

Omgivningspåverkan vid Installation av slitsmurer

Slitsmurstekniken används framförallt vid djupare schakter för källare och infrastrukturkonstruktioner i innerstadsbebyggelse. Eftersom närmiljön är extra känslig är det viktigt att i förväg kunna uppskatta hur mycket omgivningen kommer att påverkas

Bakgrund

Slitsmurar är platsgjutna murar av betong som gjuts i element (paneler) som sedan fogas samman. Metoden lämpar sig väl för projekt i stadsmiljö eftersom bullerstörningar, vibrationer och rörelser i omgivande mark blir betydligt mindre än vid slagning eller tryckning med stålspons som traditionellt används i Sverige.

Metoden är mindre beprövad i Sverige eftersom den är mest ekonomiskt lönsam när slitsmuren kan nyttjas i permanenta konstruktioner, vilket fram tills nu inte har accepterats av svenska myndigheter. Kunskapen om slitsmurar har dock blivit bättre efter det att de har använts som temporära stödkonstruktioner för både Götatunneln i Göteborg och Citytunneln i Malmö. Detta, tillsammans med bl.a. utvecklingsprojektet "slitsmurar som permanenta konstruktioner", har lett fram till en revidering av "bronormen" ATB Bro 2004-Supplement nr 2, där Vägverket accepterar slitsmurar som en permanent konstruktionsdel (se Teknikforum nr 1 februari 2008). Detta kommer sannolikt att leda till en ökad användning av tekniken i Sverige, vilket ökar behovet av att uppskatta omgivningspåverkan.

Syfte

Just nu avslutas ett utvecklingsprojekt där syftet har varit att öka kunskaperna inom området genom att undersöka



möjligheterna att förutse de markrörelser som uppstår vid slitsmursinstallationer. I projektet jämförs enkel empiri med 2D- och 3D-analyser med finita elementmetoden (FEM) samt uppmätta rörelser i fält. Målet har varit att klargöra vilket beräkningssätt som är mest lämpligt vid olika projektförutsättningar.

Genomförande

Utvecklingsprojektet har finansierats av SBUF, NCC Construction Sverige AB och Chalmers Tekniska Högskola. Arbetet belyser främst följande frågeställningar:

- Vilka faktorer påverkar slitsens stabilitet mest?
- Vad finns det för erfarenheter från projekt som utförts i andra länder?
- Hur ska omgivningspåverkan mätas?
- Vad är ett rimligt krav på horisontella rörelser från beställaren?
- Vilken noggrannhetsgrad (empiri, 2D- eller 3D- FEM) är lämplig?
- Kan mer komplicerade beräkningsanalyser bidra till att bättre utvärdera risker och möjligheter för omgivningen under slitsmursinstallationen?

Slitsens stabilitet har undersökts under installation av flera olika paneltyper med varierande djup och längd. Förloppet har studerats med både FEM-analyser och

beräkningar enligt enkel jordmekanikteori. Baserat på dessa har en bedömning av installationspåverkan samt en känslighetsanalys av olika beräkningsparametrar gjorts. För att studera arbetsutförandets och stödvätskans inverkan på horisontella markrörelser har ett omfattande fältförsök utförts vid Citytunneln-projektet. Totalt har sju områden undersökts, se figur 3, med hjälp av tolv stycken inklinometrar med vilka horisontalrörelserna mäts på olika djup. Åtta av inklinometrarna ingår i kontrollprogram för Citytunneln medan fyra stycken har använts enbart för fältförsöket. I dessa fyra mättes horisontalrörelserna i olika skeden med stor noggrannhet:

- Innan arbetet startade (referensmätning)
- Efter schakt till kalkberg med gripkopa (ca 8 m)
- Efter urgrävning till fullt schaktdjup med fräs (ca 20 m)
- Direkt efter gjutning 1-2 dygn efter gjutning
- Om utförandet stod stilla mer än 8 timmar (t.ex. vid avbrott i schaktning över natt)

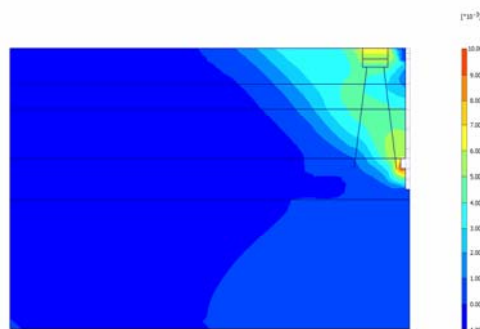
Övriga åtta inklinometrar, som ingick i Citytunnelns kontrollprogram, mättes innan arbetet startade (referensmätning) och sedan med intervall enligt kontrollprogrammet, normalt en gång varannan vecka.

