

Sättningar i brofundament grundlagda på djuppackade deltasediment

Sättningsuppföljning för Bro nr 7 på Väg E4 mellan Sundsvall och
Härnösand, Deltavägen över Torsboda- och Älgsandsrännorna i
Indalsälvens delta

HELEN ÅHNBERG
ROLF LARSSON
BJÖRN MÖLLER

Linköping i augusti 1997



Statens geotekniska institut
Swedish Geotechnical Institute

S-581 93 Linköping, Sweden
Tel. 013-11 51 00, Int. +46 13 11 51 00
Fax. 013-13 16 96, Int +46 13 13 16 96

ISSN 1100-6692



Sättningar i brofundament grundlagda på djuppackade deltasediment

Sättningsuppföljning för Bro nr 7 på Väg E4 mellan Sundsvall och
Härnösand, Deltavägen över Torsboda- och Älgsandsrännorna i
Indalsälvens delta

HELEN ÅHNBERG
ROLF LARSSON
BJÖRN MÖLLER

Linköping i augusti 1997

Sättningar i brofundament grundlagda på djuppackade deltasediment.

Sättningsuppföljning för Bro nr 7 på Väg E4 mellan Sundsvall och Härnösand, Deltavägen, över Torsboda- och Älgsandsrännorna i Indalsälvens delta.

Helen Åhnberg, Rolf Larsson och Björn Möller, Statens geotekniska institut, Linköping.

Synopsis

Bro nummer 7 på Deltavägen är 238 m lång och grundlagd med åtta plattfundament på i huvudsak sand och silt. Före grundläggningen packades de lösa sedimenten genom djuppackning med vibrovinge. Resultaten av djuppackningen varierade starkt med djupet och i de olika jordlagren. Som packningskontroll användes främst resultaten från CPT-sonderingar och översiktliga sättningsberäkningar på basis av dessa. Som komplement för en senare sättningsuppföljning utfördes dessutom dilatometerförsök i tre av brostöden. Bron började byggas i slutet av 1989 och sättningarna i brostödens ändkanter uppströms respektive nedströms har följts upp kontinuerligt av Vägverket så att resultaten från sju års mätningar nu föreligger. I denna skrift jämförs de uppmätta sättningarna i de åtta brostöden med de sättningar som kan beräknas med ledning av resultaten från CPT-sonderingar och dilatometerförsök

Inledning

Den aktuella bron över Indalsälvens delta skulle grundläggas på mäktiga sediment av främst sand och silt. De inledande undersökningarna med främst viktsondering, hejarsondering och störd provtagning hade visat att jordprofilen bestod av cirka 40 m sediment ovanpå morän. Kornstorleken i sedimenten avtar gradvis med djupet så att de översta cirka 12 metrarna av jordprofilen bedömdes bestå av sand överlagrande siltig sand ner till cirka 22 m, silt till cirka 32 m och lerig silt ned till moränen. Sedimenten bedömdes som löst lagrade, (Bjerin och Ekström 1986).

Traditionellt grundläggs tunga konstruktioner på löst lagrad jord på pålar. Vid tidpunkten för Deltavägens projektering hade ny teknik för djuppackning av friktionsjordar utvecklats, (Massarsch 1991), och detta bedömdes som ett intressant alternativ. För den aktuella bron föreslogs därför att grundläggningen skulle utföras på jord som vid varje brostöd djuppackats med vibrovinge. För packningskontroll föreslogs viktsonderingar kompletterade med ett antal CPT-sonderingar med samtidig registrering av genererade portryck.

Den 238 m långa bron skulle grundläggas på åtta brostöd med dimensionerna bredd 4-5 m och längd 13-13,6 m. Grundläggningsdjupen varierade mellan 1,4 m för ändstöden till upp till 3 m för mellanstöden där grundläggningsnivåerna och grundläggningsdjupen varierade med älvfårans bottenpografi. På ömse sidor om bron ansluter tillfartsbankar som påverkar spänningsökningen under ändstöden, speciellt på större djup. Över en större yta runt varje fundament utlades dessutom erosionsskydd av sprängsten med en tjocklek av 1-1,1 m. Fig. 1.

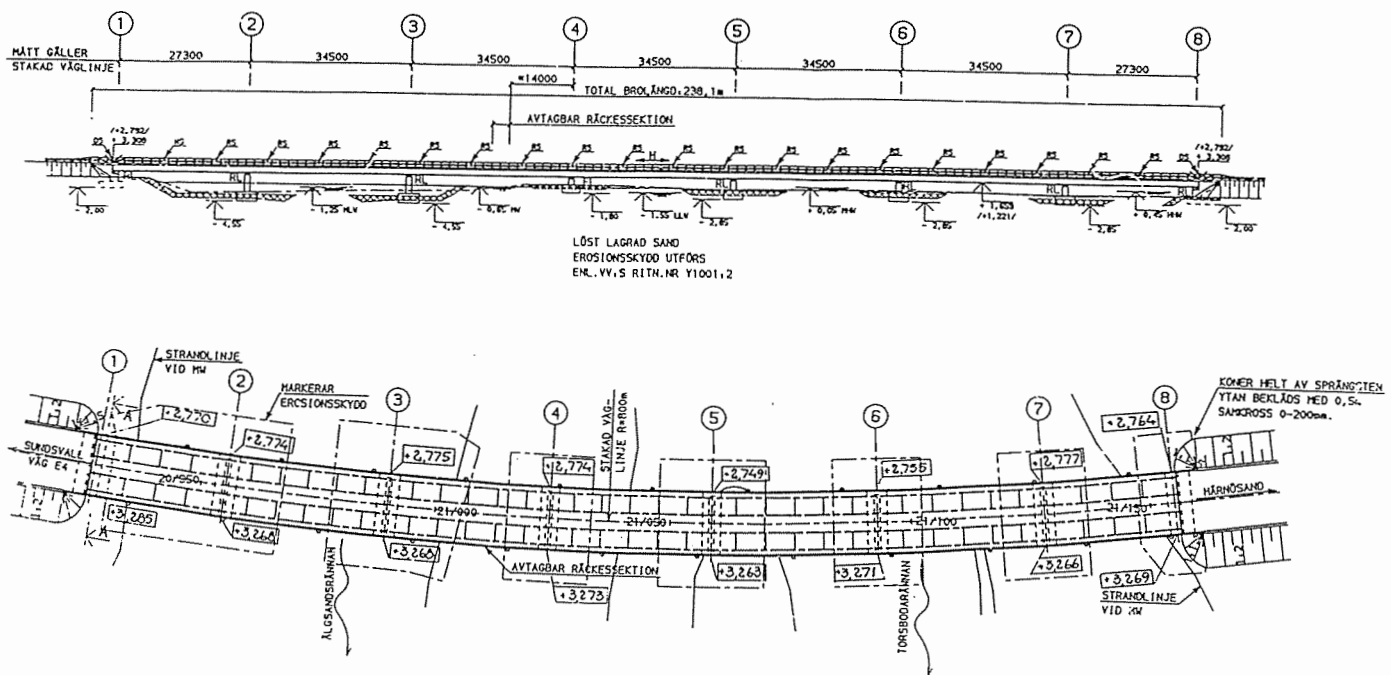


Fig. 1. Bro nummer 7 på Deltavägen över Torsboda- och Älgsandsrännorna.

