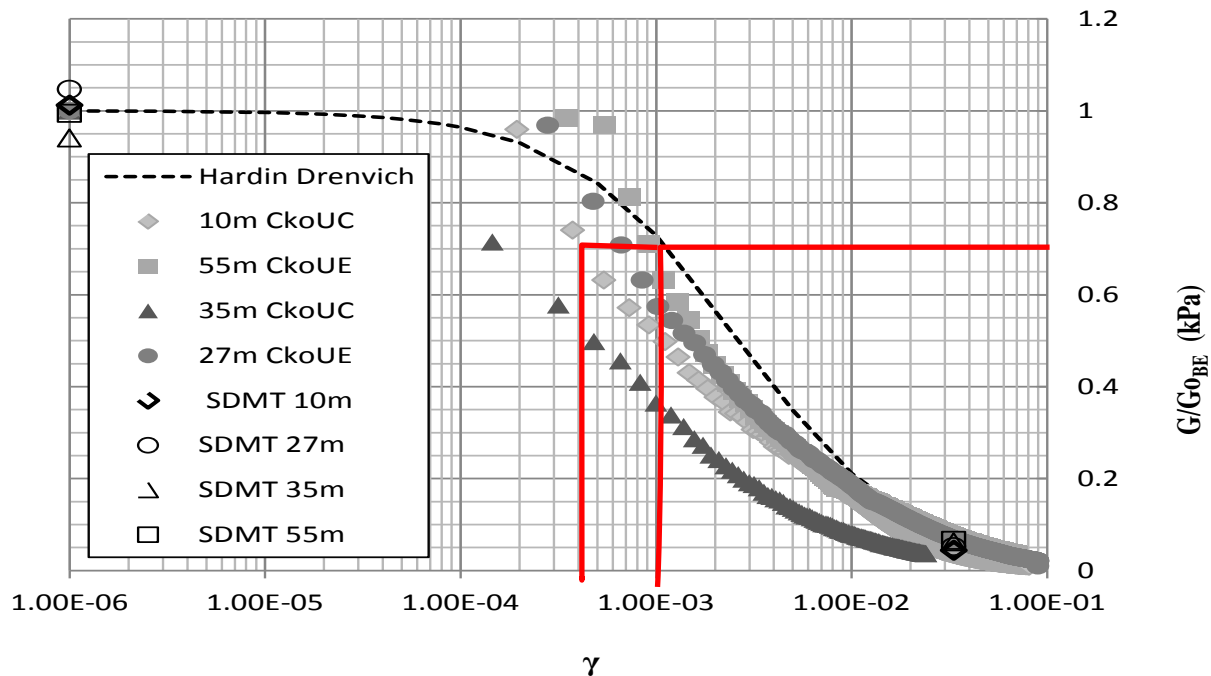
Jämförelser $G_{0 \text{ empiri}}$ mot $G_{0 \text{ fält}}$



