

MURVÆRK

MURVÆRK

FORUDSÆTNINGER
PROBLEMER
MULIGHEDER

UDREDNINGSPROJEKT
AF CINARK
VED ARKITEKT MAA
METTE JERL JENSEN



KUNSTAKADEMIETS ARKITEKTSKOLE 2008

FREMTIDENS MURVÆRK**– FORUDSÆTNINGER, PROBLEMER, MULIGHEDER**

Denne publikation er sat i gang på foranledning af Københavns Murerlaug, der har ønsket et overblik over udvikling af murværk på globalt, men især på nationalt plan. Det gælder både branchen og murværk.

Hensigten er at give en oversigt over nogle af de arkitektoniske potentialer for udvikling af murværk til fremtiden, samt give en oversigt over nogle af de forskningsresultater, der på nuværende tidspunkt er udgivet om både murværk og murerbranchen.

Publikationen søger at samle og gengive uddrag af udvalgte undersøgelser, rapporter og bøger, der ligger til grund for murværksforskning inden for de sidste 10-15 år, for dernæst at pege på mulige retninger for videre undersøgelse.

Publikationen er skrevet til aktører i byggeriet, arkitekter, ingeniører og murere, men også arkitektstuderende og murerlærlinge samt alle, der i øvrigt har interesse for murværk.

Det udredende projektarbejde, som danner baggrund for denne publikation, er indgået som en del af forskningsfeltet på CINARK – Center for Industriel Arkitektur på Kunstakademiets Arkitektskole. Med CINARKS overordnede fokus på arkitektoniske potentialer ved udviklingen af det industrialiserede byggeri er det naturligt også at inddrage aspekter med udgangspunkt i materialeteknologier, herunder tegl og murværk. Udredningen danner grundlag for et kommende erhvervs-ph.d.-projekt med titlen *Revitalisering af teglmuren*.

I forbindelse med færdigredigering af denne publikation har følgende personer ydet stor hjælp med råd og vejledning og skal have tak:

Oldermand for Københavns Murerlaug, Jørn Buch Andersen, Københavns Murerlaugs priskomite ved formand muremester Jørgen Andersen, arkitekt, Kgl. Bygningsinspektør Johan Fogh, arkitekt, professor Tage Lyneborg, billedhugger, professor Bjørn Nørgaard samt arkitekt, lektor, ph.d. Thomas Bo Jensen, redaktør, arkitekt Søren Bøgh og arkitekt Lene Tranberg. Også tak til de fotografer, der har stillet deres materiale til rådighed.

Desuden tak til Knud Højgaards Fond samt Boligfonden Kuben og Margot og Thorvald Dreyers Fond for støtte til publikationens udgivelse.

April 2008

Mette Jerl Jensen

Rumfærgens kakkelseklædte ydre skal kunne modstå ekstreme temperatursvingninger fra mellem 2,73° Kelvin – dvs ca. $\pm 270^{\circ}\text{C}$ til ca 1.650°C , når den flyver gennem atmosfæren. Klinkerne består mestendels af siliciumfibre (sand) og har en tykkelse på ca 15 x 15 x 6.5 cm. Klinkens massefylde er 266 g, og dens tæthed er 0.18 g/cm^3 . Dvs. ca 90% er luft. I 1997 repræsenterede en sådan klinge en værdi på ml. 1000 - 4000 US dollars. Der er stadig håb om at kunne producere en klinge med samme isoleringsevne, til en overkommelig pris.

FOTO: NASA. Se: <http://helios.augustana.edu/astronomy/space-shuttle-tiles.html>



INDHOLD

- 4 FORORD
- 12 INTRODUKTION
- 16 MURERBRANCHEN
HVOR STÅR DEN?
EN OVERSIGT
- 30 DEN
HULE
MUR
UPDATE
- 44 ÆSTETISKE
MURVÆRKS-
PROBLEMER
ER
DILATATIONSFUGER
NØDVENDIGE ?
- 54 DEN
PROGRAMMEREDE
MUR
- 62 MURSTEN
SOM
TERMISK MASSE
- 68 NYE
STENFORMATER
- 84 KORT
OM
MØRTEL
- 86 LIVSCYKLUS
FOR
MURSTEN
- 88 KONKLUSION
- 90 NOTER/LITTERATUR

Ler har stor betydning for agerjorden, for dets evne til at holde på opløselige plantenæringsstoffer. Til teglfremstilling i Danmark er det den kridtholdige istidsler, der især findes aflejret i områder omkring Sønderjylland og Vendsyssel, der anvendes i dag. FOTO: OLA WEDEBRUNN



BRÆNDT LER

Der er noget godt og solidt over en mursten, dens renommé hænger uden tvivl uløseligt sammen med dens ophav. Den jord vi betræder, det stenfri istidsler der graves op fra jordens dyb, udgør råstoffet til materialet tegl, det brændte ler. Et urstof, der lover evindelig holdbarhed, og som mange af os måske ubevidst føler, vi er en del af. 'Af jord er du kommet, til jord skal du blive, af jord skal du igen opstå ...'

Brændt ler er en samlende betegnelse, der dækker bredt over det stof, der anvendes til brugen af tegl.

Den generiske form af 'brændt ler', det keramiske materiale, refererer til en genstand, der er lavet af ler, iblandet sand eller kridt, derefter formet og tørret, før brænding i ovnen.

Alt afhængig af brændingstemperaturen, materialeforholdet og materialeblandingen, etc. kan ler inddeles i flere forskellige kategorier som raku, lertøj, tegl, stentøj og keramik. Og afhængig af glasuren kan materialet endda yderligere underinddeles i kategorier som fajance, stentøj, porcelæn og teknisk keramik.

Tegl har, som keramisk materiale, på en gang stor trykstyrke, porøsitet og ringe vægt samt god isoleringsevne over for kulde, varme og lyd. Og med teglets bestandighed over for det skiftende danske vejrlig, dannes et overordnet billede af et byggemateriale, som fuldt ud opfylder de meget vidtgående æstetiske og tekniske krav, som stilles til et konkurrencedygtigt produkt i dag.¹

Almindeligvis er det rødler og blåler der tænkes på, når man står med en teglsten i hånden og bemærker dens karakteristiske røde eller gullige farve. Det dybtliggende blåler, der giver de gule sten, indeholder store mængder jern og benævnes som ler i ferro-form. Graver vi lidt højere oppe i jordlaget,

får jernet i leret mere luft, det bliver iltet, og får sin karakteristiske rustrøde farve efter brænding. Rødleret, som vi kender fra den røde sten, kaldes ler i ferri-form.

Kommer man ind på en yderligere specifikation af den ler der anvendes, er lerarterne, alt efter hvor de er gravet op i landet, og hvor dybt leret har ligget, opkaldt efter de muslingetyper, der findes aflejret i leret som forvitrede skaller.

Det ler der spiller den største rolle for teglværkerne, er Yoldia-leret. Navnet stammer fra den lille Yoldia-musling. Yoldia-leret anvendes i udstrakt grad i Vendsyssel. Et andet stenfrit istidsler er Cyprina leret, som indeholder skaller af Cyprina-muslingen, der blandt andet findes i Sønderjylland.

Endelig kan nævnes Dyas-leret efter istidsplanten Dyas, der som regel er tydelig lagdelt og findes pletvis ud over hele landet i de "bassiner", hvor leret er bundfældet siden istiden.

Der er, som det fremgår, store variationer inden for de danske ler forekomster, og det er en af årsagerne til, at de enkelte teglværkers anlæg til bearbejdning og formning af leret er vidt forskellige.

TEGL, TEGULA, TUILE, TILE

I princippet formes det danske istidsler stadig som for over 10.000 år siden i Mesopotamien, ved Tigrisflodens flodleje, hvor den solbagte teglsten har sit udspring som den første industrialiserede byggekomponent. Selve formatet på teglstenen har stort set heller ikke ændret sig gennem tiden, siden danske munke i 1100-tallet fik sat en teglproduktion i system rundt om i landet. Kendskabet til materialet tegl blev bragt hertil af håndværkere fra Lombardiet i det nordlige Italien, og det er ikke kun den særlige brændingstek-

nik, man skal være omhyggelig med for at holde en konstant stigende temperatur i ovnen (et sted mellem 850-1200°C alt afhængig af leret, der anvendes). Afkølingsprocessen af stenen skal overvåges mindst lige så omhyggeligt, ligesom selve tørreprocessen forud for brændingen nøje skal følges. En teglsten er således ikke bare en klump ler, der formes for derefter at blive brændt i en ovn. De danske teglværker arbejder konstant på at forbedre og udfordre forskellige brændingsteknikker og -processer.

Herhjemme er det blandt andet inden for de sidste tiår blevet populært at arbejde med reduceret ilttilførsel under brændingen. Det giver en mørkere sten med nuancer fra lys grå til næsten sort. En teknik kineserne har anvendt siden 1200-tallet under Han-dynastiet, dengang de farvestrålende kejserlige paladser blev opført og ikke måtte overstråles af de omkringliggende borgerhuse, som da blev opført i de grå teglsten.

Hele vejen op gennem historien har teglstenen opfyldt og tilpasset sig gældende byggeskikke, den har været den perfekte gave til lerlandet Danmark. Landets teglindustri har, sammen med en dygtig håndværksmæssig kunnen, været med til at løfte murstenen og givet den en særstatus, som i teglstenshistoriens spæde begyndelse ellers kun var forbeholdt gejstlige, men som med tiden har fået bred folkelig appel. Alt fra prestigebyggerier til offentlige institutioner og private boliger er således blevet opført i tegl.

Nogle mener, murstenen har mistet lidt af sin folkelighed og igen er ved at få status som et eksklusivt materiale, på trods af eller måske netop på grund af murværkets image som det langtidsholdbare byggemateriale, med den helt enestående patineringssevne og fine egenskaber til hensigtsmæssigt at optage og afgive solvarme.

De forholdsmæssigt høje opførelsesomkostninger ved murværksbyggeri afskrækker tilsyneladende mange bygherrer, og det virker, som om der ikke skelnes til murstenens livscyklus og totalomkostninger i byggeriet set over en længere tidshorizont.

Murværk står altså i dag i skarp konkurrence til andre ikke så opførelsesomkostningstunge byggematerialer.

Stenens æstetiske værdi vokser eksponentielt i takt med stenens holdbarhed, og murværk bliver muligvis fastholdt i en historisk spændetrøje, idet der ofte sættes lighedstegn mellem murværks kvaliteter og et lidt altmodisch arkitektonisk udtryk. Det er på tide at komme videre og vise, hvordan man kan udnytte murværkets uendelige muligheder for at frembringe et bud på en fremadrettet arkitektur på baggrund af den viden, man har i dag, og på baggrund af den stærke bygningstradition, vi har inden for murværk.

Computerteknologi og robotteknologi er nogle af de værktøjer, som har banet vejen for en nytænkning af en murværksarkitektur, vi endnu kun har set begyndelsen af. Rapporten beskriver nogle interessante eksempler, hvor denne nye form for teknologi er anvendt.

Der vises også andre eksempler på byggede værker, som peger på mulige veje for en fornyet murværkstradition.

Byggeteknisk er virkeligheden i Danmark en helt anden i dag end for blot 50 år siden, og fuldmurede huse er i dag erstattet af skalmurede huse. Den manglende sammenhæng, vi har i dag mellem for- og bagmur, har skabt en række problemer for murens konstruktive, æstetiske og termiske kvaliteter.

Denne rapport tager sit afsæt i disse problemer og peger på mulige udviklingsveje for murværk inden for murens konstruktive, æstetiske og termiske kvaliteter – på murstenens egne præmisser.

MURERBRANCHEN

HVOR STÅR DEN?

EN OVERSIGT

Mange tiltag i forbindelse med at sætte fokus på murerbranchen er tilsyneladende lykkedes. Murerfaget har i dag en stor tilgang, godt hjulpet på vej af de seneste par års opsving i økonomien og dermed byggeriet. Det synes, som om en mangeårig krise er et overstået kapitel. Der skelnes i øvrigt i denne rapport mellem murerbranchen og murerfaget. Murerbranchen dækker også andre faggrupper end murerfaget.

Det er ofte sagt, at murerfaget er teknologisk konservativt og ikke så stærkt funderet med hensyn til udvikling og innovation. Man kan sige, at der mere har været fokus på at udvikle produkter end udvikle nye arbejdsprocesser. Det skal dog siges, at stilladser ikke længere er af træ, men afløst af lette let-håndterlige stålsystemer. Materialer bæres ikke op, fortidens 'løbebroer' er afløst af moderne hejse- og kransystemer, og mange steder anvendes nemme og mobile gaffeltrucks. Mursten leveres på håndterbare standardiserede minipaller, og mørtel kan leveres i siloanlæg på byggepladsen og transporteres færdigblandet i mørtelbøre, der er tilpasset stilladsbredderne direkte til arbejdsstedet.²

I dag udgøres murerfaget af ca. 2.500 murervirksomheder, ca. 10.000 faguddannede murersvende, ca. 2.000 murerarbejdsmænd og ca. 50 matrialeproducenter (mursten, mørtel mv.). Også tilgangen til faget er tilfredsstillende, ca. 800 murerlærlinge aflægges i år (2008) svendeprøve, hvilket skønnes passende til at imødegå afgang fra faget.³

Fremtiden ser således god ud for murerfaget, men det gælder hele tiden om at indstille sig på nye tider.

I undersøgelsen *By og Byg Resultater 011: murerfagets udvikling. Barrierer og muligheder* (2001), identificeres følgende hovedproblemer i faget, som bliver fulgt op af konkrete ideer til videre udvikling.

