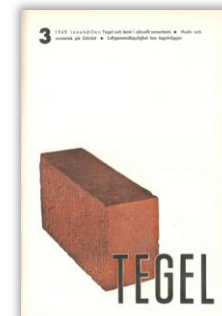
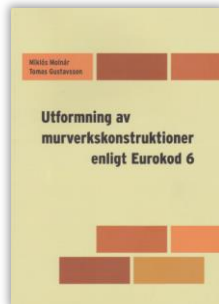


# Tegelbyggandets ursprung och utveckling som utgångspunkt för ett renoveringsprojekt

Tomas Gustavsson, tekn lic

[www.konstruktioner.se](http://www.konstruktioner.se)

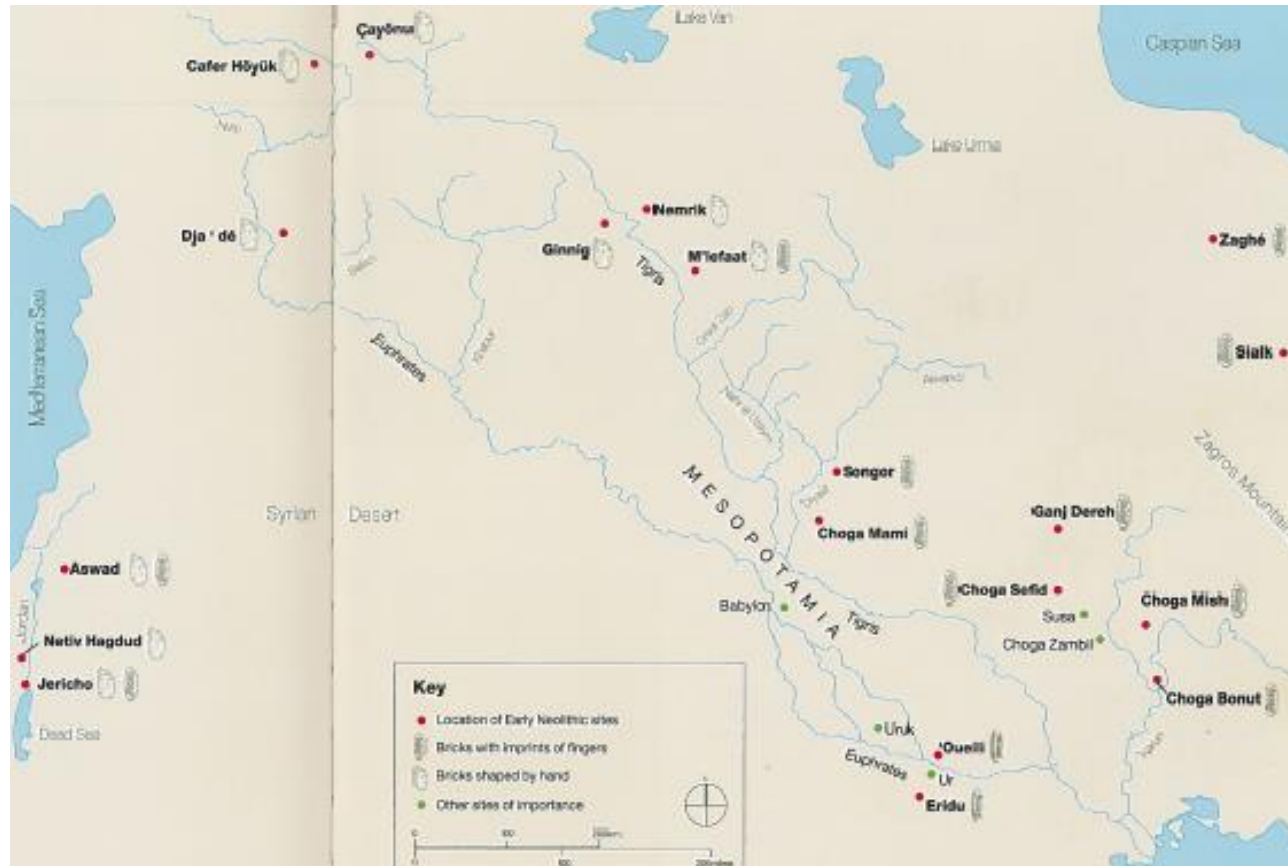
- Byggnadskonstruktör, Lund, tidigare verksam vid Konstruktionsteknik, LTH
- Fortbildning för hantverkare och arbetsledare, SPEF (Sveriges Murnings- och Putsentreprenörförening ), SPEF:s lärarråd
- Aktiv i arkitekt-, byggingenjörsutbildningar



Inscanning av tidskriften *Tegel*

Årgångarna 1935-1987 finns på [www.spef.org](http://www.spef.org)

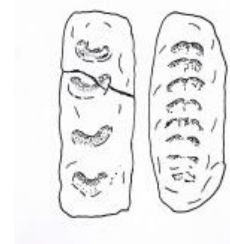
# De äldsta funna lämningarna av tegel



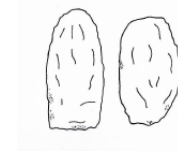
- Mellanöstern, ca 10 000 år sedan
- Soltorkat tegel, murat med lerbruk

# Handformat, handslaget, bränt tegel

- Handformat tegel, "Adobe":

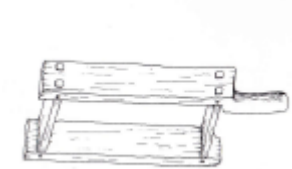


7600-6600 f Kr



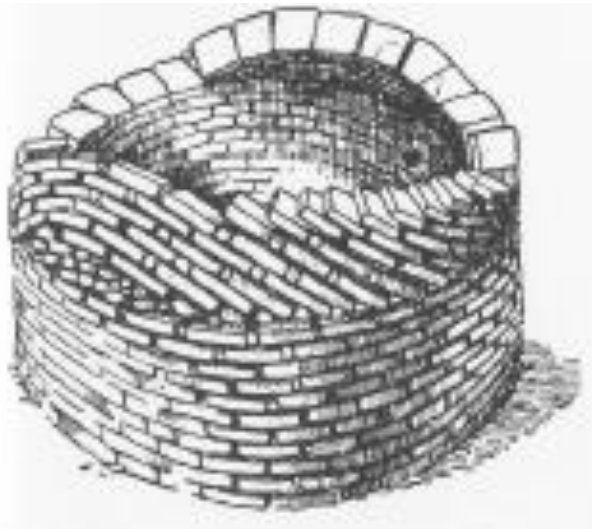
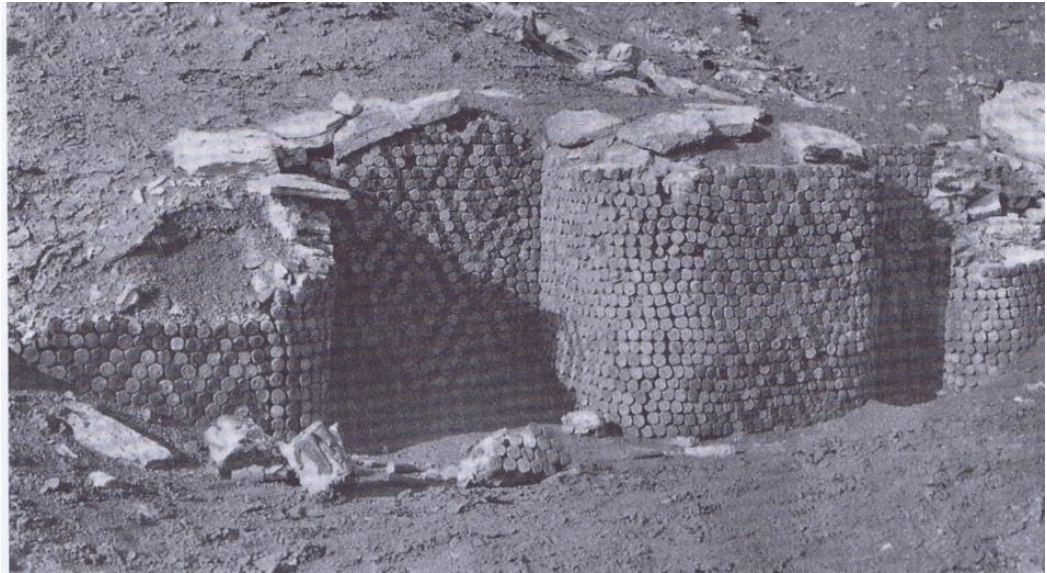
8300-7600 f Kr