I samband med kontrollen av vibropackningen startades ett forskningsprojekt där Statens geotekniska institut med anslag från Vägverket utökade antalet kontrollpunkter och kontrollmetoder och ett program för uppföljning genom sättningsobservationer utarbetades, (Möller och Åhnberg 1991). Avsikten med projektet var dels att i detalj studera effekten av djuppackningen, dels att studera relevansen för olika metoder för provning och sättningsberäkning i packad jord.

Packningskontroll

CPT-sondering visade sig snart vara ett överlägset alternativ för packningskontrollen jämfört med viktsondering och kontrollprogrammet ändrades till att utgöras av enbart CPT-sonderingar kompletterade med dilatometerförsök i några stöd. Den svenska erfarenheten av dilatometerförsök var relativt begränsad vid denna tidpunkt och dessa försök utfördes främst i forskningssyfte. Resultaten av CPT-sonderingarna och dilatometerförsöken gav i princip en god överensstämmelse med den tidigare bedömda jordprofilen med några viktiga undantag. Resultaten från dessa undersökningar indikerar att gränsen mellan sand och siltig sand går något högre upp i jordprofilen samt att det finns ett inbäddat lager som ur försöksresultaten klassificeras som lera/siltig lera. På motsvarande nivåer hade jorden vid den tidigare provtagningen i enstaka punkter klassificerats som gyttjig lerig silt. Skiktets mitt ligger på ett djup som varierar mellan cirka 4 och 11 m i profilen. Det har registrerats i de flesta sonderingarna och kan antas vara kontinuerligt längs bronns sträckning men djupet varierar från 4 till 7 m i bronns ena ände till 11 m i den andra. Lagret varierar dessutom tvärs bron så att det på uppströmssidan inte kan registreras under det första brostödet utan på denna sida först blir skönjbart i det andra stödet på cirka 4 m djup. På nedströmssidan är lagret under det första stödet cirka 0,5 m tjockt med skikt mitt på cirka 7 m djup. Lagret ökar sedan successivt i tjocklek på båda sidor av brostöden samtidigt som djupet ökar och skillnaderna i djup på ömse sidor utjämnas så att det i det sista brostödet är cirka 2 m tjockt, ungefär horisontellt och med centrum på cirka 11 m djup, Fig. 2. I ett fåtal av sonderingarna och i ett par av dilatometerförsöken har lagret inte registrerats varför det också är möjligt att den lösare jorden kan förekomma som stora linser på de angivna nivåerna.

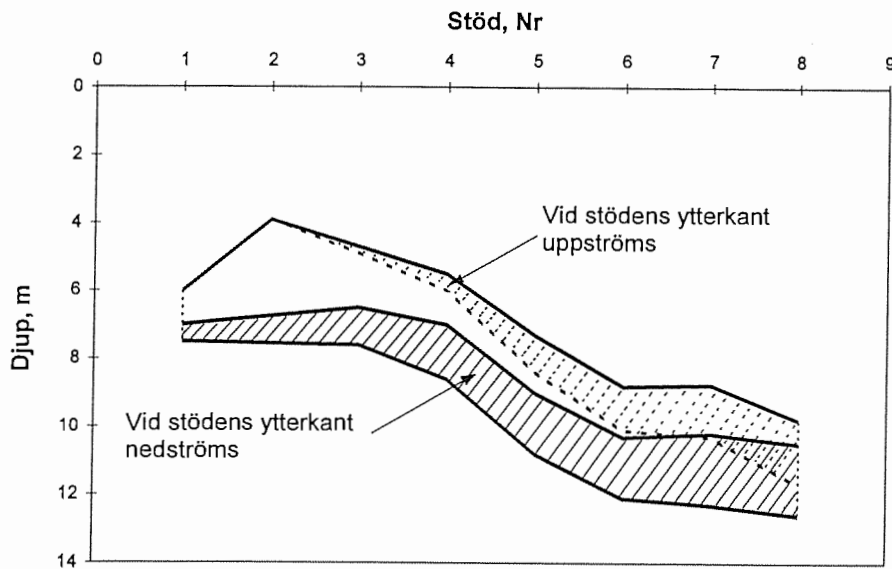


Fig. 2. Lerlagrets läge och tjocklek längs och tvärs bron

Effekt av djuppackning

Djuppackningen utfördes med en utrustning som kunde vara upp till 15 m lång. Det effektiva packningsdjupet i det aktuella fallet varierade i huvudsak mellan 12 och 13 m för mellanstöden och något mindre för ändstöden. Effekten av djuppackning med vibrovinge varierar med jordens kornstorlek och metoden är, enligt t.ex. Jendeby (1993), främst lämpad för sand. De jämförande sonderingarna och dilatometerförsöken visade också att i det övre grövre materialet erhöles en god packningseffekt medan ingen påtaglig positiv effekt erhöles i den mer siltiga sanden eller silten. I lagret av lera/siltig lera indikerar sonderingsresultaten och dilatometerförsöken att den eventuella struktur och överkonsolideringseffekt som funnits före packningen förstörts och sonderings-motstånden och de utvärderade modulerna efter vibreringen blev lägre än före, Fig. 3.

