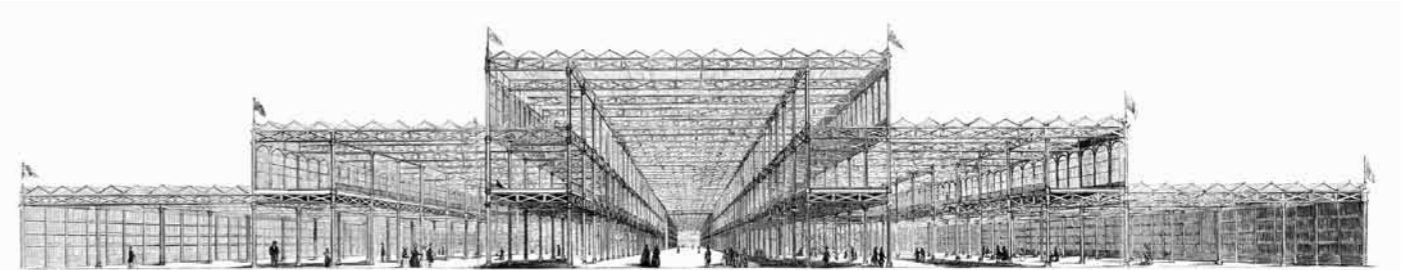


FRA JERNBANE OG FABRIK TIL BYGGEPLADS

Tværfaglig vidensoverføring ved opførelsen af Crystal Palace

Af Eric Bellin, University of Pennsylvania



Figur 1. Tværsnit af Crystal Palace, (*The Crystal Palace its History and Constructive Marvels*, 1851).

INDLEDNING

Lørdag den 21. juni 1851 deltog 150 herrer i en middag til ære for Charles Fox, ingeniøren og entreprenøren bag den bygning, der blev opført til at huse The Great Exhibition of all Nations (Den store udstilling af alle nationers industriarbejde, den første verdensudstilling) i Londons Hyde Park i 1851. Til stede ved fejringen af Fox var også gartneren Joseph Paxton, som var arkitekten bag den gigantiske bygning af jern og glas og den person, som de fleste historiske kilder tilskriver al æren for dens vellykkede opførelse.¹⁾ Den aften rejste Paxton sig og talte i rosede vendinger om Fox' indsats. Han fremhævede, at der "i udførelsen af arbejdet aldrig var én eneste afvigelse fra de oprindelige planer, undtagen når de gjaldt detaljer."²⁾ Det skulle dog vise sig, at "detaljerne" i Crystal Palace (Krystalpaladset) ikke var så ubetydelige endda.

Visionen for bygningen var ganske vist Paxtons, men de dokumenter, han havde udarbejdet, var ikke meget mere end skematiske tegninger, som med Fox' ord "hverken indeholdt tilstrækkelige arkitektoniske eller mekaniske detaljer til, at de kunne anvendes ved udførelsen af arbejderne."³⁾ Endvidere forholdt det sig sådan, at Paxton, da planen var blevet godkendt af byggekomitéen, var nødsaget til at forlade England i en måned⁴⁾ i andet ærinde. Det var i denne periode og i Paxtons fravær, at Fox begyndte at arbejde 18 timer i døgnet, syv dage om ugen med at lave "hver eneste vigtige tegning af bygningen, som den blev [opført] i hånden selv."⁵⁾ Med et lille team ingeniører til at assistere sig beregnede han belastninger, dimensionerede dele og designede samlinger, og til-

sammen blev alt dette til den omfattende samling tekniske dokumenter, som kom til at ligge til grund for opførelsen af bygningen. Der var her tale om en stor del, om ikke den største del, af bygningens faktiske design.⁶⁾ Endvidere førte Fox, hans partner John Henderson og deres team tilsyn med og koordinerede hele byggeprocessen – fra fremstilling af jernkomponenter over præfabrikation af delmontager til forsendelse og levering og endelig samling på byggestedet. Med denne indsats var de i stand til at producere det, som på daværende tidspunkt var en af de største bygninger i Storbritannien, fra design over fremstilling til færdiggørelse, på mindre end syv måneder.⁷⁾

I en publikation fra 1851 kommenterede opfinder, ingeniør og filosof Charles Babbage bygningen af The Great Exhibition og antydede, at blandt alle de "kunstfærdige og enestående produkter, [der] findes i dette krystalbygningssværk," var der "få, hvis fremstilling kan gøre krav på større beundring end selve paladset." I sin tekst var Babbage interesseret især i bygningens produktionsprocesser: "Bygningen i sig selv var forskriftsmæssigt fabrikeret. Den var enkel i sin konstruktion med mangedobbelt repetition af få dele, og selve fremstillingen var udtænkt med fuldendt dygtighed. Den interne økonomi i både bygningens fremstilling og samlingen på byggestedet var i sig selv et lærerigt studie."⁸⁾

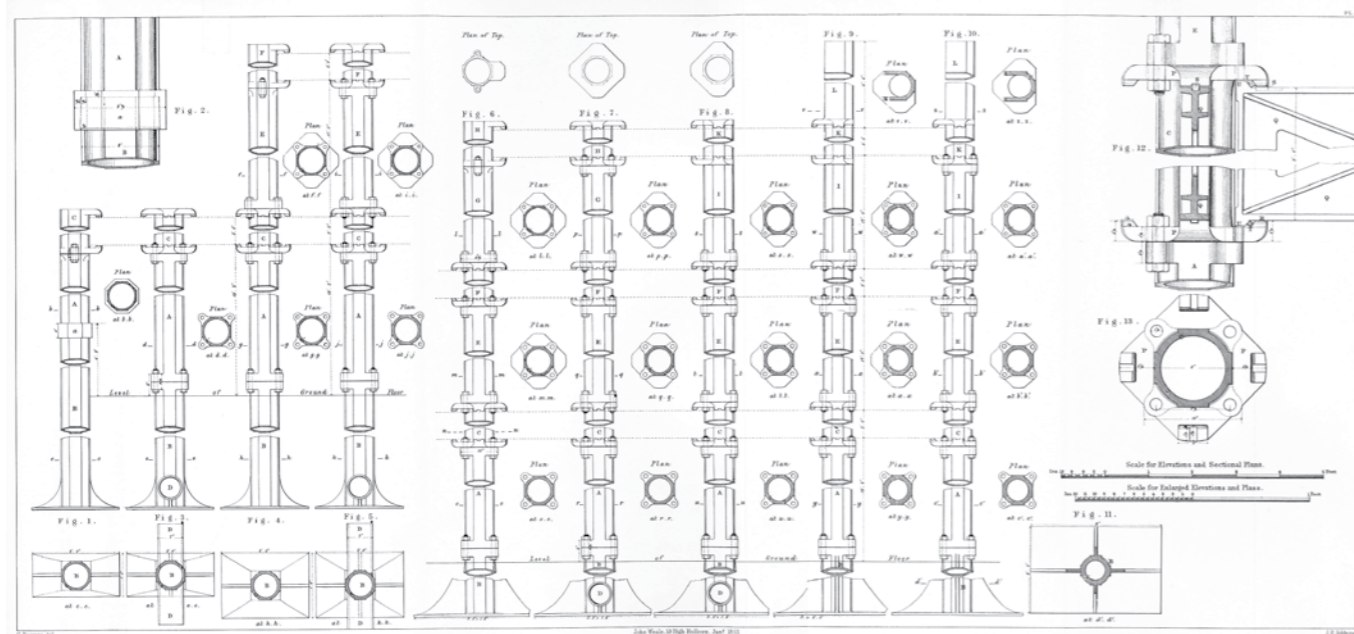
For Babbage havde termen "fabrikation" en helt særlig betydning, som han normalt ikke ville have brugt om et stykke arkitektur. Fabrikation handlede – i modsætning til blot "fremstilling" – om noget, der var produceret af "et meget stort antal

personer,” som “fabrikanten” står bag ved, og hvor denne “organiserer hele produktionssystemet” med maksimal økonomi og effektivitet.⁹⁾ Babbages udtryk “intern økonomi” kvalificerede dette yderligere, idet der her sigtedes på både produktionsskalaen og den effektivitet, der var indbygget i selve processen som et resultat af, at alle de forskellige processer – fra design over fabrikation til opførelse – var inddraget under kontrol af én eneste enhed, Fox, Henderson & Co.

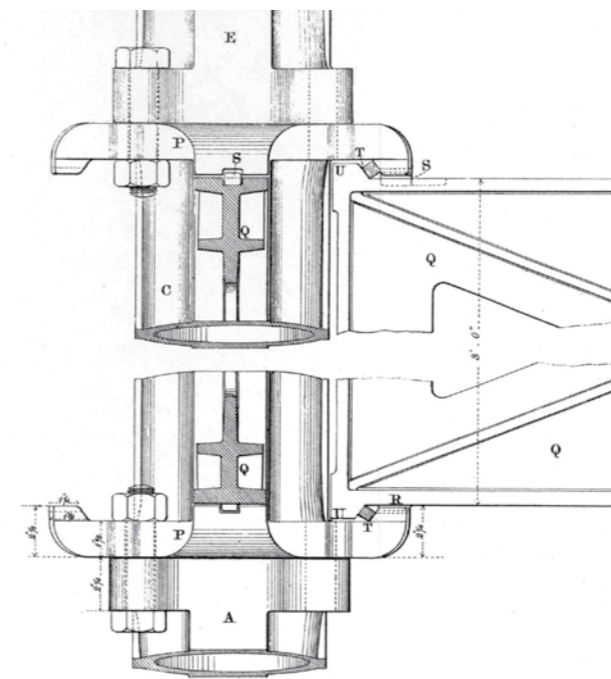
Babbage så dette projekt klarere end mange af sine samtidige og også mere klart end de fleste arkitekthistorikere, som har – været tilbøjelige til – i tråd med den kunsthistoriske tilgang, at se projektet som en enestående kunstnerisk vision hos det kreative individ – i dette tilfælde Joseph Paxton. I modsætning til dette synspunkt arbejder dette studie ud fra de revisionistiske anskuelser, repræsenteret af Tom Peters (1996), Bill Addis (2007) og Andrew Saint (2007) og ser i stedet på de bidrag, som andre aktører ydede til projektets realisering, pri-

Figur 2: Detaljer af “forbindelsesstykket” og samlinger mellem søjlektioner.

mært Charles Fox og hans ingeniører og ledere.¹⁰⁾ Ved at placere Crystal Palace i teknologiens historie vil jeg analysere de måder, hvorpå Fox, Henderson og deres medarbejdere trak på de spirende ledelsesprincipper fra det engelske fabriksystem, samt teknikker og koncepter, der kendtes fra arbejdet med udviklingen af de britiske jernbaner. Med inspiration herfra organiserede de deres arbejde i Hyde Park som et vel fungerende teknologisk system. Dermed hævder dette studie, at bygningen blev forstået mindre som et særskilt objekt og mere som et system i sig selv; en tankegang, der bundet i bygningskonstruktionens overtagelse af principper og viden fra områderne industriel produktfremstilling, forretningsledelse samt bygningsingeniørvidenskab og maskinkonstruktion i produktionen af de tidlige jernbaner. Detaljerne i Crystal Palace, som udtænkt af Charles Fox og hans assistenter, lå lige i hjertet af dette.



Godkendelsen af Paxtons plan afhang af et skriftligt tilbud, et overslag over udgifter, fra Fox, Henderson & Co., som lovede, at byggeomkostningerne ville blive lavere end omkostningerne i det andet førende tilbud trods de hidtil ukendte byggemetoder, og at byggeriet ville stå færdigt i god tid inden åbningen af verdensudstillingen den 1. maj 1851.¹¹⁾ Disse løfter – lave omkostninger og hurtighed – var baseret på en række spirende industrielle praksisser, som igen var inspireret af den systematisering af viden, som over årtier var udarbejdet af naturfilosoffer, videnskabsmænd og ingeniører i forbindelse med styring af arbejdskraft, øgning af effektivitet og etablering af konsistens i produktionen af varer – fra standardiserede skruer over taljeblokke til jernbaneinfrastruktur. Ved opførelsen af Crystal Palace var det denne type viden, der gjorde, at processer blev organiseret og strømlinet, arbejdet blev repetitivt, procedurerne mekaniseret og arbejdet sty-

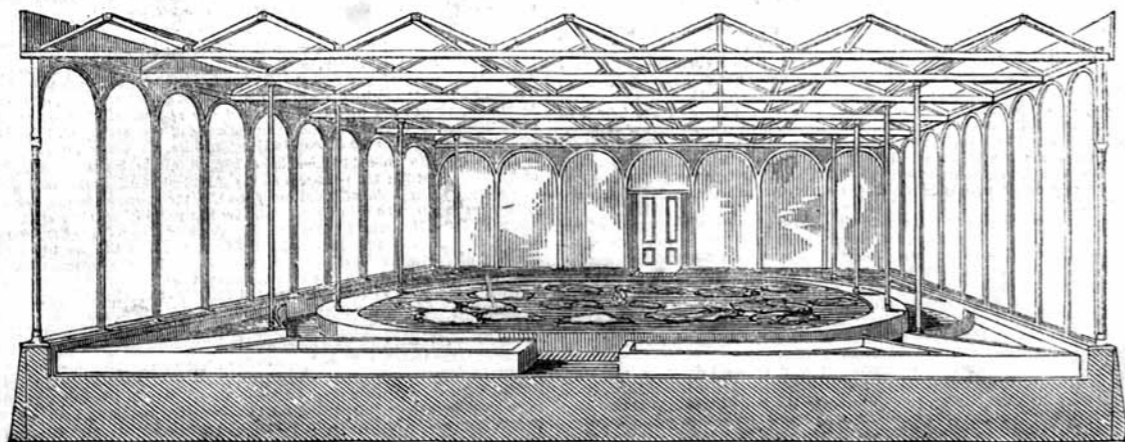


ret “videnskabeligt”.¹²⁾ Dette sås især i de omstændigheder, der omgav det, som Fox og hans team ganske enkelt kaldte “forbindelsesstykket”¹³⁾ (figur 3). *Forbindelsesstykket* var den komponent, der blev brugt til at samle rørformede jernsøjler og de præfabrikerede dragere, som de skulle understøtte. Dette ene objekt sammenfatter de innovationer, på én gang materialerelaterede, økonomiske og politiske, som muliggjorde dét, som Fox’ system realiserede.

