

# Erfaringer fra projektering og udførelse af stor byggegrube i Aalborg centrum.

Carsten S. Sørensen  
COWI, Danmark, [css@cowi.dk](mailto:css@cowi.dk)

Rene Mølgaard Jensen  
Aarsleff, Danmark, [rmj@aarsleff.com](mailto:rmj@aarsleff.com)

## Indledning

I Aalborg, som er Danmarks 4. største by, sker der i disse år en kraftig omdannelse af byens centrale områder. Et af disse projekter er et 60.000 m<sup>2</sup> butikscenter, som skal rumme indkøbscentret Friis med 70 butikker, et hotel, kontorer, lejligheder og ikke mindst et underjordisk 3 etagers parkeringshus. Artiklen omhandler byggegruben for dette parkeringshus. Byggegruben er 80 meter bred og 100 meter lang. Dybden er ca. 15 meter.

Byggegrubevæggen blev valgt udført med en crushpiler, som både kan forbore og nedpresse stålsponsprofiler. Denne metode var det optimale valg for dette projekt med de givne bundforhold og udgravningsdybder. Der blev i alt nedpresset 6.500 m<sup>2</sup> spuns. Rystelsesniveauet blev løbende registreret på sætningsfølsomme nabobygninger og her kunne næsten ikke registreres forøgede rystelser fra etableringen af væggen.

Væggen blev afstivet med i alt 780 jordankre af forskellig længde. Ankrene skal kun afstive byggegrubens vægge i byggefasen, hvorfor de blev udført som midlertidige ankere. Alle ankere blev efterinjiceret for at sikre tilstrækkelig ankerkapacitet.

Undervejs under etablering af byggegruben er der foretaget mange målinger, som f.eks. rystelsesmålinger af naboejendomme, bæreevne af ankere, hældningsmålinger af spuns, indmåling af spuns, pejling af grundvandsstand udenfor byggegruben, flytninger af naboejendomme mm. Resultater herfra er løbende sammenholdt med såvel projektforsætninger som beregningsresultater.

Artiklen beskriver byggegrubeprojektet med særlig fokus på erfaringer fra udførelsen.

## Byggeriets parter og nøgletal

Bygherre er det nordjyske entreprenørfirma A. Enggaard, rådgivende ingeniør er Cowi og entreprenør for byggegruben er Aarsleff. Cowi er ansvarlig for projektets geotekniske forudsætninger. Aarsleff er ansvarlig for dimensionering og udførelse af byggegruben.

Byggegrubespuns: 6.500 m<sup>2</sup>. Jordmængde: 100.000 m<sup>3</sup>. Jordankre: 780 stk. Jernbetonpæle: 1000 stk. Kontraktsum for byggegrubeindfatning og fjernelse af jord: 36 mio. DKK.

## Jordbundsforhold

Aalborg by er kendetegnet ved meget varierende bundforhold, som f.eks. blød bund til over 30 meters dybde. Andre steder kan der funderes direkte i glaciale eller ældre aflejringer. Det aktuelle projekt ligger i randen af et område med senglaciale leraflejringer til stor dybde. Leren har ringe permeabilitet men indeholder en del tynde sandslirer. Under leraflejringerne findes et sandlag, som måske har direkte forbindelse til Limfjorden, som ligger ca. 500 meter fra byggegruben.



Figur 1. Byggegruben 2008

Umiddelbart vest og syd for byggegruben findes de senglaciale aflejringer ikke. Her findes store mængder af postglaciale aflejringer og fyld. Mange af ejendommene er enten pælefunderede eller direkte funderede. Da de fleste bygninger er gamle er deres funderinger ikke tidssvarende, hvorfor det er særdeles kompliceret at etablere en stor, dyb byggegrube på dette sted.