- Från ca 5900 – 5300 f Kr slaget tegel

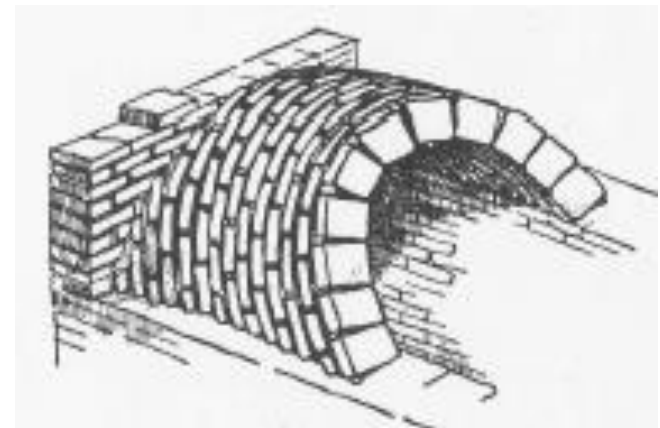


- Ungefär 3500 f Kr bränt tegel

Tempel i Uruk-Warka  
(Mesopotamien), 3500 f Kr



Tegelkupol av  
spiralliknande skift, Kafaje,  
ca 2000 f Kr

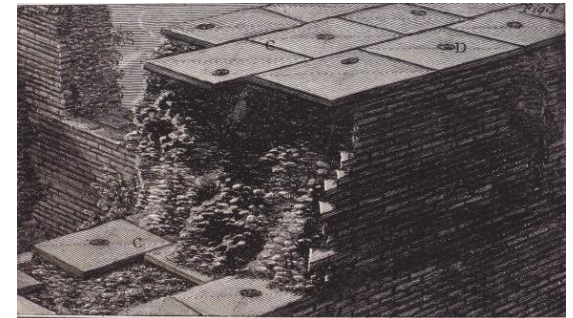


Tunnvalv av lutande  
tegelskift, Khorsabad,  
ca 700 f Kr

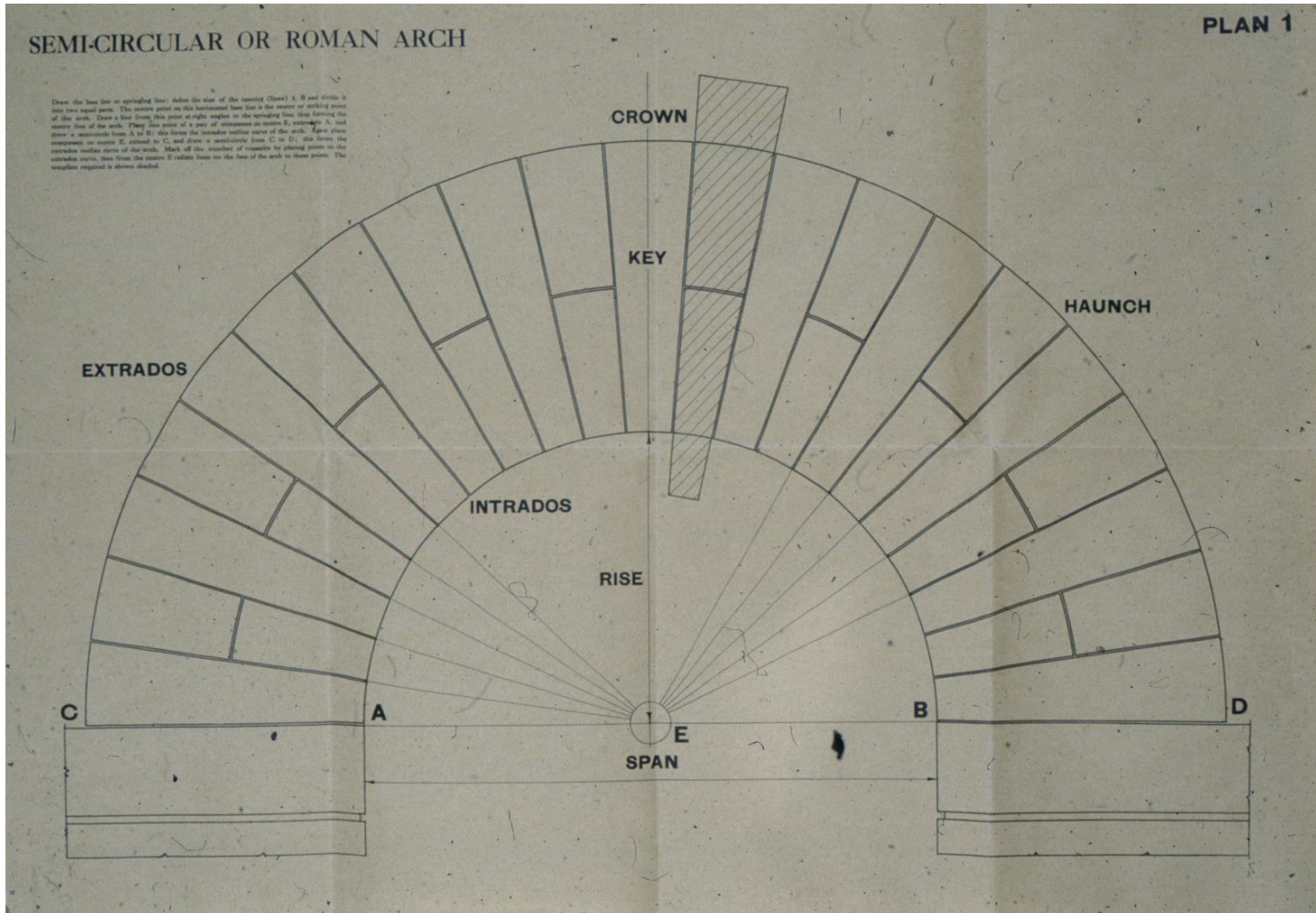
# Romariket: Stark utveckling av tegelbyggandet



- Utveckling av valvbyggandet
- Gjutteknik, tegelmurverk användes som kvarsittande form, kärnan fylldes med gjutmassa, *concretum*



# Romanskt valv, halvcirkulär form



# Kyrkobyggande spred tegelhantverket i Europa

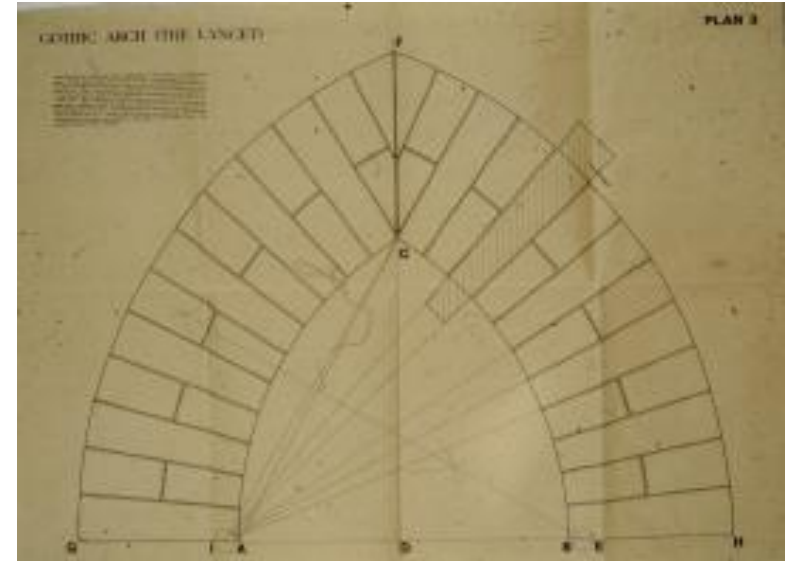
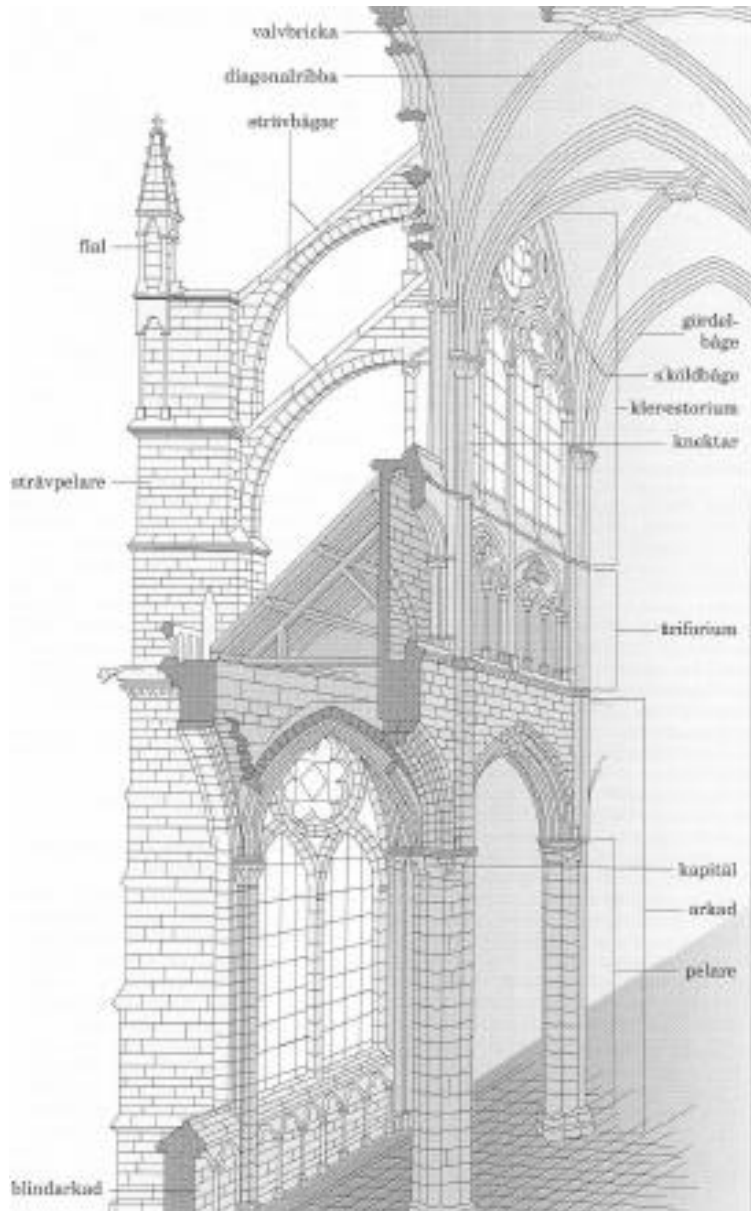