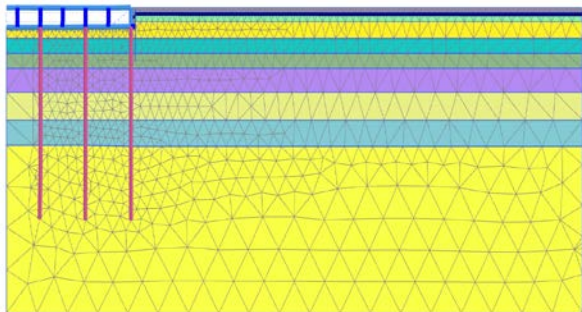
Degradering av G_0

Utvärderad i laboratorium och från SDMT med hjälp av Hardin-Drenvich equation

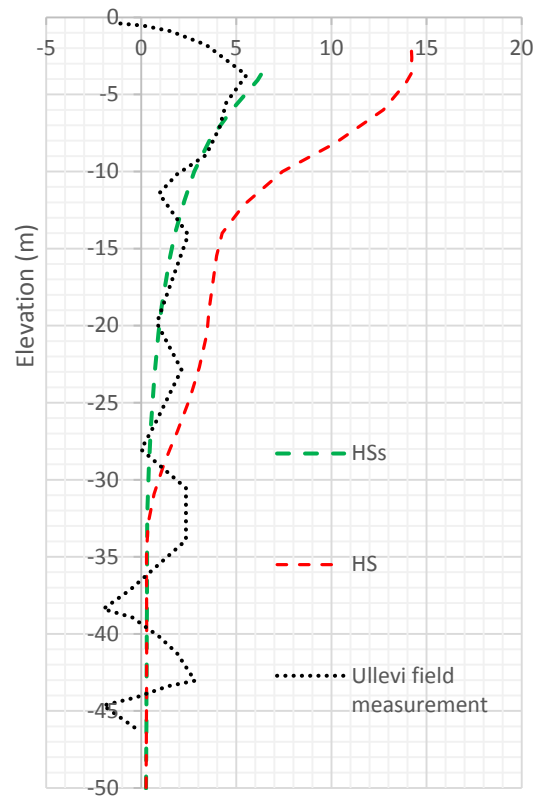
- Passiv skjuvning ger brantare degradering
- Initialt är Hardin-Drenvichs relation (implementerad i HSs) konservativ men vid större töjningar ligger det på den osäker sidan
- HS_s input $\gamma_{0.7}$ varierar mycket mindre störning ledar till högre värden



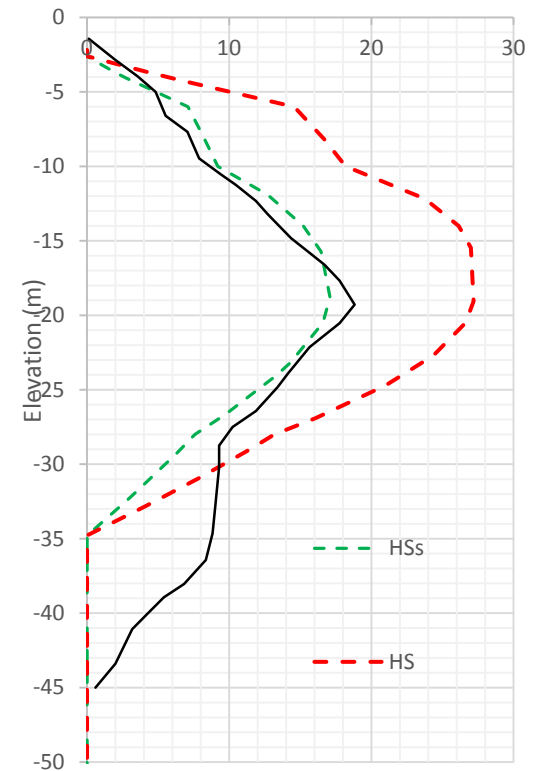
Jämförelser mellan fältmätningar och numeriska simuleringar HS/HSs