Forbindelsesstykket var en støbejernskomponent med standardiserede dimensioner,¹⁴⁾ seriefremstillet og specielt designet med henblik på at kunne monteres hurtigt og af ufaglærte arbejdere. Denne komponent blev støbt med stor præcision og færdigbearbejdet med specialfremstillede maskinværktøjer, således at den kunne tilpasses og boltes til sektioner af rørformede søjler ovenover og nedenunder (figur 3, del A og E). Den havde også en række fremstående kanter på siderne, som de kaldte “snugs” (P), og som holdt enderne af støbejernsdragerne (U), hvorved de blev låst fast, ved at et lille fremspring på undersiden af drageren (R) blev skubbet ind i en rille mellem disse “snugs”. Særlige kiler af jern (T), eller somme tider af træ, blev ved hjælp af en træhammer drevet ind i samlingen mellem drager og “snugs”, hvorved mekanismen blev fastgjort. Hele bygningen indeholdt mere end 6.000 søjle-sektioner, 4.000 dragere og gitterspær og 2.500 forbindelsesstykker, en masseproduceret række af mere eller mindre indbyrdes udskiftelige dele.¹⁵⁾ Det var denne ene systemiske detalje – samlingen mellem søjlen og drageren ved hjælp af *forbindelsesstykket* – som holdt sammen på størstedelen af Crystal Palace’s strukturelle bygningsværk. Endvidere var denne særlige samlingsmetode, hvor hele produktionsprocessen – fra planlægning over fremstilling til samling – forankret i selve designet, af central betydning både i forhold til reduktionen af omkostninger og den hurtighed, hvormed bygningen kunne opføres.

Figur 3: Detalje af “forbindelsesstykket” (C), sat sammen med to søjlestykker (A og E), en 24’ lang støbejernsdrager (Q).

Figur 4:
Åkandehuset Victoria Regia (højre, 1849-50) og Great Conservatory (nederst, 1836-40) i Chatsworth, af Paxton og Decimus Burton.

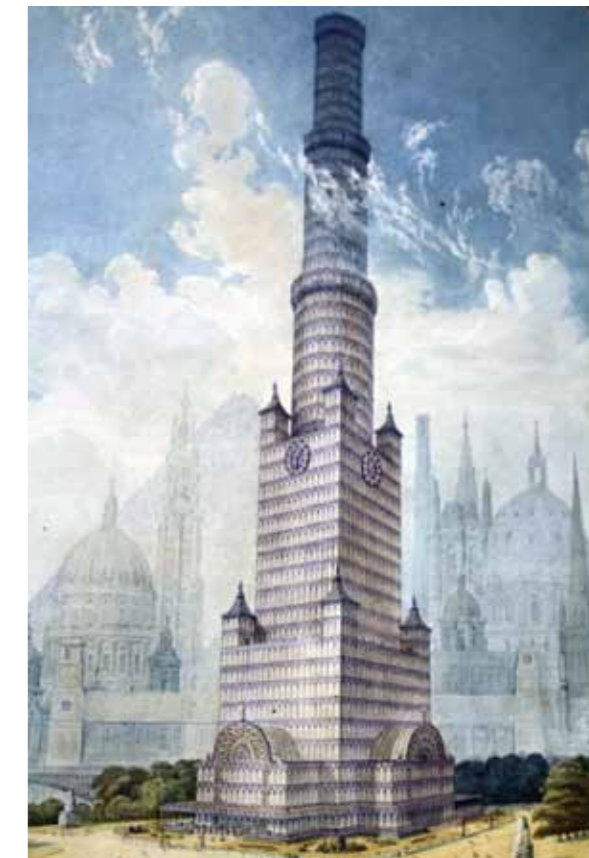


Der er sagt meget om den formelle relation mellem Crystal Palace og Paxtons tidligere arbejde i glasvæksthusene ved slottet Chatsworth (figur 4), men logikken bag *forbindelsesstykket* var radikalt anderledes end noget, der var brugt der. I Paxtons åkandehus Victoria Regia blev strukturelle jernsøjler fastgjort til de små bjælker, de bar, ved at behandle samlingen med smeltet jern. Og i Paxtons store væksthuse understøttede jernsøjler laminerede træhvælvinger, som var sammenføjet ved hjælp af metoder, der bundede i tømrerhåndværkets traditionelle teknikker. Disse metoder spillede ganske vist en rolle i Crystal Palace, men *forbindelsesstykket* var noget helt nyt, og denne nyskabelse var Charles Fox' værk, og han tog ansvar for, og talte dets sag, på et møde i Institute of Civil Engineers i januar 1851, hvor han forklarede, at han betragtede *forbindelsesstykket* "som noget af det vigtigste i bygningen".¹⁶⁾ Og det var det bestemt også.

Forbindelsesstykket afslører, hvordan Fox og hans team så bygningen ikke så meget som et selvstændigt objekt men mere som et system i sig selv – og ikke blot som et system, der blev samlet af mange dele, men også i bredere forstand som et system af produktions- og arbejdsstyring. *Forbindelsesstykket* gjorde, at alt jernarbejdet kunne seriefremstilles,

at bygningen kunne nedbrydes i komponenter, der let kunne fremstilles, transporteres og håndteres, samt at disse dele kunne fremstilles forskellige steder¹⁷⁾ og alligevel samles præcist og hurtigt på byggestedet af ufaglærte arbejdere. Logikken med *forbindelsesstykket* gjorde endvidere, i modsætning til andre metoder,¹⁸⁾ at bygningen hurtigt kunne samles og senere demonteres, da den blev flyttet fra Hyde Park ved udstillingens afslutning. Det var dette aspekt af bygningen, som nok allerklarest viser Crystal Palace's systemiske særpræg, for efter demonteringen blev den senere samlet igen i Sydenham i udvidet og ændret form.¹⁹⁾ Som system snarere end objekt var bygningens form blot et midlertidigt, tilfældigt særpræg; den kunne være blevet samlet i en mangfoldighed af forskellige former eller udvidet i det uendelige. Da man offentliggjorde planen om at flytte bygningen til Sydenham, offentliggjorde tidsskriftet *The Builder* et provokerende billede af bygningens komponenter, som var blevet monteret, så de dannede et 1.000 fod højt tårn (figur 5).²⁰⁾ Fox og Henderson kommenterede billedet ved at sige, at sådan et tårn i princippet godt kunne opføres sikkert.

Logikken bag sådan et fleksibelt system, med *forbindelsesstykket* som den mest afgørende komponent, var udviklet på baggrund af Fox' aktiviteter inden for ingeniørarbejde og ledelse. Fox havde været i lære som ingeniør og entreprenør. Fox havde hjulpet ingeniørerne John Ericsson og John Braithwaite med at udføre eksperimenter inden for termodynamik og med at bygge lokomotivet *Novelty*, som de kørte i ved konkurrencen Rainhill Trials i 1829 og fik en andenplads, kun overgået af Robert Stephenson's *Rocket*. I de to følgende år arbejdede han for Fawcett, Preston & Co., der var etableret som en udløber af det berømte Coalbrookdale, der designede og fabrikerede nye maskinværktøjer og de første dampmaskiner til søfartsindustrien. Og i de næste fem år var han som ingeniørassistent for Robert Stephenson med til at bygge jernbanen London & Birmingham, den første jernbane ind i London. Her var han med til at designe og føre tilsyn med bygningen af tunneller, broer samt Euston Terminus med taget af jerngitterspær (figur 6). Senere deltog han i driften



Figur 5: Crystal Palace som opført i Hyde Park (øverst til venstre), samlet igen og udvidet i Sydenham (nederst til venstre) samt som foreslået samlet igen i form af et tårn (højre).

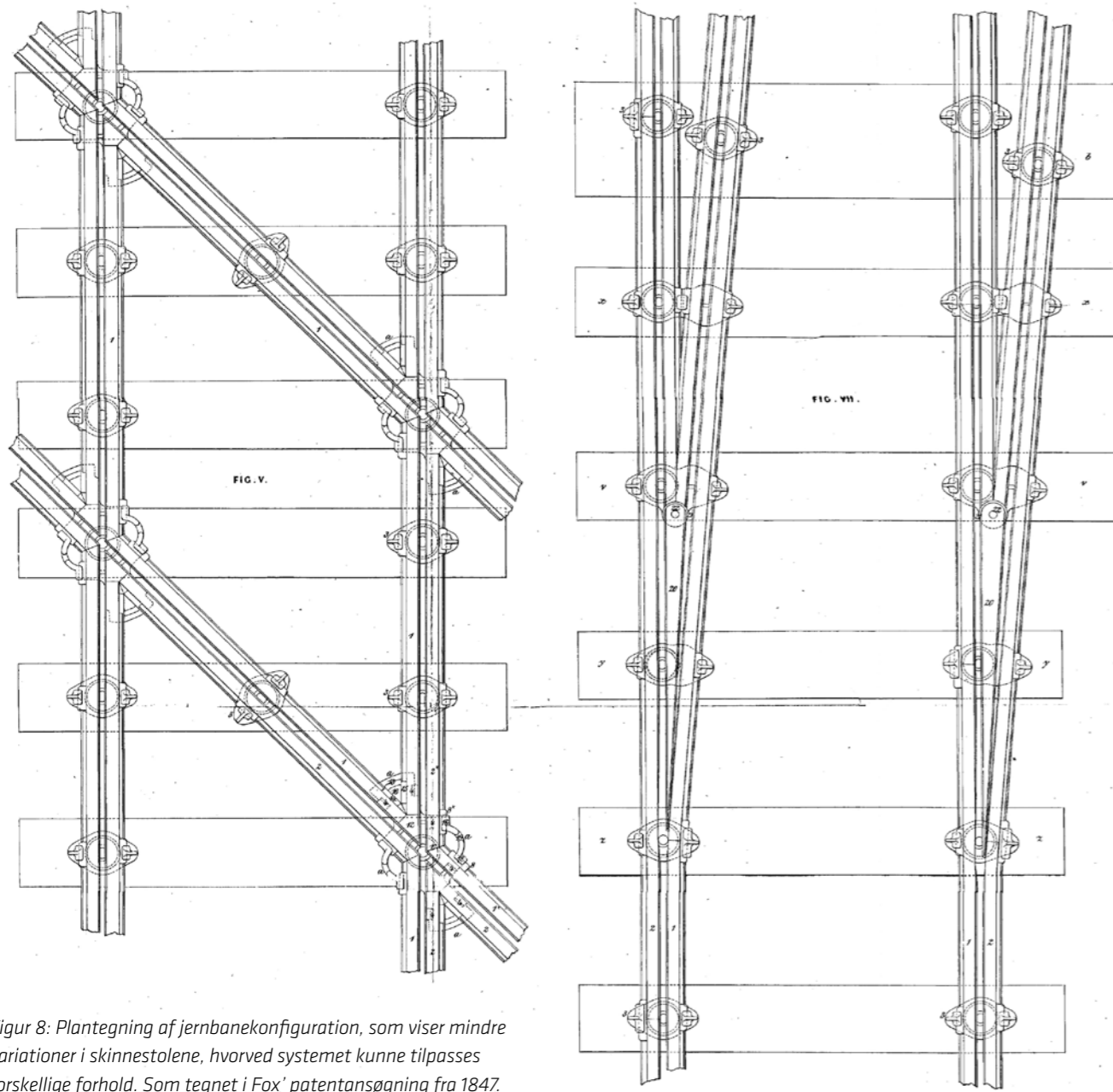
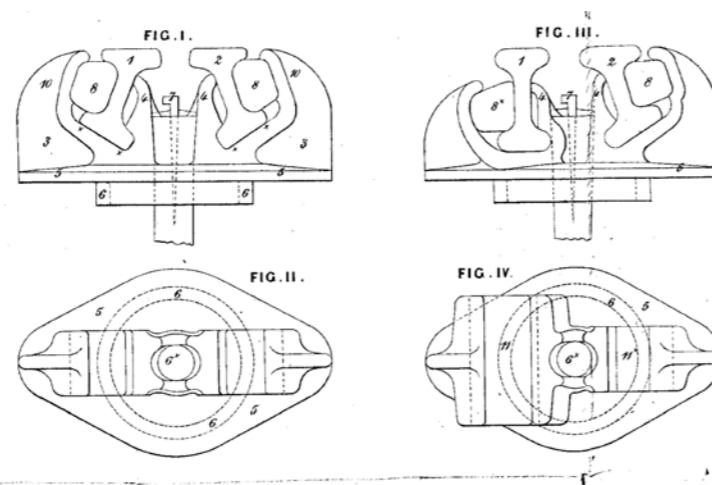
af jernbanen som fast tilknyttet ingeniør på jernbanen.²¹⁾ Disse erfaringer placerede Fox i centrum af verden for britiske ingeniører i det 19. århundrede – fra eksperimenter med termodynamikken i dampmaskiner over præcisionsfabrikation af mekaniske apparater til anlæg af infrastruktur og sågar driftsledelse ved en af de første jernbaner. Disse aktiviteter viste en fordybelse i de spirende metoder, der repræsenterede det 19. århundredes systemtænkning.