Kunstneren Bjørn Nørgaards boligbyggeri Bispebjerg Bakke fra 2007 udfordrede murerens akkordarbejde. Det viser sig imidlertid, at murerne kan mure komplicerede krumme flader lige så hurtigt som regulære plane flader med den viste styreskinne og skabelon, som murerne udviklede til Bispebjerg Bakke. Projekterende arkitekter: Boldsen & Holm. FOTO: SUSANNE ULRIK



De fire punkter giver et godt overblik over, hvad det er for udfordringer, branchen i mere eller mindre grad stadig står over for.

1 DE MINDRE VIRKSOMHEDER ER FASTLÅSTE OG HAR SVÆRT VED AT VOKSE OG UDVIKLE SIG

Ejerne er for lidt forretningsmænd og for meget håndværkere. Der er ofte problemer ved generationsskifte, fordi de færreste svende er ordentligt klædt på i forhold til de mange administrative og ledelsesmæssige opgaver, det indebærer at have egen virksomhed.

Et forslag kan være at oprette et formaliseret netværkssamarbejde med deling af kontorfaciliteter og administrative funktioner. Gevinsten kan være administrativ besparelse, styrke af en fælles faglig indsats og evt. mulighed for åbning af tværfaglige samarbejder mellem forskellige håndværksfag.

2 VIRKSOMHEDERNES VIDENSOPBYGNING ER TILFÆLDIG

Virksomhedernes vidensopbygning er reaktiv og afledt af aktuelle problemer. Ny viden kommer primært fra forhandlere og leverandører. Endvidere mangler virksomhederne viden om nye arbejdsprocesser og produktivitet.

(Nye samarbejdsformer kommer frem på arbejdsmarkedet, og der er forslag til, at branchen er opmærksom på disse nye arbejdsformer som blandt andet multisjak, selvstyrende byggeplads og partnering.

I projektet 'Murerfaget i bevægelse, 2007' prøver man med udgangspunkt i samarbejde mellem murersvende, murermestre, producenter, arkitekter, forskere og uddannelsesinstitutioner at indarbejde nye samarbejdsformer).

3 UTILFREDSHED MED BRANCHENS UDDANNELSESFORHOLD

Virksomhederne oplever, at uddannelsen til murersvend tager for lang tid, mangler praktisk indhold og lægger for megen vægt på æstetiske forhold frem for basale håndværksmæssige færdigheder.

Flere pilotprojekter er igangsat. Senest i 2007 udkom bogen *Murerfaget i bevægelse – et innovationsprojekt*, udgivet fra Forlaget TEGL, hvor der fokuseres på tværfaglige samarbejdsgrupper.

Der er netop kommet et nyt uddannelsesforslag, der opdeler murerfaget i specialer og udbyder en etårig uddannelse som flisemontør frem for mureruddannelsens tre år. Flisemontøren specialiserer sig i montering af fliser i badværelser etc. Det er et uddannelsesprogram, som er gennemført i udlandet, hvor danske virksomheder i større og større omfang ser sig udkonkurrerede af især tyske specialiserede flisemontører.

Det nye uddannelsesprogram til kommende murerlærlinge fra maj 2008 er beskrevet af Søren Bøgh, Muro (se side 20).

By og Byg Resultater 011: murerfagets udvikling. Barrierer og muligheder peger på et evigt tilbagevendende problem, som er kendetegnende for branchen: videndeling. Murerfaget mangler ganske enkelt at dele viden med sig selv.

Og som *Murerfaget i bevægelse* påpeger, ender mange gode forskningsresultater i uforståelige rapporter på forskningsinstitutionernes hylder uden at komme håndværkerne til gode, og det er uheldigt, at al den viden, som tilsyneladende findes, ikke finder vej til byggepladserne, hvor der ofte opføres huse med så mange fejl og mangler ”at de knap kan holde natten over.”⁴

SÅDAN ER UDDANNELSEN BYGGET OP

Mureruddannelsen bygger på princippet om vekseluddannelse. Det vil sige, at der veksles mellem uddannelse på en af landets 20 murerskoler og en praktisk uddannelse i en murer virksomhed, som er godkendt til at uddanne murere og flisemontører.

På skolen undervises i fagteori og i praktiske færdigheder

Når du er i praktik i virksomheden, tilrettelægges arbejdet sådan, at du beskæftiger dig med opgaver, som er gennemgået på skolen. På den måde opbygger du en erfaring og en rutine, som sætter dig i stand til selvstændigt at udføre fagets discipliner, når du har bestået din svendep prøve.

I virksomheden vil du som flisemontør blandt andet arbejde med flise- og klinkearbejde, murerarbejde i forbindelse med opmuring af letbetonplader, reparationsarbejde, opbygning af betongulve og overfladebehandling med både grov- og finpuds samt flere former for tyndpuds.

Ud over de opgaver, som flisemontøren arbejder med, vil du som murer i virksomheden arbejde med mere komplicerede murværkskonstruktioner, for eksempel buer og stik i mange forskellige former. Du vil også arbejde med oplægning af tegl og betontagsten, herunder opmuring af gavle og skorstene.

Fælles for begge uddannelser er, at du i virksomheden vil lære samarbejdets kunst, du vil lære vigtigheden af at arbejde på tværs af fagene. Arbejdsmiljø, og dermed også sikkerhed på byggepladsen, vil du lære om, så du kan færdes sikkert på byggepladsen. Du vil lære at opsætte stilladser, så du sikkert kan færdes og arbejde i højden. Du vil lære at håndtere forskellige former for materialer og værktøj inden for murerfaget.

Du kan påbegynde din uddannelse til murer og flisemontør på 3 måder

1) Ved at opsøge virksomhederne og få en lærekontrakt opnår du den mest naturlige og hensigtsmæssige indgang til uddannelsen. Her kan du sammen med mester aftale, om du skal påbegynde uddannelsen i praktik eller på skole.

2) Du kan melde dig til den nærmeste skole, hvor de gennemfører mureruddannelsen [se bagsiden], og her vil du påbegynde grundforløbet. Grundforløbet er bygget op sådan, at du skal opnå nogle kompetencer for at komme videre på hovedforløbet. Mens du er på grundforløbet, søger du læreplads i virksomheden, skolen vil hjælpe dig med dette. For at påbegynde hovedforløbet skal du have en læreplads.

3) Det er muligt at påbegynde uddannelsen i mesterlære. Det vil sige, at du har en lærekontrakt med en virksomhed. Sammen med virksomheden og skolen planlægges et uddannelsesforløb, hvor du er 1 år i virksomheden. Det vil være nødvendigt at tage nogle fag på skolen indimellem for at opnå de kompetencer, som er nødvendige for at påbegynde hovedforløbet.

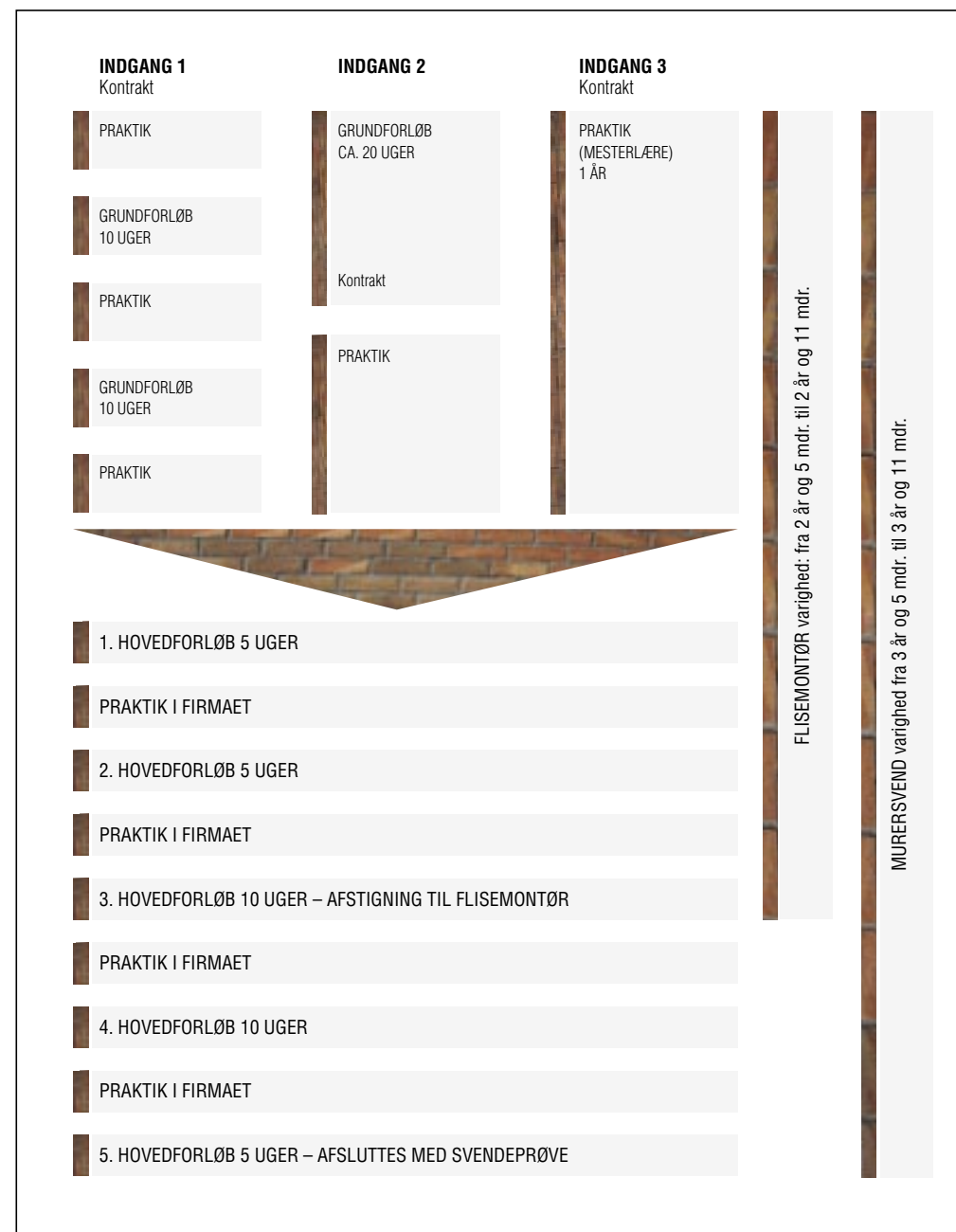
Hovedforløbet flisemontør

Uddannelsen til flisemontør varer fra 2 år og 5 måneder til 2 år og 11 måneder, alt efter starttidspunkt. Der er indlagt 3 skoleophold: 1. hovedforløb 5 uger, 2. hovedforløb 5 uger og 3. hovedforløb 10 uger. På 3. hovedforløb er indlagt en prøve, som du skal bestå for at få bevis som flisemontør.

Hovedforløbet murer

Uddannelsen til murer varer fra 3 år og 5 måneder til 3 år og 11 måneder. På skolen følges murere og flisemontører ad på de første 3 skoleperioder. Herefter har mureren 2 yderligere skoleophold, altså 4. skoleophold på 10 uger og 5. skoleophold på 5 uger. 5. skoleophold er inklusiv faget svendep prøve. Her er der både en teoretisk og en praktisk svendep prøve, hvor begge prøver skal bestås.

Den seneste beskrivelse fra maj 2008 af mureruddannelsens forløb, skrevet af Søren Bøgh, MURO.



4 AFLØNNINGS- OG ANSÆTTELSESFORHOLD RUMMER UHELDIGE INCITAMENTER

De økonomiske incitamenter er dominerende, og den store gennemstrømning af medarbejdere hindrer en kontinuerlig videnopbygning.

Et af forslagene har været at lave funktionærlignende ansættelsesforhold, hvor en af fordelene er, at virksomhederne vil have større tilskyndelse til at satse på efteruddannelse af deres medarbejdere og en forventning om at kunne inddrage medarbejderne i virksomhedens udvikling.

Denne ansættelsesform indebærer længere opsigelsesvarsel, og det kan i bedste fald ansprore virksomhederne til bedre planlægning af firmaets aktiviteter og sende medarbejderne på efteruddannelse i de stille perioder.

UNDERVISNING I DETALJERING OG TEGLS SÆRLIGE EGENSKABER

Det er nu, der skal satses hårdt i undervisningen af fremtidens murere. De unge murere skal kunne navigere rundt i en blanding af både dyrkelse og optimering af en håndværksmæssig kunnen inden for detaljeringen af murværk og en håndtering af en mere industrialiseret arbejdsgang inden for faget.

Der skal fokuseres på det begavede murværk, og detaljedyrkningen skal stædigt fastholdes med den omhu, det kræver at skulle udføre den virtuose detalje frem for den ordinære. Her tænkes ikke kun æstetisk.

Mange har en opfattelse af, at det netop udelukkende er et æstetisk spørgsmål, når der skal rettes fokus mod detaljeringen i murværket. Det er det naturligvis også, men kun i samspil med at detaljen er byggeteknisk og -konstruktivt i overensstemmelse med gældende regler.

OMSORG FOR DETALJEN ER GODT HÅNDVÆRK

Det sker ofte, at gennemtænkte detaljeløsninger bliver ændret midt i byggeprocessen, og mange gange er det, fordi byggevarerleverandøren ikke lige har den vare på lager, som kræves til løsningen. I stedet vælges blot et andet produkt fra hylden som erstatning, uden at det af den grund giver anledning til videre refleksion.