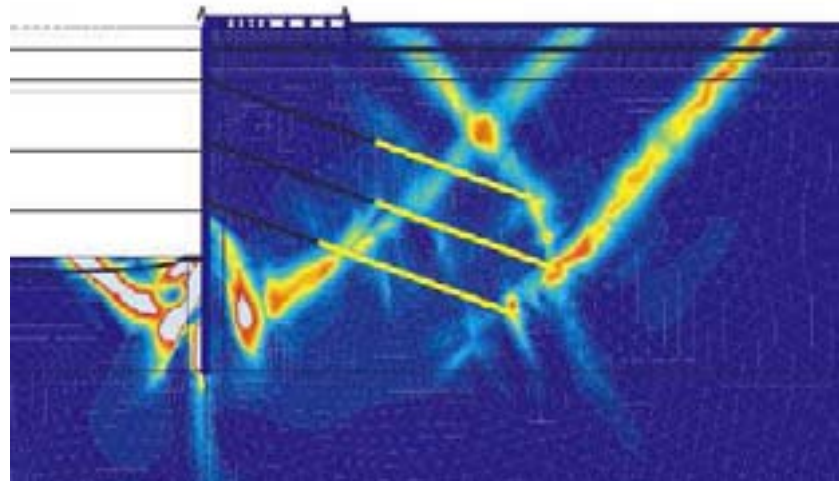
De geotekniske forundersøgelser for butikscenteret viste gode og ensartede aflejringer. Aflejringerens udrænede forskydningskapacitet blev ved vingeforsøg målt til  $c_v = 100$  til  $300$  kPa (stigende med dybden) og den drænede forskydningskapacitet blev ved triaxialforsøg målt til  $\phi = 31^\circ$ . Lerens forbelastning er bestemt til  $\sigma_{pc} = 300$  kPa og konsolideringsmodul er bestemt til  $K = 20$  MPa.

## Dimensionering af væg og ankre

Væggen blev i den regningsmæssige brudgrænsetilstand dimensioneret efter plasticitetsteorien med udvikling af plasticitet i såvel byggegrubebevægelse som jord. Der er anvendt jordtrykoefficienter beregnet ud fra en brudfigur med ét anker. Afstivningskræfter fra flere end ét anker er påsat væggen som ydre last. Momentet i væggen har været bestemmende for placering af afstivningskræfterne.



Figur 2 Momentfordeling i spuns bestemt ved hjælp af Plaxis



Figur 3 Brudfigur bestemt ved hjælp af Plaxis (Udgravningskote -9 og terrænkote +2)

Ankernes frie længde er bestemt ud fra udstrækningen af brudfigurerne bag væggen. Ankernes bundne længde blev bestemt ud fra jordens udrænedede forskydningskapacitet og en skønnet værdi for effekten af efterinjiceringen. Alle ankrene blev godkendelsesprøvet og dermed blev den skønnede værdi eftervist.

Byggegruben blev også undersøgt i anvendelsestilstanden. Her blev programmet Plaxis anvendt. Formålet hermed var at undersøge om flytninger af vægge og naboejendomme ville overskride grænseværdierne. Desuden skulle det undersøges om ankerkræfterne i anvendelsestilstanden var mindre end i den regningsmæssige brudgrænsetilstand.

### Etablering af byggegrubeindfatning

Af hensyn til nabobygninger og støj blev der valgt en meget skånsom installationsmetode af spunsen, hvor en kombination af presning, forboring og spuling fandt sted. En Super Crush Piler blev anvendt. Denne kunne presse op til 1200 kN og trække op til 1600 kN. Den samlede vægt af maskinen var ca. 45 tons. Der kunne presses maksimalt 21 m lange spunsjern, hvilket var tilstrækkeligt, idet de længste jern i projektet var 16,5 m.



