

Alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel



Andreas Hansson och Sven Hanzén

Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet, 2006

Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola
Box 118
221 00 LUND

Department of Structural Engineering
Lund Institute of Technology
Box 118
S-221 00 LUND
Sweden

Alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel

Alternative methods to bridge openings in clay brick facades

Andreas Hansson och Sven Hanzén

2006

Rapport TVBK-5136
ISSN:0349-4969
ISRN: LUTVDG/TVBK-06/5136+91p

Examensarbete
Handledare: Johan Jönsson
Januari 2006

Förord

Examensarbete, 20 poäng, har genomförts på Avdelningen för Konstruktionsteknik vid Lunds Tekniska Högskola.

Undertecknade vill tacka handledaren Johan Jönsson för god handledning och stort engagemang och examinatorn Miklós Molnár för de viktiga synpunkter som framförts. Vi vill även tacka Per-Olof Rosenqvist för all praktisk hjälp vi har fått.

Lund, januari 2006



Andreas Hansson



Sven Hanzén

Alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel

Sammanfattning

Titel: Alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel

Författare: Andreas Hansson och Sven Hanzén

Handledare: Teknologie doktor Johan Jönsson, Institutionen för Bygg- och Miljöteknologi, Avdelningen för Konstruktionsteknik vid Lunds Tekniska Högskola

Problemställning: Fastighetsbeståndet byggt mellan 1940-70, med tegelfasader av skalmurstyp, har omfattande skador på grund av rostande armering och kramlor. Anledningen är att de stålsorter som användes för armering och infästning inte var korrosionsbeständiga fram till 1980-talet.

Initialt uppträder problemen över öppningar där armering finns i det understa tegelskiktet. Då täckskiktet är otillräckligt börjar stålet ganska omgående att rosta vilket leder till att tegelbalkarna trycks sönder av rostens volymökning. Vid reparation av skadade tegelfasader är det svårt att hitta ersättningstegel med samma kulör och textur som befintligt tegel, vilket leder till att fasaden förändras och helhetsintrycket försämras.

I stället för att försöka efterlikna ursprungsteglet kan alternativa metoder för att överbrygga öppningar utarbetas med andra material såsom stål, trä och betong. Detta ställer olika konstruktiva och gestaltningsmässiga krav på balkarnas utformning. De alternativa metoderna måste utformas med hänsyn tagen till den miljö som balken skall befinna sig i.

Syfte: Rapportens syfte är att presentera alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel, gestaltningsmässigt och konstruktivt. Förslagen skall kunna användas vid nyproduktion och renovering. Till de framtagna förslagen skall detaljritningar, arbetshandlingar och fullskalemodeller utarbetas som kan användas för utvärdering i projektet ”Restaurering av murade fasader med korrosionsskador” som bedrivs på avdelningen för konstruktionsteknik vid Lunds Tekniska Högskola.

Alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel

- Metod:** För att undersöka vilka metoder som finns för att överbrygga öppningar i skalmurar genomfördes en förstudie vilken innefattade metoder från Sverige, Norge och Danmark. Därefter genererades fyra olika balkkonstruktioner med hänsyn tagen till funktion, utformning, materialegenskaper, hållfasthet och beständighet. Slutligen byggdes de teoretiskt framtagna balkarna upp i fullskala för analys och utvärdering.
- Slutsatser:** Samtliga utarbetade förslag har potential att användas för att överbrygga öppningar i en verklig situation. Den modell som besitter de mest kvalitativa egenskaperna består av en kombination av stål och trä. Den bärande stålprofilen har en rationell montering och kan enkelt anpassas till olika höjd på tegel och fog. Förslagets utformning medför att träfronten enkelt kan bytas ut. Fronten behöver nödvändigtvis inte bestå av trä utan andra material kan användas.
- Nyckelord:** Murverk, skalmur, tegel, tegelbalk, armeringskorrosion, överbrygga öppningar

Summary

- Title:** Alternative methods to bridge openings in clay brick facades
- Authors:** Andreas Hansson and Sven Hanzén
- Supervisor:** Dr. Johan Jönsson, Institution of Structural Engineering at Lund University
- Problem:** Clay brick facades from the period 1940-1970 have extensive damages caused by corrosion in reinforcement and ties. The reason is that there were no regulations until the 1980's that demanded that stainless steel should be used to tie the clay brick facade to the framework and to reinforce beams above openings. Since the cover of mortar is insufficient the steel starts to corrode and the increase of volume damages the joint and finally the beam. When repairing the facade it is difficult to find replacement bricks in the same colour and texture. This leads to a change in the facade and the overall impression deteriorates.
- Instead of trying to imitate the original brick work, alternative methods with different materials such as steel, wood or concrete can be employed. The developed methods should be durable throughout the whole lifetime of the clay brick facade.
- Objectives:** The main objective with this Master Thesis is to present alternative methods to bridge openings in clay brick facades considering appearance and construction. It aims to work out drawings, performance documents and full-scale models of the solutions, that can be used for evaluation in the research project "*Rehabilitation of Masonry Facades Damaged by Reinforcement Corrosion*" at Lund Institute of Technology.
- Methods:** A state-of-art study has been carried out covering methods used in Sweden, Norway and Denmark. Next, four different beam constructions were designed considering function, material characteristics, strength, durability and design. Finally, the models were built in full-scale size for analysis and evaluation.