Resultat – fast jord/berg

Eftersom erfarenheterna av slitsmurar är relativt begränsade i Sverige genomfördes först en studie av undersökningar som gjorts i andra länder. Detta låg till grund för en allmän beskrivning av slitsmursteknik och en del reflektioner om hur omgivande mark påverkas under installationen.

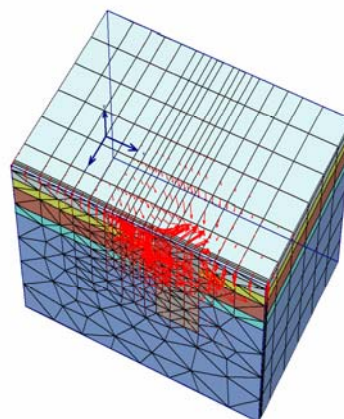
Simuleringar med FEM kan delas upp i 3 grupper:

- De första "klass A" simuleringarna (genomförd innan mätningar i fältet) är utförda med 2D finit element analys för slitsmurspaneler
- De "klass C2" simuleringar som har utförts för att förklara oförväntade stora rörelser vid banhallen (pålad byggnad), simuleringar med 2D FEM.

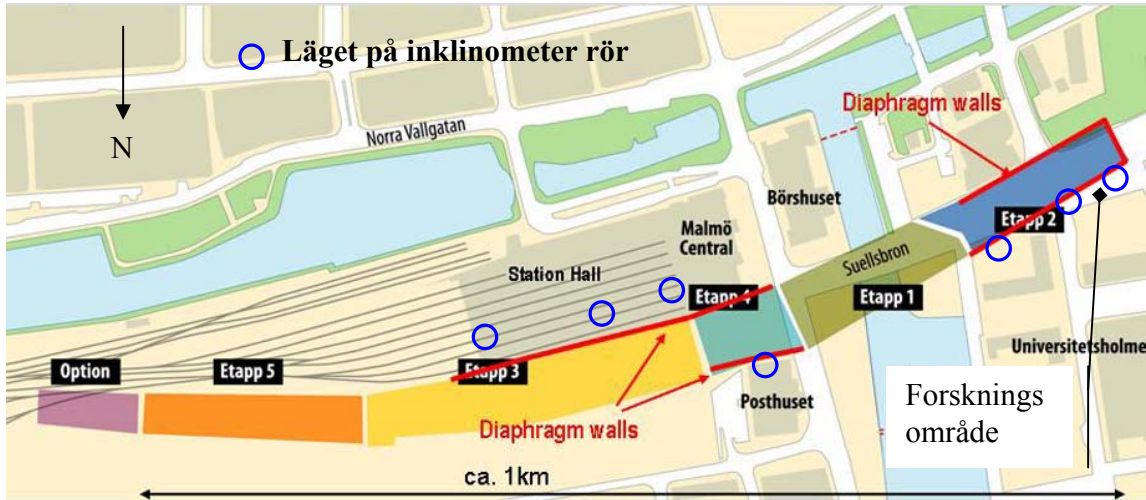


Figur 1. Resultat vid banhallen fall 9 (schaktsvärigheter) max 10mm horisontella rörelser

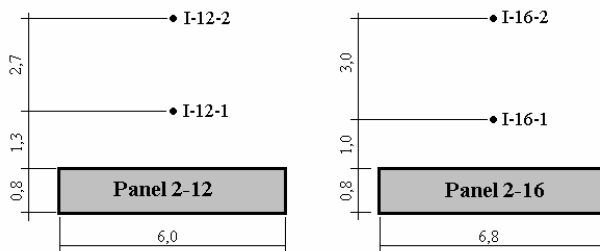
- Simuleringar utförda med 3D FEM analyser, men utförda efter det att mätningarna var klara, en så kallad "klass C1" simuleringar.