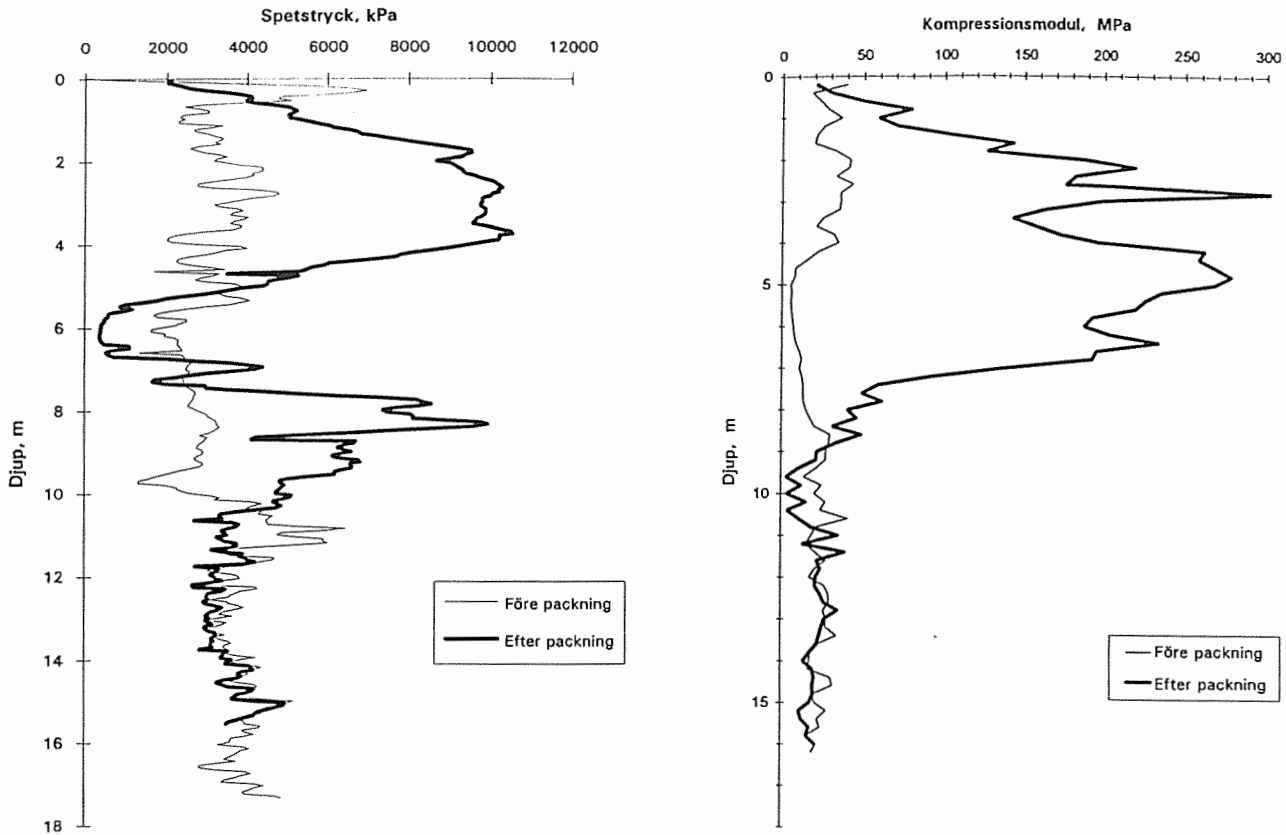


Fig. 3. Exempel på effekt av djuppackningen enligt CPT-sonderingar i Stöd 4 respektive dilatometerförsök i Stöd 6.

För kontroll av att erforderlig packning erhållits gjordes översiktliga kontrollberäkningar av uppskattade sättningar på basis av resultaten från spetstrycksondering med Schmertmanns (1970 och 1978) metod. Bron var ursprungligen projekterad som en betongbalkbro, men då det stod klart att detta skulle resultera i större sättningar än vad som bedömdes som acceptabelt för denna typ av konstruktion ändrades designen till en stål balkbro som medförde mindre laster och en sättningståligare konstruktion. Beräkningarna utfördes med försiktiga antaganden utan kompensation för bortschaktade jordmassor vid stöden och vattenuptryck. En viss försiktighet vid val av moduler iaktogs också med tanke på den begränsade eller obefintliga packningseffekten på större djup. På detta vis beräknades sättningar varierande mellan 18 och 40 mm under konstruktionens första år som skulle öka till 21 till 47 mm efter 10 år. Medelvärdet var 28 respektive 33 mm och variationen var jämnt fördelad utmed bronns längd med en viss tendens till större sättningar för brostöden 1 till 4. Schmertmanns metod är dock speciell så till vida att den endast tar hänsyn till jordens egenskaper inom ett begränsat djup under plattan. Lösare skikt på relativt stora djup under plattan påverkar därför resultaten endast i mycket begränsad grad eller inte alls. I sättningsberäkningarna togs inte heller hänsyn till påverkan från det erosionsskydd av sprängsten som skulle läggas ut över en större yta runt varje brostöd.

Verkliga sättningar

De verkliga sättningarna har mätts i två punkter på varje brostöd, en i ytterkant av plattan på dess uppströmssida och en på nedströmssidan. Avläsningsfrekvensen har varierat från cirka en gång i månaden under byggskedet till en gång per år under de senaste åren. Byggnadstiden var cirka ett år och under denna tid ökade sättningarna gradvis med vissa oregelbundenheter beroende på lastpåföringen. Vid byggnadstidens slut utfördes en lagerjustering och ett annat större ingrepp i form av en höjdjustering "lyft" av brobanan utfördes ett år senare. Dessa båda ingrepp avspeglas som oregelbundenheter i sättningsförloppen. En viss variation i belastningen på grund av trafikvibrationer, påverkan av istryck och varierande vattenstånd i älven kan antas pågå kontinuerligt men denna kan inte direkt spåras, särskiljas eller beräknas. I övrigt kan ur tids-sättningskurvorna noteras att sättningarna, och speciellt då de större sättningarna, har tidsförlopp som antyder ett hydrodynamiskt fördröjt tidsförlopp med en med tiden mer successiv sättningsutveckling än den som normalt kan förväntas vid en ren friktionsjord. I dagsläget förefaller sättningarna i de punkter där dessa är relativt små ha övergått till tidsförlopp som i stort överensstämmer med normala krypsättningsförlopp i friktionsjord. I de flesta punkter med relativt stora sättningar pågår de dock ännu med en något större hastighet. Sättningarna vid byggnadstidens slut uppgick till mellan 14 och 62 mm och har cirka sju år efter byggstart ökat till mellan 23 och 86 mm, Fig. 4.