Romansk byggnad (basilika) från ca 490 e.Kr, Ravenna, Italien

Romanskt - relativt små fönster, sluten volym

Bild: *A history of western architecture*, D Watkin

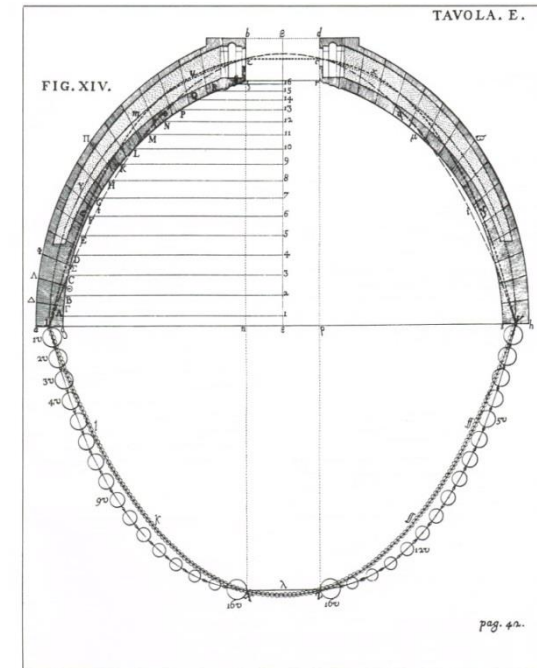
# Gotik



Gotiskt, spetsbågigt valv  
Effektivare avledning av laster



# Renovering av Peterskyrkans kupol, Rom 1742



Polenis tillämpning av kedjekurvan

Trycklinjen analyserades genom att den ritades som en spegelbild av en hängande kedja. Punktvis belastning av kedjan motsvarande kupolens tyngd gav formen.

Elias Cornell: "Det första handgripliga byggnadsarbete där man systematiskt utnyttjade tidens samlade byggnadsteoretiska vetande"

# Tegel har använts i Sverige sedan medeltiden

- Infördes med klosterordnar
- Anammades först av kyrka och kungamakt, senare även av adeln
- Tegelslagning/bränning utfördes normalt vid byggnadsplats, främst slott, kyrkor



Gumlösa kyrka, norr om Hässleholm, invigd 1191



Mariakyrkan, Sigtuna, uppfördes med början 1221 eller 1237

# Tillbakagång efter reformationen

Reformationen medförde avbräck för tegelhantverket i Sverige under 1500-talet

Under 1600-1700-talen förekom t.ex. betydande import av taktegel, från Nederländerna och Schleswig Holstein

## **Vid 1800-talets inledning:**

- Små, godsanknutna tegelbruk
- Hantverksbaserad tillverkning, lokal marknad, ofta godset själv

**1800-talet:**

## **Marknad för tegelindustri växer fram**

### **Förändringar inom jordbruket**

- Täckdikning
- Konstgödsel

### **Växande städer under 1800-talet:**

- Oro för stadsbränder
- Kontinentala städer förebild
- Ökat behov av bostäder, pga industrialisering, inflyttning till städerna

Godstegelbruken kunde utvecklas till tegelindustrier för öppen marknad

## 1800-talet:

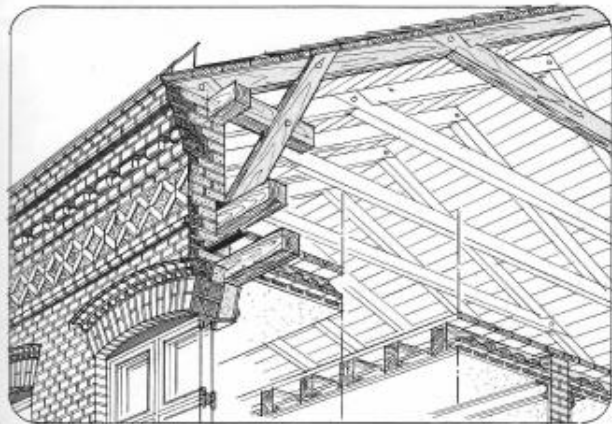
# Ny teknik tillgänglig för tegelproduktionen

- Ångmaskiner infördes i produktionen
- Ringugnar, första i Sverige 1872 (Lomma)
- Från 1870-talet blev utbyggnaden av järnvägarna betydelsefull

Resultat: Kraftig produktionsökning, 1905 tillverkades över 400 miljoner sten

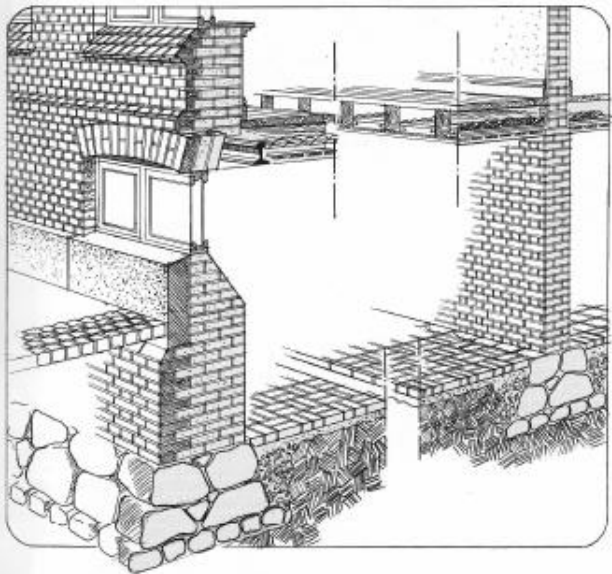
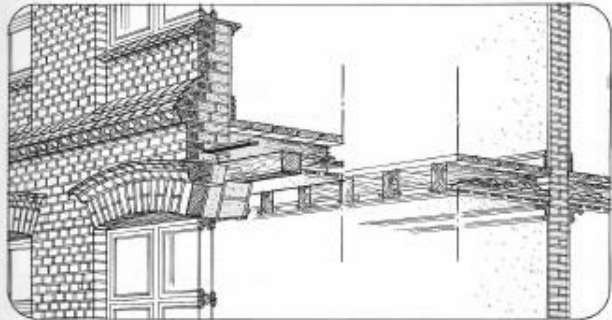


Bilder:  
*Modernismens  
tegelfasader, T  
Tägil, m fl*



## 1800-talet:

Fullmurade murverkskonstruktioner blev vanligt förekommande



- Handslagning dominerade
- Strängpressning av tegel förekom dock redan vid sekelskiftet 1900

