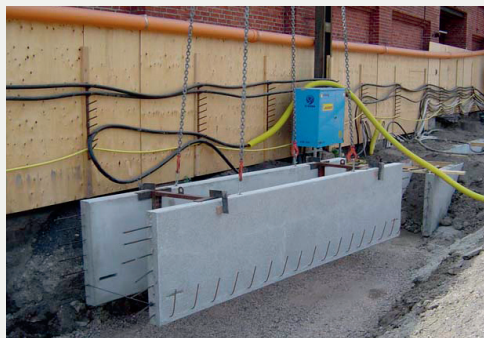


# Omgivningspåverkan vid installation av slitsmurar



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 av 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 att de har använts som temporära stödkonstruktioner för både Götatunneln i Göteborg och Citytunneln i Malmö. Detta har lett till att Vägverket accepterar slitsmurar som en permanent konstruktionsdel. Detta kommer sannolikt att leda till ökad användning av tekniken i Sverige, vilket ökar behovet av att uppskatta omgivningspåverkan.

## Syfte

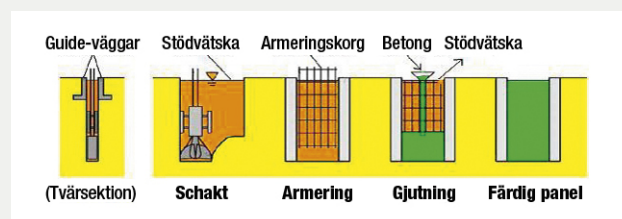
Just nu avslutas ett utvecklingsprojekt där syftet har varit att öka kunskaperna inom området genom att undersöka möjligheterna att förutse de markrörelser som uppstår vid slitsmursinstallationer. I projektet jämförs erfarenhetsbaserade beräkningar med 2D- och 3D-analyser med finita elementmetoden (FEM) samt uppmätta rörelser i fält. Målet har varit att klargöra vilket beräkningssätt som är mest lämpligt vid olika projektförutsättningar.

## Genomförande

Arbetet belyser främst följande frågeställningar:

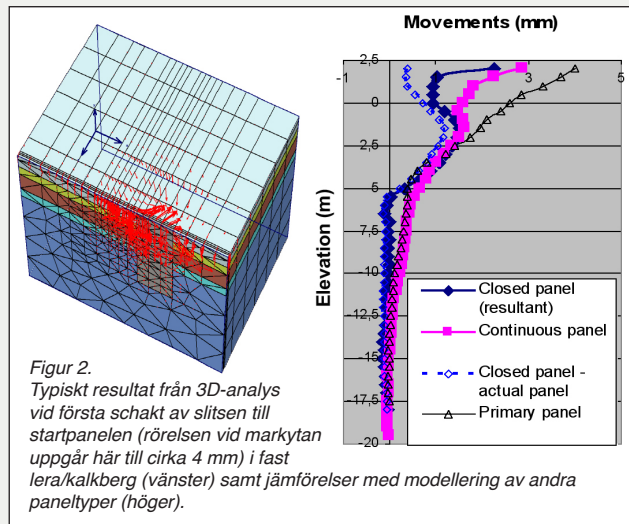
- Vilka faktorer påverkar slitsens stabilitet mest?
- Vilka erfarenheter finns från projekt som utförts i andra länder?
- Hur ska omgivningspåverkan mätas?
- Vad är ett rimligt krav på horisontella rörelser från beställaren?
- Vilken noggrannhetsgrad (baserat på erfarenhet, 2D- eller 3D-FEM-analyser) 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 Citytunnelprojektet med hjälp av inklinometer och mätningar av rörelser i markytan.



## 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.



Figur 2.  
Typiskt resultat från 3D-analys vid första schakt av slitsen till startpanelen (rörelsen vid markytan uppgår här till cirka 4 mm) i fast lera/kalkberg (vänster) samt jämförelser med modellering av andra paneltyper (höger).