Bogen *Moderne tegeldetaljer – med teglets materialitet som udgangspunkt* opfordrer til større håndværksmæssig omsorg, end hvad tilfældet er i dag – i hvert fald i Sverige – og påpeger, at den nemme løsning med afdækningsplader over samlinger af forskellige materialer bare ikke er gangbar, især ikke når det nu ikke tager så meget ekstra tid – eller indebærer flere omkostninger – at integrere logisk naturlige materialemøder, der ikke alene giver et helstøbt, men også et langt mere langtidsholdbart resultat.

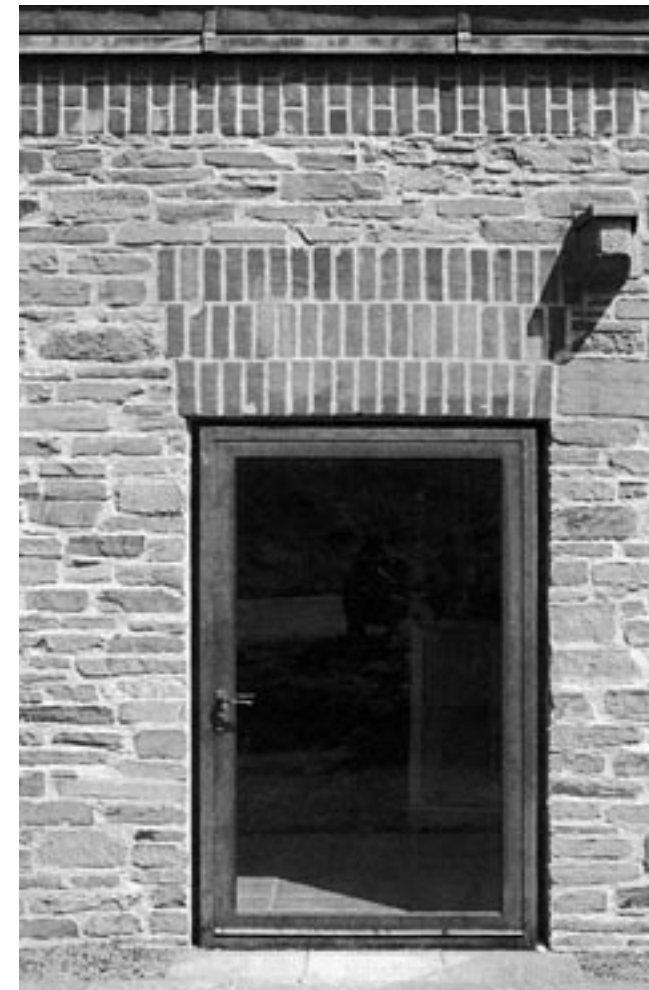
Et udførligt tegningsmateriale i bogen gennemgår forskellige detaljeløsninger lige fra sokkel til tagfod, og til hvert forslag giver Gustavsson forudsætningen for valget af den pågældende løsning. Altså: Hvilke tekniske og funktionelle problemer skal detaljen løse, under hvilke forudsætninger, og hvordan løses det arkitektonisk?

Det kan måske undre, at det er fra Sverige, hvor kun 7% af de byggede huse er udført i tegl (til forskel fra 90% i Danmark⁵), at disse bud på detaljeløsninger bliver fremhævet, men en forklaring kan være Sveriges mere jomfruelige murstenstradition, som gør Tomas Gustavsson i stand til at kigge friskt på murværk, netop fordi han ikke er tynget af en tonstung tradition som her i Danmark.



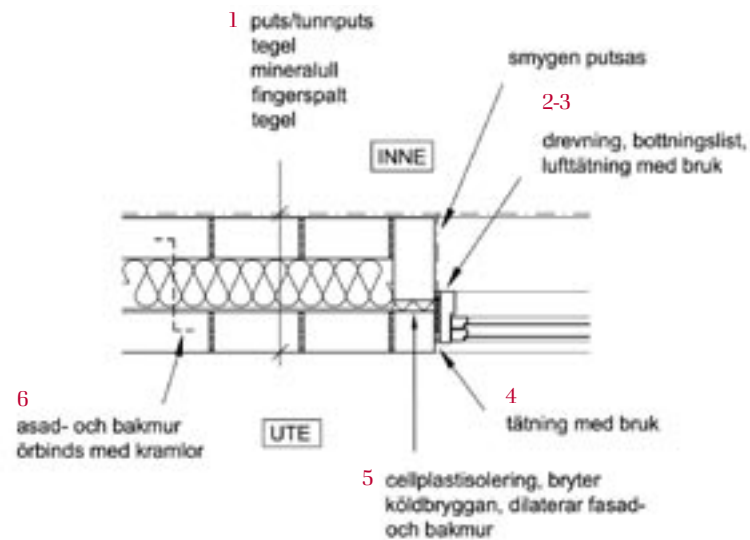
↑
 Det sker ikke sjældent, at gode løsninger, når først de er fundet, virker så indlysende og klare, at man uvægerligt må tænke, hvorfor det ikke er set før.

Et fint eksempel på, hvordan man ved et enkelt arkitektonisk greb kan løfte en temmelig ordinær teglbjælke til en helt særlig vinduesdetalje, er at trække bjælken lidt ud af facaden, så det tydeligt illustreres, at den ikke er en integreret del af murværkets forbandt/fletværk, som mange teglbjælker ellers foregiver at være. FOTO: PAL DÜNER

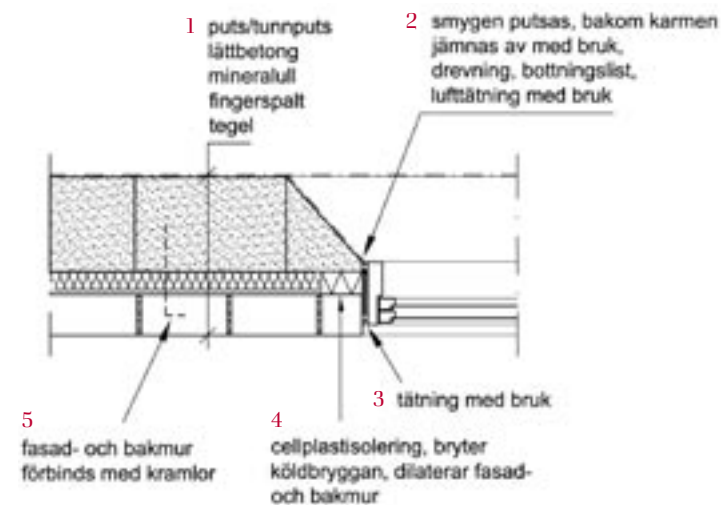


← →
 Den tyske arkitekt Heinz Bienefeld mestrede som få den skarpe gennemtegnede murstensdetaljer. Håndværkets regler er fulgt, og der er bygget på stenens præmis. Haus Papachristou 1987 (tv) og Pfarrhaus 1974.

FOTO: G. ULLMANN / R. OSWALD



- 1 letbeton
- mineraluld
- luftspalte
- tegl
- 2-3 lysningen pudses bag karmen, tilrettes med mørtel, værk, bundliste og afsluttes med mørtel
- 4 tætnes med mørtel
- 5 polystyren bryder kuldebroen, dilaterer for- og bagmur
- 6 for- og bagmur forbindes med trådbindere



- 1 letbeton
- mineraluld
- luftspalte
- tegl
- 2 lysningen pudses, værk, bundliste, lufttættes med mørtel
- 3 tætnes med mørtel
- 4 polystyren bryder kuldebroen, dilaterer for- og bagmur
- 5 for- og bagmur forbindes med trådbindere

SVENSK EKSPERTISE

Lektor, dr. Tekn. og Ingeniør Tomas Gustavsson fra Lunds Universitet undersøger og giver anvisninger på detaljeløsninger i moderne teglstens byggeri i sit forskningsprojekt *Moderne tegeldetaljer – med teglets materialitet som utgångspunkt*. (2008).

Tomas Gustavssons målsætning er at rette opmærksomhed mod de særlige egenskaber ved tegl, som især kan komme til udtryk gennem detaljeløsningen i moderne teglbyggeri.



Ingeniør Tomas Gustavsson fra Lunds Universitet anviser detaljeløsninger ifht. svensk lovgivning og begrundet også for valg af de pågældende løsninger i sin bog *'Moderna tegeldetaljer- med teglets materialitet som utgångspunkt'* fra 2008.



Kunstneren Bjørn Nørgaards Bispebjerg Bakke i København, som arkitekterne Boldsen & Holm har projekteret, var oprindeligt tænkt som et fuldmuret byggeri, men økonomien styrede det mod en skalmurskonstruktion. Bygningens form synes også mere oplagt til skalmur end fuldmur. FOTO: TORBEN ESKEROD

Umiddelbart skulle man tro, at den målsætning burde være indlysende, men den rummer ifølge Tomas Gustavsson selv en væsentlig kritik af, hvordan tegl normalt anvendes i dagens byggeri.

I dag er det alt for ofte andre byggematerialer end tegl, der bestemmer vilkårene for de bygningskonstruktioner, huse opføres med i dag, som tegl må indordne sig under, og Gustavsson er ikke ene om at mene, at de seneste årtiers murstensfacadeudtryk alt for ofte kun er en slap reference til en i praksis forsvundet bygningskultur.

De detaljeløsninger, som Tomas Gustavsson undersøger, skal underforstået kunne klare gængse belastninger og vejrlig, som de vil blive udsat for, på samme måde, som detaljeløsningerne skal opfylde de byggetekniske krav, der stilles til deres respektive funktioner.

Tomas Gustavsson opregner hvilke væsentlige byggetekniske krav der stilles til de pågældende bygningsdele, og viser derefter, hvordan det indvirker på udformningen af detaljen. En fordringsfuld detaljeløsning er jo netop en forening af et velovervejede arkitektonisk greb, styret af de kriterier og byggetekniske krav, der er stillet. Det er desværre ikke ualmindeligt, at der er modsætninger imellem de to forhold i dagens byggeri.

KNUDEPUNKTSDETALJER PÅ CAD

Kalk- og Teglværksforeningen af 1893 og Teknologisk Institut har i samarbejde optegnet en lang række knudepunktsdetaljer på CAD. Detaljerne, der gennemgår en række af fagets vitale konstruktionsknudepunkter, findes på www.mur-tag.dk og lægges løbende på nettet til fri afbenyttelse. Til forskel fra Gustavssons forslag inddrages kun de byggetekniske aspekter i Mur-Tags detaljer.



Den massive mur har gennem tiden indbefattet alle konstruktive elementer integreret i selve råhusets grundstof, nemlig murværket, men murværk bygges ikke længere under samme præmis som tidligere. Kravet til bygningers isolering i Danmark er blevet så højt, at hverken fuldmurede huse eller traditionelle hulmursbygninger længere kan opfylde kravene, og de fleste murværksbygninger i dag er skalmurede. Men blandt ingeniører spås skalmuren end ikke længere en fremtid, fordi der med de øgede isoleringskrav bliver for stor afstand mellem ydermur og indervæg, så temperaturforskellen på de to mure imellem bliver for voldsom og dermed også murenes indbyrdes bevægelse.

En forskningsrapport fra Kunstakademiets Arkitektskole, Institut for Arkitekturens Teknologi, der hedder *Den hule mur – et udviklingsprojekt* fra 1992, søger at afdække de bagvedliggende årsager til moderne murværks problemer i Danmark og peger på følgende fem mulige udviklingsveje:

1. **Den optimerede hulmur** – genskaber murværkets traditionelle kvaliteter i én sammenhængende konstruktion.
2. **Den nye formur** – udvikles til en selvstændig selv bærende konstruktion med nye tekniske og arkitektoniske muligheder.
3. **Den homogene blokmur** – som et nyt konkurrencedygtigt homogent alternativ til adskilte konstruktioner.
4. **Den teglbeklædte mur** – kan med en bærende bagmur og facaden helt adskilt fra bæringen optimere tegls gode klimabeskyttende egenskaber.
5. **Den dynamiske mur** – peger på en fremtidsorienteret brug af tegl i forbindelse med en bygnings samlede udformning vedr. energibesparelse, konstruktive og kompletterende principper m.v.



Ved at bruge en bredsten i hvert andet skifte ophøjes skalmuren til noget helt særegent. Transformestation H.C.A Ørstedsværket i København, Arkitekter: Gottlieb & Paludan A/S, 2006. FOTO: GOTTLIEB & PALUDAN A/S

Inden for nogle af punkterne er følgende tiltag iværksat; et erhvervs-ph.d., der fokuserer på pkt. 3, specifikke problemområder inden for blokmurstens arkitektoniske potentiale, er netop afsluttet, og et igangværende forskningsarbejde på Danmarks Designskole om 'Keramiske klimaskærme' behandler pkt. 4.

Endnu mangler en samlet oversigt og reel forskning i teglmuren, dels set som en konstruktivt integreret helhed, jvf. pkt. 2+5 fra *Den hule mur*, dels set som en specifik bearbejdning af teglmuren som beklædning.

Blot det at udforske andre måder at anvende det traditionelle løberforbandt med en kvart til en halv stens forskydning som alt for mange skalmure alt for uopfindsomt er opført med, vil være en begyndelse.

SKUB TIL SKALMUREN

Skalmuren kan nemt give karakter til et bygværk, og der skal ikke så meget til.

Et nyt dansk eksempel er arkitektfirmaet Gottlieb Paludans transformatorstation ved H.C. Ørstedsværket.

En skalmur med løberforbandt, hvor der i hvert andet skifte er anvendt en bredsten, der, som navnet antyder, er en ca. 5 cm bredere sten end normalstenen. Et forholdsvist simpelt – men dog effektivt – greb til at betone en murflade på en lukket facade. Sigurd Lewerentz kunne også forvandle en skalmur med almindeligt halvstens-løberforbandt til noget særegent, ved f.eks. at arbejde med bredere studsfluger, som han blandt andet gjorde i S:t Petri Kirken i Klippan.