Illustration ur *Så byggdes husen 1880-1980*, C. Björk, P Kalstenius, L. Reppen

# Traditionellt tegelmurverk, fullmurar

Stark sten, tegel

+

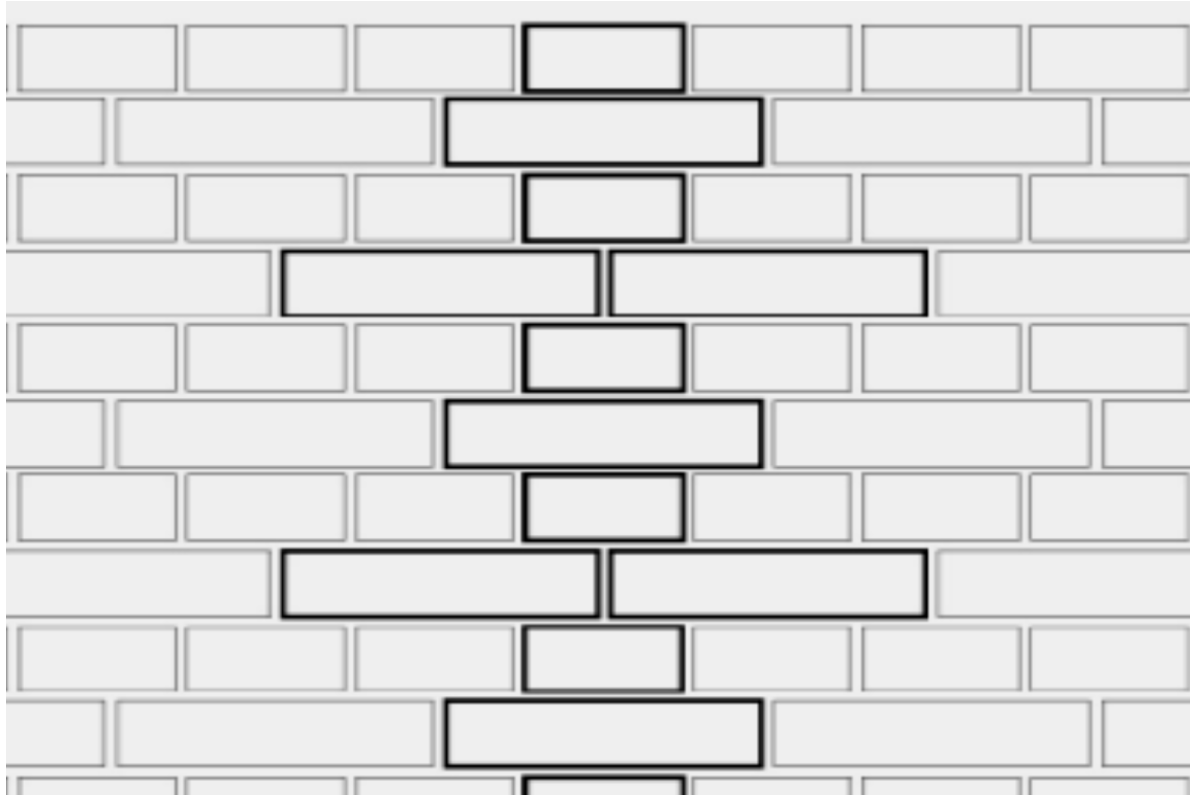
Svag fog, kalkbruk

**Viktig kombination**

## **Fogens uppgift:**

- Kompensera för variation i stenstorlek
- Låser teglet i konstruktionen
- Förmedla kraft från tegel till tegel

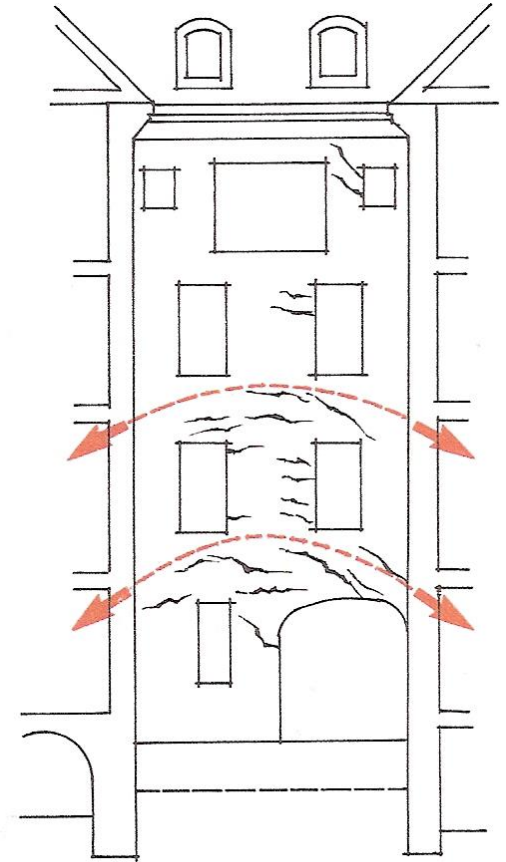
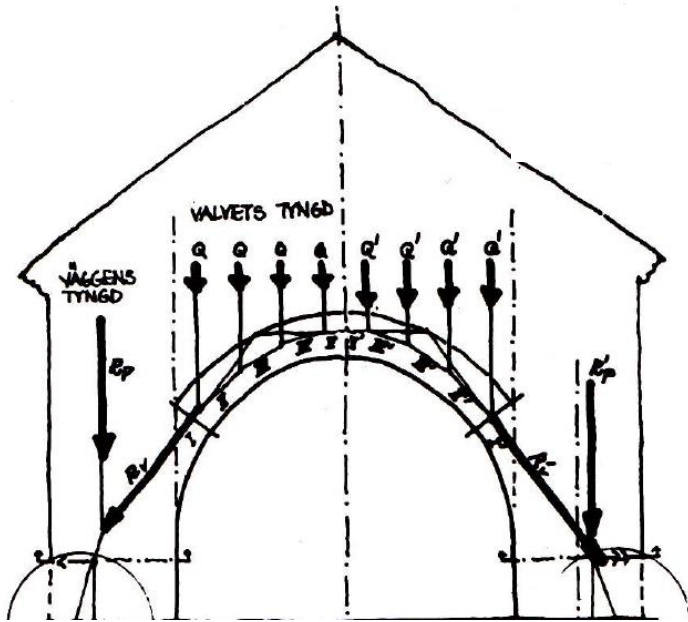
# Förbandsmurning



- Stötfogar i intilliggande skift förskjuts i sidled
- Svaghetszoner pga linjerande stötfogar undviks



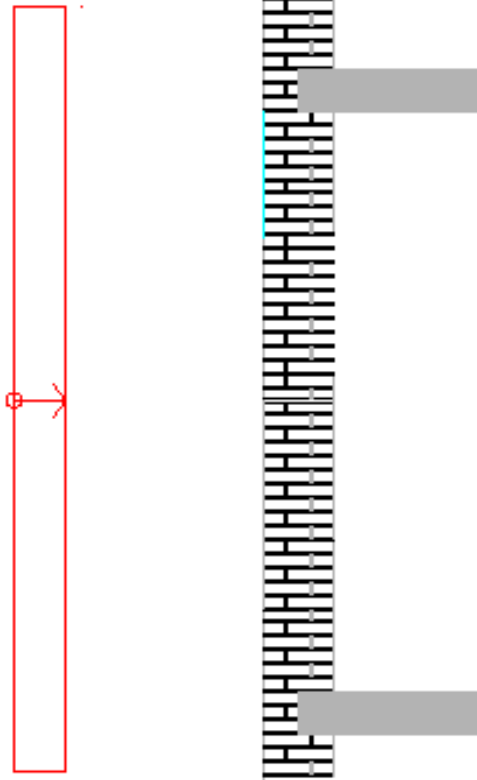
# Valvverkan för vertikallast



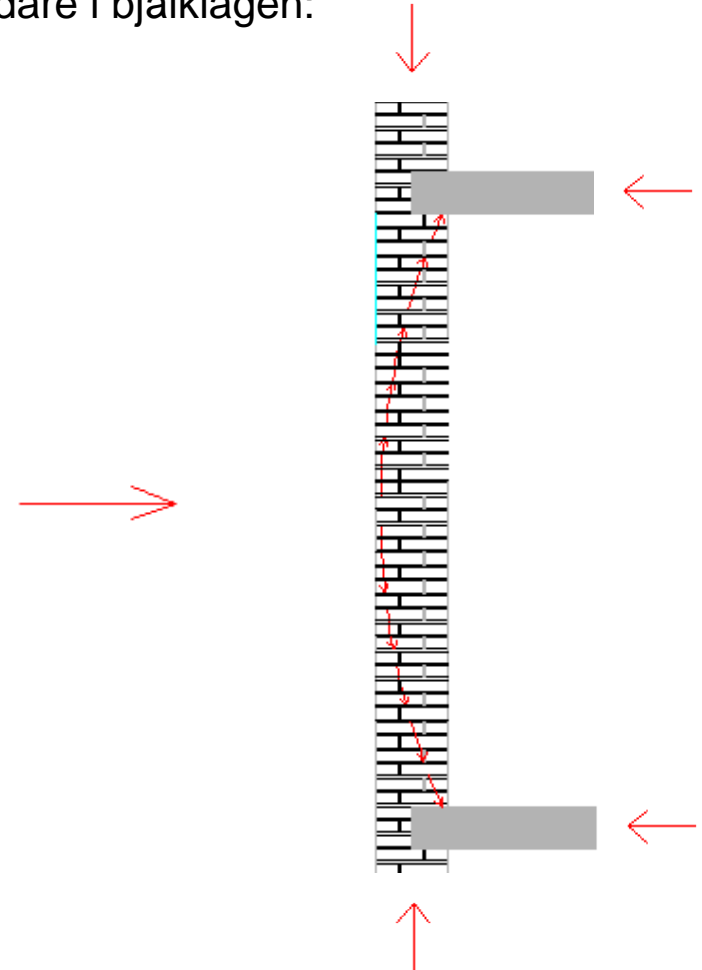
- Uppsprickning innebär lastomlagring, trycklasten tar en annan väg
- Viktig för lastomlagring: Stark sten - svag fog
- Förutsättning: horisontalkrafterna kan tas upp

# Horisontallast kan också tas via valvverkan i fullmur

Jämnt utbredd vindlast mot fullmurad fasad:



Valv bildas i fullmuren, horisontallasten förs vidare i bjälklagen:



För detta krävs inte draghållfasthet i fogen, bara tryckhållfasthet

# S:t Pauli Kyrka, Malmö renovering 2013 och 2015

Utvändig renovering 2013-2014

Invändig 2015-2016



Thomas Gustavsson konstruktioner AB  
byggkonstruktioner

byggrad teknik

S:t Pauli kyrka  
Svenska Kyrkan Malmö

Spricklagning och förstärkningsåtgärder i murverkskonstruktioner

Sammanfattande rapport

Lund 2016-06-14

Thomas Gustavsson  
civilingenjör, teknik

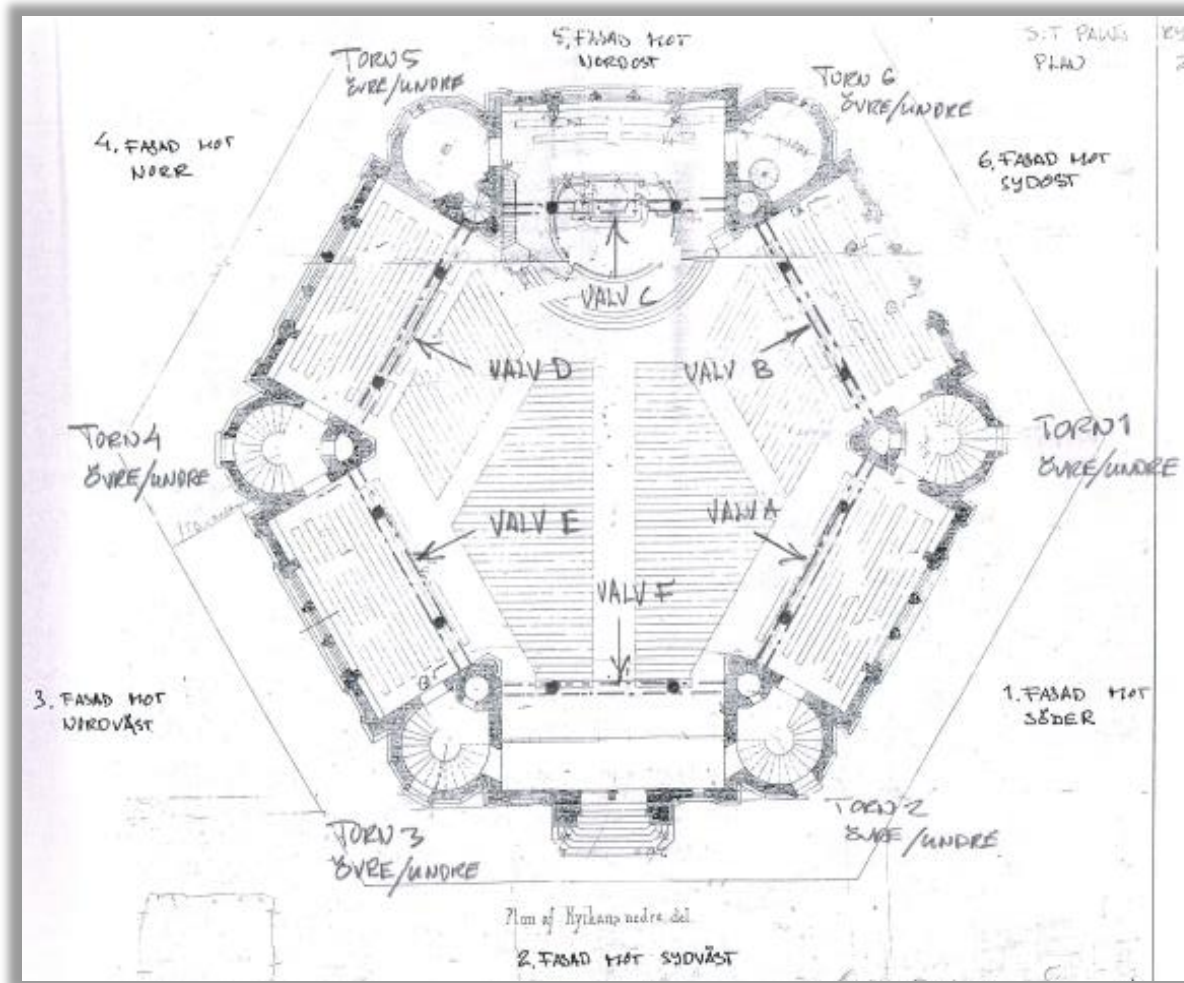
Uppdraget: Ansvarig konstruktör för murverkskonstruktioner

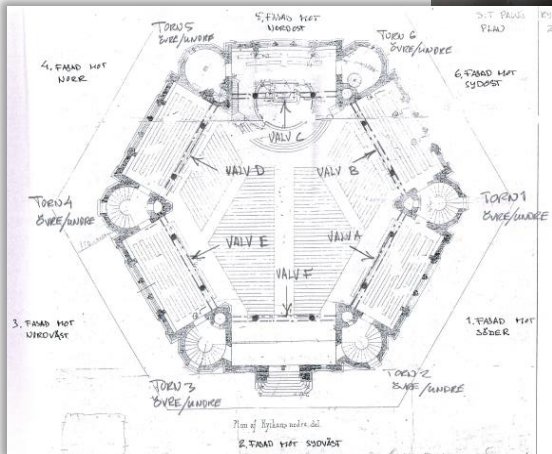
Beställare: Svenska Kyrkan, Malmö

Entreprenörer: invändigt hn byggnadsvård, Tomelilla

utvändigt Bröderna Bergströms Byggnads AB, Halmstad

S:t Pauli kyrka uppfördes 1882  
Arkitekt: V.E. Langlet  
Centralkyrka, sexkantig planform





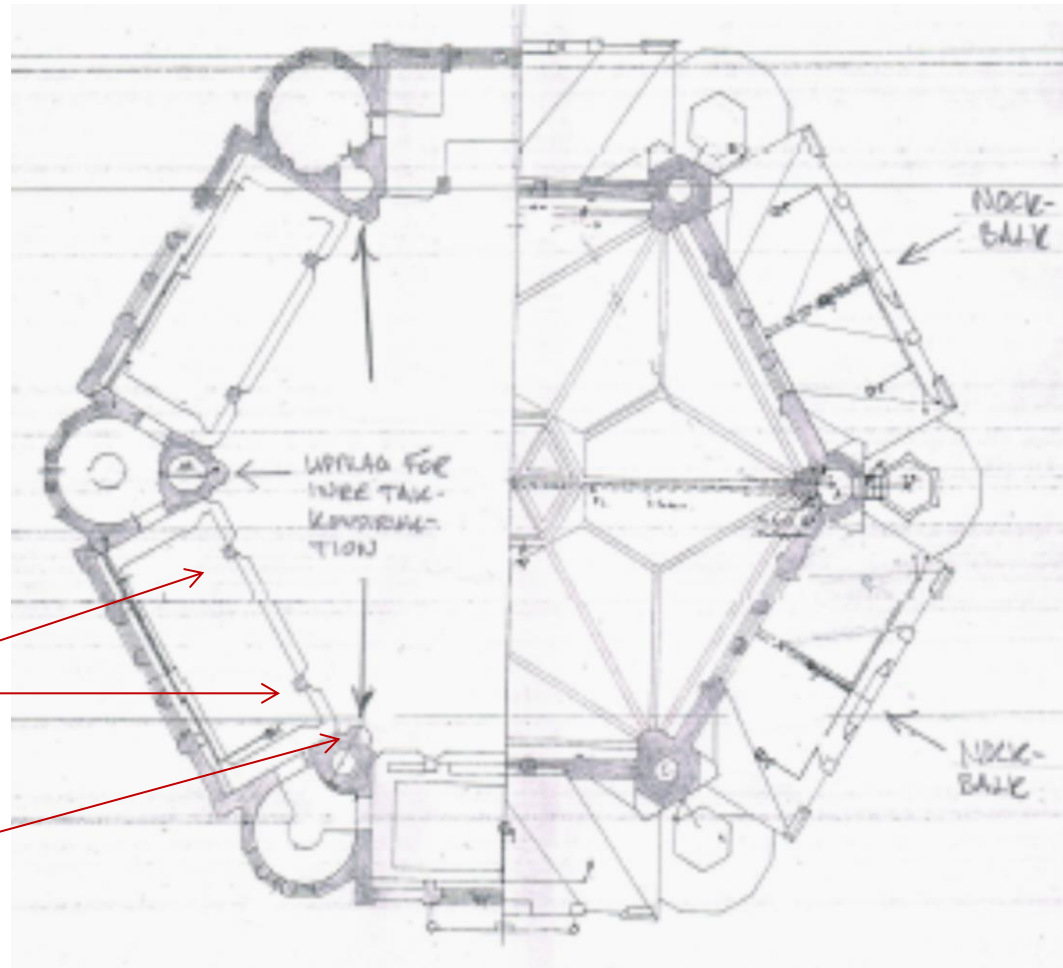
Tak: Fackverkskonstruktioner av trä med dragstänger, spännvidd ca 25 m, upplag på de övre tornen

Fullmurade väggar, varierande tjocklek, minst 2 sten, som mest ca 3 sten (övre torn)

