



Forblad

Forspændte betonkonstruktioner

A.K Krog og E. Enghoff

Tidsskrifter

Arkitekten 1949, Ugehæfte

1949

Forspændte betonkonstruktioner

Af civilingeniørerne A. K. Krog og E. Enghoff,

rådg. ingeniørfirma Birch & Kroghoe

624.07

Efter ophøret af den sidste krig har vi oplevet det samme som efter tidligere krige: vi konstaterer, at udviklingen på talrige områder er gået frem i spring. Det hænger utvivlsomt sammen med den kræfternes koncentration, som finder sted i samfund i kamp på liv og død. Smålige konkurrencehensyn viger, midler stilles til rådighed for forskning, og opfindsomheden kaldes frem og belønnes, samtidig med at opgaverne trænger sig på, og nødvendigheden af materialebesparelser bliver bydende.

På mangfoldige områder indenfor bygningstekniken har denne udvikling og opfindsomhed også sat sig spor, og der er fremkommet talrige nye ideer og konstruktionsmetoder, som enhver, der i dag beskæftiger sig med byggeri, stadig må have for øje som en måske økonomisk gunstigere anvendelse af materialer og arbejdskraft.

Som eksempel på dette skal her nærmere omtales forspændte konstruktioner.

Selve anvendelsen af forspændingsprincippet i forbindelse med jernbeton er ikke noget nyt, men på grund af metodens enestående udvikling, må anvendelsen af forspændte konstruktioner betragtes som et overordentlig vigtigt fremskridt i den moderne byggeteknik.

Allerede i slutningen af forrige århundrede blev de første patenter på forspændt beton udtaget af C. F. W. Doehring i Berlin, og få år efter udførte den tyske statiker M. Koenen de første forspændte betonkonstruktioner.

Disse forsøg faldt dog alle uheldigt ud, og først i 1928 angav den franske ingeniør E. Freyssinet princippet for den forspændte beton og erkendte, at forudsætningen for dens udvikling var anvendelsen af stål og beton af en langt højere kvalitet end tidligere. Ingeniør Freyssinet har i en tale ved den armerede betons 50-års jubilæum defineret forspændte konstruktioner således:

„Konstruktioner, der før anbringelsen af den belastning, som de skal bære, eller når der er tale om permanente belastninger, samtidig med disse, udsættes for et system af på kunstig vis frembragte permanente kræfter med den hensigt at begrænse de fremtidige påvirkninger, og som fortrinsvis gives en retning modsat de af belastningen frembragte kræfter og således afpassede, at de resulterende påvirkninger på grund af samtlige på systemet virkende kræfter – ydre kræfter og de ovenfor nævnte særligt frembragte kræfter – ikke fremkalder nogen påvirkning, som de anvendte materialer ikke formår med fuld sikkerhed vedvarende at udholde.“

Dette forspændingsprincip refererer ikke alene til armeret beton, men der kan fremkomme forspændte konstruktioner i mange forskellige materialer og endog ganske uden anvendelse af armering. Professor G. Magnel i Belgien har i sin bog om forspændt beton

anskueliggjort dette ved et eksempel, som alle kender. Når bogreolen skal tømmes, tænker ingen på at flytte hver bog for sig, men man danner en „forspændt bjælke“ af en række bøger, idet det tryk, man udøver på langs ad bjælken, er de ovenfor nævnte kunstigt frembragte kræfter, der får det ellers usammenhængende materiale til at kunne udholde de trækspændinger, der opstår i undersiden af bjælken på grund af tyngdekraften.

I forspændte betonkonstruktioner er princippet det samme, blot frembringes trykket i betonen ved, at jernet strækkes og holdes strakt af betonen.

Man hører ofte betegnelsen forspændt jernbeton, og dog har kombinationen af materialerne stål og beton i forspændt beton intet med den almindelige jernbeton at gøre.

Den egentlige forskel set ud fra et teoretisk synspunkt er følgende:

I almindelig jernbeton opstår modstandsevnen mod bøjning ved en vekselvirkning mellem det strakte jern og den trykkede beton, medens bæreevnen i forspændte konstruktioner fås ved samarbejdet mellem to zoner beton med ulige store trykspændinger. Det strakte stål er her som ovenfor nævnt kun midlet til at få betonen til at udholde trækspændingerne ved i forvejen at udsætte den strakte betonzone for et tryk mindst lige så stort som det træk, den vil blive udsat for i den belastede konstruktion.