*Figur 4 Foto af Super Crush Piler*

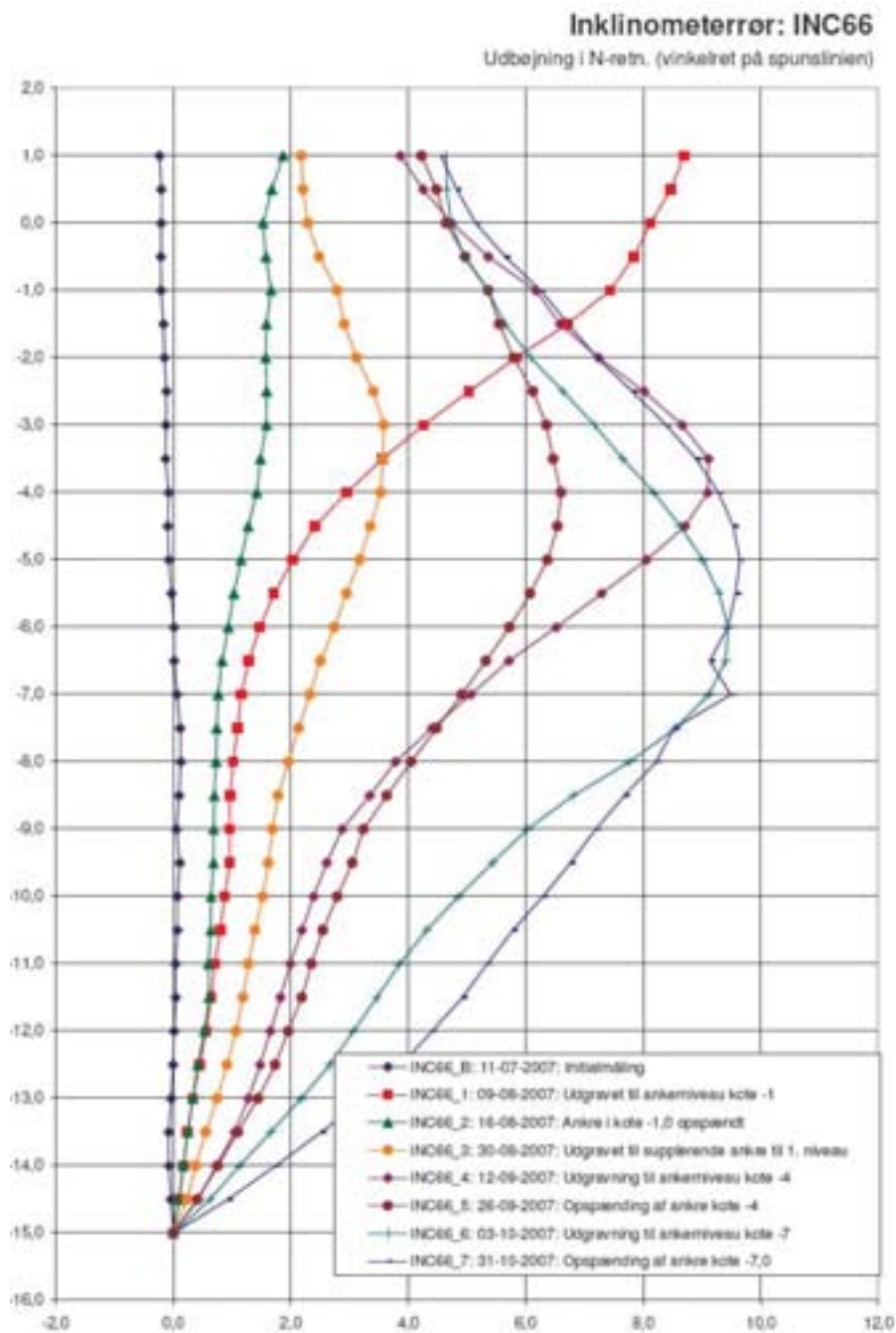
For at undgå drænkanaler bag spunsen ned langs denne forbores kun på byggegrubesiden af spunsen. Diameteren af boresneglen med casing var 50 cm. Endvidere presses spunsvæggen den sidste meter uden forboring som yderligere sikkerhed mod grundvandtransport rundt om vægspidsen. Spulingen fandt sted direkte igennem kernen af snegleboret, og der skulle anvendes ca. 1 m<sup>3</sup> vand pr. dobbeltjern. Der kunne installeres ca. 15 m<sup>2</sup> spuns pr. time.

Materialerne, der blev fjernet i forbindelse med forboringen blev tilbageført dels ved reversibel boring og dels ved simpel tilbagefyldning med minigraver. Der blev i enkelte tilfælde suppleret med sand.

Til eftervisning af tilbagefyldningsgraden er der efterfølgende blevet udført en række vingeforsøg på byggegrubesiden af spunsvæggen.

I forbindelse med byggegrubespunsen er der udført en mindre grube, hvori tilkørselsrampen til p-kælderen skal etableres. Denne spunsvæg er udført med almindelig Silent Piler.