Gult tegel (Lomma), murat med kalkbruk

Gjutjärnskolonner mellan sido- och mittvalv

Inmurade gjutjärnskolonner i övre tornväggar



Grundläggning: Natursten

# Undersökningar inför utvändig renovering

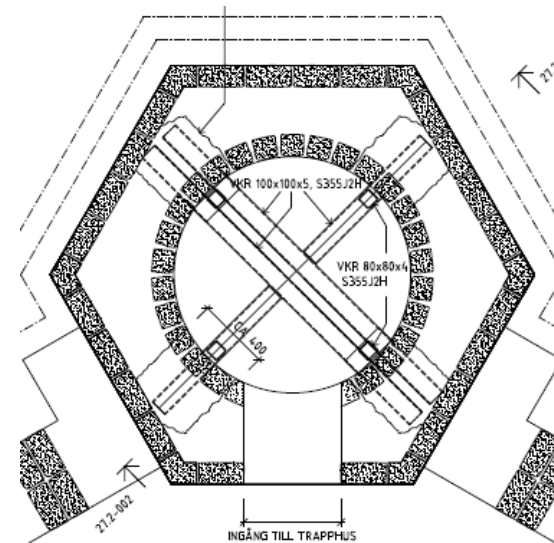
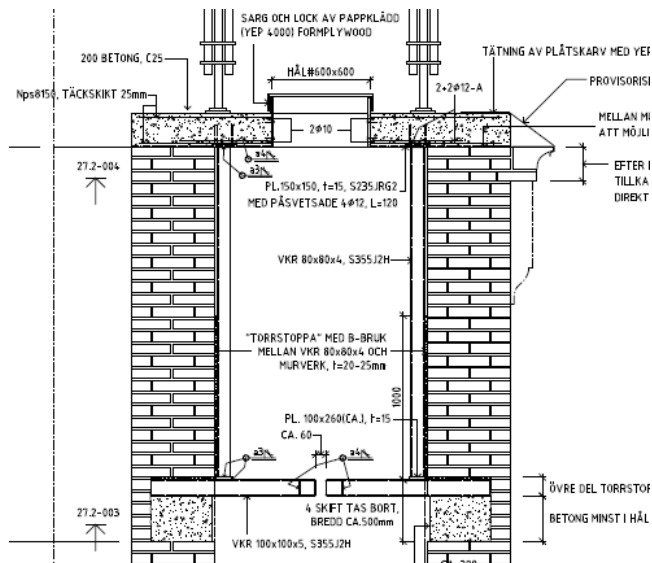


- Stort omfogningsbehov
- Fogbruket var mycket poröst, 120 mm mejsel kunde med handkraft tryckas in i fog, yttersta ca 5-10 mm hårdare
- Sprickbildning, lokalt i utvändiga valv, relativt måttfulla sprickvidder
- Inga synliga sättningar i grundkonstruktioner/källarväggar
- Synlig sprickbildning i puts över mittvalven invändigt
- Stenar och bruk från övre tornvägg togs ut för provtryckning på LTH

# Temporära upplag på övre tornväggar

Ställningar skulle bäras av ca 23 m långa balkar, med stöd i de övre tornväggarna

Väggarna kontrollerades enligt *Statische beregninger af aeldre murvaerk*, Teknologisk Institut





# Taken över övre tornen togs bort



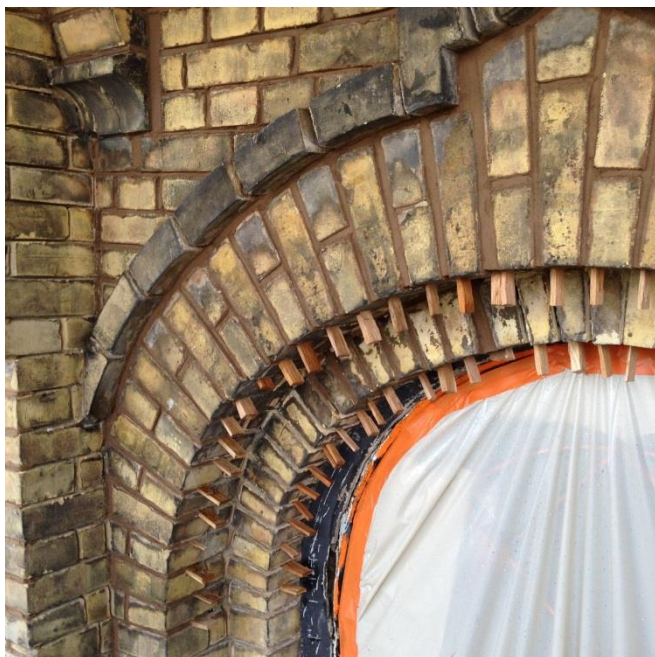
Murbruket mycket poröst i hela väggjockleken

Tegel kunde enkelt tas ut för hand

Temporära upplag/betongplattor gjöts

I analysrapport (Målarkalk AB) konstateras att bruket främst påminner om ett rent lufthärdande kalkbruk. Styrkan i fogprovet antyder att kc-bruk använts i fogarnas yttersta del

Vid ommurning av taklist, spricklagning och ommurning vid övre tornen användes hydrauliskt kalkbruk, NHL 3.5, 1:2, 0-4 mm



- Sprickor över valv i fasad mot nordost kilades med ekkilar och fogades om
- För att säkra sammanhållning inåt i murverket förstärktes med spiralformade kramlor och kamstänger, rostfritt stål, i fogar

**Vid rivning av en takdel pga hussvamp:  
Kraftiga sprickor blottlades, valv C**

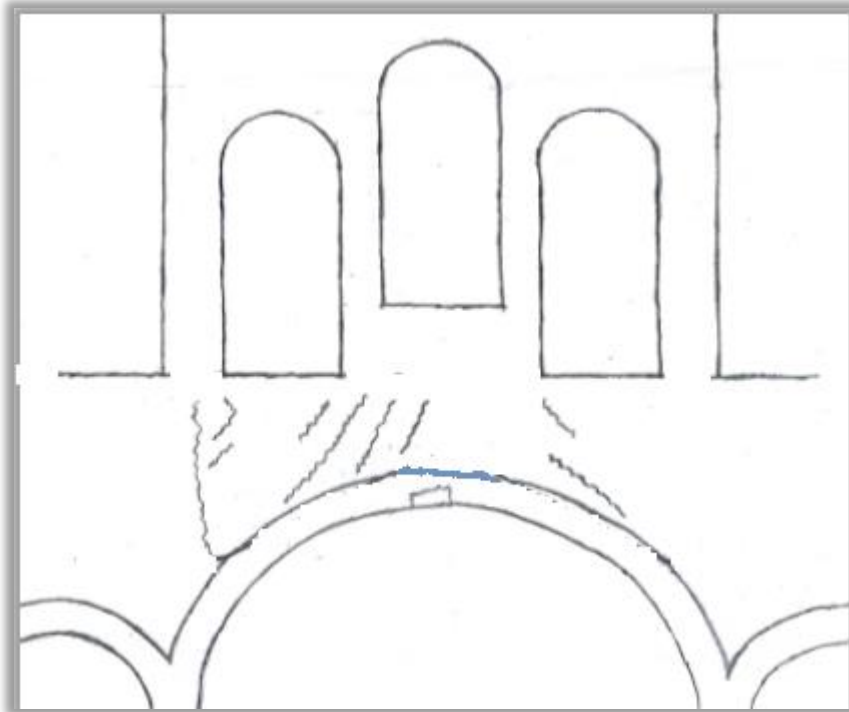


Lina som spändes mellan de yttersta takbalkarna visade att  
nockbalkens nivå var ca 55 mm lägre

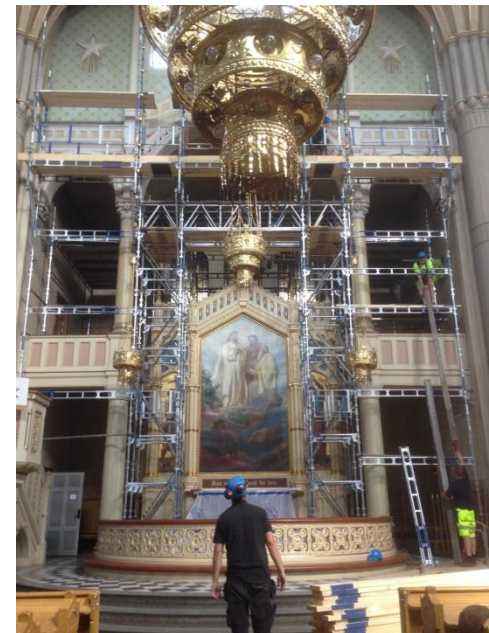


De kraftigaste sprickorna va ca 50 mm breda, i några lägen saknades  
överlapp av tegel i intilliggande skift