## Resultat – fast mark/berg (Citytunneln)

Både simuleringar och mätningar uppvisar samma rörelsemönster vid olika installationsfaser. Rörelserna är som störst efter urgrävning till fullt schaktdjup med fräsning och minskar med cirka 40 procent under gjutning av betongen. Analyser av installationsordningen visar även tydliga skillnader i vertikala rörelser vid olika paneltyper och var i utbyggnadsskedet installationen är (start (primary)-, fortsättning (continuous)- och slutpaneler (closed)). Skillnaden i rörelserna beror framförallt på grund av olika 3D-effekter under schaktarbetet och av stödväggarnas inverkan, se Figur 2. Profilen har en "s" form närmast markytan vid installation av slutpanelen som orsakas av att "stödväggen" hålls tillbaka av jorden.

Rörelsen i anslutning till start-panelens installation är störst och är ungefär dubbelt så stora jämfört med rörelsen vid schaktningen av en slutpanel. Notera också att hälften av rörelserna bakom en slutpanelen är orsakade till följd av installationen av intilliggande paneler. Därför är det viktigt att veta vilken paneltyp man har och när mätningar av rörelser blir "nollade" vid resultaten från inklinometrar.

Förväntad omgivningspåverkan har uppskattats med olika metoder. Uppskattning med 2D FEM och med konservativa erfarenhetsvärden ger rörelser som är cirka 3 till 5 gånger större än de uppmätta värdena. Känslighetsanalyser visar att de parametrar som hade störst inverkan på de uppskattade rörelserna var styvheten hos jorden och stödvätskans nivå under schaktningen. Resultatet stämmer bra överens med publicerad litteratur, skillnaden förklaras oftast med "3D-effekter". Analys med 3D-FEM ger den bästa uppskattningen av rörelserna 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.

Beräkningar med 3D-analys med en enkel jordmodell som Mohr-Coulomb ger bättre resultat än 2D-analyser med en mer avancerad modell som "hardening soil", men har fortfarande en felmarginal på cirka 100 procent mot verkligheten.

## Slutsatser och rekommendationer

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

**Använd bara erfarenhetsbaserade beräkningar om omgivningen inte är känslig.** Utvecklingsprojektet visar att erfarenhetsbaserade beräkningar ger en tillräckligt bra uppskattning i de fall då en bedömning av de totala rörelserna av en planerad schakt eftersträvas. Omgivningspåverkan kan uppskattas mer noggrant med hjälp av avancerade jordmodeller och 3D-analyser, men arbetet är tidskrävande och bör endast utföras då omgivningen är känslig. 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 ska mätningar påbörjas innan slitsmursarbetet börjar, dvs innan installation av ledväggen (kallas även guidevägg eller "guide wall")
- När och hur är inklinometrarna kalibrerade?
- Rörelser vid schakt av slitsen blir cirka dubbelt så stora som rörelser efter gjutning av panelen.
- Använd endast numerisk analys om tillräcklig information om jordmaterialparametrar finns tillgängliga.
- Vid numerisk analys är det viktigt att beakta att fixering av ledväggar 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 Citytunnelprojektet var de horisontella rörelserna efter gjutning av betongen mellan 3 och 5 mm vid gynnsamma installationer och upp till fyra gånger större vid ogynnsamma installationer.

De totala horisontella rörelserna var för hela Citytunnelprojektet mellan 7 och 10 mm ner till fullt schaktdjup (mellan 14 och 20 m) vid gynnsam installation. Även om dessa rörelser är mycket små så överskrider de det specificerade kravet. Installationspåverkan står för minst hälften av de totala rörelserna och bör därför inte försummas vid känsliga omgivningar.

## Ytterligare information

### Kontaktpersoner:

**Tara Wood**, NCC Construction,  
tel 031-771-5081, e-post: tara.wood@ncc.se.

### Litteratur:

- Lager P, Persson T (2005): Omgivningspåverkan vid installation av slitsmurar – jämförelser mellan beräknade och uppmätta markrörelser. Institutionen för geoteknik, Chalmers Tekniska Högskola
- Wood T (2008): Investigation of installation effects in diaphragm wall construction, Nordisk Geoteknik Möte NGM 15, Sandefjord, Norway, 3-6 September, pp 546-554
- *Slitsmurar som permanenta konstruktioner* (2006) kan laddas ner från SBUF:s webbplats, sök i projektregister på 11603