Der er udført inklinometer-målinger på spunsvæggene med henblik at følge spunsvæggens vandrette flytninger for herved at kontrollere om beregningsresultater svarer til virkeligheden. Nedenstående figur viser et resultat af en sådan inklinometer-måling.



Figur 5 Vandret flytning af væg (koter er i meter og flytninger i mm)

### Boring af jordankre

Projektet er fyldt med en stribe udfordringer. En af disse er træpæle: En del ankre skal bores ind under et fredet domhus, der er pælefunderet med træpæle, der står side om side. Spidskøten af disse træpæle er ukendt!



*Figur 6 Aalborg Domhus bag byggegrubespunsen*

De næsten 800 jordankre blev udført med dobbeltroterende snegleboring med foringsrør med en diameter på 133 mm. De længste ankre var op til 20 m. De opborede materialer blev skyllet ud med vand under tryk. På hovedparten af strækningen, var der ankre i tre niveauer. Ankerhuller i spunsvæggen tætnes om nødvendigt, hvis der kom vand igennem. Ankrene blev testet helt op til 700 kN. På en enkelt strækning var det nødvendigt at etablere et ekstra niveau med ankre.

Generelt kunne der bores ca. 85 m i timen pr. boremaskine på pladsen.

### **Udgravning af byggegrube**

Efter installation af indfatningsvæggen udgraves indvendigt i etaper for etablering af jordankre i op til tre niveauer, som forspændes for at minimere flytninger af indfatning og jorden bag denne.

Hovedparten af jorden, der blev gravet bort, var klassificeret som K0-jord, og kunne derfor indbygges i andre projekter. Den resterende del, K1 jord klassificeret som lettere forurenede blev kørt i deponi.

### **Ramning af betonpæle**

Som fundering af det kommende byggeri, anvendes der betonpæle. Der er rammet ca. 1000 pæle med længder i intervallet fra 12 m til 15 m. Da der rammes i bykernen af Aalborg, var det en forudsætning, at der blev anvendt en 6 tons hammer med støjdæmpning. Der blev rammet ca. 20-25 pæle pr. dag i produktionsperioden, der var opdelt i to.

I forbindelse med pæleramningen blev der udført flytningsmålinger på nabobygninger samt vibrationsmålinger. Vibrationerne blev aldrig målt større end svarende til en svingningshastighed på 2 mm/sek. For solide naboejendomme medførte denne hastighed ingen skader eller

gener. Derimod medførte hastigheden for mindre solide naboejendomme ingen skader men derimod ubehagelige rystelser af skriveborde og f.eks. lamper.

Pælene er dimensioneret som sætningsreducerende pæle, hvor pælene i den karakteristiske lastsituation alene kan optage belastningen fra bygningen. I den regningsmæssige lastsituation skal såvel pæle som fundament (pilecap) optage belastningen.

## **Grundvandskontrol**

Spunsvæg og ankre er dimensioneret for hydrostatisk vandtryk på såvel for som bagside. For at sikre hydrostatisk vandtryk på forsiden af spunsvæggen blev der etableret grædebrønde inde i byggegruben. Disse skulle ligeledes sikre mod at der kunne ske løftning af byggegrubens bund på grund af vandtryk i de indlejrede sandslirer i Aalborg-leren. Sikring mod global løftning af byggegrubens bund er sikret ved 4 filterboringer boret i hjørnerne af byggegruben. Disse boringer er ført ned til et sandlag under Aalborg-leren i kote -29. Dette sandlag kan stå i forbindelse med vandet i den nærliggende Limfjord. Mens byggeriet foregår, er trykniveauet i dette lag sænket til kote -4. Herved sikres tilstrækkelig sikkerhed mod løftning i tilfælde af ekstremt højt vand i Limfjorden.

## **Konklusion**

Byggegruben er nu etableret med et godt resultat. Dimensioneringen er foretaget på baggrund af en traditionel forundersøgelse suppleret med triaxialforsøg til bestemmelse af lerens dræ-nede styrkeparametre. Udbøjning af væggen var større end forventet, hvilket kan tilskrives at afstanden fra regningsmæssig til karakteristisk brudtilstand var i underkanten. Den anvendte sikkerhed var i overensstemmelse med den danske funderingsnorm, DS415. De målte flytninger var også større end de flytninger, der blev bestemt ved hjælp af programmet Plaxis.