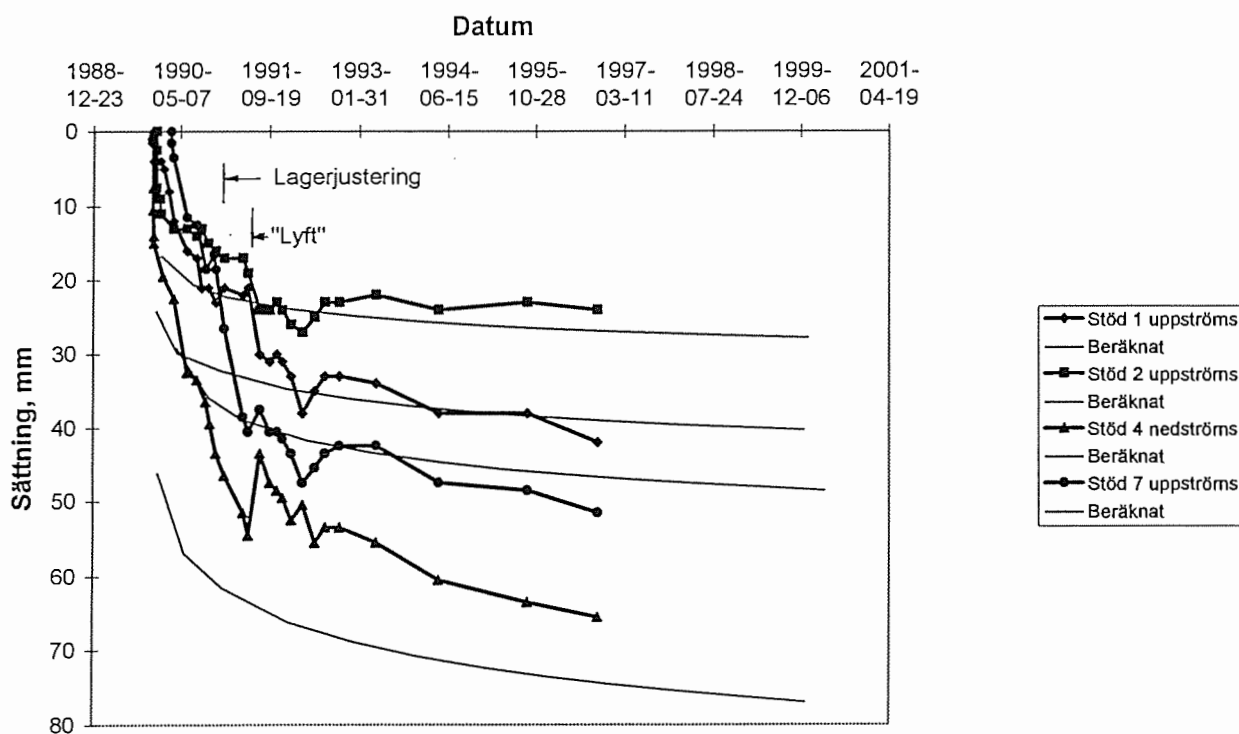


Fig. 4. a) Exempel på sättningsutveckling i punkter med olika storlek på sättningarna jämförd med beräknad sättningsutveckling.

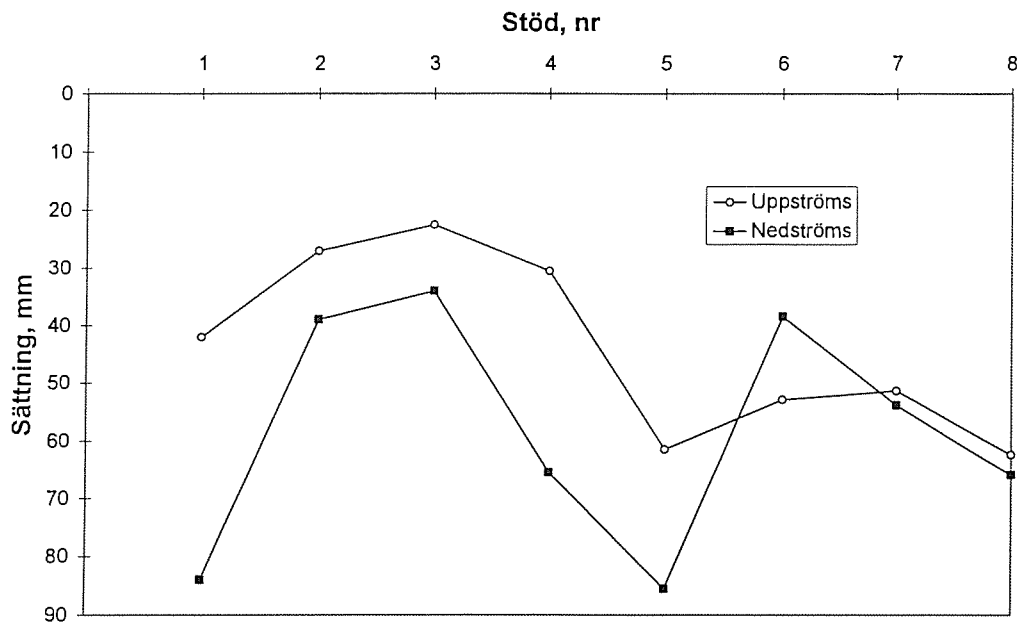


Fig. 4 b) Uppmätta sättningar cirka 7 år efter byggstart.

Sättningarnas storlek varierar i grova drag på ett sätt som kan härledas till det lokaliserade lösa lagret så att en markant snedsättning uppstått i den halva av bron där lagrets läge och tjocklek varierat markant under brostöden, medan den är betydligt jämnare där det lösa lagret är jämntjockt och i det närmaste horisontellt. I stora drag är de uppmätta sättningarna störst för stöden 4-8 på den sida där lagret är tjockast men stora sättningar har också uppmätts på nedströmssidan i brostöd nummer 1 där inverkan av tillfartsbanken medför påtagliga spänningsökningar på större djup. I jämförelsen skall förutom mindre lastvariationer mellan stöden också beaktas att det inte bara är det lösare lagrets tjocklek som påverkar utan också dess läge. Ju ytligare lagret är beläget desto större blir dess inverkan, Fig. 5.