Figur 2. Typiskt resultat från 3D analys vid första schakt av slitsen till "primary panel" (4mm) i fast lera/kalkberg



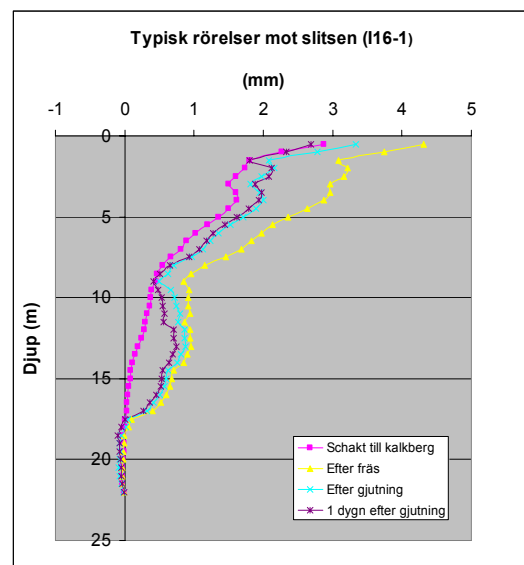
Figur 3: Område med slitsmurar och läget på studerade inklinometerör på Citytunnel E101 projektet



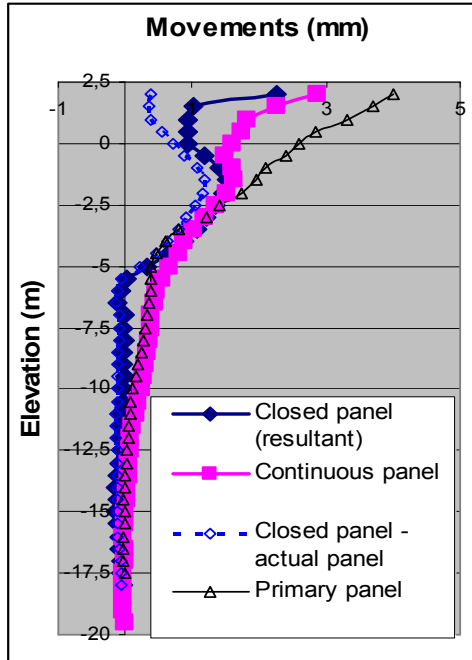
Figur 4: Studerat paneler och position av inklinometra i forskningsområdet på Citytunneln

Resultat – fast mark/berg (Citytunnel)

Både simuleringar och mätningar uppvisar samma rörelsemönster vid olika installationsfaser. Rörelserna är som störst efter urgrävning till fullt schaktdjup med fräsning och minskar med ca 40 % under gjutning av betongen, se figur 5 som presenterar mätningar i fält för en "fortsättningspanel" 6,8m lång, 0,8m bred och 20m djup. Det finns även tydliga skillnader i rörelser mot djupet vid olika paneltyper (start-, fortsättnings- och slutpaneler), framförallt på grund av olika 3D-effekter under schakt och av stödväggarnas inverkan, se Figur 6. **Profilen har en "s" form närmast markytan vid installation av slutpanelen som orsakas av att "guidewall" hålls tillbaka av jorden.**



Figur 5: Uppmätta horisontalrörelser vid olika installationsfaser (fast lera/kalkberg).

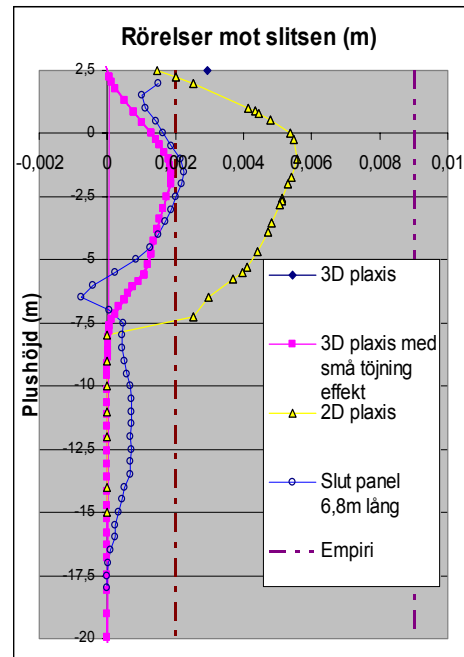


Figur 6 Jämförelser av horisontala rörelser vid olika panel typ i fast lera/Kalkberg

Rörelser vid "primary" panelens installation är störst, ca 100 % större än rörelsen vid schaktningen av en slut panel. Notera också att 50 % av rörelserna bakom ett slut panel är orsakade pga. installation av intilliggande paneler. Därför är det viktigt att veta vilken panel typ man har och när mätningar blir "nollade" när man tittar på resultaten från inklinometrar.