Den her beskrevne virkemåde som et homogent materiale gælder kun i brugsområdet, idet konstruktionen netop bliver dimensioneret ud fra den forudsætning, at der ikke må optræde revner under nyttelastens indvirken.

Belastes en forspændt konstruktion, indtil brud indtræder, genfindes den almindelige jernbetons virkemåde, idet der optræder revner i betonens trækside. Dette forhold er af stor værdi, da man herved får et synligt varsel om overbelastningen ligesom ved almindelige jernbetonkonstruktioner. Fjernes overbelastningen på den forspændte konstruktion, lukker de opståede revner sig så fuldstændigt, at de er ganske usynlige, og konstruktionen er fuldt ud lige så god og sikker som før overbelastningen.

Dette forhold giver samtidig lejlighed til, at man kan udføre værdifulde prøvebelastninger næsten helt til brud, uden at konstruktionen ødelægges.

Som allerede nævnt skal de materialer, der anvendes til forspændt beton, være af en særlig god kvalitet. Betonen har en styrke, der er 2–3 og endda indtil 4 gange styrken af beton til almindelig jernbeton. Dette opnås ved en meget omhyggelig sammensætning, blanding og komprimering af betonen, der eventuelt også kan udsættes for tryk under afbindingen.

For at reducere den procentvise betydning af forspændingens formindskelse på grund af svind og krybning og samtidig reducere stålforbruget, anvendes stålsorter med en flydegrænse, der er 7–10 gange større end almindeligt rundjerns. I fremtiden vil stålstyrken sikkert blive væsentlig højere, idet metallurgien

lader os formode, at der vil komme stål med op til 30 gange større flydespænding, ja, man fabler endog om at kunne anvende glas, der behandlet på en speciel måde mister sin skørhed og opnår en styrke, der er 100 gange større end almindeligt rundjerns.

Efter den måde, hvorpå jerntrækket overføres til betonen, kan de forspændte konstruktioner deles i to hovedgrupper: *strengbeton* og *kabelbeton*.

Strengbeton, hvis udvikling især skyldes den tyske ingeniør E. Hoyer, er karakteriseret ved, at jernet er kontinuerligt forankret ved adhæsionen mellem beton og jern, d. v. s. at jernet ved indstøbningen på hele sin længde overfører kræfterne til den omgivende beton.

For at opnå en tilstrækkelig sikker forbindelse mellem betonen og jernet, er det nødvendigt at anvende ganske tynde (2–4 mm) enkelte tråde, idet forholdet mellem omkredsen og tværsnitsarealet er desto større, jo mindre diameteren er.

Fremstillingen sker ved, at trådene strækkes og holdes strakte af formen eller faste forankringer udenfor formen, hvorefter betonstøbningen foregår. Efter en passende hærningstid, der kan afkortes betydeligt ved opvarmning og sammenpresning, frigøres trådene fra forankringerne og holdes nu strakt af betonen, der derved sammentrykkes.

For den anden hovedgruppe er der endnu ikke vedtaget en endelig dansk betegnelse; den kaldes ofte Freyssinet's metode, men vil her i modsætning til strengbeton blive omtalt som *kabelbeton*. Metoden er især udviklet af franskmanden ingeniør E. Freyssinet, der udtog de første patenter omkring 1928.

Forspændingsprincippet er det samme som for strengbeton, men armeringen, der består af 4–7 mm ståltråde, er ikke enkeltvis indstøbt i betonen, men samles i bundter – såkaldte kabler – med fra 10 til 18 tråde i hvert bundt. Forspændingen af armeringen sker først efter, at betonen er hærnet, og forankringen tilveje-

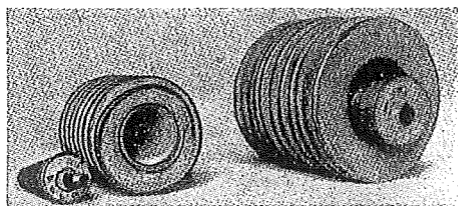


Fig. 1. Fabriksfremstillet forankrings-element efter Freyssinets metode. Betoncylinderen har en indvendig konisk udsparring. Den er spiralarmet af hensyn til styrken. Trådene føres igennem den koniske udsparring i cylinderen og forspændes. Derefter kiles trådene fast ved indpresning af låsekeglen

