

# NYE

# MURKONSTRUKSJONER

eksperimenter i tegl

Tekst: Defne Sunguroglu Hensel og Øyvind Buset

Foto: Michael Hensel og Øyvind Buset



Fase I. AHO:  
Prototypen besto av  
950 teglstein og dekket et  
gulvareal på 8x2 m. Høyeste punkt var 2,5 m  
over gulvet, og det hele ble murt av ett skift

Prosjektet 'Nested catenaries' startet med en workshop på AHO høsten 2010.

Våren 2012 ble det arrangert en ny workshop i Chile der prinsippene ble videreutviklet og testet.

Primus motor i prosjektet er Defne S. Hensel, Ph.D.-stipendiat ved AHO. Krumtapp i den praktiske gjennomføringen er muremester Øyvind Buset. Med på laget var også en spansk ingeniør, Guillem Baraut Bover, som var ansvarlig for de statiske beregningene, herunder jordskjelvsikring.

Og sist, men ikke minst: entusiastiske studenter fra Norge og Chile.

## Fase I: Norge – høsten 2010

På Arkitektur- og designhøgskolen i Oslo ble det høsten 2010 arrangert et seminar der temaet var konstruktiv mur, med utgangspunkt i Eladio Diestes banebrytende byggverk. Det ble satt i gang en workshop basert på de grunnleggende prinsippene i en såkalt kjedebue. Hengende kjedebue har lang tradisjon innen bærende murverk, i skjæringspunktet mellom arkitektur og ingeniørkunst.

Allerede her kan det være på sin plass med en definisjon:

En bue som har ren strekkraft i hele tverrsnittet kaller vi en strekkbue. En lenke som henger fritt fra to punkter vil danne en perfekt strekkbue. En murt bue med denne fasongen, men snudd opp ned, blir dermed en ren trykkbue, uten moment.

Johann og Jacob Bernoulli beskriver hengende kjede som «et mekanisk system som består av svært mange små, stive deler, leddene. Likevekt er oppnådd når tyngdepunktet er på laveste nivå, altså når kjeden har en form der ett ledd ikke kan senkes uten at et annet heves.»

Antoni Gaudi var først ute med å utnytte dette tredimesjonalt: han laget en metode der formen ble bestemt ved bruk av hengende kjeder, der påhengte lodd representerte lastene. Denne metoden ble brukt til å fastlegge optimal tredimensjonal form ved utformingen av Colonia Güell, et kapell der kun krypten ble bygget, i perioden 1908–1914. Gaudi-modellen ble konstruert ved at kjettinger ble hengt fra en plate for å finne kjedebuens geometri med forskjellige laster. Modellen fremskaffet data som deretter ble brukt til å utforme en kompleks samling av murte hvelv og kupler, støttet av skråstilte søyler og vegger som følger kjedebuens kurve. På samme måte er kjedebuen til stede i Eladio Diestes frittstående, gaussformede hvelv.

I workshopens så vi nærmere på noen av de hittil utforskede mulighetene med en kjedebue, med spesiell vekt på hvordan

flere sammenkjedede buer fungerer. Målet var å lage en bølgende vegg som besto av slike sammensatte kjedebuer. Dette endte opp som et ti dagers intenst murkonstruksjons-eksperiment, der vi fikk god hjelp av nitten masterstudenter fra AHO. Vi kombinerte flere metoder for å finne frem til formen på konstruksjonen: en rent praktisk/fysisk der vi eksperimenterte med hengende kjettinger, men også digital modellering og testing i 1:1. Oppgavene ble fordelt på tre team.

'Lenketeamet' eksperimenterte med komplekse arrangementer av hengende kjeder kun belastet med egenvekt. Vi studerte hvordan kjedene oppførte seg når de får punktlaster ved at de lenkes sammen. Når en kjedebue får en punktlast, blir den til to kjedebuer som møtes i et koblingspunkt. Vi studerte både to- og tredimensjonale kjedebuesystemer ved å variere selve opphenget av buene fra en rett linje til en sinusformet kurve.

Beregningsteamet utviklet metoder for beregning av oppførselen til kjedebuene. Funnene fra modeller og testing ga verdifulle bidrag til utviklingen av tegninger for bygging av fullskala prototype, inkludert forskalingstegninger og mursteinforband med varierende fugetykkelser i de ulike buene. Vi valgte en gul hulltegl fra Bratsberg. Denne muliggjorde muring av de aktuelle kurvene med de nødvendige fugetoleranser.

Konstruksjonsteamet murte opp kjedebuer, utførte belastningsforsøk og testet ut muremetoder. Prototypen besto av 950 teglstein og dekket et gulvareal på ca. 8 x 2 m. Høyeste punkt var 2,5 m over gulvet, og hele konstruksjonen ble murt av ett skift.

Den endelige utformingen var et resultat av beslutninger som ble tatt underveis, basert på resultater fra forsøkene. Som følge av trinnavlastning på de hengende kjedene som var organisert langs en sinusformet kurve, skrånet veggen hele 30 cm. Vi konstruere en ny, speilvendt vegg med spesifiserte kontakt-



Murverk er uvanlig i Chile: med hyppige og sterke jordskjelv er det stål og armert betong som gjelder. Fundamentet for vår teglkonstruksjon besto av 14 m<sup>3</sup> betong: en plate armert med to lag 10 mm nett pluss seks armerte stripefundamenter à 20 cm dybde under dette. Og betongen måtte plassblandes.

punkter slik at de skrånende veggene fikk gjensidig støtte. Da vi (lett nervøse) fjernet forskalingen, ble det klart at områdene uten støtte var stabile og at kjedebuesystemene ikke var skradd utover en kritisk grense. En detaljert konstruktiv analyse ble igangsatt.