I 1839 indgik Fox partnerskab med ingeniøren Francis Bramah. Deres virksomhed, Bramah, Fox & Co., ejede og drev egne støberier og producerede en række kommercielle og industrielle jernprodukter, ligesom de var entreprenører på en række byggeprojekter. Francis Bramah var den næstældste søn af den store opfinder Joseph Bramah²²⁾, og før Fox sluttede sig til virksomheden, havde den heddet Bramah & Sons og før det Bramah & Co., en støberi- og maskinarbejdsvirksomhed med en lang og rig historie siden dens etablering i 1784.²³⁾ Virksomheden havde været øveplads og inkubator for prominente ingeniører, herunder folk som Henry Maudslay og Joseph Clement. Dermed kunne Fox trække på en lang række teknikker i produktionen af jernprodukter, forskellige metoder til at opdele og organisere arbejdet i støberiet og en opfindelsesbaseret tilgang med trinvis tilpasning af eksisterende midler og værktøjer. I 1841 sluttede John Henderson, ejer af et støberi i Smethwick, sig til virksomheden, og da Bramah gik på pension i 1845, blev virksomheden til Fox, Henderson & Co.,

Figur 6: Jerntaget på stationen Euston Terminus (1837), af Charles Fox under tilsyn af Robert Stephenson.



Figur 7: Tværsnit (øverst) og plansnit (nederst) af Fox' patenterede skinnestol til et dobbelt skinneresystem som tegnet i patentansøgningen fra 1847. Jernskinnerne (komponent 1 og 2) fastgøres i stolen ved at drive trækiler ind, som fastholder dem (komponent 8).



Figur 8: Plantegning af jernbanekonfiguration, som viser mindre variationer i skinnestolene, hvorved systemet kunne tilpasses forskellige forhold. Som tegnet i Fox' patentansøgning fra 1847.

som i 1850 var vokset betydeligt. Under Fox og Henderson havde fabrikken i Smethwick "70 smedjer, og man mente, at det var den største i verden."²⁴⁾ På dette tidspunkt producerede virksomheden "ca. 300 tons støbegods om ugen, og der var sædvanligvis ansat mellem 1.000 og 2.000 arbejdere."²⁵⁾

Efter Fox og Hendersons succeser i 1851 blev virksomheden engageret til at forestå store og vigtige ingeniørprojekter inden for et stort geografisk område. Det "største og mest prestigefyldte" af disse var udbygningen af jernbanen på Sjælland fra Roskilde til Korsør, som Fox skrev kontrakt på som totalleverandør i 1852.²⁶⁾ Denne kontrakt indebar både levering af rullende materiel, 10 lokomotiver, 14 personvogne, 108 godsvogne, elektrisk telegraf, broer, stationsbygninger samt oprensning af havnen ved endestationen. Dette projekt blev afsluttet i 1856, men var plaget af utilstrækkelige og upræcise omkostningsoverslag og risikable forretningsmetoder hos Fox, Henderson & Co., der havde påtaget sig rollen som entreprenør, fabrikant og leverandør på projektet, før den nødvendige finansiering fra den danske stat var sikret. Dette blev anført som den primære årsag til, at Fox, Henderson & Co. gik konkurs i 1857 og efterfølgende blev opløst. De nærmere omstændigheder ved projektet for den sjællandske jernbane, den rolle systemtækning spillede i planlægningen og anlæggelsen, er ikke velbelyste og ville give rigeligt stof til yderligere undersøgelser.

SYSTEMATISERING, FREMSTILLING, SAMLING

Det er på dette erfaringsgrundlag – inden for videnskab, fabriksfremstilling, ingeniørvidenskab og entreprenørarbejde – og på baggrund af den faglige og samfundsøkonomiske kontekst, at fremstillingen og opførelsen af Crystal Palace tog form. I centrum stod *forbindelsesstykket*, og inspirationen dertil fra processer inden for fremstilling og ingeniørvidenskab var åbenlys i kraft af de termer, der blev brugt til at beskrive det – søjler og dragere blev fastgjort ved hjælp af "snugs" og kiler. Termen "snug" var ikke hentet fra arkitektens verden, men derimod fra fabriksfremstilling i jernindu-

strien. Den optræder i den ingeniørvidenskabelige litteratur fra 1830'erne og fremefter.²⁷⁾ Betydningen antages at være et "fremspring eller en rand, der er støbt fast på en plade, bolt osv. med det formål at fastholde noget [eller] forhindre det i at dreje."²⁸⁾ Denne anordning trak på basale mekaniske principper og var almindeligt anvendt til ting – produkter, maskinværktøjer, mekaniske apparater osv. – som samles af flere forskellige jernkomponenter.

Termen kile derimod havde længe været brugt inden for arkitekturen. Den betydning, hvori den blev brugt i Crystal Palace, var den, som kendtes fra produktionen af jernbaner. I forbindelse med anlæg af en "permanent vej", det jernbanespor, som lokomotiver kører på, er kilen en kileformet komponent, der indsættes mellem to elementer for at fastholde dem i deres relative position. Faktisk havde Fox i 1847 taget patent på to forskellige design af jernbanespor, baseret på en ny form for skinnestol,²⁹⁾ hvor elementerne, der fastholder skinnerne til træsvellerne, befandt sig i jorden. Et af disse patenter (figur 7) var på et dobbelt skinneresystem, som var designet til på én gang at kunne anvendes til linjer med både smalle og brede spor. I Fox' patenterede system, som anvendte en metode, der var typisk for jernbanen, blot dobbelt, blev der "drevet" kiler "(fra begge sider) ind mellem skinne og [stol], således at skinnerne blev fastholdt."³⁰⁾ Denne metode med anvendelse af to kiler til fastgørelse af en samling var præcis det princip, der blev anvendt i *forbindelsesstykket* i Crystal Palace. Endvidere var det hensigten, at både Fox' *forbindelsesstykke* og skinnestolen skulle være masseproducerede jernkomponenter med få variable konfigurationer, således at der kunne spares både tid og arbejde ved montering og samling, og at de kunne anvendes serielt og dermed give god økonomi og muliggøre en uendelig udvidelse af systemet (figur 8).³¹⁾

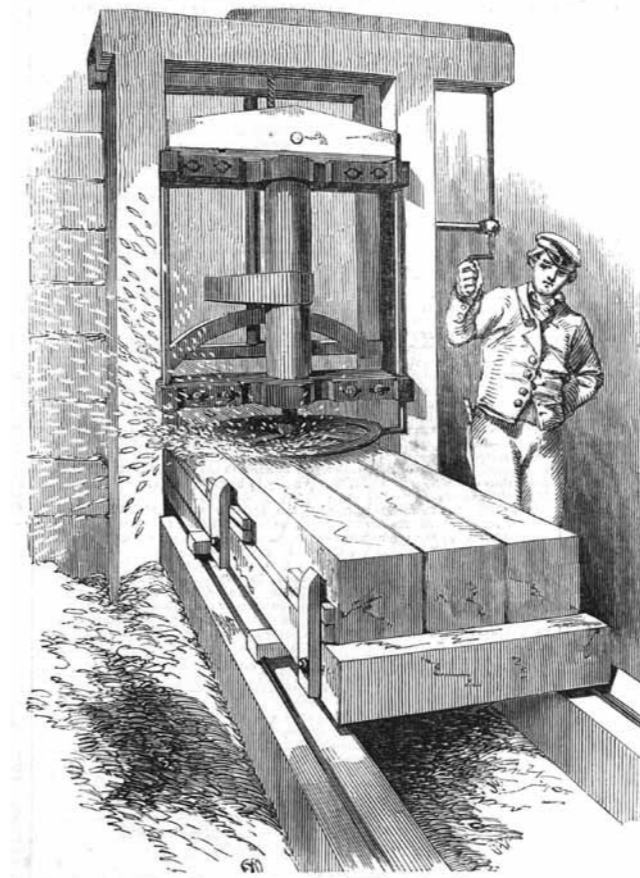
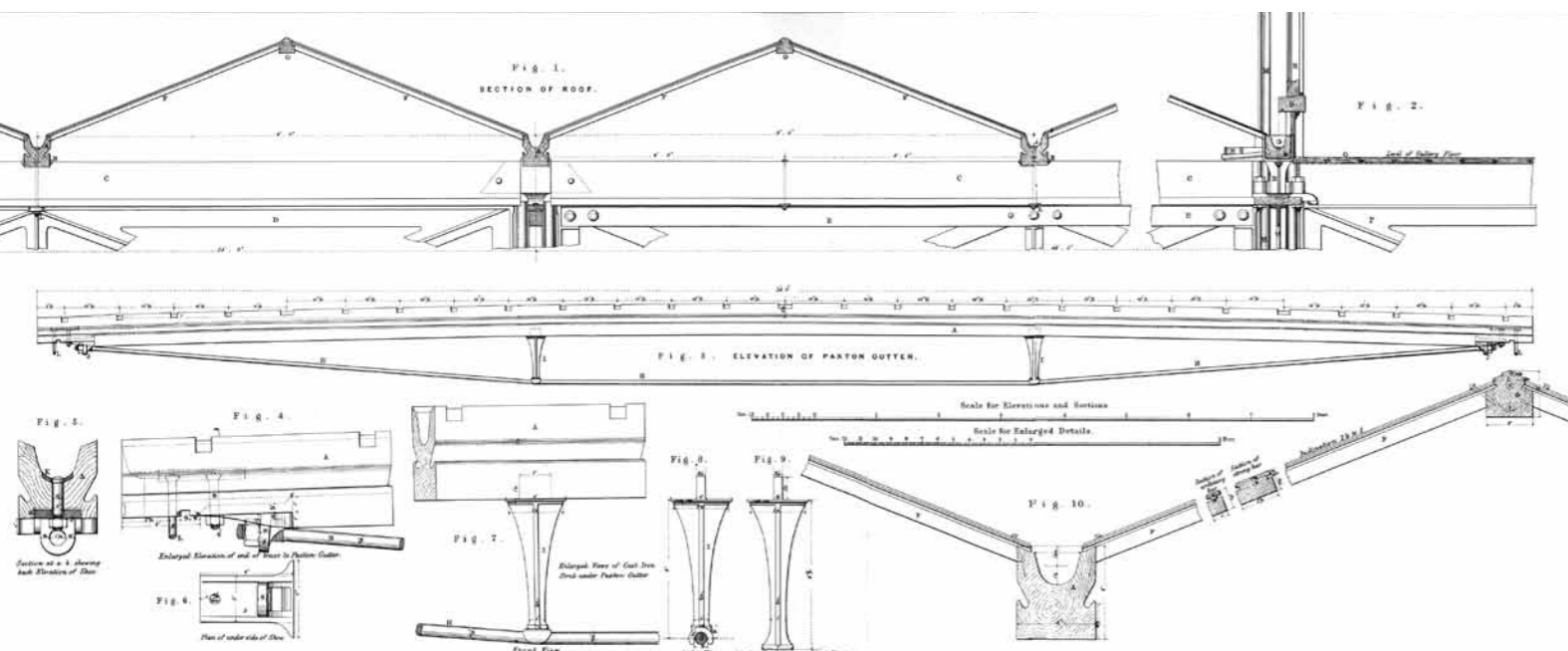
Således kan den innovative logik bag samlingen af Crystal Palace ses som en overføring af principper fra jernbaneingeniørvirksomhed og fremstilling af jerngods. Da de var designet, blev der udarbejdet modeller af alle dele på virksomhedens jernværk i Smethwick. Alt det lette smedjærnsarbejde

blev lavet her ved hjælp af metoder, der mindede om dem, Fox havde patentanmeldt i forbindelse med produktionen af lokomotivhjul og andre jernbanekomponenter i 1847,³²⁾ mens dragere og søjler blev sat i produktion på et nærliggende støberi, Cochrane & Co., som familien Bramah ejede en andel af.³³⁾ Hos Fox og Henderson arbejdede mere end "80 model-snedkere og 120 formere" i to skift, således at der blev arbejdet 24 timer i døgnet med fremstillingen af næsten "90.000 stykker støbegods," mens bygningens 24' lange dragere blev fremstillet i ét stykke støbegods hos Cochrane & Co., hele 316 stk. om ugen, når det gik mest rask til.³⁴⁾ Dette usædvanligt høje produktionstempo blev opnået ved hjælp af opdeling af arbejdet, specialisering og stordriftsfordele. Ifølge Fox var det John Henderson, der styrede denne proces.³⁵⁾