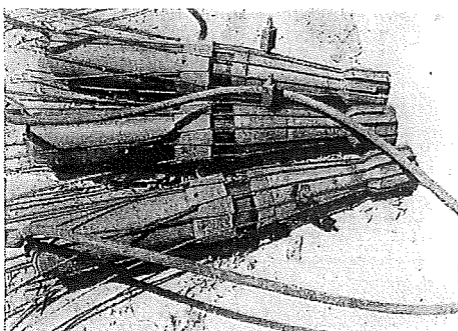


Fig. 2. Tre hydrauliske presser med fastkilede tråde

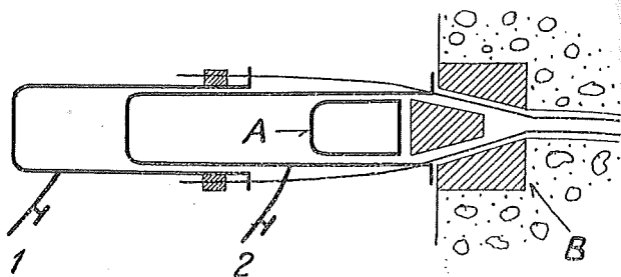


Fig. 3. Skematisk tegning af Freyssidets presse. Pressen bringes i funktion ved tilførsel af trykvand ved 1, hvorved trådene spændes. Efter trådernes spænding indpresses låsekeglen af stemplet A ved tilførsel af trykvand til 2. B er det i fig. 1 afbildede forankringselement

bringes ikke ved adhæsion på grund af indstøbning i betonen, men ved særlige forankringselementer (fig. 1), hvori de forspændte tråde kiles fast.

Fremstillingen af kabelbeton kan ske på to forskellige måder. Enten udspares der i betonen kanaler, igennem hvilke kablerne trækkes efter betonhærdningen, eller også indstøbes kablerne i betonen, idet man da, for at undgå faststøbning af trådene, omgiver hvert bundt med et tyndt blikrør eller omvikler det med svært olieret og asfalteret papir.

Udsparingen af kanalerne sker ved, at der indstøbes jernrør eller gummislanger, der trækkes ud, efter at betonen er afbundet. Anvendes jernrør, må udtrækningen foregå få timer efter støbningen, og rørene være ført igennem uden opbøjninger.

Spændingen af trådene sker ved hjælp af en hydraulisk presse (fig. 2 og 3), til hvis ene del trådene fastkiles, medens den anden del støttes mod den hærtnede beton.

Ved Freyssidets metode begrænser det på fig. 1 viste forankringselement antallet af tråde i hvert kabel til 18, hvorved igen den samlede kraft i hvert kabel begrænses til ca. 30 t.

En noget anden fremgangsmåde er under krigen udviklet af professor G. Magnel i Belgien. Denne metode kaldes populært Sandwich-metoden og adskiller sig især fra den franske ved forankringselementerne. Disse består af stålplader forsynede med 4 kileformede riller, hvori ialt 8 tråde kan forankres ved kiler af hårdt stål.

Pladerne stables i lag ovenpå hinanden (som sandwich) og mellem pladerne indlægges en trykfordelende stålplade.

Metoden tillader at anvende et vilkårligt antal indtil 7 mm tykke tråde i hvert kabel, hvorved der kan opnås en samlet kraft pr. kabel og altså pr. forankringselement, der er mange gange større end ved den franske metode. Dette er en meget stor fordel, idet det ofte er vanskeligt at finde plads til det nødvendige antal af Freyssidets forankringselementer.

Ved den franske fremgangsmåde spændes alle trådene på een gang, medens man ved Magnel's metode kun spænder 2 tråde ad gangen. Udførelsen af forspændingen varer noget længere og er dyrere ved den belgiske metode, men til gengæld kan den anvendte presse være lettere og simplere, og samtidig er der større

mulighed for at kontrollere de enkelte trådes spænding. Efter at forspændingen af kablerne er afsluttet, udfyldes ved begge metoder de indlagte rør eller de udsparede kanaler med cementmørtel for at beskytte ståltrådene mod kemiske angreb fra luften og fugtigheden.

Ved denne udstøbning opnås samtidig en ekstra forankring af jernene som en sikkerhed, hvis endeforankringerne skulle svigte.