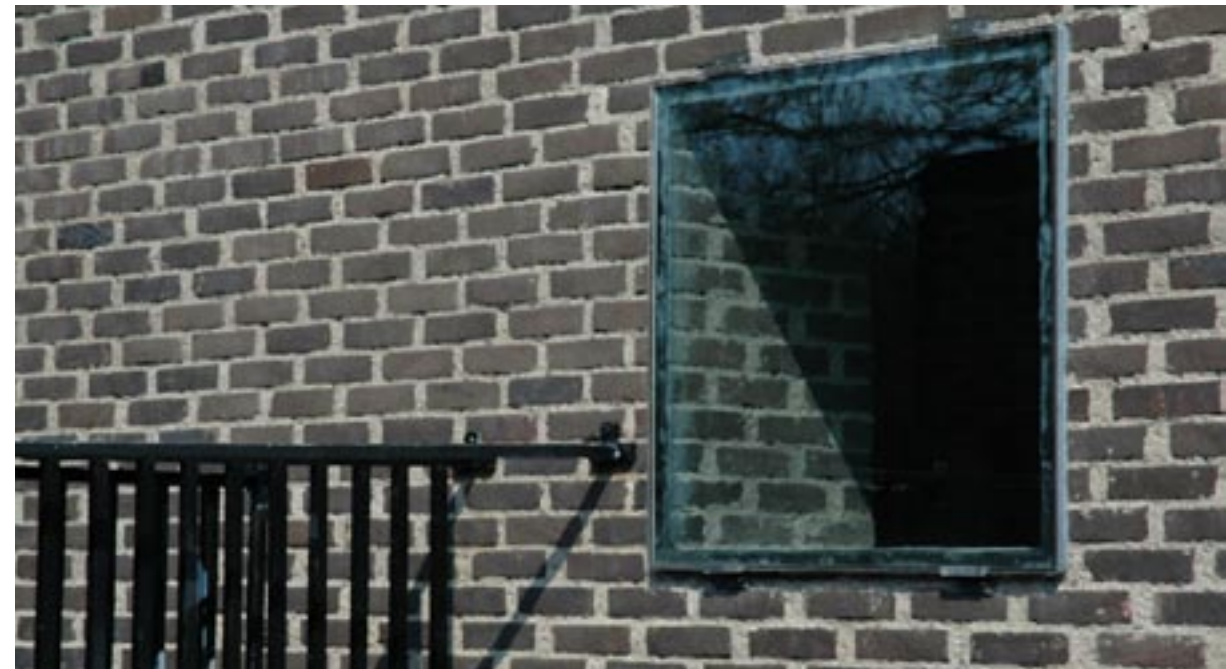


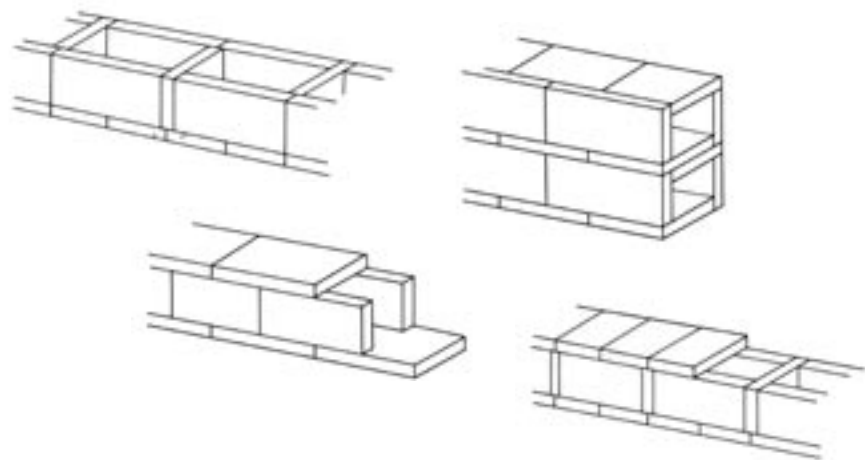


Kunstneren Bjørn Nørgaard og arkitekten Tage Lyneborg udfolder til fulde potentialiet i mønstermurværk i et nyopført sommerhus i Tisvilde. Her vises udsnit af husets rigt detaljerede base- og terrassemur, hvor de gule kopsten blot er trukket en anelse ud i forhold til resten af mængden af både glaserede sten, formsten og de iltreducerede grå sten. FOTO : KJELD VINDUM



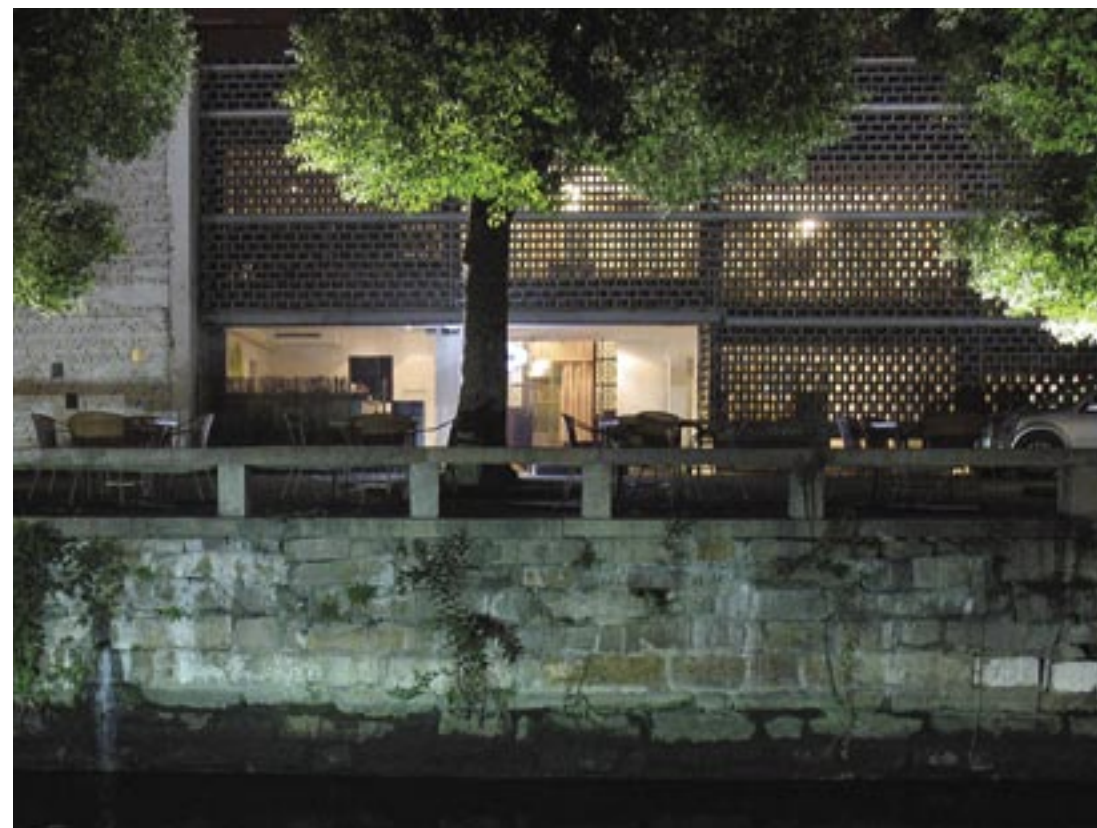
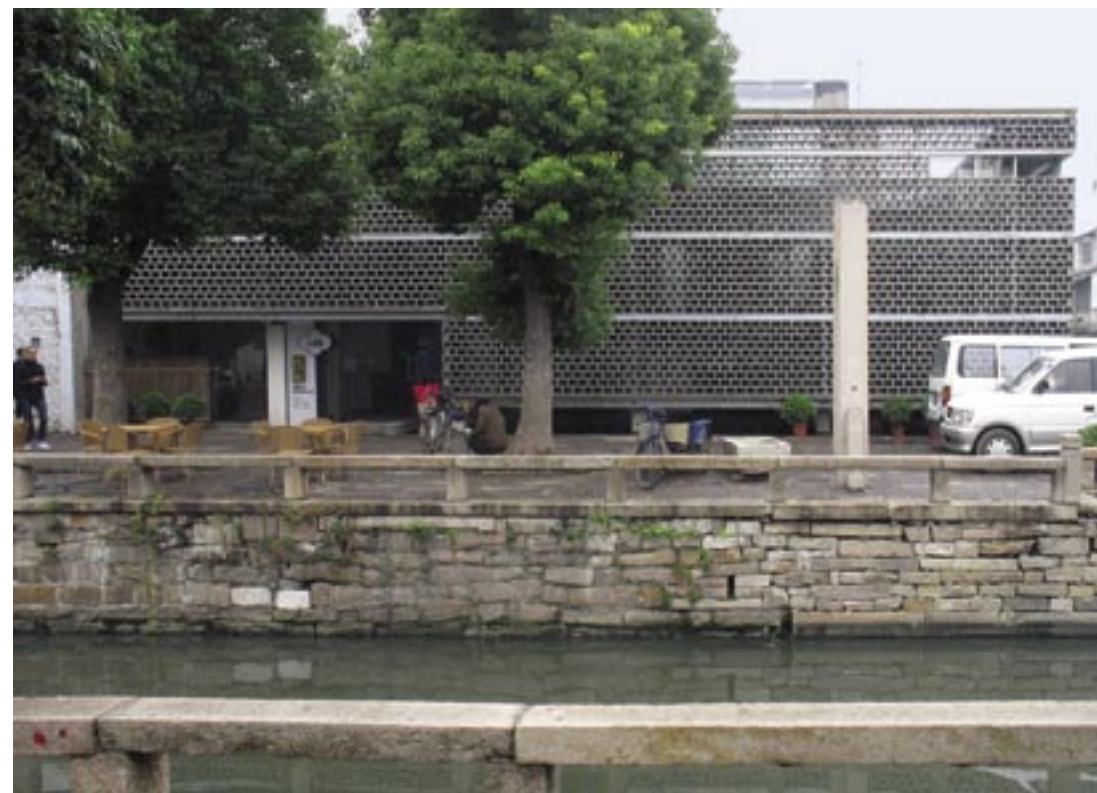
Den svenske arkitekt Sigurd Lewerentz' dogmatiske arbejdsgang med kun at ville anvende hele teglsten i sit byggeri, lader stenen træde i karakter og giver blandt andet udslag i afvigende brede studsfiger i en skalmur med halvstensforskuet løberskifte. S:t Petri Kirke, Klippan 1966. FOTO: KJELD VINDUM





↖
 Principtegninger over nogle af de mange hulmurskonstruktioner
 i 1200-tallets kina, som Dongs restaurant genfortolker i skalmuren.

↓ →
 Den unge kinesiske tegnestue Tong Ming Architects genfortolker på fornem
 vis traditionel kinesisk byggeskik og brug af den iltreducerede grå teglsten i
 deres restaurant i byen Suzhou. Hvor man i 1200-tallet lavede isolerende
 hulrum i murene ved at vende hvert andet løberskifte på højkant, giver Tong
 Ming Architects en ny tolkning af muren ved at fjerne de højkantstillede
 løberskifter og derved skabe en slags transparent ikkebærende skærm.
 Dongs restaurant, Suzhou 2003. FOTO: THOMAS BO JENSEN





Ornament eller dekoration? Den ikkebærende skalmur har alle muligheder for at udnytte murstensens format og evne til mønsterdannelse. Skalmure behøver ikke ligne fuldmuret byggeri. The Bridge 8, kulturelt center i ombygget fabriksområde, Shanghai. FOTO: THOMAS BO JENSEN



PLH arkitekter har tegnet det nyopførte Rigsarkiv, der ligger bag Postterminalen i København. På den teglbeklædte facade træder et runetegnslignende ornament frem, som, hvis man ser godt efter, kan læses som RIGSARKIVET.

RENDERING: PLH ARKITEKTER



Den hollandske tegnestue Mecanoo omskriver Hollands massivt dyrkede landskab til denne murværks-markcollage, der danner ramme om det nye indgangsparti til frilandsmuseet ved Arnhem.

FOTO: SERGE BRISON



ÆSTETISKE MURVÆRKS- PROBLEMER ER DILATATIONSFUGER NØDVENDIGE ?

Begrebet skalmur bærer på et kedeligt omdømme. Uærlig i sit udtryk, fordi den netop foregiver at være ét, men i virkeligheden er noget andet. Dertil kommer ødelæggende dilatationsfuger i facaden og uheldige sammenføjninger mellem mur og tag, mellem sokkel og mur, ved overgangen til vinduer etc.

ER DILATATIONSFUGER OVERHOVEDET NØDVENDIGE?

Dette spørgsmål har civilingeniør, ph.d., seniorforsker Klavs Feilberg Hansen fra Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) undersøgt i et forskningsprojekt. Her er hovedkonklusionen, at ved at overholde nogle få konstruktive regler, er det kun i særlige tilfælde nødvendigt at indlægge dilatationsfuger – nemlig hvor beregninger med rimelig sikkerhed viser, at dilatationsfuger kan forhindre revnedannelse.

KLIMABETINGEDE BEVÆGELSER I DE TO VÆGDELE

Formur og bagvæg i nyere ydervægge er klimamæssigt adskilt af varmeisoleringsmateriale. Det betyder, at de klimabetingede bevægelser i formuren styres af udeklimaet, mens de i bagvæggen styres af indeklimaet.