Neste trinn var å utvikle matematiske og geometriske beskrivelser av samvirkende kjedebuesystemer, konstruktiv oppførsel, strategier for muring og detaljering av krysningspunkt. I tillegg kommer utforskning av mulighetene for å utnytte hvelv mellom buene til å stabilisere systemet der dette er påkrevd, og mulighetene for å lage lukkede rom der dette er ønskelig av arkitektoniske grunner.

Fase I ble sponset av Byggutengrenser, Wienerberger, Weber og Einar Stange



Teglproduksjon anno dazumal: Leiren hentes rett ut av skråningen. Den tilsettes litt sand og sagspon før den beinrækkes av en desillusjonert hest. Steinen håndlages og saltørkes, og ovnen fyres med ved

## Fase II: Chile – våren 2012

Sistnevnte problemstilling – utnyttelse av hvelv og muligheten for å laget lukkede rom – skulle utforskes videre på den andre siden av kloden, nærmere bestemt i Chile i april/mai 2012. Nøkkelaktørene på stedet var Dephne S. Hensel fra AHO, muremester Øyvind Buset samt et knippe arbeidsvillige chilenske arkitektstudenter fra Valparaíso – en av Chiles viktigste havnebyer ved Stillehavet og hovedstad i regionen. Universitetet i Valparaíso har i mange år hatt et utvekslingsprogram med AHO. En times buss-tur utenfor byen har professorene et stort landområde ved havet – 'Open City' – som studentene får disponere til ulike oppgaver.

Konstruktøren, Guillem Baraut Bover, befant seg i Spania, noe som gjorde at alle de nødvendige justeringene underveis krevde mer tid enn vi strengt tatt hadde til rådighet.

Vår murinstallasjon var ikke småtter: Fundamentet besto av 14 m<sup>3</sup> betong, en plate armert med to lag 10 mm nett pluss seks armerte stripefundamenter à 20 cm dybde under dette. Og murkonstruksjonen inkluderte en mengde forskaling og 3000 teglstein. Det hører med til historien at murverk er uvanlig i Chile: med hyppige og sterke jordskjelv er det stål og armert betong som gjelder. Vår velkomst inkluderte et jordskjelv som målte 6,7 pluss noen etterskjelv. Og plutselig forsto vi at fundamentet likevel ikke var overdimensjonert for våre tre tonn tegl fordelt på 45 m<sup>2</sup>. Og som om ikke dette var krevende nok: Opp på byggeplassen kommer ingen biler over 7,5 tonn. Så her må armering bøyes og 14 m<sup>3</sup> betong blandes på plassen. Heldigvis ble det leid inn et par lokale kraftkarer til denne jobben.



20 norske AHO-studenter var med til Chile.  
De ble fordelt på fire forskjellige prosjekter



Made in Chile.  
Beintråkka av hest og håndbanket

Underveis fikk vi en viss forståelse for  
hvorfor Sagrada Familia ennå ikke er ferdigstillt...





Jordskjelvsikker varmert murkonstruksjon.  
Da forskalingen ble revet hadde den norske kontingenten allerede reist hjem igjen...

Store forsinkelser nødvendiggjorde nattmuring i innspurten.  
Det ble skaffet lamper, men ikke ny arbeidskraft.  
Og for en norsk mурmester er det uvant at håndlangerne stadig forsvinner for å bivåne diktopplesning

Neste oppgave var innkjøp av teglstein. Men siden tegl ikke benyttes konstruktivt i Chile, opplevde vi teglverksbesøkene som rene tidsreiser. Felles for de små teglverkene var at leiren hentes rett ut av skrånningen. Den tilsettes så litt sand og sagspon før den beintrækkes av en desillusjonert hest. Etter soltørking stables den opp og pakkes inn, før det fyres med ved i et ukjent antall timer.

Omsider fant vi frem til et teglverk der kvaliteten tilsynelatende var sånn noenlunde under kontroll. Her bestilte vi, men da steinen ankom byggeplass, viste den seg å være noe helt annet enn den vi hadde bestilt. Til tross for skremmende dårlig fremdrift ble den sendt i retur – et grep som skaffet mурmesteren fra Norge et visst ry i nærområdet.

Fem dager senere ankom brukbar teglstein, og vi var i gang med muringen. Og da var det fem dager igjen til vi skulle reise hjem. Noen på universitetet innså heldigvis at tiden var knapp, så mурmesteren ble flyttet til en hus ved byggeplassen, og det ble skaffet lamper til nattlig muring. Ulempen var at arbeidet stadig ble avbrutt av poesistunder for de chilenske studentene...

Som det fremgår av bildene kom vi i mål med et nødkrikk. Ikke alt ble helt som planlagt, men i det store og hele er vi godt fornøyd med resultatet. Og ikke minst: med opplevelsen!



Fase II i Chile ble sponset av RCAT – se [www.rcat.no](http://www.rcat.no)