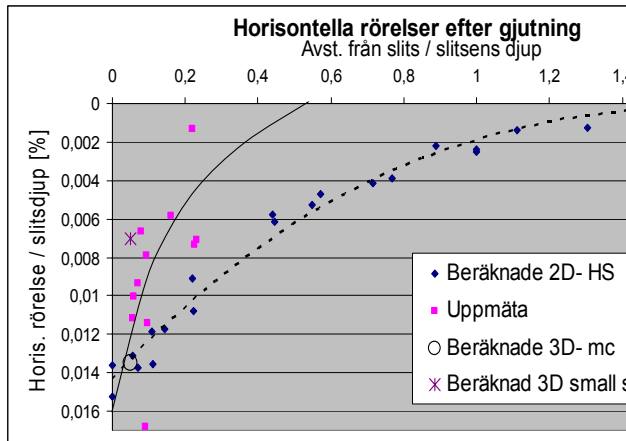
En jämförelse mellan uppmätta och uppskattade horisontella rörelser för en slutpanel visas i figur 7. Vid uppskattning av horisontalrörelser med empiri är det viktigt att denna empiri grundar sig på liknande markförhållanden. De undre och övre gränsvärdena är hämtade från CIRIA C580. Till framtida projekt kan figur 8 användas för liknade projekt.

En uppskattning med 2D FEM ger rörelser som är ca 2,5 gånger större än de



uppmätta värdena. Känslighetsanalyser visar att de parametrar som hade störst inverkan på uppskattade rörelser var styvhet hos jorden och stödvätskans nivå under schakt. Resultatet stämmer bra överrens med Figur 7: Jämförelser med uppskattade rörelser från 2D, 3D och empiri analys med mätningar i fältet i fast lera/kalkberg- slut panel

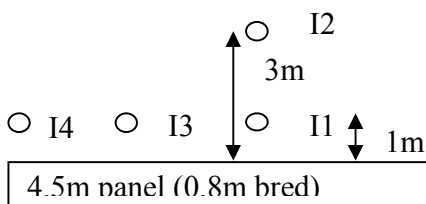
publicerad litteratur där skillnaden ofta förklaras med "3D-effekter". Analys med 3D FEM ger den bästa uppskattningen av rörelser men tar betydligt längre tid att genomföra. Den bäst lämpade modellen i detta fall är en modell som tar hänsyn till ökad styvhet hos jorden vid små töjningar.



Figur 8: Uppmätta och beräknade horisontala markrörelser efter gjutning av betongen i fast lera/kalkberg
Beräkningar med 3D-analys och en enkel jordmodell som Mohr-Coulomb ger bättre resultat än 2D men har fortfarande en felmarginal på ca 100 % där är inte särskilt värdefullt med hänsyn till beräkningstiden.

Resultat – lös lera (Götaleden)

Mätningar var utförda för installation av en 4,5m lång primary panel, 22m djup och 0,8m bred i lös lera på Götaledsprojektet. Mätningar är tagna från manuella mätningar i 4 st. inklinometer I1 till I4, se figur 8. Rörelsemönstret i varje inklinometer var annorlunda.



Figur 8: Inklinometer plan- Götaleden

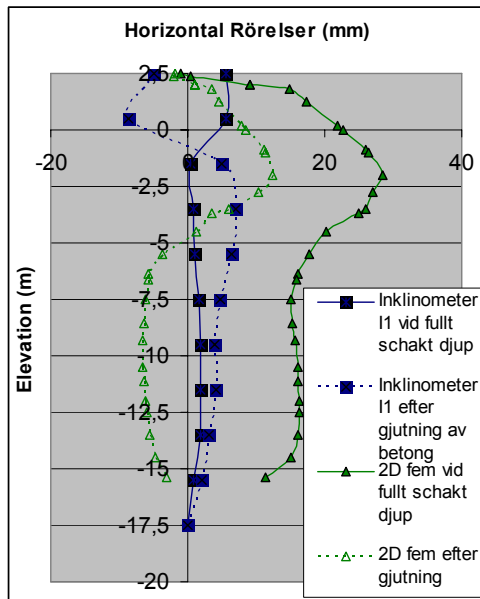
Mätningar från projektet i Göteborg presenteras i figur 9 ihop med resultat från 2D FEM beräkningen. De totala rörelserna efter schakt, gjutning och konsolidering var max 5 mm ifrån slit-sen vid I1 och 3 mm i övriga inklinometer. Slutsatsen är att även om rörelser upp i 30 mm kan förväntas, var de tota-

la rörelserna, orsakade av installationen, relativt små. Det verkar därför rimligt att lägga till 5 mm på eventuella finita element analyser av rörelser på färdigt schaktdjupt där slitmuren modellerat som "wished in place".