Strengbeton og kabelbeton har hver sit anvendelsesområde, idet strengbeton anvendes til mindre, hovedsagelig fabriksfremstillede elementer, medens kabelbeton udelukkende anvendes til store, vidtspændte konstruktioner udført på byggestedet, enten som monolitiske konstruktioner eller også fremstillet ved sammenspænding af mindre færdigstøbte elementer.

Foruden de ovenfor nævnte metoder findes der flere andre fremgangsmåder, ved hvilke man kan skabe forspænding i betonen. Som eksempel nævnes her, at Amerikanerne anvender en særlig metode til fremstilling af beholdere o. l. Beholderen støbes først på normal måde, og bevikles derefter med forspændt ståltråd, der tilsidst dækkes med påsprøjtet beton. Desuden har man forsøgt at opnå forspænding i jernene ved elektrisk opvarmning af disse og fastholdelse af de forlængede jern, og i Frankrig er der foretaget meget interessante forsøg med ekspanderende beton, der automatisk skulle forspændes, idet ekspansionen hindres af armeringen. Disse metoder er dog foreløbig for lidt gennemprøvede, og endnu har kun den førstnævnte nogen praktisk betydning.

En særlig anvendelse finder forspændt beton i forbindelse med almindelig jernbeton. I sådanne konstruktioner indgår det forspændte element som armering, idet trækket fra bøjningsspændingerne optages af det forspændte betontværsnit, medens trykket optages af den almindelige beton. Som eksempel på dette kan nævnes det schweiziske ståltegldek, der nu også fremstilles herhjemme af A/S Hedehus-Teglværket og forhandles af A/S Skandinavisk Spændbeton.

Stålteglplankerne (fig. 5) er en form for strengbeton, der fremstilles ved, at en række mindre teglblokke spændes sammen af indstøbte, forspændte tråde.

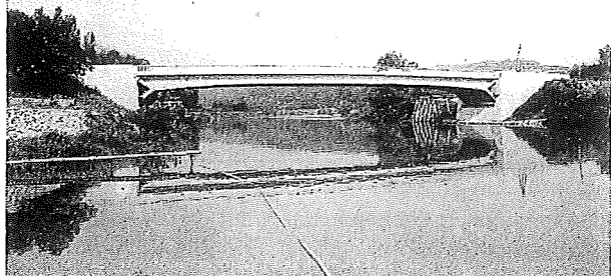


Fig. 4. Bro over Marnefloden ved Luzancy. Broen består af 3 hule hoveddragere (spændvidde 55 m) hver fremstillet ved sammenspænding af ca. 2 m lange, kasseformede, færdigstøbte elementer. Efter at de 3 hoveddragere, der blev samlet på land, var bragt på plads, blev de sammenspændt på tværs, således at konstruktionen blev et sammenhængende hele

Stålteglplankerne kan bære egenvægten af den nystøbte beton over åbninger på 1,5 m, således at den eneste forskalling, der behøves, er rideplanker for hver 1,5 m. Efter overbetonens hærdning bærer pladen ved en vekselvirkning mellem trykzonen i overbetonen og trækzonen i de forspændte stålteglplanker. Trækzonen er dog som tidligere nævnt kun fiktiv idet stålteglplankerne er forspændte således, at trækket kun bevirker en formindskelse af det oprindelige tryk.

Foruden til dæk finder stålteglplankerne i forbindelse med murværk anvendelse som vindues- og dørøverliggere, idet plankerne har samme overflade som det øvrige murværk og samme højde som eet skifte.

Prøver man at sammenholde den forspændte betons egenskaber med den almindelige jernbetons, ser man, at den nye konstruktionsmetode både har fordele og mangler i forhold til jernbetonen.

Vi har allerede set, at forspændt betons revnesikkerhed er et af de mest fremragende træk ved denne konstruktionsform sammenlignet med jernbetonen, idet både revner fra belastningen og svindet er eliminerede.

I sammenhæng hermed kan det anføres, at deformationerne som følge af belastningen, men også fra svind og krybning er langt mindre i forspændt beton end i jernbeton.