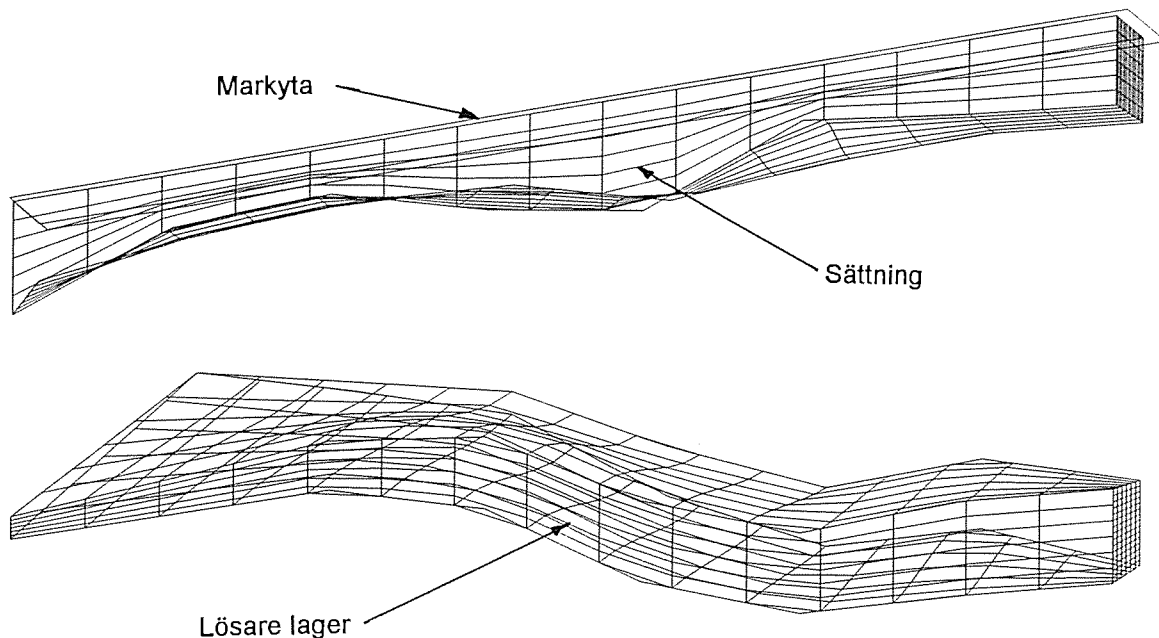


Fig. 5. Sättningens variation i förhållande till det lösare lagrets tjocklek och läge. (Perspektivet sett från en punkt belägen nedströms och i ungefär samma nivå som lerlagret)

Sättningsberäkning

Sättningsarna i brostöden har beräknats enligt tre olika metoder med ledning av CPT-sondering och med den gängse metoden för resultat från dilatometerförsök.

För resultaten från CPT-sonderingarna har använts de i Sverige vanligen använda Schmertmanns metod, DeBeers metod och beräkningar med moduler utvärderade enligt svensk empiri och spänningsfördelning enligt elasticitetsteori, (Schmertmann 1970 och 1978, DeBeer 1967, Bergdahl et al 1993 och Larsson 1997). Dessa metoder skiljer sig på vissa punkter och tillämpningsområden.

Schmertmanns metod är avsedd för beräkningar av sättningar för ytligt grundlagda plattor på sand. I metoden beräknas sättningsarna inom ett empiriskt uppskattat djupintervall som varierar från 2 ggr plattbredden för kvadratiska plattor till 4 ggr plattbredden för plattor med längd/bredd- förhållanden av 10 eller mer. För de här aktuella fundamenten begränsas därför inverkan till cirka 2,5 ggr plattbredden eller cirka 10 m under plattan, där inverkan för de understa metrarna är mycket begränsad. Resultaten blir därför helt beroende av egenskaperna i det övre sandlagret där packningen gav god effekt medan inverkan av den underliggande lösare jorden i princip försummas. I Schmertmanns metod används olika koefficienter som är beroende av förhållandet mellan påförd belastning och den tidigare in-situspänningen samt längd och breddförhållanden vilka medför att metoden är föga lämpad för superponering av lasttillskott från utbredda ytlaster.

I de här utförda beräkningarna har endast lasten på fundamentet och en viss inverkan från tillfartsbankarna beaktats. Några försök till enklare superponering av utbredd last från erosionsskydden gav endast marginella förändringar.

DeBeers metod är likaledes avsedd för beräkningar av sättningar för ytligt grundlagda fundament på sand. Metoden använder sig av elasticitetsteori för beräkning av spänningstillskotten under belastningen och lämpar sig därför väl för superponering av olika lasttillskott. Speciellt för metoden är att den är avsedd att ge beräkningar på "säkra sidan" och enligt DeBeer ger den normalt dubbelt så stora beräknade sättningar som de som i verkligheten inträffar.

Vid beräkning av sättningar i "normala" profiler, där spetsmotståndet och jordens kompressions-modul ökar kontinuerligt med djupet, begränsas sättningsberäkningen ofta av praktiska skäl till ett djup inom vilket den påförda belastningen ger spänningstillskott som är större än 10 % av det tidigare effektiva överlagringstrycket på respektive nivå. Denna begränsning gäller dock inte vid andra lager och fasthetsvariationer och i det aktuella fallet har sättningsberäkningarna utförts till fullt sonderingsdjup d.v.s. cirka 18 m under markytan.

Metoden innebär också att man antar ett deformationshårdnande sättningsförlopp så att sättningsarna blir relativt stora för små lasttillskott medan sättningstillskotten vid vidare lastökningar successivt minskar. I det aktuella fallet innebär detta att tillskottsspänningarna från det utbredda erosionsskyddet, vilka blir markanta i de lösa lagren på större djup, resulterar i relativt stora sättningstillskott. Beräkningar har utförts både för enbart fundamentet och med inverkan av erosionsskyddet.

Sättningsberäkning med moduler enligt svensk empiri och spänningsfördelning enligt elasticitetsteori innebär att sättningsmodulerna utvärderas enligt de empiriska riktlinjer som presenterats i Plattgrundläggningshandboken (Bergdahl et al 1993) och Vägverkets rekommendationer (Vägverket 1994) och som kan uttryckas matematiskt som $E = 4,3q_T^{0,93}$ (Larsson 1997). Tillskottsspänningarna beräknas som vanligt med elasticitetsteori och metoden lämpar sig således väl för superponering av lasttillskott. Denna typ av sättningsberäkning innefattar både sand och silt men dock inte lera.