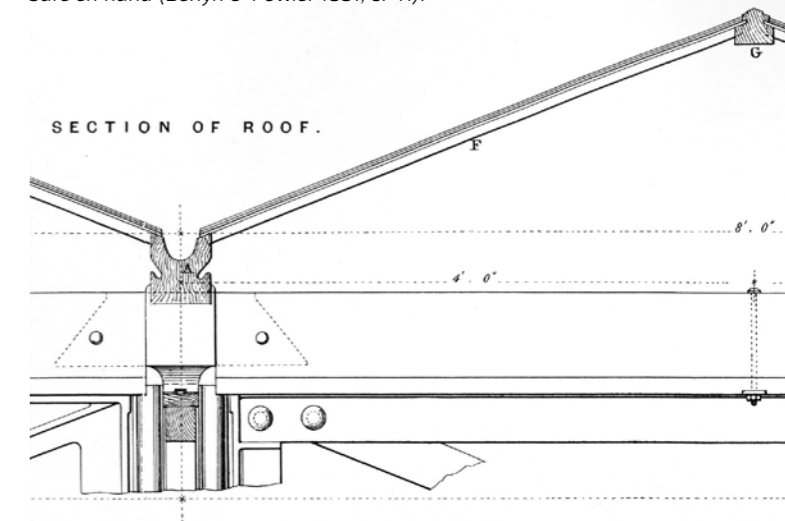
Som produktionen af Crystal Palace skred frem, blev det færdige jerngods sendt til London ad jernbanen og leveret på byggestedet med hestetrukken kærre – komponenterne var

nu klar til montering og samling under Fox og John Cochranes tilsyn. Arbejdet skred raskt frem. Der blev monteret helt op til 310 søjler om ugen i en monteringsproces, som var både stærkt ensrettet og særdeles repetitiv. I centrum var Fox' *forbindelsesstykke*, der fungerede præcis som planlagt i hænderne på ufaglærte arbejdere. Byggearbejdet var startet i august med 39 arbejdere, men allerede i december ledede Fox 2.260 arbejderes indsats på byggestedet. Sådan en opgave kunne frembyde noget af en udfordring, men den var moden til systematisering ved hjælp af Fox og hans teams nye metoder – både arkitektoniske, tekniske og politiske – som etablerede nye relationer mellem primært ufaglærte arbejdere og ledere på byggestedet.³⁶⁾

Figur 9: Detaljer af Paxtons patenterede tagsystem, som det tag sig ud i Hyde Park.



Figur 10-11: Del af tag, som viser tagrenden (A), og tykkelseshøvlen til tagrendeoproduktion, som mageligt betjenes af en enkelt arbejder og endda med bare én hånd (Berlyn & Fowler 1851, s. 41).



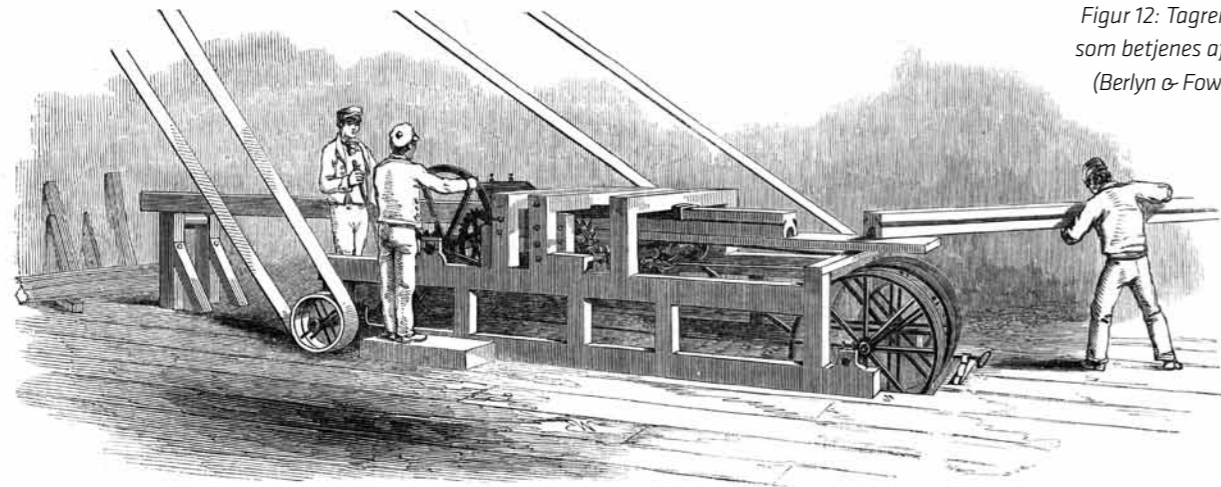
MEKANISERING, ENSRETNING, INSTALLATION

Overføringen af principper fra én disciplin til en anden i arbejdet med Crystal Palace var tydelig, ikke blot i *forbindelsesstykket* men også i mange andre fremgangsmåder, som blev anvendt af Fox og hans team. Det omfattende "ryg- og fure"-tagsystem (figur 9) krævede f.eks. fremstilling af uendelige mængder af komponenter i glas og træ – næsten 300.000 identiske glasrunder i størrelsen 4'1"x10" og mere end 254 *lineære mil* masseproducerede træelementer. Specielt produktionen af disse træelementer involverede en omfattende mekanisering og ensretning af arbejdet på baggrund af principper, der var udviklet i det engelske fabrikssystem. Systemet havde tidligere været brugt, f.eks. i Åkandehuset *Victoria Regia*, og da havde det vist visse tendenser mod mekanisering, idet Paxton brugte en modificeret notfræsemaskine, som han selv havde designet, til at designe træsprosserne.³⁷⁾ Fox og hans team gik endnu videre i deres forsøg på at spare arbejde. Detaljerne ved Paxtons "ryg- og fure"-system blev diskret tilpasset til Crystal Palace af ingeniører og ledere. Komponenterne blev omhyggeligt designet på ny på baggrund af produktionsmetoder, installation samt styring og ensretning af arbejdet under hele processen. Hurtighed og effektivitet var af afgørende betydning.

Det træ, som blev brugt til taget, "Memel-gran,"³⁸⁾ kom fra Rusland og blev leveret med skib, som sejlede ad Themsen til Phoenix Saw Mills i Chelsea. Det var her, det rå tømmer

blev forarbejdet til de forskellige komponenter i glaskonstruktionen før levering til Hyde Park, og præcis dette savværk blev "valgt af entreprenørerne med det udtrykkelige formål" at etablere produktionen "nær floden, [som var] praktisk til levering af tømmeret" og tæt nok på byggepladsen til, at det var let at transportere med kærre.³⁹⁾ Til forarbejdningen af tømmeret brugte Fox og hans team en række specialfremstillede eller -tilpassede maskinværktøjer, der sikrede hurtighed og arbejdsbesparelser i produktionen. Og designet af de fysiske komponenter blev forfinet – der blev indbygget en runding i tagrenderne, profiler blev optimeret og tilpasset osv. – med deres produktionsmidler, installation og endelige formål for øje.

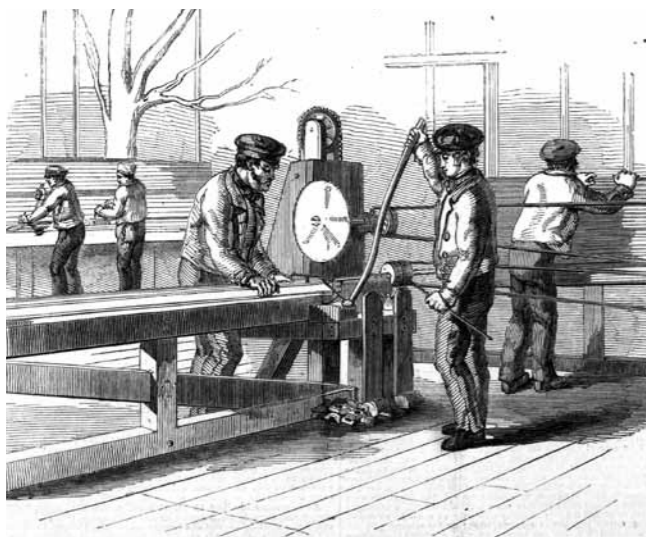
Hver 24' lange "Paxton-tagrende" var hugget af ét stykke tømmer. Paxton havde udviklet formen på tagrenden til "ryg- og fure"-taget til Åkandehuset i Chatsworth med en stor rende midtfor til opsamling af nedbør uundværligt og to mindre render på hver side til opsamling af kondens fra indersiden af glasset (figur 10). I Chatsworth var tagrenderne blevet lavet af håndværkere, og de var møjsommeligt udskåret i hånden.⁴⁰⁾ Men på savværket Phoenix Saw Mills var processen helt gennemmekaniseret og stærkt ensrettet. Først blev der kørt tre stykker tømmer igennem en specialfremstillet tykkelseshøvl på én gang for at give dem en ensartet overflade. Maskinen blev betjent af "to mænd og en dreng", og den kunne ved hjælp af "styr og skinner" betjenes med bare én hånd (figur 11).⁴¹⁾



Figur 12: Tagrendemaskinen, som betjenes af tre arbejdere (Berlyn & Fowler, 1851 s. 42).

Når tømmeret var skåret til, blev det "ført mod indløbsenden på tagrendemaskinen" (figur 12), som bearbejdede det med fire separate skæreværktøjer og hurtigt frembragte en korrekt profileret tagrende.⁴²⁾ Disse maskiner var i drift 20 timer i døgnet med arbejde i skiftehold, og der blev hver dag fremstillet mere end "2.000 fod [tagrende], klar til brug." Ved hjælp af denne proces blev alle de tagrender, der skulle bruges, fremstillet på bare to måneder af teams af hver seks arbejdere, men man "regnede sig frem til, at denne mængde arbejde ville have krævet, at 300 mænd skulle have arbejdet i samme periode", hvis man havde været afhængig af "manuelt arbejde uden hjælp."⁴³⁾

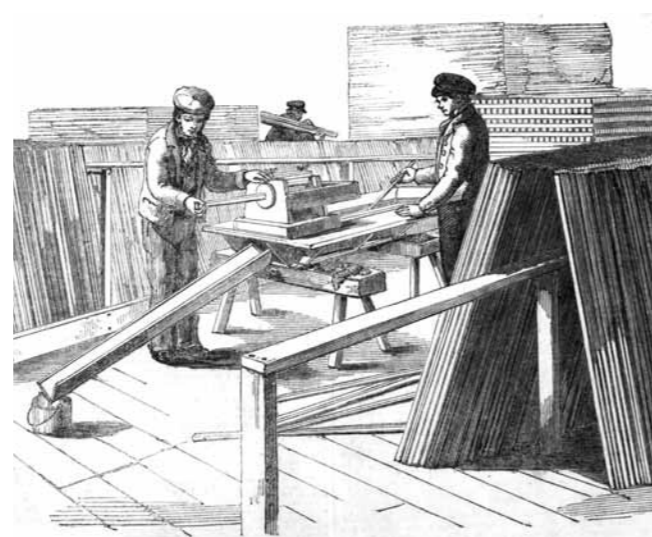
Tagrenderne blev færdiggjort på byggepladsen ved hjælp af en specialbygget maskine, som blev betjent af tre arbejdere (figur 13). Ved hjælp af en række styr og nøje planlagte bevægelser placerede to arbejdere tagrenden i en ramme, og maskinen formede tagrendens runding, så vandet lettere



Figur 13: Maskine til færdigbehandling af tagrenden.