Conclusions: All of the solutions have potential to be used in a real situation. The model with the best qualitative features is composed of steel and wood. The bearing beam of steel can easily be adjusted to different heights on bricks and joints. The design of the construction makes it easy to handle and generates a rational mounting procedure. The front made of wood is mounted after the masonry is completed. This prevents pollution and leads to a simple change, if necessary. The front does not necessarily have to consist of wood. Other materials can easily be used.

Keywords: masonry, clay brick facade, brick, corrosion of reinforcement, bridge openings

Innehållsförteckning

1. Inledning	11
1.1 Bakgrund.....	12
1.2 Syfte	12
1.3 Problemställning	13
1.4 Metod och genomförande	13
1.5 Avgränsningar	13
2. Skalmurar	15
2.1 Överbrygga öppningar	15
2.2 Fukt	17
2.3 Laster och rörelser.....	19
2.3.1 Dimensionering.....	19
2.4 Sprickbildning	20
2.4.1 Uppkomst av sprickor	21
2.4.2 Sprickbildning vid öppningar.....	22
2.4.3 Glidskikt.....	23
2.5 Övrigt	23
3. Inventering.....	25
3.1 Sverige	25
3.1.1 Platsarmerade väggbalksystem	25
3.1.2 Förtillverkade murstensskift	26
3.1.3 Armerade betongbalkar	27
3.1.4 Renovering	28
3.1.5 Fönsterplacering.....	29
3.1.6 Övrigt.....	31
3.2 Danmark.....	31
3.3 Norge.....	32
3.4 Fältstudie.....	34
4. Utarbetade förslag	37
4.1 Liggande VKR-stålprofil	39
4.1.1 Beskrivning	39
4.1.2 Material	39
4.1.3 Laster.....	40
4.1.4 Montering.....	42
4.1.5 Fullskalemodell.....	43
4.2 Stående VKR-stålprofil med plattstänger	45
4.2.1 Beskrivning	45
4.2.2 Material	46

Alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel

4.2.3 Laster.....	47
4.2.4 Montering.....	49
4.2.5 Fullskalemodell.....	50
4.3 Gemensamma egenskaper stålprofiler.....	52
4.3.1 Rörelser.....	52
4.3.2 Ytbehandling.....	53
4.3.3 Underhåll.....	55
4.3.4 Beständighet.....	56
4.3.5 Fukt.....	56
4.4 UPE-stålprofil med träfront.....	57
4.4.1 Beskrivning.....	57
4.4.2 Material.....	58
4.4.3 Laster.....	59
4.4.4 Montering.....	61
4.4.5 Fullskalemodell.....	63
4.5 Vinkelstång av stål med träbalk.....	65
4.5.1 Beskrivning.....	65
4.5.2 Material.....	65
4.5.3 Laster.....	67
4.5.4 Montering.....	69
4.5.5 Fullskalemodell.....	70
4.6 Gemensamma egenskaper träprofiler.....	72
4.6.1 Rörelser.....	72
4.6.2 Ytbehandling.....	73
4.6.3 Underhåll.....	74
4.6.4 Beständighet.....	75
4.6.5 Fukt.....	75
5. Analys och diskussion.....	79
6. Slutsatser.....	81
7. Referenser.....	83
Appendix.....	87

1. Inledning

Husbyggandet med tegel har i Sverige förekommit i flera århundraden. Fram till ungefär 1930-talet är det massiva tegelmurverk som dominerar helt. I industrialismens fotspår har sedan en ny typ av tegelfasad av ½-stens tegel, en så kallad skalmur utvecklats. Skalmurarna armerades för att överbrygga öppningar i murverket och för att stabilisera och förankra skalmuren i den bärande stommen användes kramlor.

