

Packning av heterogen undergrund med hjälp av HEIC – ”High Energy Impact Compaction”

I detta projekt beskrivs den packnings- och uppföljningsmetodik som tillämpades för att säkerställa att tillräckligt styv undergrund erhöles för överbyggnaderna inom ett hamnområde där undergrunden utgjordes av mycket heterogena fyllnadsmassor.

Bakgrund

Från våren 2009 till hösten 2011 byggde Skanska Sverige AB den nya RoRo- och Containerterminaler inom Norra Hamnen i Malmö åt Copenhagen Malmö Port AB. Det aktuella området består av i havet utfylld mark. De heterogena och osäkra grundförhållandena i kombination med de objektsspecifika sättnings- och bärighetskraven medförde att fyllningsmassorna behövde packas inom ett cirka 23 hektar stort område, samtidigt som en tillförlitlig sättningsprognos erfordrades för att kunna bedöma huruvida fyllnadsmassorna blivit tillräckligt styva med hänsyn till överbyggnaderna inom olika delar av terminalområdet. Packningsarbetet utfördes genom HEIC (High-Energy Impact Compaction) i regi av LANDPAC Ground Engineering Ltd.

Syfte

På grund av de aktuella markförhållandena vid Norra Hamnen bedömdes att ”observationsmetoden” var den enda framkomliga vägen för att uppnå en tekniskt-ekonomiskt rimlig lösning. Därför utfördes projektering, byggande och kontroll i nära samarbete mellan berörda parter.

Syftet med SBUF-projektet var att möjliggöra utökade undersökningar och analyser inom ramen för den tillämpning av ”observationsmetoden” som användes vid byggnationen i Norra Hamnen. Förhoppningen är att de erfarenheter från Norra Hamnen som redovisas i denna rapport kommer till nytta vid framtida byggande på heterogen undergrund.

Fokus lades primärt på sättningsaspekter eftersom den huvudsakliga packningseffekten vid HEIC-bearbetningen uppnås någon till några meter under rådande markytan samtidigt som framfördes att HEIC-bearbetningen tenderar att ”rugga upp” markytan, vilket medför behov av ”etterbearbetning” med traditionell vältning av terrassytan för att den skall uppnå tillräcklig bärighet. Erfarenheterna rörande terrassytans bärighet berörs därför enbart kortfattat.



Figur 1. Aktuell Landpac-vält under packningsarbetet i Norra Hamnen.

Genomförande

Med stöd från SBUF och Skanska Sverige AB har arbetet utförts av Skanska Teknik. Inom ramen för projektet har det varit möjligt att genomföra utökade insatser avseende bland annat följande:

- Uppföljning och analys av sättningsutvecklingen under provbankarna.
- Utveckling av en objektsspecifik sättningsberäkningsmodell (baserat på erfarenheterna från provbankarna).
- Analys av CIR- och CIS-mätningarna (Continuous Impact Response respektive Continuous Induced Settlement) vid HEIC-bearbetningen.
- Analys av CPT-sonderingar utförda före och efter HEIC-bearbetningen.
- Analys av ZLT (Zone Load Test).
- Analys av den sättningsutveckling som uppmätts i markpeglarna placerade i förstärkningslagret.
- Sammanfattning av erfarenheterna från kompaktering och mätningar i en rapport .

Resultat

Baserat på uppföljningarna av provbankarna utvecklades en tillförlitlig objektsspecifik sättningsberäkningsmodell, vilken baseras på resultaten från CPT-sonderingar. Denna modell nyttjades inom projektet för prognostisering av de framtida sättningarna inom området, varvid konstaterades att de förväntade sättningarna skulle understiga de objektsspecifika kraven inom huvuddelen av det aktuella området.



Figur 2. Ungefärligt planläge för provbankarna (provbänkarna kan skönjas inom de röda ringarna i flygfotot).



Figur 3. Foton visande en av provbankarna samt den övre delen av en av markpegelarna som användes för sättningsuppföljningen.

HEIC, inklusive uppföljning i form av CIS och CIR, förefaller att vara ett bra verktyg för att komprimera packningsbara massor och samtidigt identifiera "soft spots" där massorna består av relativt finkornig lermorän vilken inte är packningsbar – åtminstone inte med den metodik som använts vid Norra Hamnen. Således är metoden ett bra exempel på tillämpning av "observationsmetoden". Vid Norra Hamnen utfördes kompletterande sonderingar och/eller provgropar i läget för samtliga "soft spots", varvid konstaterades att massornas sammansättning var sådan att de inte var packningsbara. Därför skiftades massorna ut i dessa delområden.