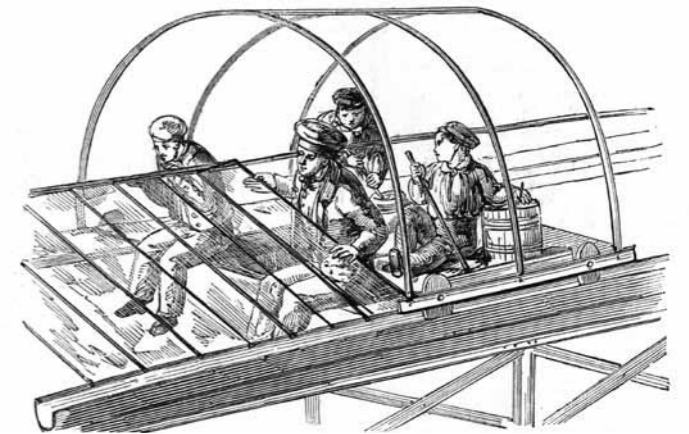
kunne løbe af, idet bukket blev fastgjort med trækstænger og stivere af jern. Dernæst sænkede en tredje arbejder saven ved hjælp af et håndtag med modvægt. Derved blev tagrenden afskåret i præcis den rette længde og den rette vinkel, hvorefter der ved hjælp af to fremspring på savbladets flade blev skåret en halv rund fordybning, hvor der senere ville blive monteret en metalanordning til at lede vandet fra tagrenden. Saven blev løftet, og de to første arbejdere drejede dernæst tømmeret rundt, så den anden ende også kunne blive bearbejdet. Hele denne nøje beskrevne proces blev udført på blot to minutter.⁴⁴⁾

Sprosserne blev behandlet på samme måde; produktionen var mekaniseret i størst muligt omfang. Ved hjælp af denne proces producerede man 190.000 identiske komponenter. Sprosserne blev skåret og rillet ved at køre dem igennem en maskine, og de blev færdiggjort på byggestedet ved hjælp af flere andre maskiner, som skar dem i præcise længder 30



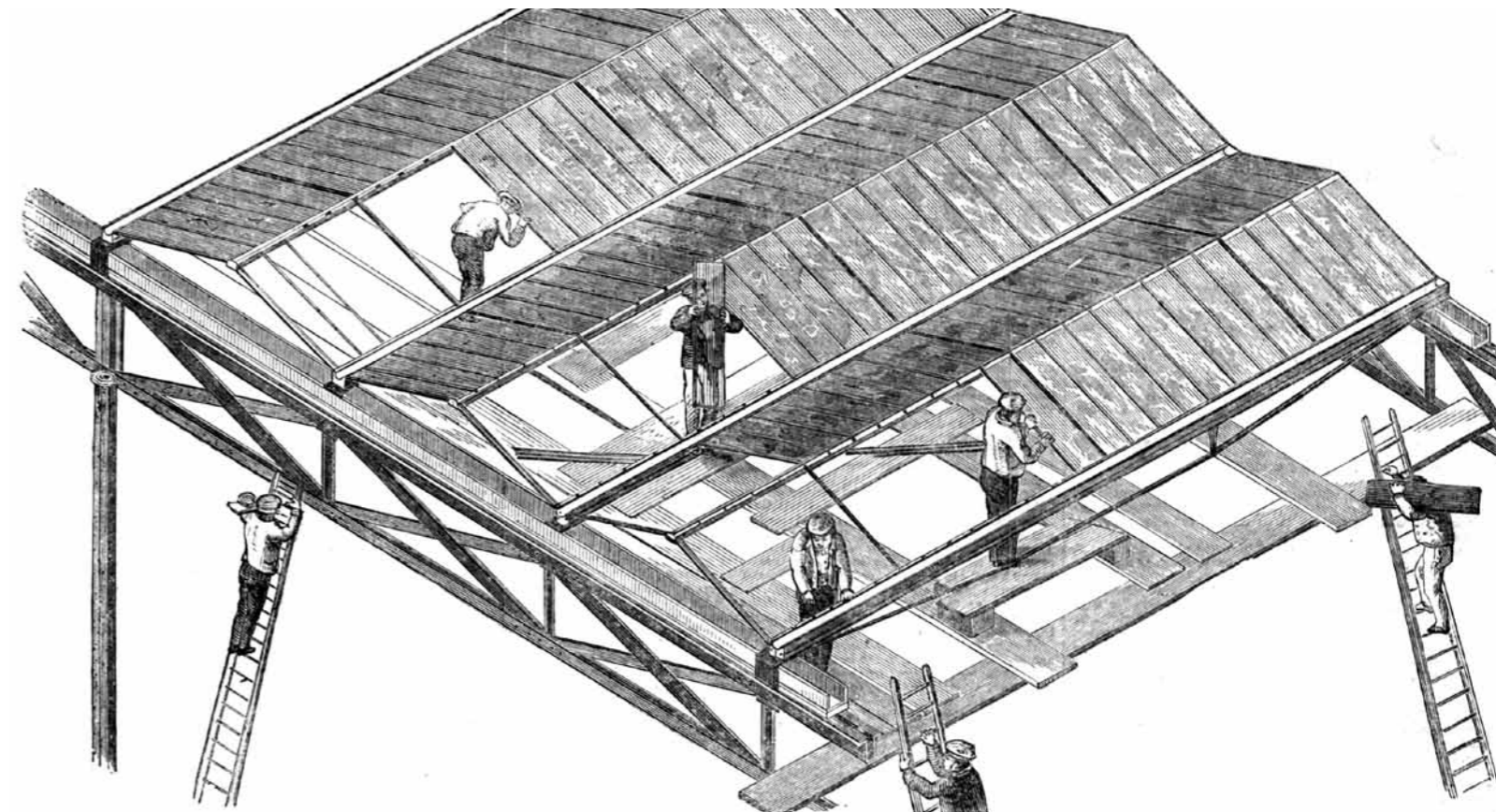
Figur 14: Maskine til maling af sprosser (Berlyn & Fowler, 1851, s. 77).

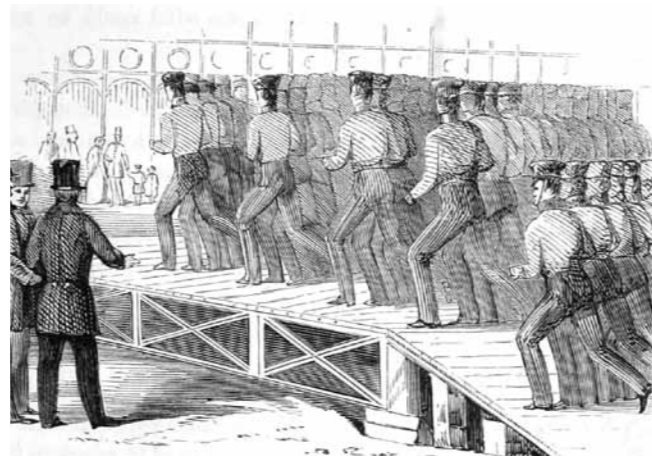
sprosser ad gangen samt borede huller i dem, så de let og præcist kunne sømmes. Afslutningsvis blev de sågar malet (figur 14).⁴⁵⁾ Ved organiseringen af disse produktionsprocesser blev opgaverne fysisk tilpasset, så produktionen var så økonomisk som muligt, og den nødvendige arbejdskraft kunne leveres af ufaglærte arbejdere. Dermed blev arbejdernes bidrag reduceret til basale bevægelser som at "fodre" maskiner med materiale, trykke et håndtag med modvægt ned, fjerne færdige produkter og endelig stable de færdige produkter.



Figur 15-16: Stillads til glasarbejde (nederst) og Fox' glasarbejdsvogn (højre) (Berlyn & Fowler, 1851, s. 36, 72).

I starten skred samlingen af disse komponenter, som skulle udgøre taget, langsomt frem på grund af det besværlige brædestillads, hvor arbejderne konstant måtte flytte brædderne, som arbejdet skred frem (figur 15). For at afhjælpe denne ineffektivitet vendte Fox sig endnu en gang mod principper, som han kendte fra fabriksindustrien og jernbanen; han erstattede det stillads, der normalt blev brugt på byggepladser, med en ny og optimeret mekanisme. Han designede og fremstillede 70 "glasarbejdsvogne" (figur 16), der kørte





Figur 18: Soldater fra Royal Sappers and Miners tester dragerne ved en offentlig demonstration (Illustrated London News).

som et lokomotiv med tagrenderne som skinner. Det satte fart i arbejdet. I hver vogn var der plads til fire arbejdere og alt nødvendigt udstyr og materiale. På den måde kunne arbejderne køre baglæns ad tagstrukturen, som arbejdet skred frem, og som Tom Peters har bemærket, så var det både en nytækning og en vendt på hovedet af samlebåndet som fabrikationsproces – her bevægede arbejderne sig forbi arbejdet, i takt med at det blev fremstillet.

Arbejdet blev mekaniseret og gjort mere økonomisk, men også styringen af byggeprocessen og arbejdskraften i større målestok blev ensrettet. Innovationer inden for fremstilling og produktion blev skabt i forlængelse af innovationer inden for regnskabsførelse og ledelse fra jernbanesektoren – hvilket måske ikke ville komme som nogen overraskelse for til-

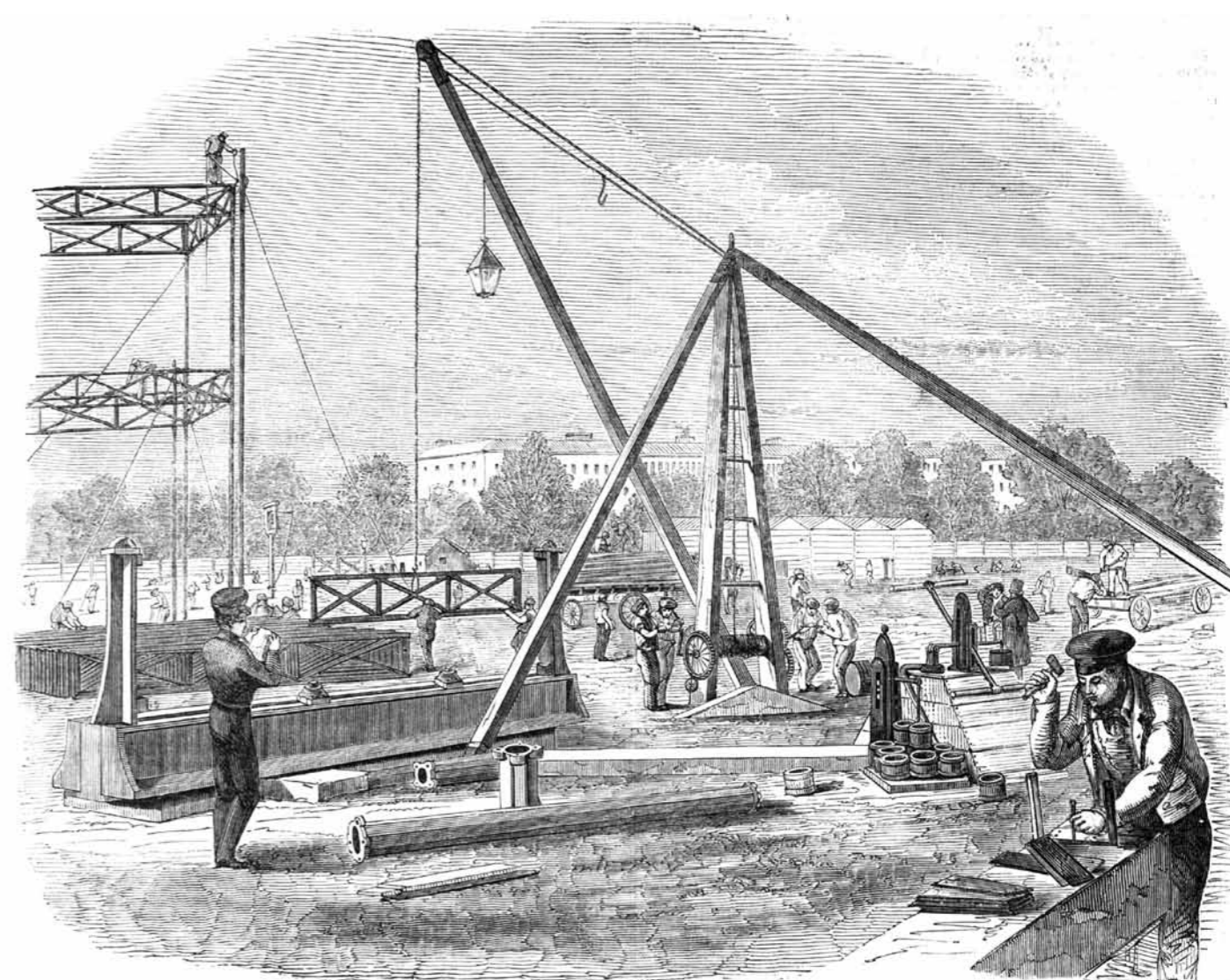
hængere af Alfred Chandler.⁴⁶⁾ Det var ikke blot i design og produktion af dele og processer, at Fox og hans team trak på det engelske fabrikssystem og ingeniørvidenskaben bag jernbanen, men de blev også anvendt på styringen af hundrede tusinder byggekomponenter, uendelige mængder data og tusinder af arbejdere på byggepladsen.