Disse bevægelser kan ikke uhindret foregå – af to årsager:

- Formur og bagvæg er forbundet til hinanden med trådbindere for at vindlasten kan overføres mellem dem. Det er især ved væghjørner, at binderne forhindrer bevægelserne – med risiko for lodret revnedannelse i formuren.

- Formuren er forbundet til fundamentet. Hvis formuren forsøger at trække sig sammen i forhold til fundamentet, vil der opstå vandrette trækspændinger i muren. Alt efter bevægelsernes størrelse og murens udformning med hensyn til dør- og vinduesåbninger vil disse trækspændinger kunne medføre revnedannelse i formuren.

LODRETTE REVNER KAN UNDGÅS VED HJØRNER

I SBI-rapporten opstilles formler til beregning af, hvornår bevægelserne bliver så store, at man kan forvente revnedannelse – og hvad man så skal gøre.

Med hensyn til revnedannelse i hjørner er de afgørende parametre dels afstanden fra hjørnet til første lodrette række af bindere mellem formur og bagvæg, dels længderne af de mure, der mødes i hjørnet. De opstillede formler viser, at hvis afstanden fra et retvinklet hjørne til første række bindere er to meter, og både formur og bagvæg er teglmure, kan murene have en ubrudt længde på op til 35 m, uden risiko for at der opstår en revne i hjørnet. Formlerne angiver også, hvordan længden af en ubrudt mur beregnes, hvis for eksempel hjørnet ikke er retvinklet. Yderligere angives i rapporten regler for, hvornår det er nødvendigt at etablere dilatationsfuger for at undgå revnerne.

VANDRETTE REVNER VED FUNDAMENTET

Observationer viser, at de trækspændinger der forårsages af, at formuren trækker sig sammen i forhold til fundamentet, eller når fundamentet forsøger at udvide sig i forhold til muren, sædvanligvis ikke vil føre til revner i muren. Det gælder også lange mure uden dilatationsfuger. I rapporten opstilles enkle beregningsmodeller til bestemmelse af disse trækspændinger – der understøtter observationerne.



En dilatationsfuge kan indarbejdes bevidst i en bygning og kan fremstå som et stærkt arkitektonisk udsagn som her over porten i Gottlieb Paludans transformatorstation fra 2006 på H.C. Ørstedsværket i København. Én eneste fuger skærer sig markant op gennem bygningen i forlængelse af døråbningen, den eneste der findes i facaden. FOTO: GOTTLIEB PALUDAN A/S

En undtagelse er dog mure, der indeholder store huller nær ved murens ender. I disse tilfælde er der i SBI-rapporten opstillet en formel til vurdering af, om resttværnsnittet har en tilstrækkelig styrke. En anden undtagelse er mure med så store huller, at resttværnsnittet består af mindre end 8-10 skifter. Ved så store svækkelser bør der indlægges en dilatationsfuge.

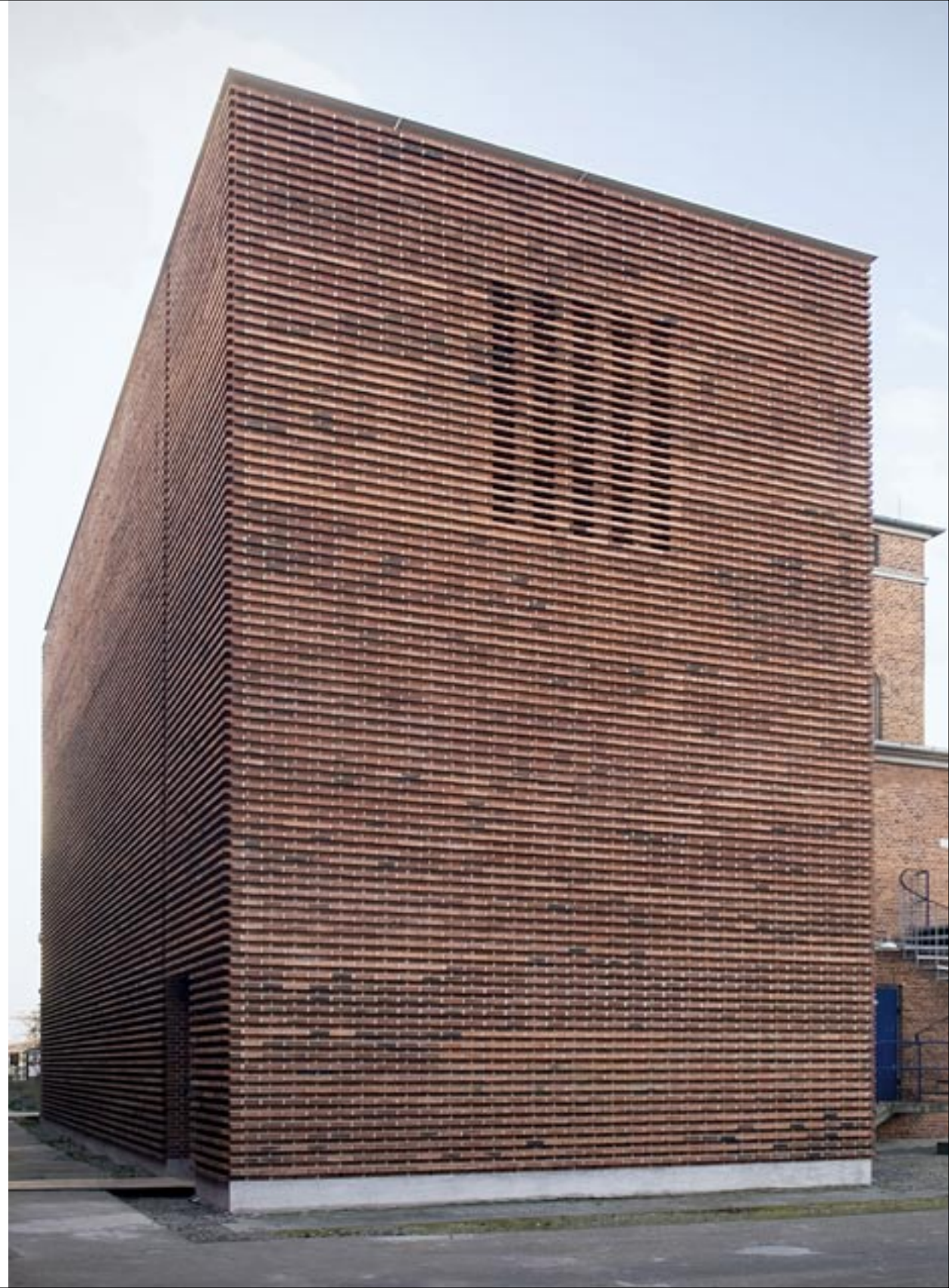
DILATATIONSFUGER – BÅDE GODT OG SKIDT

Når det skal vurderes, om ydervæggen skal udføres med dilatationsfuger, skal man være opmærksom på, at dilatationsfugerne svækker muren mindst lige så meget som den revnedannelse, de skal forhindre. Derudover øges både etablerings og driftsomkostningerne, da fugerne skal udskiftes med 10-15 års mellemrum⁶. Da dilatationsfuger samtidig i æstetisk henseende er uheldige, bør fugerne derfor kun bruges i de tilfælde, hvor man med rimelig sikkerhed kan sige, at de forhindrer revnedannelse.

Dilatationsfuger i ydervægge af tegl. Klavs Feilberg Hansen. SBI-rapport 291. Statens Byggeforskningsinstitut, 1998.

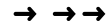
INGEN DILATATIONSFUGER

Den engelske arkitekt Tony Fretton har med sit prestigebyggeri Fuglsang Kunstmuseum på Lolland, der åbnede januar 2008, vedholdende insisteret på, at museets over 30 m lange mur skulle opføres uden udvendige dilatationsfuger. Trods protester fra de rådgivende ingeniører Birch & Krogboe, lykkedes det Tony Fretton at få dem overtalte til at undlade fugerne i den lange ydermur. Ingeniører er i det hele taget ved at åbne sig for muligheden for at arbejde mere på murværkets præmisser.



Den engelske arkitekt Tony Fretton har nægtet at anvende dilatationsfuger i den over 30 m lange mur på Fuglsang Kunstmuseum på Lolland, der åbnede i januar 2008, og fik nødtvungent ingeniørernes accept. FOTO: KLAUS BANG





De schweiziske arkitekter Herzog & de Meuron har stået bag den internationale vidt berømmede udstilling, *Archaeology of the Mind*, med det tilhørende smukke bogkatalog *Natural History* fra 2003, der har Philip Ursprung som kurator og redaktør. Udstillingen er som et kæmpe stort arkiv, ligesom de gamle dages naturhistoriske museumssamlinger, og viser alt fra materialer, herunder byggematerialer, til arkitekturmodeller, fossiler og reklamer. Danmark må gerne blive et mål for denne pragtudstilling. Billederne viser plancheudsnit af murværksforsøg i Kina. FOTO: NINI LEIMAND

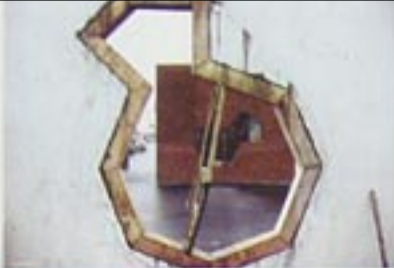
FORSKNING OG UDVIKLING I MURVÆRK PÅ BYG-DTU

Murerfaget har endvidere gennem en periode på 6 år initieret og støttet murværksforskningen på BYG-DTU, Institut for Bærende Konstruktioner. Civilingeniørerne Lars German Hagsten, Karsten Findsen og Lars Zenke Hansen har gennem årene forsket i murværks bæreevne og stabilitet, og alle tre har afsluttet arbejdet med en ph.d.-grad. Resultaterne viser, at eventuelle revner kun må forekomme i fugerne og aldrig i murstenen. Forskerne har fundet frem til, at det er glidningsmodstanden i skillefladen mellem delmaterialerne, der er afgørende for murværks bæreevne. De statiske beregninger af den aktuelle konstruktion skal baseres på viden om de valgte delmaterialers (mørtel og murstens) egenskaber. Sideløbende med forskningen har murværk været en del af undervisningen af civilingeniører. Ca. 200 studerende har i perioden gennemgået en omfattende og kompetencegivende undervisning i dimensionering af murede konstruktioner. Til brug for undervisningen er udarbejdet en lærebog som Lars German Hagsten har skrevet sammen med professor, dr.techn. Mogens Peter Nielsen. *Lærebog i murværk for ingeniører* indgår i kurset 'Murværkskonstruktioner' på DTU. Kurset blev afholdt første gang i foråret 2000, og bogen er skrevet på baggrund af forskningsresultater samt de noter, som blev benyttet ved dette kursus.



金华砖墙现场模型

JINHUA BRICK MOCK-UPS



DEN PROGRAMMEREDE MUR

I Zürich på ETH's arkitekturafdeling har arkitekterne Fabio Gramazio & Matthias Kohler videreudviklet en industrirobot, der er i stand til at lave forbandt og mønstre, som overgår hvad den menneskelige hånd i dag er i stand til.

Ligesom enhver anden teknologisk udvikling inden for bygningskunst åbner den digitale fabrikation for uanede anvendelsesmuligheder, og en helt anden lovmæssighed træder i kraft, når nye arkitektoniske gestalter opstår. I tilfældet murværk giver robotteknologien en ny forståelse af forbandt i den flettede mur, og det kan anspore brugerne af de mere traditionelle byggemetoder til at afsøge nye grænseområder inden for deres arbejdsfelt.

GANTENBEIN VINGÅRD

Det seneste eksempel på anvendelsen af robotten i praksis er et samarbejde mellem de schweiziske arkitekter Bearth & Deplazes og førnævnte Gramazio & Kohler om et lager til en vingård i den østlige del af Schweiz ved byen Fläsch.

Bearth & Deplazes er endnu en af Schweiz' mange talentfulde tegnestuer, der markerer sig ved at bygge med en stærk kontekstuel bevidsthed, og de viser med vingården i Fläsch, hvordan højteknologisk elementbyggeri ubesværet forenes med lokal bygningskultur.

Vinlagerets 420 m² store facade er bygget op af 71 facadeelementer, der hver måler op til 4,5 m i længden og er mellem 1,2 m og 1,5 m høje. Det er robotstens spændvidde, der definerer elementernes størrelse, og inden for hvert facadeelement centrerer hver enkelt række af sten omkring en lodret akse og vinkles i forhold til hinanden i vandret plan. Derefter limes de sammen med en tokomponent epoxy-lim.

For at kunne ventilere lageret tilstrækkeligt er studsfugerne i vingårdens tilfælde ca. 2 cm åbne luftspalter.

Robotten arbejder med en uhyre præcision og kan endnu ikke manøvrere med de måltolerancer, almindelige blødstrøgne standardsten produceres med, og det er derfor specialproducerede klinker fra de schweiziske teglproducenter Keller AG Ziegelein, der er anvendt.

Hvert facadeelement er fabrikeret på ETH's forsøgslaboratorium (Eidgenössische Technische Hochschule) i Zürich og er derefter transporteret og opsat på stedet.

DEN PROGRAMMEREDE MUR

Et klassisk forbandt er i princippet en algoritme, dvs. en slags opskrift på at løse et problem af en bestemt type. Omregnet til et computerprogram gør det robotten i stand til at lægge et hvilket som helst forbandt, og den tegner bogstaveligt talt et facadebillede frem ved hjælp af ganske små succesive forskydninger af stenene.