Jernbetonen er vundet frem på stålkonstruktionernes bekostning bl. a. på grund af stor brandsikkerhed og

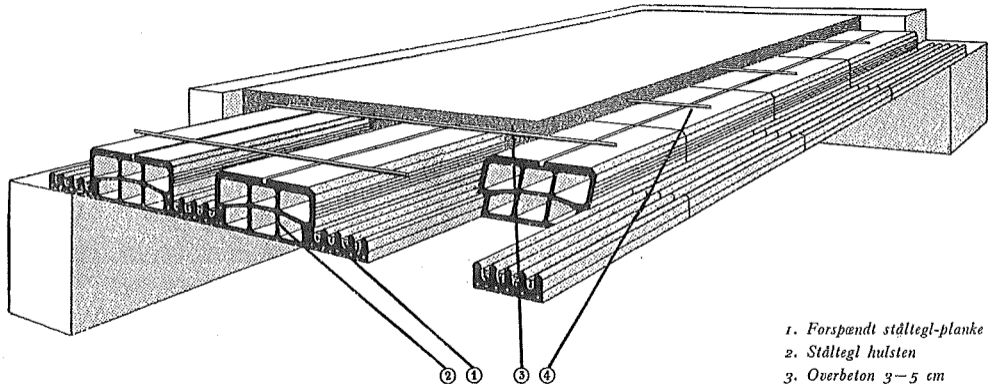


Fig. 5. Skematisk tegning af ståltegl-dæk

1. Forspændt ståltegl-planke
2. Ståltegl hulsten
3. Overbeton 3-5 cm
4. Tværarmering 4×7 mm pr. m

ringe vedligeholdelsesomkostninger, idet armeringsjernet i en tæt beton er vel beskyttet imod rustangreb. Hvad det sidste angår, viser den forspændte beton sig overlegen overfor jernbetonen, idet de små trådtværnsnit ligger uhyre godt beskyttet i den tætte og revnefri beton. Endvidere betyder revnesikkerheden og den store tæthed, at det er muligt at udføre absolut vandtætte konstruktioner som f. eks. rør og beholdere. Hvad brandsikkerheden angår, så har der på dette område hersket nogen tvivl om forspændt betons modstandsevne. Forsøg med stålteglplanker – bl. a. også danske forsøg – har imidlertid vist aldeles fremragende brandsikkerhed.

For konstruktøren er der en ting af ganske særlig interesse at lægge mærke til. Ved anvendelse af forspændt beton kan konstruktionshøjden formindskes ikke ubetydeligt, og dette muliggør anvendelsen af konstruktioner med større spændvidde, end man er vant til i almindelig jernbeton.

Alene denne omstændighed sikrer de forspændte konstruktioner en fremtrædende plads i fremtidens brobygning og husbygning.

Det vil således ses, at den forspændte beton på næsten alle områder er overlegen.

Skulle man nævne en mangel ved forspændt beton, er det nærmest den, at fremstillingen kræver større forudsætninger. Man kan fremstille jernbeton, når man har lidt rundjern og en bør beton. Forspændt beton egner sig for fabriksmæssig fremstilling eller udførelse under større forhold.

Prismæssigt har forspændt beton i udlandet vist sig konkurrencedygtigt ved gennemførelsen af mange store projekter, og der kan derfor ikke herske tvivl om, at den vil vinde stærkt frem i den kommende tid.

En af grundene til dette vil i jernfattige lande være den store besparelse i udenlandsk valuta, der opnås igennem den kolossale jernbesparelse.

I et ståltegldek medgår der ca. 25 pct. af jernmængden i det tilsvarende jernbetondek.

I Luzancybroen i Frankrig, som er vist på fig. 4, medgik der 14 t stål og 270 m³ beton, medens der til den oprindelige bro, der blev ødelagt under krigen, var anvendt 140 t rundjern og 300 m³ beton, og denne bro var endda lidt smallere og kun beregnet for den halve last.

Til slut skal kort omtales forskellige anvendelser af forspændt beton.

I Danmark er der i det sidste år udført sådanne fabriksfremstillede betonvarer, som hegnstolper og ovenlyssprosser af strengbeton (fig. 6).

Ståltegldekke er allerede tidligere omtalt.

Der er endvidere udført nogle broer af strengbetonbjælker, f. eks. to broer over Fladså (fig. 7). Ved Holbæk er udført 3 broer forspændt med kabler efter Freyssinets metode. (fig. 8).

Som eksempel på udenlandske arbejder er tidligere nævnt den elegante bro ved Luzancy.