MÅLING, OPTÆLLING, TABELLERING

I næsten alle beskrivelser af Crystal Palace, uanset hvad deres fokus er, konfronteres man med en overvældende mængde tal – tusindvis af denne del, titusindvis af en anden, så og så mange millioner besøgende og solgte billetter, dette antal søjler monteres på én dag, så og så mange glasrunder mon-

Figur 17: Tabeller, der redegør for de forskellige vægte og deres placering ved "prøvningen" af Fox og Hendersons jernbuespær, 1849.

| | | | Tons. cwt. qrs. lbs. | Tons. cwt. qrs. lbs. | Tons. cwt. qrs. lbs. |
|--------------------|-----------|--|----------------------|----------------------|----------------------|
| 12 & 13 | | Brought forward . . . | | 17 10 3 15 | 171 8 3 26 |
| LEFT HAND. | 30 | 15 ft. South Western crossing rails . | 5 7 1 10 | | |
| " | 34 | 15 ft. South Western switch rails . | 5 12 1 8 | | |
| " | 10 | 15 ft. Trent Valley switch rails . . | 1 9 0 12 | | |
| " | 12 | 12 ft. Trent Valley crossing rails . . | 1 11 0 5 | | |
| " | 4 | 10 ft. ditto ditto | 0 8 1 24 | | |
| " | | Pig iron | 1 16 2 2 | | |
| " | 1 | Cast-iron bearer | 0 10 0 0 | 16 14 3 5 | 34 5 2 20 |
| 14 & 15 | | | | | |
| RIGHT HAND. | 36 | 12 ft. Madrid and Aranguez rails . . | 4 18 3 10 | | |
| " | 40 | 15 ft. Trent Valley crossing rails . . | 6 9 2 16 | | |
| " | 17 | 10 ft. ditto ditto | 1 15 3 25 | | |
| " | 20 | 10 ft. South Western crossing rails . | 2 7 2 15 | | |
| " | 10 | 15 ft. South Western switch rails . . | 1 13 0 4 | | |
| " | 1 | Cast-iron bearer | 0 10 0 0 | 17 15 0 14 | |
| 14 & 15 | | | | | |
| LEFT HAND. | 11 | 10 ft. South Western crossing rails . | 1 6 0 22 | | |
| " | 44 | 15 ft. ditto ditto | 7 17 1 21 | | |
| " | 22 | 15 ft. Trent Valley crossing rails . . | 3 11 1 6 | | |
| " | 27 | 15 ft. Trent Valley switch rails . . . | 3 18 2 10 | | |
| " | 1 | Cast-iron bearer | 0 10 0 0 | 17 3 2 3 | 34 18 2 17 |
| | | Total Weight . . . | | Tons | 240 13 1 7 |



Figur 19: Test af dragerne med vippekran og hydraulisk presse (Berlyn & Fowler).

teres en anden dag. Arbejdsformændene ved Crystal Palace styrede og sporede disse mængder. De metoder, de brugte, og disse metoders oprindelse giver yderligere indsigt i den form for viden, som lå til grund for hele projektet.

Man havde aldrig før set en jern- og glasstruktur af denne størrelse og denne type, og en stor del af offentligheden var imod projektet. De var bange for, at den ikke ville være tilstrækkeligt sikker, og at bygningen ville falde sammen og forårsage en katastrofe. Der er ført nøje fortegnelser over disse debatter, og de er blevet analyseret af videnskaberne og kræver ikke yderligere drøftelse her,⁴⁷⁾ men det er den måde, hvorpå Fox og hans team reagerede på disse bekymringer, som fortjener yderligere opmærksomhed. Under opførelsen af Crystal Palace blev der gjort et stort nummer ud af at teste de strukturelle komponenter. Ved flere lejligheder rullede en specialfremstillet maskine hundredvis af kanonkugler hen over gulvene i den færdige bygning,⁴⁸⁾ og ved en anden lej-

lighed havde man inviteret omkring 300 soldater fra Royal Sappers and Miners til at stå og marchere på stedet på et enkelt bygningsfag. Af denne march blev der trykt dette sensationelle billede i Illustrated London News (figur 18). Disse begivenheder var måske nok mest af alt blot demonstrationer, der primært havde til formål at berolige befolkningen, men faktisk udgjorde en lang række andre procedurer til måling og testning af strukturel effektivitet en integreret del af byggeprocessen.

Før monteringen af hver 24' støbejernsdrager blev de enkelte deles strukturelle kapacitet "prøvet" ved hjælp af et specialfremstillet apparat, der var baseret på Bramahs hydrauliske presse (figur 19). På denne måde verificerede man, at hver enkelt dels faktiske kapacitet var større end den beregnede belastning ved montering. Hendersons patenterede vippekran blev brugt til at flytte drageren fra kærren ved levering, placere den på maskinen og flytte den igen, når den var

STATEMENT of the MATERIALS supplied for the Construction of the Building.

| CAST IRON. | | No. of Pieces. | Weight. |
|--|---|----------------|----------------------|
| | | | Tons. cwt. qrs. lbs. |
| Foundation pieces | - | 1,107 | 164 5 3 11 |
| Columnus | - | 2,494 | 870 18 2 19 |
| Connecting pieces | - | 2,500 | 200 3 2 23 |
| Girders | - | 2,357 | 1,381 14 1 22 |
| Sundries for Binders for Gallery-floor and Lead-flat | - | 3,549 | 26 14 2 21 |
| Columns, Girders, &c., for Staircases | - | 2,328 | 95 2 3 7 |
| Railing for Staircases | - | | |
| Standards, Panels, and Shield-plates for Gallery-railing | - | 8,138 | 71 1 3 7 |
| Bands, Caps, and Bases for Columns | - | 9,945 | 70 10 2 - |
| Sundries for Trusses | - | 3,852 | 47 14 - 14 |
| „ Paxton's Gutters | - | 16,093 | 34 - 3 19 |
| „ fixing Sashes and Wood Panels | - | 6,127 | 9 7 - 7 |
| „ Transept, including Purlins | - | 1,596 | 7 3 - 11 |
| „ „ Fronts | - | 495 | 7 9 1 15 |
| Filling Frames and Arch pieces | - | 5,396 | 227 2 2 10 |
| Ornaments for Cornices | - | 11,650 | 43 15 1 26 |
| Galvanized Centres for Louvres | - | 41,647 | 4 15 3 5 |
| Moving apparatus for Louvres | - | 7,197 | 4 2 - 12 |
| Tank-plates | - | 79 | 13 7 1 4 |
| Sundries for Urinals | - | 21 | 1 - - 4 |
| „ lean to Roof | - | 27 | 1 16 3 27 |
| Sundries to replace breakage | - | 43 | 9 8 2 20 |
| Railing-posts | - | 884 | 63 10 3 1 |
| Exterior Railing | - | 3,497 | 188 17 3 16 |
| Caps, &c., for Flag-staffs | - | 312 | 16 1 1 11 |
| Hinges for entrance and exit Doors | - | 219 | 1 1 1 15 |
| Sundries for Gas-stoves | - | 38 | 4 2 10 |
| „ diagonal bracing | - | 1,328 | 9 18 1 3 |
| Pipes, branches for drains | - | 3,033 | 198 2 1 11 |
| „ „ „ | - | 21 | 1 11 2 7 |
| „ „ „ Cook-boxes, &c., for Water supply | - | 447 | 24 15 3 19 |
| „ „ „ | - | 6 | 3 1 22 |
| Brass for Hinges | - | 131 | 2 - - |
| „ Louvre apparatus | - | 108 | 2 21 |
| Total Cast Iron | | 136,665 | 3,784 1 1 - |

Figur 20 (øverst): Tabelleret liste over støbejernskomponenter.

Figur 21 (nederst): Tabelleret liste over ansatte arbejdere (Report to the Commissioners, 1852).

testet - alle disse flyt blev forfinede, så de tog blot fire minutter pr. del.⁴⁹⁾ Denne metode, ved hjælp af en modificeret hydraulisk presse, var baseret på den, som Francis Bramah som den første brugte i sine eksperimenter for at bekræfte Thomas Tredgolds beregnede styrke i jernbjælker, men man havde brugt denne form for prøvebelastning af strukturelle jernkomponenter inden for fabriksindustrien og ingeniørvidenskaben i årtier. Her blev de brugt som en "videnskabelig" og empirisk metode til test af teoretiske styrker.⁵⁰⁾ Faktisk havde Fox og Henderson i 1849 offentliggjort en tekst om prøvebelastning af gitterkonstruktioner til jernbanebroer.

Fox og Hendersons tekst, Bow-String Bridge Ribs, indeholder en omhyggelig redegørelse for de grundige og omfattende procedurer, de havde udtænkt til at verificere gitterspærenes beregnede strukturelle kapacitet. Den 6. september 1848 testede de den strukturelle kapacitet for en række af 120' og 130' spærelementer, som de havde designet og fremstillet til en jernbanebro, de skulle bygge over Regent's Canal.⁵¹⁾ Strukturen "prøvning" blev opført som en slags forestilling, hvor statens jernbaneinspektører, politikere og "mellem firs og halvfems andre videnskabsfolk og ingeniører, [deltog] for at bevidne testen."⁵²⁾ På grund af den rolle, hver eneste komponent skulle spille i systemet, var strukturens kapacitet præcist beregnet, og ved testen blev hele strukturen udsat for en belastning med 240 tons jernskinner og -stænger, mere end det dobbelte af, hvad man havde beregnet, ville være den "størst tænkelige belastning", som man kunne komme ud for i brug. Man placerede en mængde jern på strukturen og beregnede derefter omhyggeligt både vægt og antal og noterede dette i tabeller (figur 17). Når gitterspærene bøjede, blev afbøjningerne målt nøje to gange - én gang af en ingeniør fra Fox og Henderson og så igen af et uafhængigt vidne - også disse data blev nøje tabelleret. Strukturen blev holdt under denne belastning i adskillige dage, og alle ændringer under skiftende forhold blev igen målt og nedskrevet. Denne fremgangsmåde, som var udtænkt ved at anvende videnskabelig metode på empirisk test af materiale og strukturer, var en del af det store projekt, der

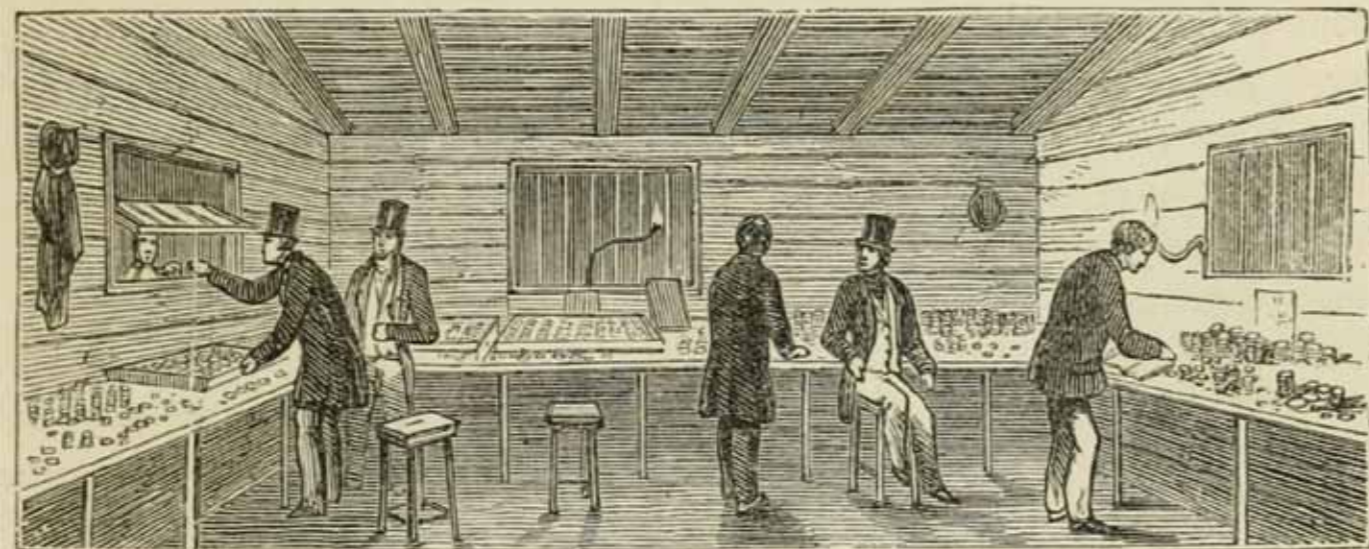
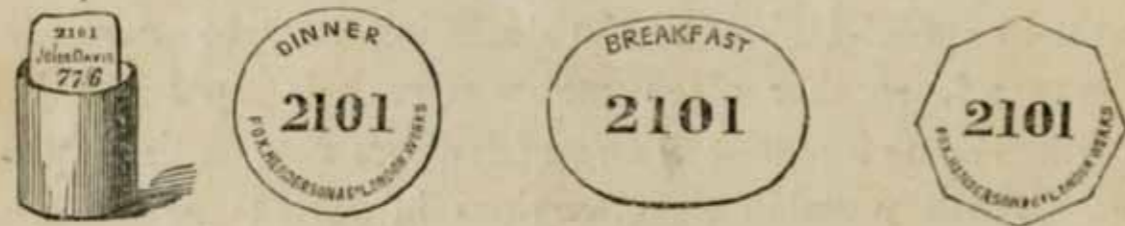
omhandlede anvendelse af beregninger, eksperimenter og præcise målinger som grundlag for systematisering af teknisk viden, her valideret og bevidnet af fine herrer. De empiriske testmetoder, der blev anvendt i Hyde Park, var udviklet præcis på denne baggrund.