Gramazio & Kohler har afholdt et semesterkursus på ETH med titlen 'den programmerede mur', hvor de studerendes arbejde med robotten bringer fokus på murstenen som komponent. Hvis man er optaget af de uendeligt mange muligheder, stenens format og tredimensionalitet giver den stablede mur, viser de studerendes forslag en helt ny frihed i anvendelsen af murværk.

DEN MATEMATISK ORNAMENTEREDE FACADE

Tilbage til vingården simulerer facaden en gigantisk drueklase i kurv, og ser man nøje efter, tegner forskydningerne af stenene et billede frem af store druer på hele facaden. Indefra virker skyggeeffekten og lysindfaldet drama-

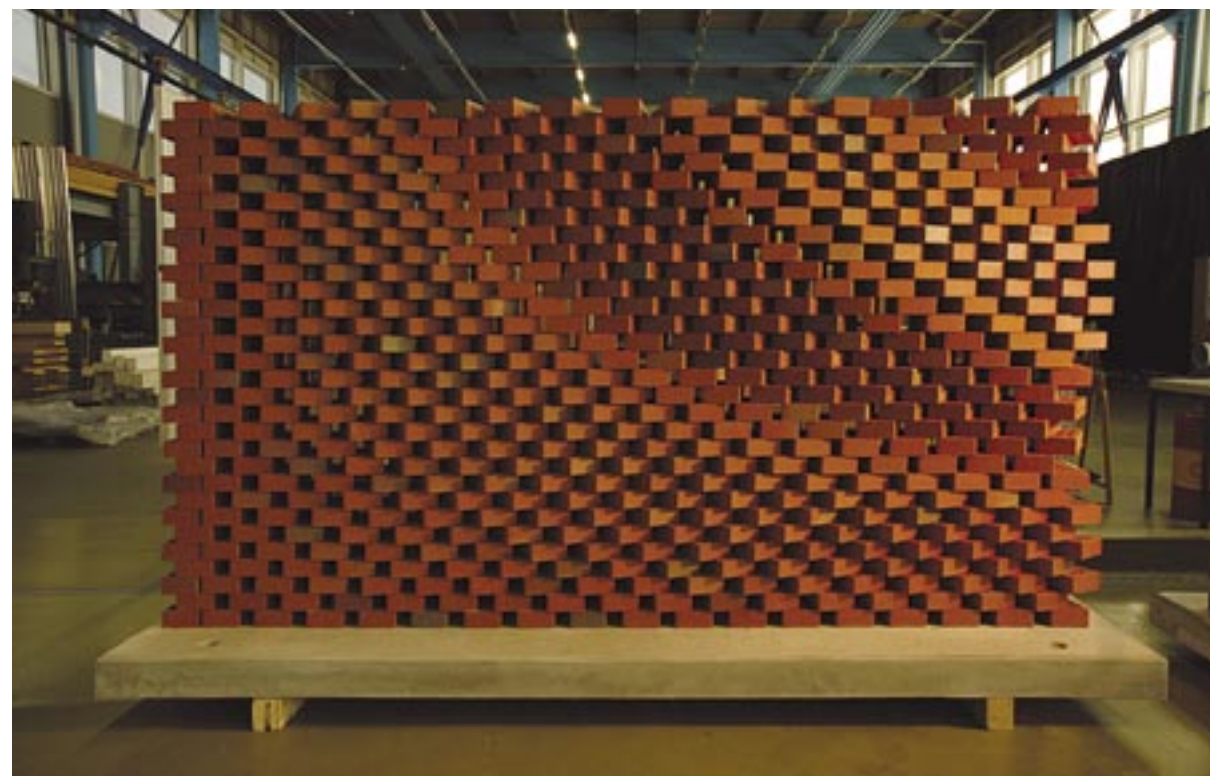
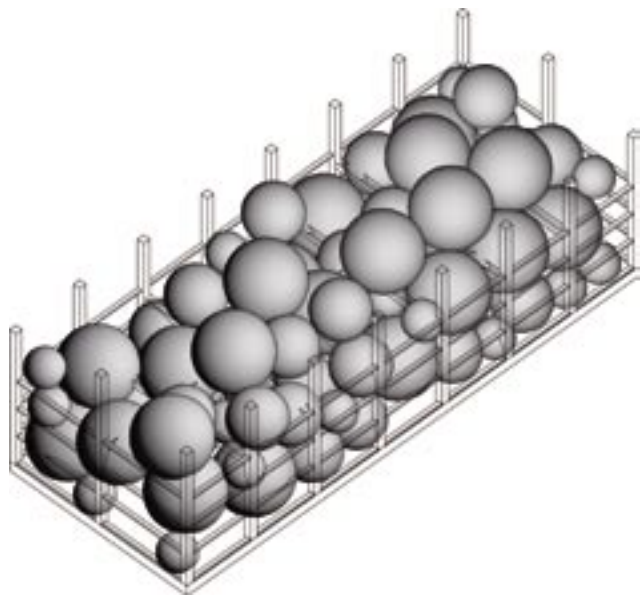
→
På ETH i Zürich har et forskerteam udviklet et avanceret computerprogram, der kan omregne ethvert forbandt til en simpel algoritme. Robotten har en arbejdsratio, der er ca 8 m i længden og 3,6 m i højden. Fra forsøgslaboratoriet på ETH. FOTO: GRAMAZIO & KOHLER ARCHITECTS

→ →
Gantenbein Vinlager set indefra og udefra. De åbne studsfulger, som sikrer ventilation til vinlageret, har en dramatisk visuel effekt, og murværket fremstår nærmest transparent. Ser man efter, tegner murstenene en gigantisk klase af vindruer lagt i en kurv, sådan som indsatte rendering viser. Robotten er i stand til at dreje og vinkle mursten i forhold til hinanden med få millimeters forskydning. Arkitekt: Bearth & Deplazes. FOTO: RALPH FEINER

tisk, og den åbne studsfuge opnår maksimal effekt af sin nødvendige tilstedeværelse.

Det er måske her, den nye lovmæssighed tydeligst træder frem. For i det facadebillede, der kan tegnes – eller rettere, regnes frem med mursten – bringes nye facetter til en diskussion om den ornamenterede facade.

Robotten har dog sin begrænsning og arbejder endnu kun inden for en ramme á 3 x 5 m, men den giver forhåbninger om en afsmitning på murerens og arkitektens formåen for at tænke hus på murstenens præmis og igen begynde at tænke på stenen som en komponent, der kan flette sig ind og ud og rundt om nye løsninger og sammenføjninger.







MURSTEN SOM TERMISK MASSE

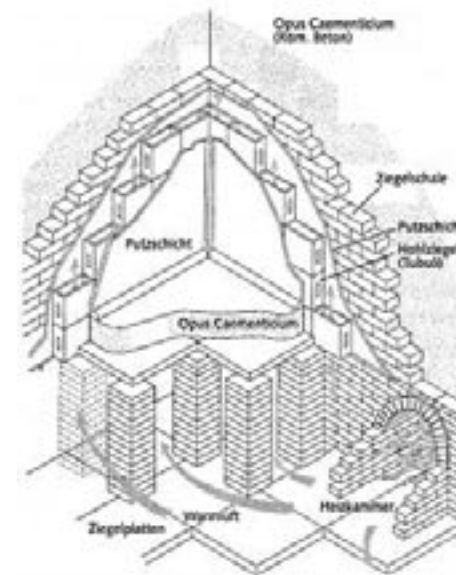
Mon ikke mange kan genkalde sig fornemmelsen af en sensommeraften at læne sig op ad en murstensmur og mærke, hvordan den frigiver den akkumulerede varme, som gennem et dagsforløb er opsuget i murstenene. Netop stens varmeakkumulerende evne udnyttede man i Romertiden som termisk masse. Med det fokus, der er på energiforbruget i dag, er det oplagt igen at udnytte murstenen som termisk masse.

HYPOCAUSTUM

Romerne udviklede et særligt opvarmningssystem, de kaldte Hypocaustum til deres badeanstalter (Thermae). Hypocaustum er græsk og betyder underjordisk opvarmning, og det foregik via et underjordisk kanalsystem, hvor slaver i smalle, hvælvede gange sørgede for opvarmningen, så den varme damp kunne trænge op og opvarme rummene. Også væggene var forsynet med kanaler, og varm luft førtes ind under gulvene, der var hævet på små støttestøtter i tegl. Den varme luft kom fra de ovne, som opvarmede badevandet. Også i de kuplede lofter kunne der være indbygget hule teglsten, så den varme luft kunne cirkulere.

MASSIV MUR

De schweiziske arkitekter Bearth & Deplazes har i deres tilbygning til et galleri for moderne kunst i Marktoberdorf i Tyskland udnyttet murværkets termiske egenskaber og har opført galleriet i 50 cm massiv mur. Inspireret af den antikke romerske opvarmningsteknik har Bearth & Deplazes indmuret to kobberrør med varmtvands-cirkulation lige over gulvhøjde i indervæggen. Det har vist sig at opvarme overraskende effektivt, med mindre spildvarme end almindelige konvektorapparater.



Hypocaustum er græsk og betyder underjordisk opvarmning. Et underjordisk kanalsystem opvarmer rummet i de store badeanstalter (Thermae), hvor den varme damp kunne trænge op. Også væggene var forsynet med kanaler, og varm luft førtes ind under gulvene, der var hævet på små støttestøtter i tegl. Den varme luft kom fra de ovne, som opvarmede badevandet. ILLUSTRATION: ZEITSCHRIFT FÜR KLASSISCHE ARCHÄOLOGIE 44/IX/2007. FOTO: ROBERT BRINK

TERMOAKTIVE KONSTRUKTIONER

Et andet princip anvender Lundgaard & Tranberg Arkitekter til Skuespilhuset i København, hvor de i samarbejde med COWI A/S anvender termoaktive betonkonstruktioner, hvor havvand og overskudsvarme fra teatersalen skal køle og opvarme dele af bygningen ved hjælp af plastikslinger indstøbt i betondæk. Formålet er dog det samme, nemlig at udnytte den tunge konstruktions termiske egenskaber og dermed reducere energiforbruget.

→
 Simuleringsresultater af temperaturforløb for udendørstemperatur (blå), indvendig temperatur for standard let konstruktion (sort) og indvendig temperatur for tung konstruktion med eksponeret termisk masse (rødt) over et tidsinterval på 24 timer. Vi ser, at den indvendige temperatur i den lette konstruktion svinger mellem 17°C og 32°C, mens den indvendige temperatur i den tunge konstruktion blot svinger mellem 22°C og 26°C. Udendørstemperaturen svinger i det samme tidsinterval mellem 13°C og 27°C. Både opvarmnings- og kølebehovet er følgelig lavest for den tunge konstruktion. Dette er grunden til, at det er mindre energikrævende at opretholde en jævn temperatur i en tung bygning end i en let. Ved bevidst udnyttelse af termisk masse flyttes overskudsvarme fra dagtid til nattetid, og på den måde reduceres både kølebehovet og opvarmningsbehovet.

MINDRE ENERGIFORBRUG

Nye undersøgelser fra Norge peger på en energibesparelse på op til 20%, hvis man udnytter murstensvæggen som eksponeret termisk masse.

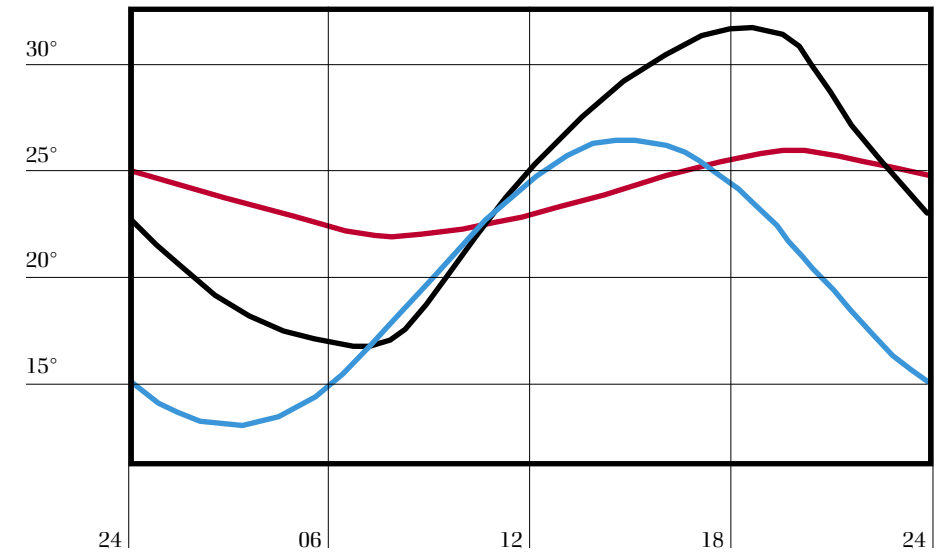
Det giver en mere stabil temperaturkurve og dermed mindre behov for afkøling i løbet af et døgn. Mekanisk afkøling og ventilation bruger 20% mere energi, end bygninger som klimatiseres passivt, og udnyttelsen af murstensvæggen vil dermed give en besparelse på op til 20% af energiforbruget. Forudsætningen for at kunne udnytte en termisk tung konstruktion er, at den virker som energireservoir i forhold til de rum, den er eksponeret mod.

Energireservoirets egenskaber i forhold til rummet afhænger af:

- Evnen til at holde på varme (varmekapacitet).
- Evnen til at lede varme (konduktivitet).
- Hvordan varmekapaciteten og konduktiviteten er i overensstemmelse med døgncyklus for rummets ydre påvirkninger.