För överkonsoliderad lera rekommenderas att kompletterande dilatometerförsök utförs eller att ödometerförsök utförs på ostörda prover. För normalkonsoliderade eller endast svagt överkonsoliderade leror rekommenderas enbart det senare. I det aktuella fallet har inga prover tagits efter djuppackningen, varför annan empirisk erfarenhet får tillgripas. Vibrobehandlingen kan förväntas ha helt eliminerat tidigare förkonsolideringseffekter och jorden kan vid tidpunkten för byggstart antas vara i princip normalkonsoliderad för det rådande effektiva överlagringstrycket. Enligt den empiri som presenterats av Janbu (1970) och Larsson (1981) kan kompressionsmodulen för den aktuella finkorniga jorden med ledning av uppmätta vattenkvoter då uppskattas till cirka 20 ggr det effektiva överlagringstrycket och detta har använts i de aktuella beräkningarna. Dessa har utförts såväl med som utan beaktande av det lösare skiktet.

Vid gängse metod för beräkning av sättningar på basis av dilatometerförsök används också elasticitetsteori tillsammans med en ur försöket utvärderad sättningsmodul. Denna metod är avsedd att vara användbar i sand, silt och överkonsoliderad lera. För normalkonsoliderad lera får motsvarande empiri som i föregående metod användas inom de intervall där jorden med ledning av dilatometerförsöken klassificerats som normalkonsoliderad lera. I de aktuella försöken registrerades det lösare skiktet fullt ut endast i två punkter och dessa gav då ofta moduler som var lägre än de ovan angivna och användande av empirin medförde här en uppräknig av utvärderade moduler. I övriga försök angav resultaten från dilatometerförsöken också markant finkornigare skikt men den ur försöken gjorda jordartsklassificeringen förblev i huvudsak inom siltregionen och ett normalt användande av resultaten medför att utvärderade moduler där antas vara relevanta.

Jämförelse mellan beräknade och uppmätta sättningar

Exempel på uppmätta och beräknade sättningsförlopp har redovisats i Fig. 4. Beräkningarna har utförts som om belastningen påförts momentant. 10-årssättningen har beräknats med empiriska moduler och tids-sättningsförloppen har beräknats enligt Schmertmanns metod där en 10-faldig ökning av belastningstiden medför 20 % sättningsökning.

Resultaten från de olika beräkningsmetoderna har sedan jämförts med uppmätta sättningar 7 år efter byggstart. Generellt har relationerna ändrats med tiden så att de uppmätta är relativt större vid senare tidpunkter, vilka också kan anses mer relevanta eftersom effekter av den utdragna och oregelbundna byggprocessen då utjämnats och det i Sverige normalt är 10-årssättningar som beräknas för denna typ av grundläggning.

Beräkningarna med Schmertmanns metod ger i de flesta fall mycket för små sättningar. Endast i de punkter där de verkliga sättningarna också varit relativt små erhålls en viss överensstämmelse. Någon systematisk variation som korrelerar med de uppmätta sättningarna finns inte utan genomgående beräknas en sättning av i medeltal 22 mm som 7-årssättning, Fig. 6.

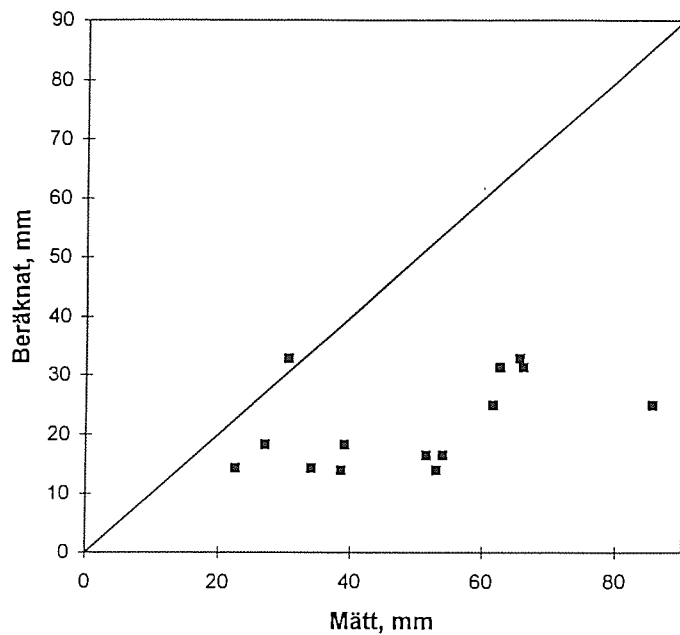


Fig. 6. Jämförelse mellan uppmätta sättningar och sättningar beräknade med Schmertmanns metod.

Beräkningarna med DeBeers metod ger sättningar som storleksmässigt är betydligt större. Beräkningar för enbart last från fundamentet ger sättningar av i medeltal 33 mm vid den aktuella tidpunkten. Dessa ökar till 51 mm då också den utbredda belastningen beaktas. De senare värdena överensstämmer betydligt bättre med medelvärdena av de uppmätta sättningarna med ingen systematisk trend för de beräknade sättningarna som korrelerar med den för de uppmätta kan urskiljas. Generellt överskattas sättningarna i de punkter där de verkliga sättningarna är relativt små och i de punkter där de verkliga sättningarna är relativt stora underskattas de vid beräkningarna, Fig. 7.