Jämförelser mellan mätningar och uppskattade horisontella rörelser från 2D FEM analyser med "hardening soil" jordmodell i lös lera är redovisad i figur 9. Beräkningar med 2D FEM var utförda med jord parametrar enligt ref 3, inget försök att anpassa beräkningen till uppmätta rörelser har gjorts.

Profilen från 2D FEM är lite "bökelig" pga. Att leran är uppdelad i endast 7 lager för att minska beräkningstiden med ett mellanvärde på E-modulen i varje lager eftersom man inte kan få E-modulen att öka med djupet automatisk i programmet. Självklart kan man dela leran i flera lager för att jämna till profilen.

Uppskattade horisontella rörelser var betydligt större de uppmätta (ca 4 gånger) som tyder på att 3D-effekter och små töjningseffekter är ännu viktigare i lös lera. Det skulle vara intressant att utöka arbetet till att omfatta beräkningar i 3D både med och utan små töjningseffekter för att undersöka om det är möjligt att göra bättre uppskattningar av rörelser i lös lera.



Figur 8: Jämförelser av uppskattade rörelser med 2D fem analyser och mätningar från fältet

Slutsatser och rekommendationer

Påverkan på omgivningen beror i stort sätt på stabilitet hos slitsen. En slits med lägre stabilitet rör sig mer än en slits med hög stabilitet.

Använd bara empiri om omgivningen inte är känslig. Utvecklingsprojektet visar att empiri ger en tillräckligt bra uppskattning i de fall då en känsla för de totala rörelserna av ett planerat schakt eftersträvas.

Omgivningspåverkan kan uppskattas noggrannare med hjälp av komplicerade jordmodeller och 3D-analyser, men arbetet är tidskrävande och bör endast utföras då omgivningen är känsligare. Vid känsliga omgivningar kan även analys i 2D vara användbar för att uppskatta inverkan av de olika riskerna under installationen. Genom att man har förberett för olika åtgärder i förväg kan man slippa kostsamma uppehåll i slitsmursarbetet.

Viktiga faktorer att tänka på:

- Vid känsliga omgivningar börjar mätningar innan slitsmursarbetet börjar (innan "guidewall" installation)
- När och hur är inklinometrarna kalibrerad?
- Använda figur 8 för att uppskatta förväntade rörelser efter slitsmursinstallation vid "gynnsamma" schakter
- Rörelser vid schakt av slitsen blir ca dubbelt så stora som rörelser efter gjutning av panelen.
- Använd endast numerisk analys om tillräcklig information om jordmaterialparametrar finns tillgängligt.
- Vid numerisk analys; fixering av stödväggar i 2D och 3D FEM modellen påverkar resultat mycket och bör endast användas vid analys/jämförelse av slutpanelerna.
- Använd gärna 2D FEM för riskhantering vid ogynnsamma installationer.

I både Citytunnelprojektet och Götaleden var de horisontella rörelser efter gjutning av betongen mellan 3 och 5 mm vid gynnsamma installationer och upp till 4 gånger större vid ogynnsamma installationer.

De totala horisontella rörelser var mellan 7 och 10 mm för hela Citytunnelprojektet ner till fullt schakt djup (mellan 14 och 20 m) och vid gynnsam installation. Även om dessa rörelser är mycket små är de över kravet och installationspåverkan står för minst 50 % av de totala rörelserna därför bör de inte försummas vid känsliga omgivningar.

Litteratur:

1. *Slitsmurar som permanenta konstruktioner* (2006) kan laddas ner från SBUF:s webbplats, sök i projektregister på 11603

2. Lager P, Persson T (2005): *Om-givningspåverkan vid installation av slitsmurar- jämförelser mellan beräknade och uppmätta markrörelser*. Institutionen för geoteknik, Chalmers Tekniska Högskola
3. Jansson A, Wikström J (2006): *Load Effects on permanent diaphragm walls*, Institution for structural engineering, Chalmers Tekniska Högskola.
4. Wood T (2008) *An Investigation into Installation Effects of Diaphragm Wall Construction*. Acceptorade till NGM (Nordic Geotechnical Meeting)
- 5 GabaA.R., Simpson B , Powrie W, Beadman D.R: (2003) *Embedded Retaining walls – guidance for economic design CIRIA C580*