Eksempler på forskellige materials egenskaber som energireservoir:

- **Mineraluld** leder varmen dårligt og har ringe varmekapacitet. Det betyder, at materialet ikke udgør et reelt reservoir.
- **Stål** har god varmekapacitet, men leder samtidig varmen for godt. Det betyder, at energireservoiret lades og tømmes for hurtigt i forhold til døgncyklus.
- **Træ** har også relativt god varmekapacitet, men leder varmen dårligt. Den ringe ledningsevne gør, at energireservoiret lades og tømmes for langsomt i forhold til døgncyklus.



- **Murværk og Beton** har god varmekapacitet og moderat ledningsevne. Denne kombination gør, at energireservoiret kan lades og tømmes i overensstemmelse med døgncyklus.

Bygningsmaterialerne beton og murværk har ideel varmekapacitet og konduktivitet i forhold til at opmagasinere og afgive termisk energi i overensstemmelse med døgncyklus. Temperatursvingningerne over døgnnet vil derfor være mindre i en bygning med høj termisk masse end i en bygning med lav termisk masse.

Udnyttelse af den termiske masse forudsætter imidlertid:

- At den termiske masse er eksponeret mod opholdsrummet.
- At den termiske masse ligger inden for isoleringsmaterialet.
- At den termiske masse kan eksponeres for natafkøling gennem naturlig eller mekanisk ventilation eller køles med cirkulerende koldt vand, såkaldt frikøling.

I forbindelse med at udnytte de tunge konstruktioner er det nødvendigt at eliminere kuldebroer.

Spørgsmålet er, om massivt murværk igen kan introduceres på markedet, og kan det opveje økonomiske overvejelser og diskussionerne om kuldebroer og indeklimaproblemer.⁷ Se: www.byggutengrenser.no



Marktoberdorf Galleri i Tyskland fra 2001 er bygget i 50 cm massiv murværk og udnytter teglstenens varmeakkumulerende egenskaber. To 10 mm kobbervarmerør, lagt 20 cm over gulvhøjde i hele bygningen, udgør bygningens varmesystem. Den massive mur holder en konstant temperatur, som er særdeles velegnet i et kunstgalleri.

Arkitekt: Bearth & Deplazes

FOTO: NINI LEIMAND



30 mm studsfuge og 10 mm liggefuge i massivt murværk. Bemærk den temmelig udogmatisk måde at ophænge kunsten i rummet på.

Arkitekt: Bearth & Deplazes

FOTO: NINI LEIMAND



Lundgaard & Tranberg Arkitekter og COWI A/S anvender termoaktive betonkonstruktioner til Skuespilhuset i København, hvor havvand og overskudsvarme fra teatersalen skal hhv. køle og opvarme dele af bygningen ved hjælp af plastikslanger indstøbt i dæk.

FOTO: JENS MARKUS LINDHE



Nye og andre materialer i leret sammen med andre stenformater er i begyndende udvikling. Der er grøde i luften, i hvert fald hvad angår nye former for tegl og tegltyper. Inden for materialeblandinger og -sammensætninger, de såkaldte kompositsten, er udviklingen dog ikke så stærkt repræsenteret i offentligheden – endnu – og vil derfor ikke blive omtalt i denne rapport.

Teglproducenter har taget initiativer til gode tværfaglige samarbejder med både arkitektskoler, tekniske skoler og billedkunstnere, og især Frankrig, Holland og Norge er langt fremme, hvad angår mere kunstnerisk udvikling af tegltyper.

QUASISTEN

Den dansk-islandske kunstner Olafur Eliasson har til sit projekt *soil quasi brick* på Biennalen i Venedig i 2003 videreudviklet en ny type mursten med en helt anden ikke-euklidiske geometri. Det drejer sig om en rumfangsgeometri baseret på en 5-dobbelt symmetri og er en matematisk beskrivelse af en såkaldt quasi-kaotisk krystalgeometri, fundet af den israelske fysiker Dany Shechtman i 1984. Stenen er udsprunget af et samarbejde med den islandske arkitekt og kunstner Einar Thorsteinn, der er optaget af den form for geometri i sine arbejder. Quasistenen kan roteres i seks forskellige positioner, og sat sammen til murværk danner de et komplekst mønster ved tilfældighedsprincippet. Og det er netop denne tilfældigheds-grundtanke og det komplekse mønsterværk, der udgør det intrikate ved stenen.

En barok anekdote knytter sig til stenens tilfældighedsprincip, idet den japanske arkitekt Tadao Ando i forbindelse med opførelsen af et af sine huse i Japan havde overtalt bygherren til at engagere Eliasson til udsmykning af et atrium med disse quasisten, denne gang i en platinglaseret udgave. Da der



Den dansk-islandske kunstner Olafur Eliassons Quasi-brick fra 2003 er interessant pga. sin komplekse rumgeometri og evnen til at danne et fastlåsningsystem stenene imellem. FOTO: ANNE-METTE MANELIUS

skulle anvendes tusinder af sten til projektet, havde Eliasson og hans arbejds-team imidlertid ikke udtænkt en måde til at indikere hver enkelte stens rotation, da hovedideen netop er at lade tilfældighedsprincippet råde. Japanere er velkendt for deres grundighed og kunne imidlertid slet ikke forlige sig med Eliassons tanke om tilfældig opsætning. De nægtede at arbejde uden tegninger af en nøjagtig opstilling af hver enkelt sten.

Med et CAD-program skulle man imidlertid bruge over en uge på at tegne hver enkelt stens position, men et matematisk computerprogram, Matlab, kunne hurtigt generere en tilfældig serie af numre fra 1-6 i lige så mange rækker og kolonner som nødvendigt, og informationerne blev derefter lagt ind i CAD-programmet til præcise arbejdstegninger. Problemet blev dermed løst i løbet af en nat. Quasistenen er som sagt interessant pga. dens komplekse rumgeometri, og dens evne til at danne et fastlåsningsystem stenene imellem.

KOLUMBASTEN

Den danske teglproducent Petersen Tegl har imidlertid også lavet udviklingsarbejde med større tegnestuer både i udlandet og i Danmark.

Den seneste sten er Kolumbastenen, som blev udviklet i samarbejde med den schweiziske arkitekt Peter Zumthor til et kirkekunstmuseum i Köln. Museet – og stenen – er opkaldt efter den nærliggende kirke, skt. Kolumba, projektet er blevet kåret som vinder af BRICK AWARD 08.

Kolumbastenen er brændt med vægtreducerende tilslag, som øger isole-ringsevnen og forbedrer de akustiske egenskaber.

Det var netop Kolumbastenens sder fik den danske tegnestue Lundgaard & Tranberg Arkitektfirma til at gå videre med en mørkere og smallere udgave af stenen til Skuespilhuset i København.

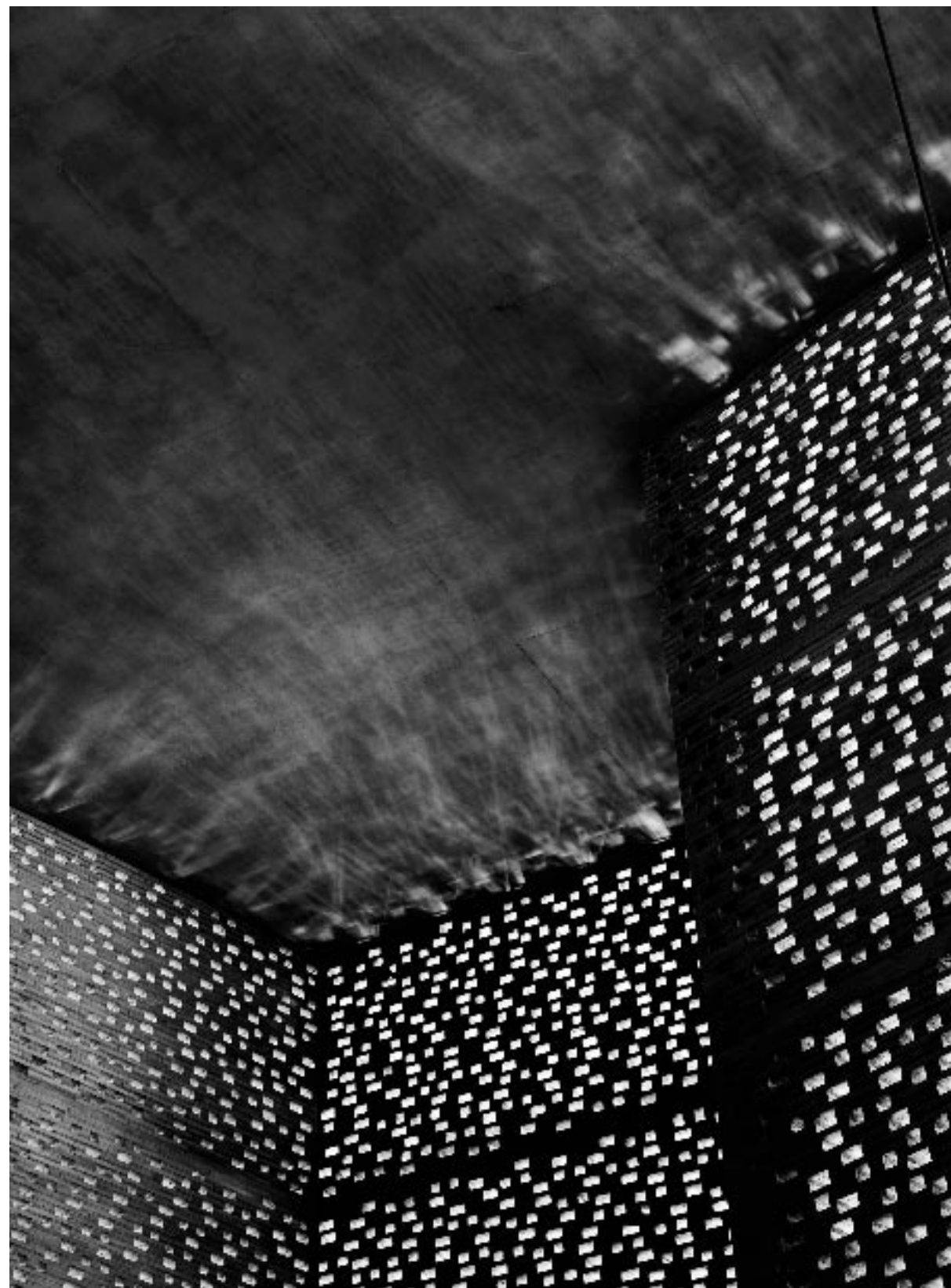




Den massive mur opløses af et mylder af luftspalter, der både tillader dagslys og naturlig ventilation til de arkæologiske udgravninger, Kolumbamuseet danner ramme om. FOTO: HÉLÈNE BINET



Den schweiziske arkitekt Peter Zumthors Kolumba Museum, der åbnede i februar 2008 i Köln, anvender den isolerende teglblok i forbandt med en selvbærende skalmur. En konstruktion, der er værd at lægge mærke til, fordi den kobler teglstenens skønhed og vejrfasthed med blokmurværkets lastbærende, isolerende og varmeakkumulerende masse. FOTO: HÉLÈNE BINET



→ Skiftegangsnøgle til Skuespilhuset.

TEGNING: LUNDGAARD & TRANBERG ARKITEKTER

→ → Skuespilhuset København, Lundgaard & Tranberg Arkitekter.

FOTO: JENS MARKUS LINDHE

SKUESPILHUSETS MURSTENSFORMATER

Formatet på murstenen til Skuespilhuset er tilpasset den danske murværks-tradition, hvor vandrette mål af mursten + 1 fugedeles med 6 cm, og lodrette mål for sten og fuger går op med 20 cm.

Stenen måler 3,5 cm i højden, men de øvrige dimensioner er variabler fra en bredde på 11 til 17 cm og en længde fra 35-53 cm.