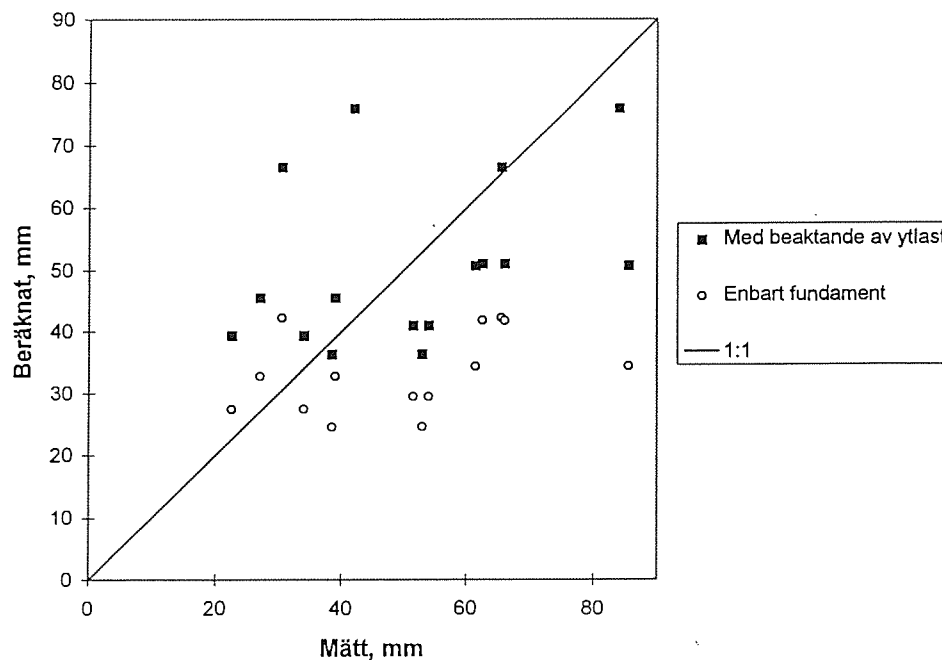


Fig. 7. Jämförelse mellan uppmätta sättningar och sättningar beräknade med DeBeers metod

Beräkningarna med empiriska moduler utan beaktande av lerskikt men med beaktande av erosionsskyddet ger sättningar som är något större än de som beräknas med Schmertmanns metod och hälften av de som uppskattas med DeBeers metod med motsvarande förutsättningar, i medeltal 25 mm vid den aktuella tidpunkten. Detta ligger helt i linje med DeBeers observation att den senare metoden normalt ger sättningar som är dubbelt så stora som de verkliga medan metoden med empiriska moduler är utan inbyggda säkerheter. En jämförelse mellan de empiriska modulerna och den ekvivalenta modul som används i DeBeers metod presenteras i Fig. 8 och visar klart att DeBeers "moduler" i detta fall är cirka hälften av de empiriska. Inte heller i detta fall erhålls någon trendmässig korrelation mellan beräknade och uppmätta sättningar och de beräknade är generellt för små utom i några punkter där de verkliga sättningarna också är relativt små.

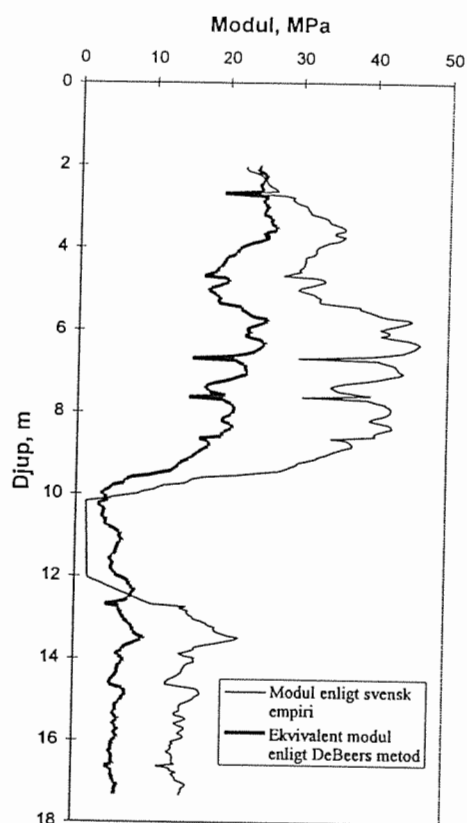


Fig. 8. Jämförelse mellan ekvivalenta moduler använda i DeBeers metod och moduler utvärderade enligt svensk empiri.

Då det lösare skiktet beaktas erhålls en betydligt bättre korrelation mellan beräknade och uppmätta sättningar, såväl trendmässigt som storleksmässigt, Fig. 9

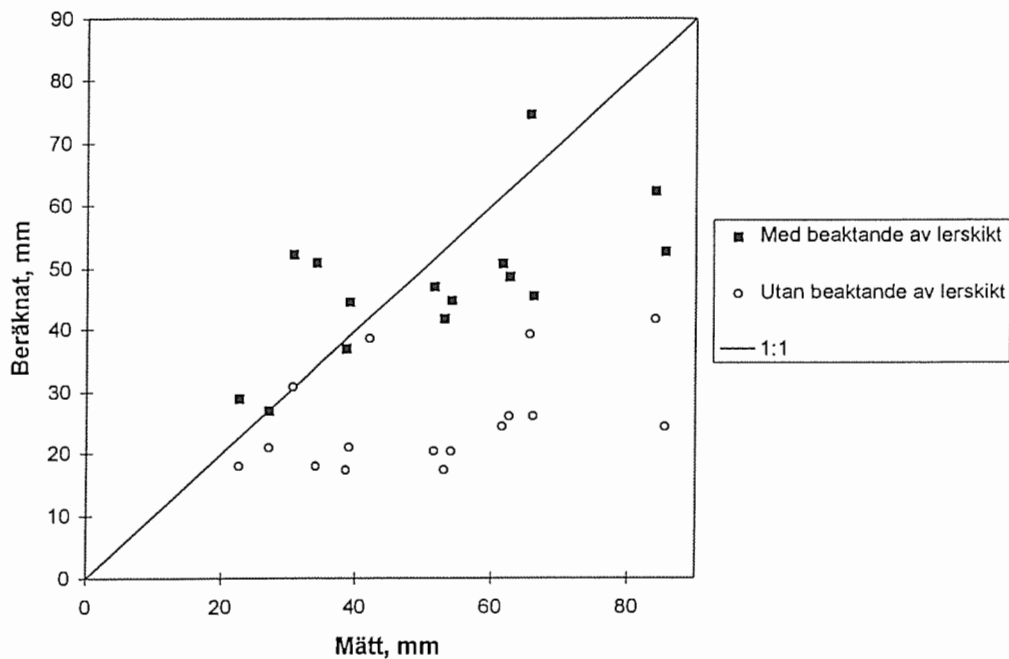


Fig. 9. Jämförelse mellan uppmätta sättningar och sättningar beräknade med elasticitetsteori och empiriska moduler.

Beräkningarna med dilatometermoduler ger goda korrelationer i de två punkter där lerskikten registrerats fullt ut, betydligt sämre korrelation där lerskikten endast delvis registrerats och mycket för låga beräknade sättningar där ingen lera registrerats, Fig. 10.