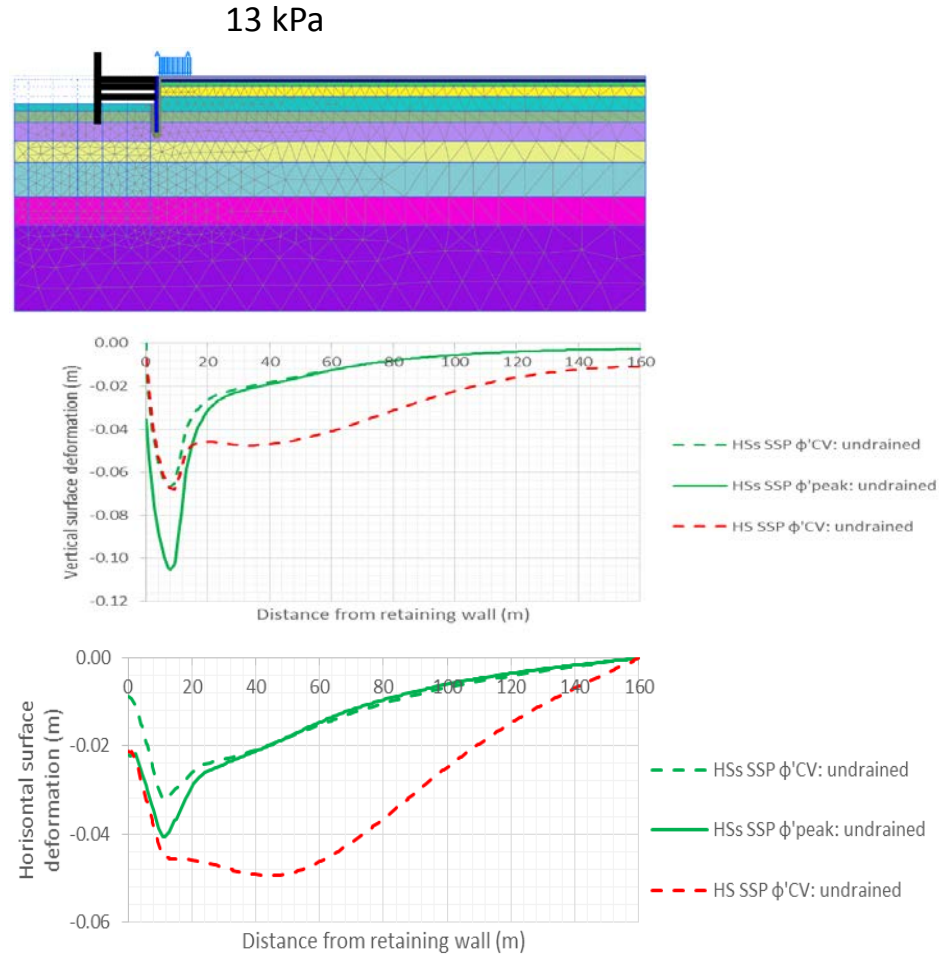
Vertical deformation following basement construction (mm)



Excess pwp (kPa)



Effekt av styvhet vid små töjningar i numerisk modellering av 10m schakt



Sammanfattning

- Bestämning av G_0 från $V_{s \text{ fält}}$ och $V_{s \text{ lab}}$ fungerar bra i svenska leror så länge fält/labbar är "state of art"
- Det finns ingen bra empirisk metod som fungerar för alla svenska lösa leror. Lokala empiriska samband är möjliga.
 - Bästa övergripande samband har konstaterats med aktivitet (PI/ler halt) och G_0/p'
 - Svenska metoder baserade på hållfasthet tenderar att underskatta G_0
- Numeriska simuleringar visar att effekten av styvhet vid små töjningar hos jorden intill geo-konstruktioner är stora
- Stora begränsningar finns dock med HSs och HS: ingen anisotropi, ingen softening eller hänsyn till krypbeteende.
 - Detta kräver mycket av geoteknikern vid implementering av indata och modellen på "rätt sätt" och vid "rätt" tillfällen.

Rekommendationer

- Styvhet vid små töjningar behöver behandlas mer systematiskt, “probing” av styvhetsdegradering vid olika skjuv/spänningsvägar och “mellan” töjningar behövs
 - Större inverkan vid djupa grundläggningar, höghastighetståg mm.
- Utökning av G_0 -databas för prover från fält och blockprov
- Återvänder till 10m schakt simulering med mer relevant konstitutiv modell för lös lera, kalibrerad för små töjningsområden.

Din bedömning av projektet

- I vilken grad har projektet nått projektmålen? 5
- Erfarenheter du/BIG bör ta med till kommande projekt?
 - Viktigt med väldefinierad projektbeskrivning
 - Keep to the plan
 - Bra fältmätningar slår bra labbmätningar gällande utvärdering av G_0 och förmodligen även degradering.
 - Seismisk data är mycket bra för mer än bara 1D- G_0 och bör används mer
 - Planering av provtagningsstrategi
 - MASW har möjlighet att ge 2-3D-utvärdering av G_0 om behövs (hög hastighets tåg mm.)
 - Fältdata från MASW kan även utvärderas med reflektionsseismik för att hjälpa vid tolkning av lager följd, V_p , mm.