FORBANDT

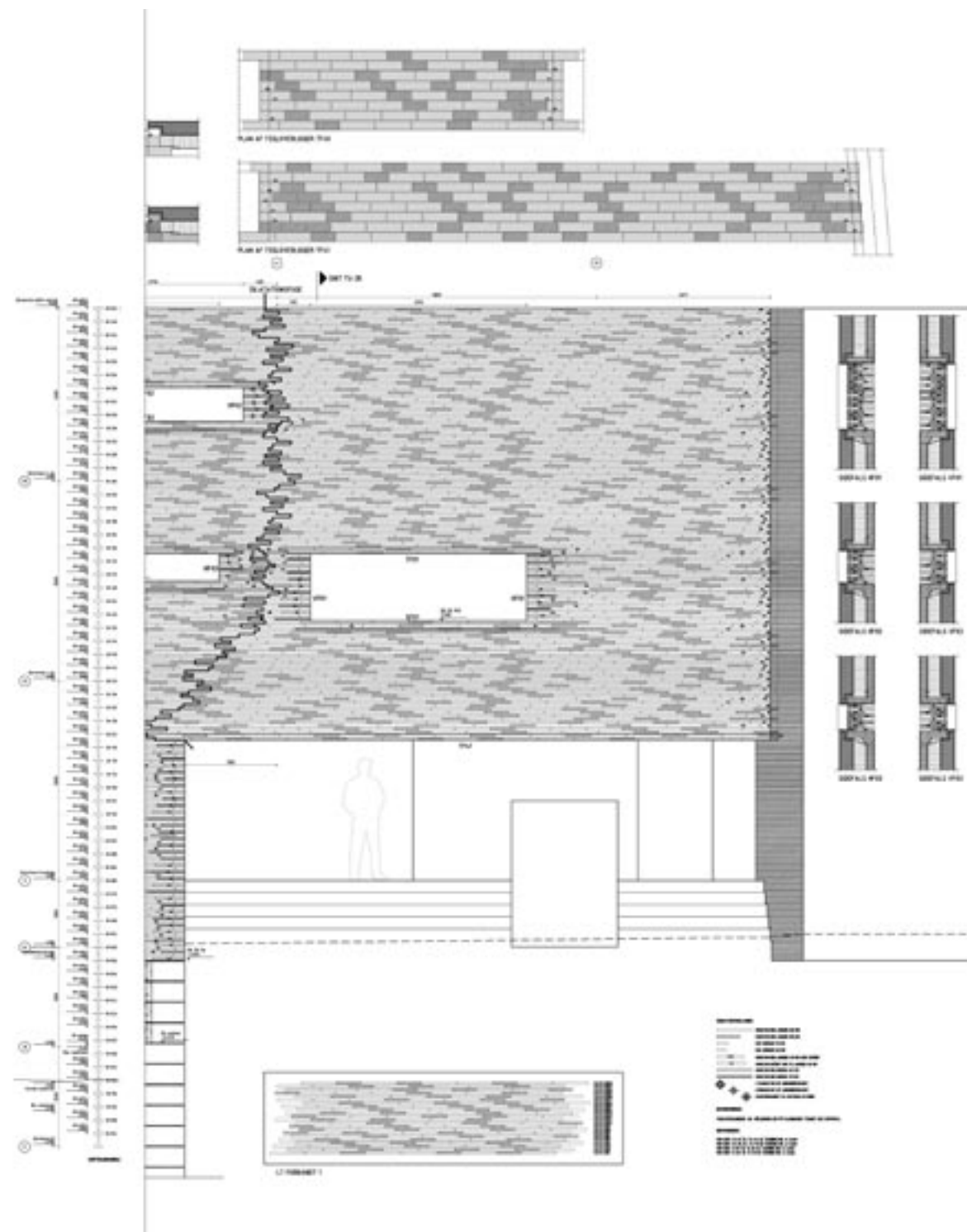
Skuespilhuset har fået sit helt eget facadeforbandt, som tegnestuen har udviklet for at undgå gentaget mønsterdannelse og for at understrege de vandrette linjer, det lange stenformat byder op til.

Forbandtet gentages først efter 22 skifter og 432 cm i længden, hvor hver række udgøres af 6 sten på 53 cm og 3 sten på 35 cm.

HVER STEN SIN MØRTEL

Stenen til Skuespilhuset er hårdere brændt, end de sten der normalt er på det danske marked, og man har brugt særligt engelsk ler, der kan tåle høje temperaturer. De høje temperaturer bevirker, at stenene slår sig og bliver skæve med grater og synlige sætmærker, og det rustikke udtryk, stenen dermed har fået, har været tilstræbt fra tegnestuens side.⁸

En hårdere brænding kræver imidlertid en anden type mørtel, og Lundgaard & Tranberg udviklede i samarbejde med Maxit en mørtel, der passede til stenen.







FOA, Foreign Office Architects, spejler med Spaniens EXPO Pavillon i Japan 2005 landets farverige keramiske tradition og laver en stærk genfortolkning af landets mange glaserede klinkerbeklædte facader. Et varieret facadeudtryk skabt gennem seks forskellige typer af pentagoner, der hver især passer sammen og kan stables til en stabil konstruktion. Pavillonens pentagoner er spændt op i et wiresystem og kan nemt tænkes overført til murværk. FOTO: FOA





Den norske kunstner Hilde A. Danielsen udvikler keramiske moduler med geometriske mønstre, der danner en opsigtsvækkende transparens med stor optisk virkning. 2007. FOTO: .EKWC



Hollandske Arnout Visser og Erik Jan Kvakkels eksempel på en lydabsorberende teglsten. 2007. FOTO: .EKWC



Christine Saalfeld fra München arbejder med arkitekturobjekter og anvender i objektet 'Muttertier' (moderdyr) skællignende glaserede tegl. Projektet er fra 2007. FOTO: .EKWC



KORT OM MØRTEL

Mørtel er en fællesbetegnelse for blandinger af uorganiske bindemidler og tilslagsmaterialer, som det er muligt at ælte sammen med vand. Mørtler karakteriseres efter bindemidlets art:

- Kalkmørtel: K-mørtel.
- Hydraulisk kalkmørtel: Kh-mørtel.
- Cementmørtel: C-mørtel.
- Blandingsmørtel (bastardmørtel): KKh-mørtel og KC-mørtel.

Bogstavbetegnelsen er efterfulgt af et tal eller en talkombination, som angiver blandingsforholdet mellem bindemiddel og tilslagsmateriale.

KC 50/50/700 er f.eks. betegnelsen for en blandingsmørtel bestående af 50 kg kalk, 50 kg cement og 700 kg tilslagsmateriale udmålt efter vægt. Summen af bindemidlerne er altid 100.⁹

Man benytter to primære betegnelser for mørteltyper, receptmørtler og funktionsmørtler. Receptmørtel er mørtel, som fremstilles efter ovennævnte fastlagte blandingsforhold, og hvis egenskaber normalt kun vurderes ud fra deklARATIONEN af sammensætningen af bindemidler og tilslagsmaterialer. Receptmørtel kan enten leveres som færdig tørmørtel fra fabrik med alle delmaterialerne udmålt efter vægt, eller de kan byggepladsfremstilles ud fra en såkaldt kalktilpasset vådmørtel, der tilsættes cement under opblanding på byggepladsen. Trykstyrker og vedhæftningsstyrker for disse mørtler er baseret på erfaringstal og vurderes ikke særlig højt, da de dækker et bredt spektrum af mørtler med forskellige kalktyper, tilslag og fremstillingsmetoder. De vedtagne betegnelser, som nævnt ovenfor, er imidlertid ikke entydige, da de intet fortæller om tilslagsmaterialets art og kornstørrelse. De fortæller heller

intet om anvendelsen. F.eks. er skarpkantet tilslagsmateriale som bakkemateriale bedre end strandsand, som har en afrundet form som følge af havets påvirkninger. Er tilslagsmaterialet for groft uden de finere korn, vil hulrumspromenten være for stor, og mørtelen vil svinde. Er tilslagsmaterialet for fint uden de større korn, er sandet for ”blødt”, og mørtlen vil blive for svag i forhold til den forudsatte styrke.

Funktionsmørtel er beskrevet ved dens egenskaber i stedet for blandingsforholdet. Egenskaberne kan være mørtlens trykstyrke, vedhæftningsstyrke, farve og frostfasthed. Funktionsmørtlerne indeholder kontrollerede mængder additiver, som for eksempel gør mørtlen smidig at arbejde med. Mørtlerne skal typeprøves, og recepten er producentens ejendom, hvilket medfører, at additiver og blandingsforhold ikke nødvendigvis deklarerer, men er fabriktionshemmeligheder.

Mørtelens kemiske sammensætning sammen med stenens kemiske sammensætning har i årevis givet bygningsingeniørerne grå hår i hovedet, når der skulle beregnes mørtelstyrke mod teglstenens minutsugning. En teglstensproducent bestemmer en murstens minutsugning for hver enkelt stentype og brænding. Minutsugning er hvor meget vand, teglstenen kan opsuge på et minut. En meget stærkt sugende sten kan derfor under muring opfattes helt forskellig fra en svagt sugende sten, og forkert valg af mørtel kan af muren opleves som om murværket sejler.¹⁰

Med teglstensproducentens angivelse af minutsugningen skulle det være muligt at kunne undgå uheldige kombinationer mellem teglsten, mørteltype og årstid, da også årstid og vejrlig kræver forskellige blandinger af mørtel.

Det vil være et kærkomment og tiltrængt tiltag, hvis der bliver åbnet op for større samarbejde mellem arkitekter og producenter af tegl og mørtel.

LIVSCYKLUS FOR MURSTEN



Et markant bidrag til den spirende industrikultur i begyndelsen af forrige århundrede er arkitekt Alfred Cock-Clausens Spritfabrikker i Aalborg fra 1929. FOTO: METTE JERL JENSEN

De forholdsmæssigt høje opførelsesomkostninger ved murværksbyggeri kan afskrække bygherrer, og det virker ofte, som om der ikke skeles til totalomkostninger og livscyklusberegninger i byggeriet, set over en længere tidshorison.

Murværk oplever derfor hård konkurrence fra andre, ikke så opførelsesomkostningstunge byggematerialer, idet de tal, der står på bundlinjen, når byggeriet netop er opført, som regel er udslagsgivende for beslutningerne.

Beregner man imidlertid en livscyklus for tegl og murværk, ser resultatet helt anderledes ud, både i økonomisk og bæredygtig henseende. Der er imidlertid brug for standardiserede målemetoder, så byggematerialers livscyklus kan blive et aktivt værktøj i en moderne projektøkonomi.

Teglmateriale er energikrævende i produktionsfasen, men på grund af materialets bestandighed, som sikrer lang levetid og kun kræver lidt vedligehold, kombineret med mulighederne for genbrug, står tegls endelige resultat i en livscyklusbetragtning stærkt i forhold til andre byggematerialer.

Anvender man tillige murværk på den rette måde, kan man opnå betydelige reduktioner af energiforbruget i selve driftsfasen som beskrevet i afsnittet om termisk masse.

Miljøstyrelsen har udarbejdet en rapport for kalk- og teglværkerne i samarbejde med Teknologisk Institut og DEMEX Rådgivende Ingeniører A/S. Rapporten peger på, hvordan man især i produktionsfasen kan reducere energiforbruget ved at sikre en optimering af kornstørrelsesfordelingen i leret, idet en optimeret kornstørrelsesfordeling giver et lavere vandindhold i leret og dermed reducerer energiforbruget i tørringsprocessen.

Se endvidere: www.mst.dk/udgiv/artikler/1999/99057.htm



KONKLUSION

Rapporten har anvist felter, som tegner lovende for nærmere efterforskning inden for mursten som termisk masse, nye stenformater og mørteltyper og brug af digital fabrikation.

Sammenfattende kan konkluderes, at:

- Murerbranchen viser vilje, vej og åbenhed over for tiltag, der allerede er iværksat inden for nytænkning af en traditionsbåren branche.
- Ingeniører åbner for nye måder at beregne murværk og anfægter berettigelsen af den for arkitekter så forhadte dilatationsfuge i byggerier.
- Digital fabrikation åbner nye muligheder for måder at anvende mursten og tænke murværk på.
- Bevidst omgang med murstenens termiske egenskaber kan reducere energiforbruget med op til 20%.
- Nye sten- og mørteltyper skal udvikles i samarbejde mellem tegnestuer, tegl- og mørtelproducenter.
- Økonomiske beregninger af livscyklus for facadematerialer sidestiller mursten med andre materialer, når man indregner drift og vedligeholdelse.

Murstenen rummer med andre ord svar på nutidige spørgsmål om murværkets fremtid. Den har potentiale til at imødekomme nye behov og kan fortælle en bredere historie ud over bygningens egen konstruktion.



Ingeniøren og arkitekten Eladio Dieste fra Uruguay arbejdede skulpturelt med armeret murværk i sine projekter. Det er lykkedes ham at overføre betons regler for statik til det armerede murværk. FOTO: YOSHIHIRO ASADA/A+U



NOTER

- 1 TEGL 1, teglfremstilling.
- 2 Søren Bøgh Murerfaget 1960-2004.
- 3 Kalk & Teglværksforeningen af 1893, Dansk Byggeri, 3F.
- 4 *Murerfaget i bevægelse*, 2007
- 5 Tommy Bisgaard, Kalk og Teglværksforeningen af 1893.
- 6 Københavns Murerlaugs Priskomité påpeger, at levetiden for dilatationsfuger snarere er 5-10 år.
- 7 Rapporten *Termisk masse og klimatisering af bygninger* udkom i maj 2007
- 8 Petersen Tegl, Lundgaard & Tranberg, Arkitektur-dk 308.
- 9 Nordisk forum for bygningskalk.
- 10 Maxit håndbogen www.maxit.dk

LITTERATUR

- Arq, architectural research quarterly*, vol. 10, no 2, London 2006
- Arkitektur-dk 308*, København 2008
- Bang, H.L., *Murerfagets udvikling, Barrierer og muligheder*, København 2001
- Dahl T, Sørensen P, Beim, A., *Den hule mur- et udviklingsprojekt*, København 1992
- Dahl, T., Wedebrunn, O., *Københavns murede huse i det 20. århundrede*, København 2000
- Fog, E., *Murerfaget i bevægelse – Et innovationsprojekt*, København 2007
- Gustavsson T., *Moderna tegeldetaljer – med teglets materialitet som udgangspunkt*, Lund 2008
- Leimand, N., *Blokmur-murblok*, København 2008
- Manelius, A.-M., *Flydende Sten*, København 2007
- Maxit, *Maxit Håndbogen*, Århus 2007
- Nordisk Forum for Bygningskalk, Raadvad, www.kalkforum.org
- Sintef-Termisk masse og klimatisering av bygninger*, Trondheim 2007
- Techniques & Architecture*, no 492, Paris 2007

Herudover findes i bogen en række henvisninger til websites knyttet til eksemplerne

MURVÆRK

Forudsætninger, problemer, muligheder
Udredningsprojekt af CINARK
ved Arkitekt MAA Mette Jerl Jensen
Grafisk tilrettelæggelse: Michael Jensen
Korrektur: Eva Amdisen
Tryk: Narayana Press
ISBN: xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
Printed in Denmark 2008

© **CINARK**

Det Kongelige Danske Kunstakademi
Kunstakademiets Arkitektskole
Institut for Arkitekturens Teknologi
Center for Industriel Arkitektur
Philip de Langes Allé 10
1435 København K
www.cinark.dk