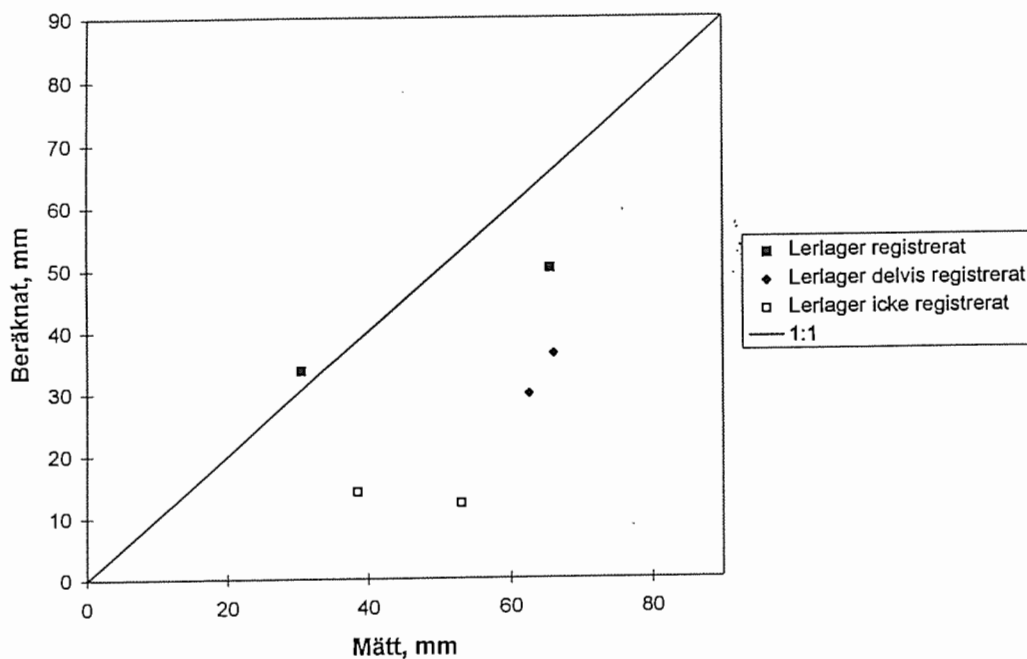


Fig. 10. Jämförelse mellan uppmätta sättningar och sättningar beräknade med dilatometermoduler.

Slutsatser

- Vid bedömning av djuppackning som en lämplig förstärkningsmetod är det mycket viktigt att jordlagerföljden klarläggs i detalj. För detta är viktsondering och andra grövre metoder inte lämpliga utan CPT-sondering med samtidig portrycksmätning bör användas, eventuellt i kombination med dilatometerförsök. Endast sand med ett begränsat finjordsinnehåll i enlighet med de riktlinjer som anges i t.ex. Jendeby (1993) låter sig packas på detta vis.
- Vid beräkning av sättningar i jordprofiler med på djupet avtagande fasthet måste det i beräkningarna involverade djupet utsträckas till att omfatta de lösaste lagren även om spänningsökningarna i dessa är måttliga och spänningsökningar på grund av utbredda belastningar måste beaktas även om lastintensiteten är relativt liten.
- De empiriska beräkningsmetoder som är utarbetade för sättningar i sand kan inte användas i finkornigare jord.
- Beräkningsmetoden med moduler bedömda på basis av CPT-sondering och svensk empiri kan användas i kombination med andra undersökningar eller, som i detta fall, annan empiri. Stor varsamhet måste dock beaktas vid utvärdering av sonderingsresultat och bedömning av moduler.
- Relevansen av dilatometerförsök som enskild försökstyp är svår att klart bedöma ur föreliggande undersökning eftersom dilatometerförsöken var få. I detta fall har dilatometerförsöken behandlats separat utan att kombineras med CPT-sonderingarna. De senare var avsevärt fler och även om inte lerskiktet registrerades i alla punkter var det relativt lätt att ur den samlade bilden skapa en modell av dess utbredning, djupläge och tjocklek. Något motsvarande kunde inte göras ur de fåtaliga dilatometerförsöken utan resultaten har använts som de är i varje enskild punkt. I de punkter lerskiktet registrerats fullt ut är överensstämmelsen mellan beräknade och uppmätta sättningar god, i övriga punkter är den det inte. Om man med ett stort antal dilatometerförsök kunnat bygga upp motsvarande jordmodell som med CPT-sonderingarna kan inte bedömas. Normalt bör metoderna kombineras och i detta fall blir resultaten ungefär motsvarande de som erhöles för moduler från CPT-sondering med inverkan av det lösare skiktet.

Referenser

Bergdahl, U., Malmberg, B.S. och Ottosson, E. (1993). Plattgrundläggning. Svensk Byggtjänst, Solna.

Bjerin, L. och Ekström, A. (1986). Väg E Sundsvall-Härnösand delen Sörberge-Torsboda, Västernorrlands län, Y1001, bro över Älgsands och Torsbodaránnan. Byggnadsteknisk beskrivning, geoteknik

DeBeer, E.E. (1967). Bearing Capacity and Settlement of Shallow Foundations on Sand. Proceedings, Symposium on Bearing Capacity and Settlements of Foundations, Duke University, Lecture 3.

Janbu, N. (1970). Grunnlag i geoteknik. Tapir Forlag. Trondheim.

Jendeby, L (1993). Jordförstärkning - Djuppackning. Byggeforskningsrådet T21:1993, Stockholm.

Larsson, R. (1981). Drained behaviour of Swedish Clays. Statens geotekniska institut, Rapport Nr. 12, Linköping.

Larsson, R. (1997). Investigations and Load Tests in Silty Soils. Statens geotekniska institut, Rapport Nr. 54, Linköping.

Massarsch, R. (1991). Deep Soil Compaction using Vibratory Probes. Deep Foundation Improvements; Design, Construction and Testing, ASTM STP 1089.

Möller, B. och Åhnberg, H. (1991). Djuppackning med vibrovinge. Resultat från kontroll och uppföljning väg E4 över Indalsälven, Deltavägen, Bro 7, Sundsvall. Statens geotekniska institut, Varia 414, Linköping.

Schmertmann, J.H. (1970). Static Cone to Compute Static Settlements over Sand. ASCE, Journal of the Soil mechanics and Foundations Division, Vol. 96, No SM3.

Schmertmann, J.H. (1978). Guidelines for Cone Penetration Tests, Performance and Design. Federal Highway Administration, Report FHWA-TS-78-209, Washington

Vägverket (1994). Jords hållfasthets- och deformationsegenskaper. Vägverket, Publikation 1994:15, Borlänge.