De præcise målinger, optælling og tabellering blev udvidet til også at omfatte organiseringen og sporingen af bygnings millioner materialekomponenter. Større komponenter, som skulle kunne identificeres, blev "mærket,"⁵³⁾ en teknik, hvis formål var at "overflødig gøre behovet for [at bruge] faglærte arbejdere," således at arbejdet kunne "udføres af almindelige arbejdere."⁵⁴⁾ Denne praksis gjorde montageprocessen både enklere, hurtigere og mere økonomisk. Endvidere blev antallet af komponenter talt og registreret så omhyggeligt, at entreprenørerne ved afslutningen af byggeriet kunne aflevere en tabelleret liste over alle anvendte materialer til byggekommissionen - i en sådan detaljeringsgrad, at de kunne bekræfte, at der var blevet brugt 41.647 galvaniserede lameller til bygningens ventilationsåbninger (figur 20).⁵⁵⁾ En sådan praksis var af største vigtighed for entreprenører og fabrikanter, hvor behørig regnskabsføring var afgørende for rentabiliteten og således var med til at sikre sådanne virksomheders fortsatte eksistens. Og rapporten til kommissionen redegjorde ikke blot for de anvendte materialer men også for antallet af beskæftigede arbejdere og den løn, de modtog (figur 21).⁵⁶⁾

At lede en arbejdsstyrke på mere end to tusinde arbejdere på én byggeplads var en enorm opgave, især i forhold til at holde styr på antal arbejdede timer, og hvilke arbejdere der skulle have hvad i løn. Betaling af arbejdere på en byggeplads i det 19. århundrede var typisk ikke noget, der var særlig meget styr på. Der fandtes ikke noget standardsystem til hverken registrering af antal arbejdede timer eller den udbetalte løn, så det var ganske almindeligt med uoverensstemmelser, og det var naturligvis ikke befordrende for produktionen.⁵⁷⁾ For at undgå alt dette skuede Fox og hans team igen mod jernbanen for at finde inspiration til innovation i ledelsen. I jernbanens første årtier havde man udstedt billetter på hånd-

RETURN showing the Number of MEN Paid each Week in Hyde Park, in the Erection of the Exhibition Building.

| Week ending— | No. of Men. | Week ending— | No. of Men. | Week ending— | No. of Men. |
|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| 1850 | | 1850 | | 1851 | |
| 3 August | 30 | 6 December | 2,128 | 4 April | 2,128 |
| 9 „ | 57 | 13 „ | 2,128 | 11 „ | 2,163 |
| 16 „ | 60 | 20 „ | 2,074 | 18 „ | 2,205 |
| 23 „ | 43 | 27 „ | 2,035 | 25 „ | 2,147 |
| 30 „ | 50 | 1851 | | 2 May | 2,149 |
| 6 September | 56 | 3 January | 2,145 | 9 „ | 1,097 |
| 13 „ | 86 | 10 „ | 2,098 | 16 „ | 541 |
| 20 „ | 128 | 17 „ | 1,758 | 23 „ | 499 |
| 27 „ | 293 | 24 „ | 1,653 | 30 „ | 450 |
| 4 October | 467 | 31 „ | 1,417 | 6 June | 442 |
| 11 „ | 590 | 7 February | 1,333 | 13 „ | 381 |
| 18 „ | 808 | 14 „ | 1,210 | 20 „ | 369 |
| 25 „ | 841 | 21 „ | 1,244 | 27 „ | 216 |
| 1 November | 1,538 | 28 „ | 1,353 | 4 July | 175 |
| 8 „ | 1,924 | 7 March | 1,613 | 11 „ | 152 |
| 15 „ | 1,936 | 14 „ | 1,974 | 18 „ | 139 |
| 22 „ | 1,935 | 21 „ | 2,030 | 25 „ | 127 |
| 29 „ | 2,129 | 28 „ | 2,071 | 1 August | 103 |



skrevne små stykker papir, præcis som man havde gjort det med de tidligere diligencer osv. Men i takt med at flere og flere benyttede jernbanen, blev det vanskeligt at holde styr på antallet af solgte billetter, antallet af passagerer og de penge, der blev betalt for billetterne.⁵⁸⁾ I slutningen af 1830'erne lavede en medarbejder ved jernbanen, Joseph Edmondson, det første system med mekaniseret billettering – der var maskiner, som trykkede billetter med fortløbende nummerering, metoder til uddeling, indsamling og organisering af dem samt bogføringsteknikker til at spore dem.⁵⁹⁾ Denne styring af billetter og indtægter var af meget stor betydning, eftersom antallet af rejsende med jernbanen var steget til mange tusinder. Mange tog Edmondsons billetsystem til sig i 1840'erne. Det var præcis sådan et "billetsystem", som Fox og Henderson brugte til at styre arbejdet i Hyde Park.⁶⁰⁾

Hver gang der blev ansat en arbejder, fik han et nummer, som blev indført i en fortegnelse og "præget i flere messingbilletter, hvoraf hver arbejder fik tre" (figur 22).⁶¹⁾ Hver arbejder skulle ind på byggepladsen tre gange om dagen, fordi diverse måltider skulle indtages uden for pladsen. En lille bygning, der blev kaldt "betalingskontoret", var placeret ved indgangen til byggepladsen, og der afleverede arbejderne sin billet, når han kom på arbejde. Kontorpersonalet lagde derefter messingbilletter i en "pengekasse" med det tilsvarende nummer på. Kontorpersonalet indsamlede billetter hver dag og skrev arbejderens antal timer i en protokol. Når arbejderne forlod byggepladsen om aftenen, fik han sine billetter tilbage. Når arbejderne skulle have løn, blev de alene identificeret ved hjælp af deres nummer. De stillede sig i kø uden for betalingskontoret og fik hurtigt udbetalt deres løn. Det blev fortalt, at "samtlige 2.000 mænd eller mere ofte alle fik deres løn på under en time."⁶²⁾

Figur 22: Arbejdere venter på at få løn (øverst), pengekassen og messingbilletterne (øverst i midten), inde på 'betalingskontoret' (nederst i midten), og arbejdere i kø ved betalingskontorets vindue (nederst).

KONKLUSION

En kommentator gjorde sig tanker om det færdigbyggede Crystal Palace i de første måneder af 1851 og observerede følgende: "Selve den idé, der gjorde én enkelt sektion af bygningen til en fuldstændig gengivelse af helet, kunne synes at betyde, at alle de udførlige planer til bygningen i sin helhed snarere handlede om mekanisk behændighed, end de var grundet i et intellektuelt stykke arbejde. Ved hjælp af et enkelt fag på 24 kvadratfod ville man, hvis vi ser bort fra transept og det halvbueformede tag, have alt, hvad der skulle bruges til at lave en korrekt tegning af helet."⁶³⁾

I teorien kunne ét fag gentages i det uendelige og bygningen dermed udvides i det uendelige. Crystal Palace begyndte måske nok som Paxtons forslag til et unikt arkitektonisk objekt, men det blev hurtigt transformeret af ingeniører og ledere til et komplekst system af fremstilling, arbejdsstyring og samling. Ved hjælp af viden og principper, hentet fra videnskaben, ingeniørvidenskaben og fabrikssystemet, omsatte Fox og hans team en teknologisk etos af rationalisering, eksperimenteren, optimering og mekanisering i byggepraksis, og de stræbte efter at organisere hele processen – fra design til den endelige samling – som et velstyret teknologisk system. Herved udgjordes hovedparten af bygningsværket af få afgørende detaljer – omstændighederne omkring *forbindelsesstykket* og "ryg- og fure"-tagsystemet – og projektet var blevet styret og organiseret ved hjælp af procedurer og principper, der var hentet fra de engelske fabrikker og den engelske jernbane. Dette kan se ud til blot at være detaljer omkring opførelse og bogføring, men der var tale om langt mere – aspekterne ved bygningens produktion og opførelse, som er beskrevet her, blev udtænkt og designet som udtryk for et gigantisk netværk af relationer, som i få afgørende komponenter og procedurer samler alle krav og særkender ved hele byggeprocessen. Ved at trække på viden fra produktfremstilling og den britiske jernbane ved opførelsen af Crystal Palace blev detaljer – og bygningen som helhed – systematiseret, genskabt af Charles Fox og hans team i en britisk ingeniørs vision, som den så ud i det 19. århundrede.

LITTERATUR

Addis, Bill, *Building: 3000 years of Design, Engineering and Construction*, London & New York: Phaidon, 2007.

Addis, Bill, The Crystal Palace and its place in Structural History, *Journal of Spatial Structures* Vol. 21, No. 1, 2006, s. 3-19.

Babbage, Charles, *The Exposition of 1851, Or, Views of the Industry, Science and Government of England*, London: J. Murray, 1851.

Babbage, Charles, *On the Economy of Manufactures*, London: C. Knight, 1832.

Berlyn, Peter & Charles Fowler Jr., *The Chrystal Palace: Its Architectural History and Constructive Marvels*, illustrated edition, London: James Gilbert, 1851.

Chandler, Alfred D., *The Visible Hand: The Managerial Revolution in American Business*, Cambridge, Mass.: Belknap Press, 1977.

Cowper, Charles & Charles Downes, *The Building Erected in Hyde Park for the Great Exhibition of the Works of Industry of All Nations 1851*, London: J. Weale, 1851.

Edmondson, P., To whom are we indebted for the railway ticket system?, *English Mechanic and World of Science*, nr. 697, 1878, s. 524-26.

Ffrench, Yvonne, *The Great Exhibition*, London: Harvill, 1950.

Fowler, Charles, *The Illustrated Exhibitor*, London: John Cassell, 1851.

Fox, Henderson & Co., *Bow-String Bridge Ribs: A Description of Ribs Prepared for a Bridge Over the Regent’s Canal, London, for the Blackwall Extension Railway*, University of Michigan Library, 1849.

Gardiner, R., *History of the Railroad Ticket*, Boston: Rand Avery Supply Co., 1898.

Hobhouse, Christopher, *1851 and the Crystal Palace*, London: John Murray, 1950.
McNeil, I., *Joseph Bramah: A Century of Invention*, London: Augustus M. Kelley, 1968.

Peters, Tom Frank, *Building the Nineteenth Century*, MIT Press, 1996.

Saint, Andrew, *Architect and engineer: a study in sibling rivalry*, Yale Univer-sity Press, 2007.

Skempton, A.W., *A Biographical Dictionary of Civil Engineers in Great Britain and Ireland*, London: Thomas Telford, 2002.

Sutherland, R.J.M., The age of cast iron, 1780-1850 who sized the beams?, i Thorne, Robert (red.), *The Iron Revolution: Architects, Engineers, and Structural Innovation*, London: RIBA, 1990, s. 24-33.

Timbs, John, *The year-book of facts in the Great Exhibition of 1851*, London: David Bogue, 1851.

Wyatt, M.D., On the Construction of the Building for the Exhibition of the Works of Industry of all Nations in 1851, i *Minutes and proceedings of the Institute of Civil Engineers*, vol. X, London: ICE, 1851, s. 188.

TIDSSKRIFTER

Biographical Dictionary of Civil Engineers, Volume 2- 1830 to 1890, London: T. Telford, 2008.

Illustrated London News, flere udgaver 1849-51.

Proceedings of ICE, flere udgaver, 1844-46.

The Art Journal Illustrated Catalogue of the Industry of All Nations, London: George Virtue, 1851, s. XVI.

The Builder, Vol. 10, nr. 482, London: [s.n], 1. maj 1852, s. 280-81.

The Building News, 4. juli 1902.

The Civil Engineer and Architect’s Journal, v. 14, d. 4. januar 1851.

The Mechanics’ Magazine, flere numre, 1837-50.

The Oxford English Dictionary, Oxford, England: Oxford University Press, 2015.

The Practical Magazine, v. 6, 1876.

The Mining Journal, 9. september 1848.