Uppmätta spetstryck vid CPT-sonderingar, utförda såväl före som efter HEIC-bearbetning, påvisar huvudsakligen ingen tydlig packningseffekt i de sonderade punkterna. Detta beror sannolikt på att de studerade punkterna huvudsakligen är belägna i delområden med lösa och finkorniga massor.

Resultaten från ZLT-försöken och peglarna i förstärkningslagret uppvisar stor spridning. Å ena sidan avspeglar detta troligen den heterogena undergrunden. Å andra sidan beror detta sannolikt på att mätningarna, såväl tidsmässigt som geografiskt, har kolliderat med en tidskritisk fas i entreprenaden varvid mätkvaliteten tyvärr blivit lidande. Resultaten från ZLT-försöken antyder dock att undergrundens styvhet var minst lika hög som den styvhet som erhöles vid nyttjande av den sättningsberäkningsmodell som utvecklades på basis av provbankarna. CIR-mätningarna som erhöles vid HEIC-bearbetningen gav en någorlunda god bild av hur bärigheten på terrassen varierade inom området. Den uppskattade 40-årssättningen (dimensionerande livslängd), baserat på resultatet från uppföljningsmätningar fram till strax innan färdigställandet av entreprenadarbetena, uppgår till maximalt cirka 10 cm. Detta är i samma storleksordning som de beräknade sättningarna. Därför har sättningsberäkningsmodellen på senare tid tillämpats inom flera andra projekt där undergrunden består av fyllnadsmassor. I skrivande stund (knappat tre år efter färdigställandet) under-

stiger de utbildade sättningarna de objektsspecifika kraven inom den absoluta merparten av de HEIC-bearbetade områdena.

Slutsatser

Sammantaget bedöms att HEIC-packning är en metodik som fungerar bra vid komprimering av utfyllda massor ned till några meters djup, förutsatt att massorna inte är för finkorniga. Finkorniga massor (exempelvis relativt finkornig lermorän) förefaller dock inte vara packningsbara med denna metodik. Tack vare den kontinuerliga "produktionskontroll" som erhålls i form av CIR- och CIS-kartor förefaller det dock vara möjligt att identifiera packningsbara respektive icke packningsbara delområden. HEIC-packningen får ingen nämnvärd packningseffekt i terrassytan. Därför bör efterföljande traditionell vältning av terrassytan utföras så att denna uppnår tillräcklig bärighet vid efterföljande uppbyggnad av förstärknings- och bärlager.

För att kunna bedöma kompressionsegenskaperna hos utfyllda massor, med varierande och svårbedömda egenskaper, bör någon form av provbelastning utföras, varvid resulterande marksättning och/eller kompression mäts. Provbekastningen bör utföras i form av relativt storskaliga provbankar, vilka uppförs så tidigt som möjligt (idealt innan upphandling av entreprenaden). Om de utfyllda massorna är heterogena bör flera provbankar uppföras, varvid dessa placeras i relativt lösa respektive fasta delområden så att "extremsituationerna" täcks in.

Genom att kombinera resultaten från provbankarna med sonderingsresultat (varav vissa utförts i läget för provbankarna) kan en lokal empiri skapas för bedömning av de utfyllda massornas kompressionsegenskaper inom hela det aktuella området. I aktuellt projekt nyttjades CPT-sonderingar för framtagande av sådan lokal empiri, men alternativa undersökningsmetoder med "direkt mätning" av deformationsegenskaperna (exempelvis dilatometerförsök eller pressometerförsök) leder sannolikt till större precision om så erfordras. Sådana alternativa undersökningsmetoder är dessutom sannolikt bättre än "grova sonderingsmetoder" (exempelvis CPT-sondering eller hejarsondering) för detektering effekten av HEIC-packningen i form av förändrade kompressionsegenskaper samt för bedömning av att massorna uppnått tillräcklig styvhet. Även ZLT bör kunna nyttjas för detta, men då erfordras god planering och koordinering med övrig produktion.

Vid efterföljande uppbyggnad av förstärknings- och bärlager bör sättningsuppföljningar utföras för verifiering av att sättningarna inte blir större än vad som är acceptabelt. Om sådan uppföljning görs med markpegelarna erfordras god planering och koordinering med övrig produktion så att dessa får "rätt placering" såväl ur ett geotekniskt som produktionstekniskt perspektiv.

Ytterligare information

Kontaktpersoner:

Torbjörn Edstam, Skanska Sverige AB, tel 010-448 40 90, e-post: torbjorn.edstam@skanska.se.

Litteratur:

- HEIC – "High Energy Impact Compaction" – Utvärdering av packningsarbetena vid Norra Hamnen i Malmö (Slutrapport, av Torbjörn Edstam, 38 sidor) kan laddas ned från www.sbuf.se under projekt 12280.