Af arbejder udført efter Magnels metode kan nævnes tekstilfabriken i Gent (fig. 9).

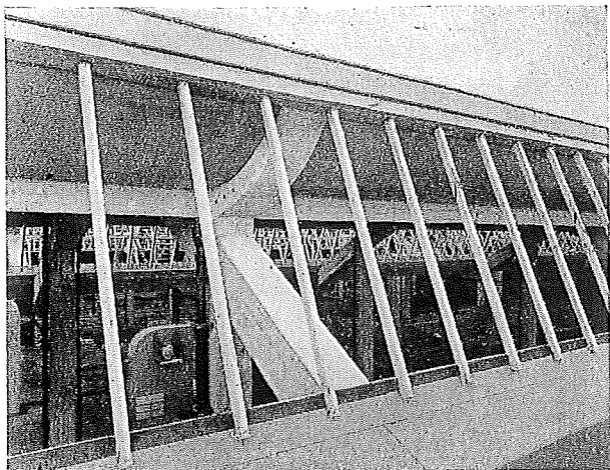


Fig. 6. Ovenlyssprosser til A/S Atlas fabrik i Lundtofte. Projekt: arkitekter M.A.A. Gunnar Krohn, E. Hartvig Rasmussen og T. Miland Petersen, udførelse: A/S Hedehus teglværk for fa. V. Kann Rasmussen

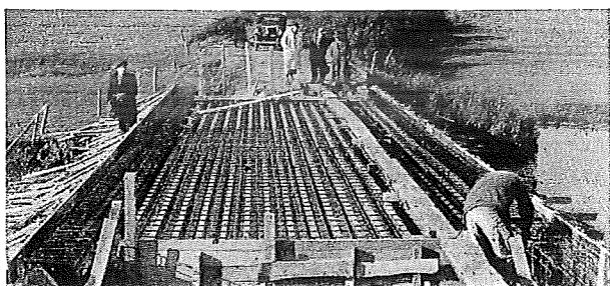


Fig. 7. Strengbetonbjælker til bro over Fladså, spændvidde ca. 6,8 m. Projekt: civilingeniører Chr. Ostenfeld og W. Jonson, udførelse: entreprenorfirma Larsen og Nielsen

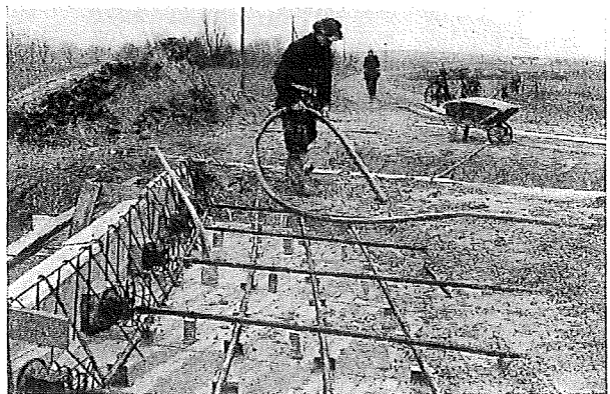


Fig. 8. Bro ved Holbæk, udført efter Freyssinets metode. Udstøbning af beton i bropladen, der i begge retninger er armeret med kabler, til venstre i billedet ses nogle forankringslementer efter Freyssinets metode. Projekt: civilingeniører Chr. Ostenfeld og W. Jonson, udførelse: entreprenorfirma Larsen og Nielsen

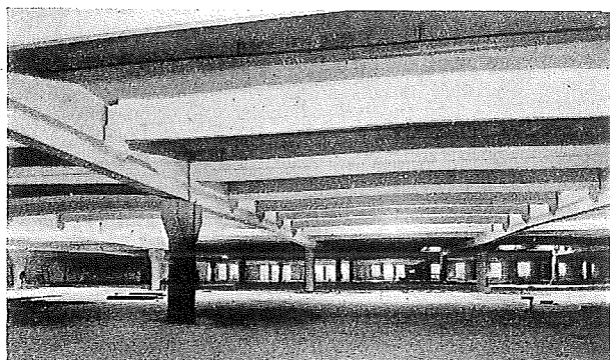


Fig. 9. Tekstilfabrik i Gent. Søjleafstand er 14,4 m \times 21,6 m, det overdækkede areal er 35000 m² og hele arbejdet er udført uden anvendelse af forskallingstræ