NOTER

- Bill Addis, Tom F. Peters og Andrew Saint har leveret nye og værdifulde bidrag til studiet af Crystal Palace. Disse bidrag har sat fokus på de forskellige roller, der blev spillet i produktionen af andre end Paxton, primært Fox, se Tom Frank Peters, *Building the Nineteenth Century*, MIT Press, 1996, Bill Addis, The Crystal Palace and its place in Structural History, *Journal of Spatial Structures* Vol.21, No. 1, 2006, s. 3-19, Bill Addis, *Building: 3000 years of Design, Engineering and Construction*, London & New York: Phaidon, 2007, Andrew Saint, *Architect and engineer: a study in sibling rivalry*, Yale University Press, 2007.
- Dinner to Charles Fox, *The Derby Mercury*, onsdag, d. 25. juni 1851; nummer 7106.
- Ibid. Endvidere adskiller den opførte bygning sig væsentligt fra Paxtons originale tegninger, og mange andre har ydet vigtige bidrag: primært Charles Fox, John Henderson, Charles Barry og Owen Jones.
- Dinner to Mr. Paxton at Derby, *Daily News*, d. 7. august 1851, s. 5-6.
- Dinner to Charles Fox (1851), op. cit.
- Der blev foretaget en række store ændringer i Paxtons oprindelige forslag, ganske vist under dennes tilsyn, som omfattede introduktionen af bygningens karakteristiske transept, foreslået af John Henderson, den buede hvælving over transeptet (af omtvistet oprindelse), ændringen af den strukturelle model fra fag af 20' til 24' og en markant ændring i bygningens overordnede proportioner. Alle design efter den skematiske fase, som omfattede langt flere arbejdstimer og involverede utallige beslutninger, som var af afgørende betydning for projektets succes, blev udarbejdet uden Paxtons tilsyn.
- Der er anført forskellige længder af denne periode med 11 måneder som den længste. Dette antal forklarer tiden mellem Paxtons aflevering af designet i starten af juni 1850 til åbningen af udstillingen den 1. maj 1851. Men bygningsværket og bygningssskallen var stort set færdig i starten af januar 1851.
- Charles Babbage, *The Exposition of 1851, Or, Views of the Industry, Science and Government of England*, London: J. Murray, 1851, s. 63.
- Charles Babbage, *On the Economy of Manufactures*, London: C. Knight, 1832, s. 120-121.
- Peters (1996), op. cit., Addis (2006), op. cit., Saint (2007), op. cit.
- Bygningen skulle være næsten færdig den 1. januar 1851, således at der var rigelig tid til at indrette den og forberede udstillingen.
- Hovedpersonerne her var medlemmer af The Institute of Civil Engineers (ICE), og mange var stiftende medlemmer af The Institute of Mechanical Engineers (IME). De faglige og personlige netværk, som disse personer indgik i, eksponerede dem for en række samtidige diskussioner og debatter om fordelene ved en række nye industrielle og disciplinære praksisser, der kaldtes “videnskabelige”, i offentliggjorte procedurer og andre samtidige dokumenter.
- Forbindelsesstykket* optræder som navn konstant på denne særlige jernkomponent i dokumenter og beskrivelser af bygningen, der stammer fra det team, som var ansvarlig for opførelsen af Crystal Palace. Det optræder også på materialelister (f.eks. på lister over komponenter: søjler, dragere, forbindelsesstykker osv...) samt i mere populærvidenskabelige kilder som *The Illustrated Exhibitor*, som de besøgende på udstillingen kunne få, samt *The Illustrated London News*, der begge i udførlige vendinger beskrev opførelsesprocessen.
- Der var fire let varierende modeller, afhængigt af, hvor mange gitterspær der skulle samles på stedet. Se figur 2.

- Disse komponenter var dog slet ikke identiske, idet der inde i hvert sæt komponenter var små variationer. F.eks. var der ni varianter for gitterspær – “24 fod trægitterspær, 24 fod gitterspær i støbejern i tre styrker, 24 fod dragere i smedejern, 48 fod gitterspær i smedejern samt 72 fod gitterspær i smedejern i tre styrker.” Yderligere oplysninger herom kan findes i Cowper og Downes, *The Building Erected in Hyde Park for the Great Exhibition of the Works of Industry of All Nations 1851*, London: J. Weale, 1851.
- Charles Fox citeret i M.D. Wyatt, On the Construction of the Building for the Exhibition of the Works of Industry of all Nations in 1851, i *Minutes and Proceedings of the Institute of Civil Engineers*, vol. X, London: ICE, 1851, s. 188.
- Der blev produceret komponenter på tre støberier uden for Birmingham (ét støbte søjler og dragere, et andet lettere støbejernsgods og et tredje smedejern) under tilsyn af John Henderson, samt et værk i London (Phoenix Saw Mills).
- De fleste jernstrukturer blev på dette tidspunkt solidt fastgjort ved hjælp af smeltet jern eller nitter, men disse processer tog længere tid og krævede mere ekspertise og energi end en metode som f.eks. forbindelsesstykket, som blev fastgjort ved hjælp af ikke meget mere end en kran og et par arbejdere med træhammere. Man kunne have brugt bolte, og søjler og forbindelsesstykker blev faktisk samlet med bolte, men i forhold til dragerne ville det have været en unødig komplikation af støbe- og samlingsprocesserne.
- Den samlede struktur var betydeligt større og med udvidelse med yderligere to transepter og en hvælving langs hele bygningens længde.
- The Builder*, Vol. 10, nr. 482, London: [s.n], d. 1. maj 1852, s. 280-81.
- A.W. Skempton, *A Biographical Dictionary of Civil Engineers in Great Britain and Ireland*, London: Thomas Telford, 2002, s. 311.
- Bramah var bl.a. ansvarlig for design og fremstilling af de innovative låse, wc’et, den hydrauliske presse og en række andre maskinværktøjer til bearbejdning af træ og jern.
- Se I. McNeil, *Joseph Bramah: A Century of Invention*, London: Augustus M. Kelley, 1968. Bramahs virksomhed havde uddannet både maskiningeniøren Henry Maudslay, som sammen med Bentham og Brunel udarbejdede “Portsmouth system of manufactures”, og maskiningeniøren Joseph Clement, som også fabrikerede Babbages differensmaskine.
- Skempton (2002), op. cit., s. 312.
- Ibid.
- Se *Biographical Dictionary of Civil Engineers*, Volume 2- 1830 to 1890, London: T. Telford, 2008, s. 310-15.
- Se *The Mechanics’ Magazine*, flere numre (1837-50) og *Proceedings of ICE*, flere udgaver (1844-46).
- The Oxford English Dictionary*, Oxford, England: Oxford University Press, 2015. Internetkilde.
- C. Fox, Patentdokument nr. GB184711631A, 1847 og GB184711694A, 1847.
- C. Fox, Patentdokument nr. GB184711631A, s. 3.
- Fox tog også i 1847 patent på en ny metode til støbning af disse komponenter med det formål at forbedre effektiviteten og reducere arbejdsmængden i produktionen heraf. Se C. Fox, Patentdokument nr. GB184711598A, 1847.
- Se C. Fox, Patentdokument nr. GB184711598A og GB184711622A, 1847.
- Søjler og dragere blev sat i produktion hos Cochrane & Co., et nærliggende

de støberi med speciale i jernrør. Støberiet var grundlagt af J.J. Bramah (Francis Bramahs fætter) og A.B. Cochrane (bror til John Cochrane, som var fast tilknyttet ingeniør hos Fox og Henderson, og som også var Fox’ primære assistent i tilsynet med byggeriet i Hyde Park).

34. Wyatt (1851), op. cit., s. 144. Se også J. Timbs, *The year-book of facts in the Great Exhibition of 1851*, London: David Bogue, 1851, s. 40.

35. Dinner to Charles Fox (1851), op. cit.

36. A.D. Chandler, *The Visible Hand: The Managerial Revolution in American Business*, Cambridge, Mass.: Belknap Press, 1977.

37. *The Practical Magazine*, v. 6, 1876, s. 163.

38. *The Building News*, d. 4. juli 1902, s. 6. Termen blev generelt brugt til benævnelse af tømmer, som kom fra Memel, en havn i det sydlige Rusland.

39. Charles Fowler, *The Illustrated Exhibitor*, London: John Cassell, 1851, s. 112.

40. *The Civil Engineer and Architect’s Journal*, v. 14, d. 4. januar 1851, s. 50.

41. *Illustrated London News*, 7. dec 1850, s. 432.

42. Ibid.

43. Fowler (1851), op. cit., s. 113.

44. Ibid.

45. *Illustrated London News*, flere udgaver, 1849-51.

46. Chandler (1977), op. cit.

47. Se Christopher Hobhouse, *1851 and the Crystal Palace*, London: John Murray, 1950 and Yvonne Ffrench, *The Great Exhibition*, London: Harvill, 1950. Næsten enhver bog om Crystal Palace vil fortælle om dette.

48. Berlyn and Fowler (1851), op. cit., s. 88.

49. Timbs (1851), op. cit., s. 39.

50. R.J.M Sutherland, *The age of cast iron, 1780-1850 who sized the beams?, i The Iron Revolution: Architects, Engineers, and Structural Innovation*, red. Robert Thorne, London: RIBA, 1990, s. 24-33.

51. Se *The Mining Journal*, 9. september 1848.

52. Fox & Henderson, *Bow-String Bridge Ribs*, 1849, s. 5.

53. Formentlig med oliekridt eller et lignende skrive- eller maleredskab.

54. *Minutes and proceedings of the Institute of Civil Engineers*, vol. XII, 1852-53, s. 608.

55. *Report of the commissioners appointed to inquire into the cost and applicability of the exhibition building in Hyde Park*, London: Eyre and Spottiswoode, 1852, s. 69.

56. Ibid. s. 70.

57. *Illustrated London News*, 23. november 1850, s. 401.

58. P. Edmondson, To whom are we indebted for the railway ticket system?, *English Mechanic and World of Science*, nr. 697, 2. august 1878, s. 524-26.

59. R. Gardiner, *History of the Railroad Ticket*, Boston: Rand Avery Supply Co., 1898.

60. I denne forbindelse er brugen af “tokens” på “enkeltsporede” strækninger også interessant. På disse strækninger var der togtrafik i begge retninger, og der blev brugt en fysisk token (ofte en messingstav, en togstav). Denne stav blev givet til den togfører, der aktuelt brugte linjen med det formål at forhindre en frontal kollision mellem to lokomotiver.

61. Peter Berlyn & Charles Fowler Jr., *The Chrystal Palace: Its Architectural History and Constructive Marvels*, illustrated edition, London: James Gilbert, 1851, s. 80.

62. Ibid.

63. *The Art Journal Illustrated Catalogue of the Industry of All Nations*, London: George Virtue, 1851, s. XVI.

SUMMARY

The gardener Joseph Paxton is typically credited as the “genius” behind the “Crystal Palace,” the structure built for the Great Exhibition of all Nations in 1851 at London’s Hyde Park. While the vision for the building was undeniably Paxton’s, the realized project was critically dependant on the skills and expertise of many others – and perhaps most chiefly the collaborating engineers and contractors, Charles Fox and John Henderson. It was through Fox, Henderson, and their team that Paxton’s initial sketches were developed into a full set of detailed drawings, all parts manufactured, prefabricated into subassemblies, delivered to the site, and there assembled to form what was at the time one of the largest buildings in England, all in an astoundingly short period of just seven months. This achievement was made possible by their vast body of experience in the practices of railroad engineering, contracting work on infrastructural projects, and the manufacture of industrial products in iron, through which they were able to mobilize a highly developed collection of techniques, organizational procedures, and machines in their work for the great exhibition.

Charles Fox, from 1833, had been a chief engineer under George and Robert Stephenson, father and son pioneers of the British railroad system and inventors of early locomotives. Through this association he would come into partnership with “Bramah and Sons,” the company of Joseph Bramah, inventor of the water closet, bank locks, and a variety of industrial machine tools. The company designed, manufactured, and distributed not only these things, but also a range of locomotive and railroad components. By 1839, the company became “Bramah, Fox, and Co.” and, following Francis Bramah’s retirement in 1845, “Fox, Henderson and Co.,” which expanded operations into construction contracting. From the 1840’s onward, Fox, Henderson & Co. was responsible for a wide range of railway projects, serving variously as designers, contractors, manufacturers, and suppliers. It was through such a lineage in the manufacture of iron components and extensive experience in the practices of engineering and contracting that Fox, Henderson and their associates were able to mobilize a

highly developed collection of techniques, procedures, and machines in their work for the great exhibition. From the vertical integration of all phases of design and fabrication, to the proto-Taylorist principles employed to manage on-site labor, to the design and production of new machines to accelerate construction processes, work on the Crystal Palace was organized as a technological system.

While certain revisionist accounts (Peters 1996, Addis 2007, Saint 2007) have emphasized the critical role played by Charles Fox in the project, this paper extends such a viewpoint through the analysis of a range of firsthand accounts and unpublished archival materials. By tracing the lineage of specific innovations in detailing practices and labor management developed from Fox and Henderson’s prior pursuits in practice, this study shows how the unprecedented degree of speed and economy achieved in the construction of the Crystal Palace was based on bodies of knowledge drawn from the British Factory System and the construction and management of British railways. And further, this inquiry shows how such transfer of knowledge across disciplines helped Paxton’s collaborators understand the project less as a singular object, and more as a technological system itself, and one that condensed the entire process of building – from design, to fabrication, delivery, and assembly – into the very design of its physical parts and processes.