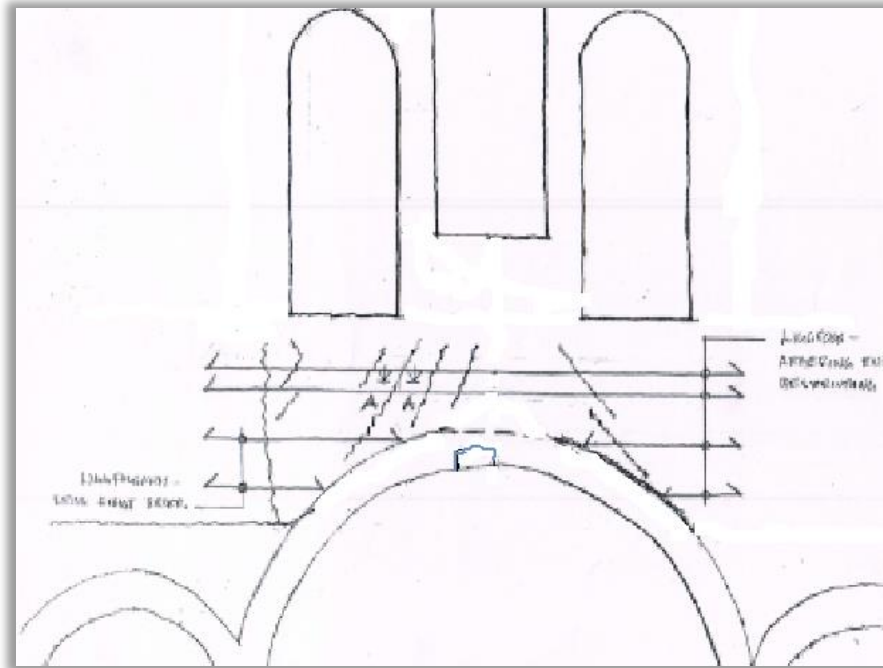
- Last: ca 120 kN/sida av valvet
- Lasten kan i praktiken ha tagits av ca 2x2 stens trycksträvor
- Påkänningen i trycksträvorna relativt låg,  $< 0.8$  MPa
- Möjligheterna att ta upp horisontallaster i övre tornväggarna goda



Innan vidare åtgärder vidtogs stämpades det aktuella valvet



# Åtgärder som vidtogs (utsidan):



- Löst sittande bruk avlägsnades i sprickor, som fylldes med hydrauliskt kalkbruk, NHL3.5, 1:1, 0-4 mm.
- Därefter sattes dymlingar av kamstänger, rostfritt stål, i var 3:e fog.
- Kamstänger  $\text{Ø}6$ , rostfritt stål, sattes i liggfogar, i sammanhållande syfte
- Löst sittande bruk i övriga delar togs bort,
- Ommurning av tegelstenar i underkant valv i fältmitt

# Övriga valv undersöktes från utsidan, under yttertaken

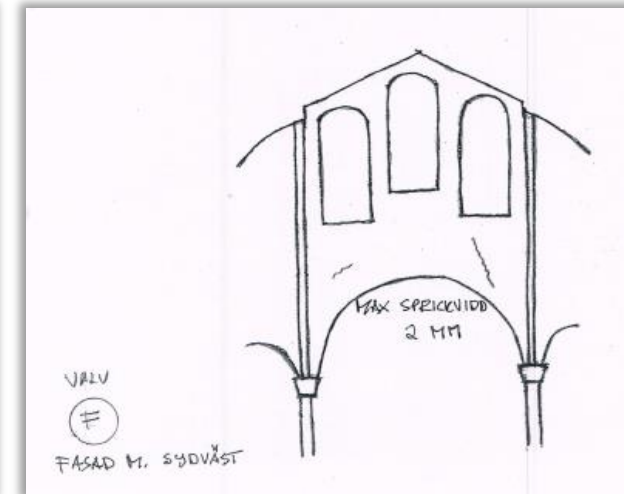
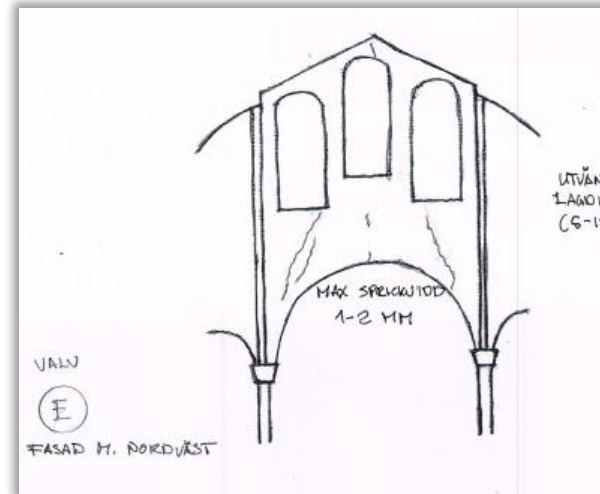
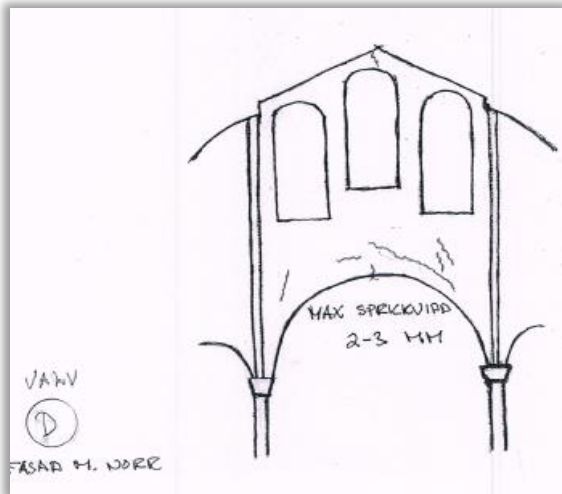
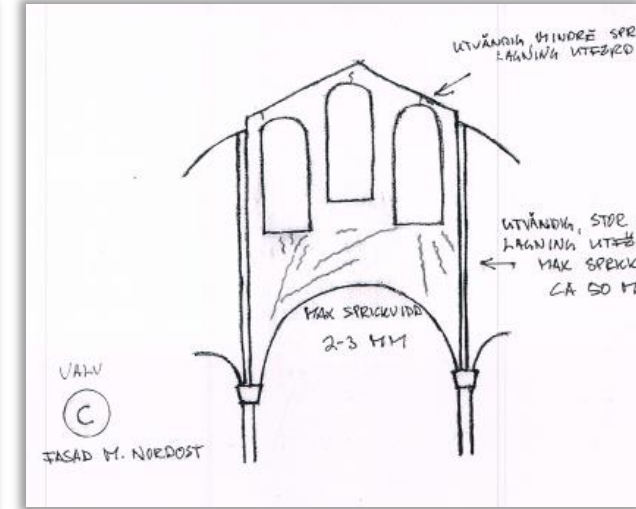
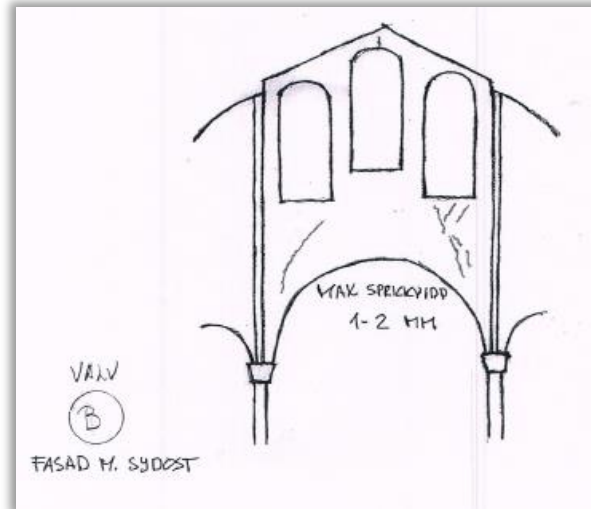
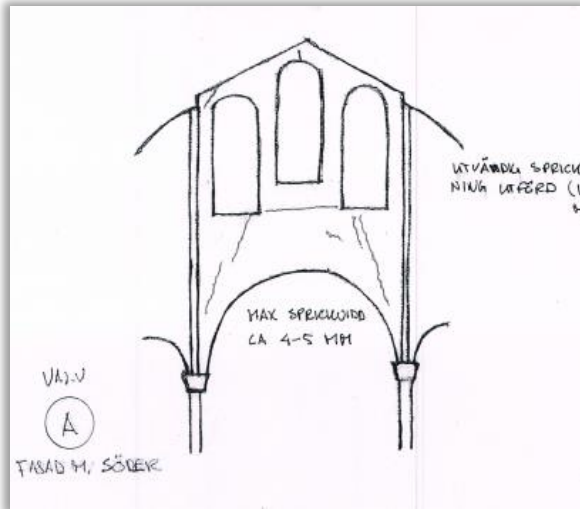
I två valv, A och E konstaterades liknande sprickbildning, men inte lika omfattande

Armering lades i liggfogar vid sprickor, i sammanhållande syfte



# Invändig renovering 2015

Översiktlig inventering, från golvnivå, med kikare



Utvändig spricklagning: Valv A (mindre), valv C (mest), valv E (mindre)





## Valv A

Vid friläggning av sprickorna konstaterades omfattande sprickbildning även invändigt, i flera lägen allvarligare än utvändigt i valv C



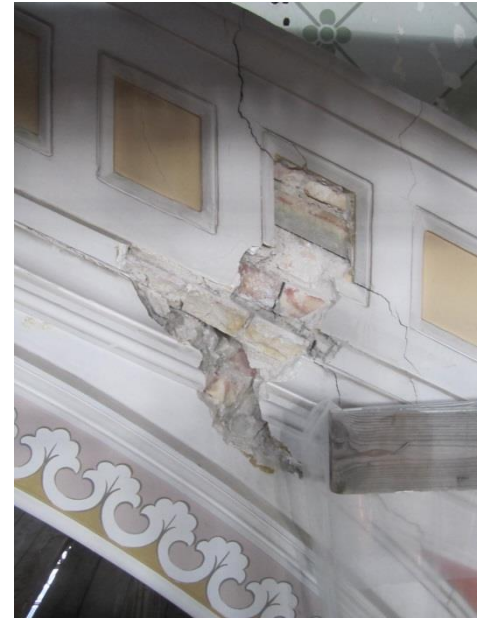
## Valv C

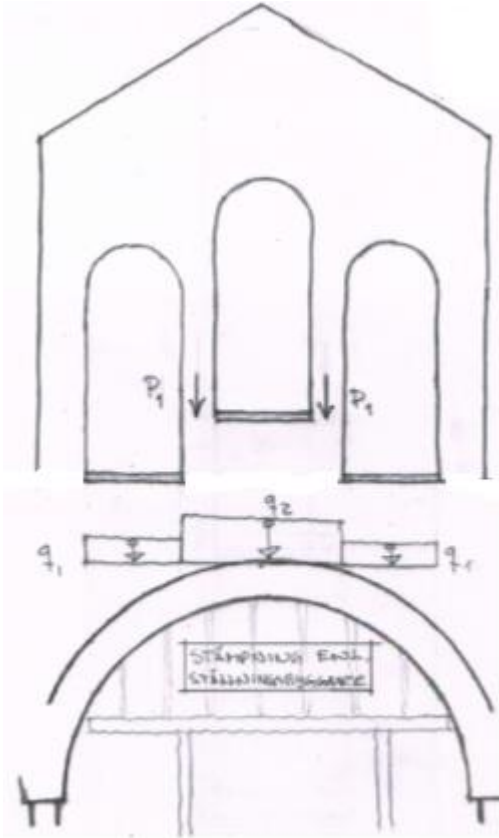
Generellt i samtliga valv:

Bruket var mycket poröst, även i de innersta delarna av murverket, som knappast har utsatts för vattenupptagning och frostpåverkan



**Valv D**





Vid frilägningen av en del av sprickorna framgick att lagning skett med ett starkt bruk, troligen KC-bruk, troligen 1937

Lagningsbruket hade i dessa lägen ringa vidhäftning mot teglet

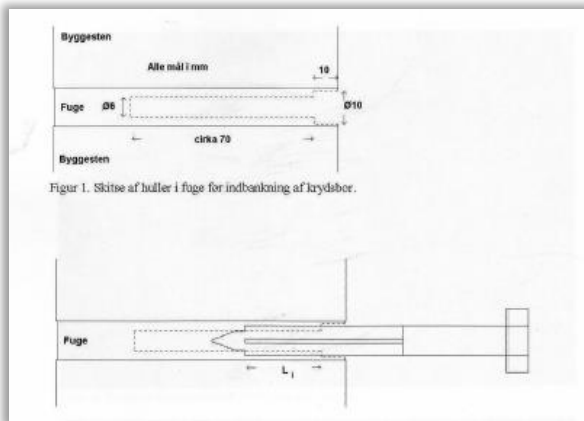
Den fortsatta deformationen efter lagningstillfället var inte stor

Fyra av valven stämpades innan fortsatta arbeten utfördes

Dominerande last: Murverkets egentyngd

# Hållfastheten i bruket mättes med X-Bor

Metod som utvecklats av Teknologisk Institut, Danmark



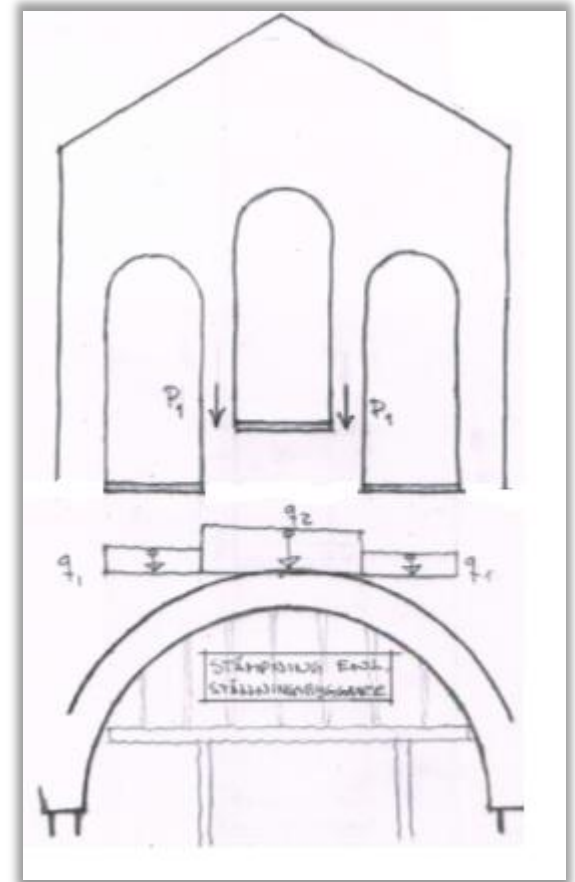
Försiktigt valt värde på teglets hållfasthet resulterade i att dimensionerande hållfasthet i murverket beräknades till 1.2 MPa

Valvkonstruktionerna analyserades med grafisk metod (*Hantverkets Bok, Äldre murverkshus*)

Kontroll av grundläggningen upprepades

## Slutsatser:

- Den halvcirkulära valvformen lämpar sig dåligt för att ta upp de aktuella lasterna
- Aktuella tryckspänningar är relativt låga, under förutsättning att trycklinjen har utsträckning betydligt över valvringen
- Förutsättningarna att ta upp horisontallaster i de kraftiga tornväggarna är goda
- Låg hållfasthet i bruket har orsakat stora deformationer i lägen med spänningskoncentrationer
- Deformationerna har blivit så stora att teglet i vissa lägen mist bindningen (överlappet) i intilliggande skift

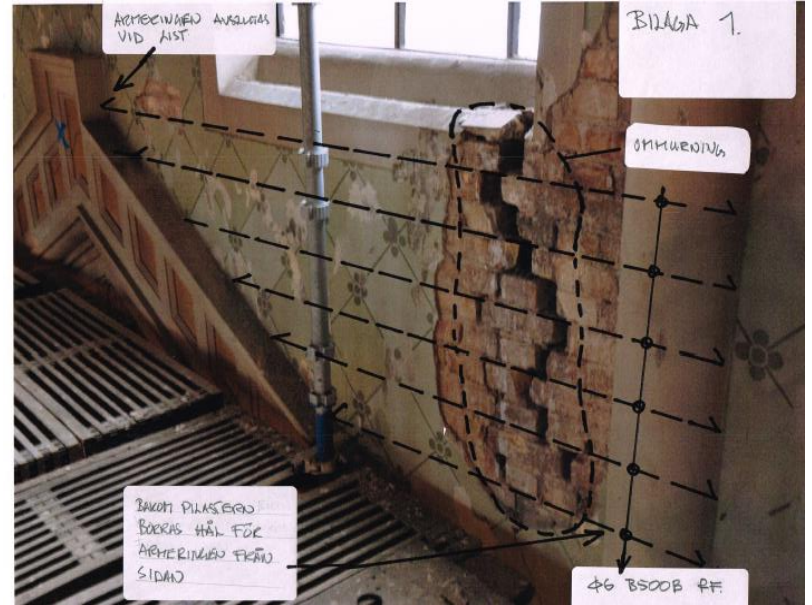


# Åtgärder vid kraftiga sprickor i valv A och C

- Delar med bristande bindning murades om, med överlapp minst 35-40 mm
- I varannan fog armerades, rostfria kamstänger Ø6, i sammanhållande syfte
- I ej ommurade delar frästes fogarna ur 50 mm, rensades, förvattnades varefter 10 mm bruk lades in. Sedan trycktes armeringsjärnen in varefter resterande fogning utfördes
- Bruk: hydrauliskt kalkbruk, NHL 3.5, ballast 0-4 mm, 1:2



Valv C



Valv A





## Ommurade delar i valv A

I samtliga valv rengjordes uppspruckna fogar, rensades från löst sittande bruk varefter fogarna återfylldes med bruk, hydrauliskt kalkbruk, NHL 3.5, ballast 0-4 mm, 1:2