I det svenska fastighetsbeståndet från perioden 1940-70 återfinns tegelfasader av skalmurstyp i stor utsträckning¹. Idag förekommer stora problem med detta fastighetsbestånd då skador i fasaden orsakas av rostande armering och kramlor. Detta genererar stabilitets- och hållfasthetsproblem i skalmurarna med stor risk för personskador. Anledningen till att problemet aktualiserats idag beror på tidsfaktorn. Inom en överskådlig framtid så torde skadorna med korroderad armering öka i omfattning.²

Skador med rostande armering uppträder inledningsvis ofta över öppningar vid fönster och dörrar där rostsprängning trycker ner det understa skiftet eftersom mothåll saknas.³ En vanlig reparationsåtgärd har traditionellt varit att ersätta det understa skiftet med en förspänd tegelbalk eller i viss mån prefabricerade betongbalkar. Dessa åtgärder är otillräckliga och kortsiktiga om det finns mer korroderad armering i fasaden. Framför allt är det svårt att gestaltningsmässigt efterlikna den befintliga fasaden vad gäller kulör, textur, format och förbandsmönster.

Ett alternativ till de traditionella reparationsåtgärderna kan vara att ersätta tegelbalken med andra material såsom stål, trä och betong. Utgångspunkten är att inte försöka efterlikna den befintliga fasaden utan förändra densamma på ett gestaltningsmässigt acceptabelt sätt. De alternativa balkarna skall även kunna användas vid nybyggnation som ett substitut till tegelbalkar. I detta arbete fokuseras på stål och trä eftersom betong används sedan tidigare.

¹Gustavsson, Tomas, *Restaurering av murande fasader med korrosionsskador*, Bygg & teknik 2/05

²Johansson, Lars - Trägårdh, Jan, *Ökande skador på fasader*, Bygg & teknik 8/01

³Gustavsson, Tomas, *Restaurering av murande fasader med korrosionsskador*, Bygg & teknik 2/05

1.1 Bakgrund

Inom det svenska fastighetsbeståndet från 1940-70-talet finns ett ökat behov av underhåll, inte minst gäller det byggnader med fasader av skalmurstyp⁴. Armering och kramlor måste bytas ut och kompletteras, något som kräver stora insatser trots att slutresultatet inte blir bra. Avvikande kulör på ersättningsteglet eller murbruket är vanligt förekommande. Då restaureringen inte lyckas fullt ut försvinner de utseendemässiga kvaliteterna hos fasaden. Målsättningen borde istället vara att i största möjliga mån bevara fasadens positiva kvaliteter med hjälp av renoveringsmetoder som helt bryter med det befintliga utseendet.

Med de traditionella reparationsmetoder som finns idag för att överbrygga öppningar i murverk så finns begränsad möjlighet till variation. Tegel är det byggnadsmaterial som nästan uteslutande används vid renovering med ovan nämnda följdproblem. Alternativen är begränsade.

Vid avdelningen för Konstruktionsteknik, LTH, bedrivs ett större forskningsprojekt *"Restaurering av murade fasader med korrosionsskador"*, som har den övergripande målsättningen *"att utveckla och dokumentera nödvändig kunskap för restaurering av fasader med tegelmurverk som skadats av korrosion på armering och kramlor"*. Som ett specifikt mål finns att *"Utveckla och utvärdera rationella reparationslösningar som medger att fasadens uttryck bevaras så långt som möjligt, även om existerande tegelkvaliteter inte är tillgängliga"*.⁵

Som ett led i forskningsprojektet och dess målsättning har detta examensarbete utvecklats. Arbetet utgör en del av det specifika delmål som beskrivs ovan och kan användas vid forskningsprojektets utvärdering av alternativa sätt att överbrygga öppningar i murverk. Tyngdpunkten i examensarbetet ligger i att försöka bevara de positiva egenskaperna hos fasaden med renoveringsmetoder som är acceptabla ur ett gestaltningsmässigt perspektiv. En grundförutsättning är att dessa metoder går att utforma konstruktivt.

1.2 Syfte

Examensarbetet syftar till att presentera nya sätt att överbrygga öppningar i murverk, gestaltningsmässigt och konstruktivt. Förslagen skall sedan kunna användas praktiskt vid renovering och nybyggnad av skalmurar. Tanken är att förändra utseendet gentemot den befintliga fasaden vilket ställer olika gestaltningsmässiga och konstruktiva krav beroende på valet av material och utformning. Arbetet syftar även till att presentera fullständiga arbetshandlingar och fullskalemodeller som kan ligga till grund för projektets utvärdering av alternativa renoveringsmetoder.

⁴ Rapport, *Bättre koll på underhåll*, Boverket Karlskrona, september 2003

⁵ Projektbeskrivning, juni 2004

1.3 Problemställning

Med utgångspunkt från bakgrund och syfte presenteras ett antal frågeställningar:

- Vilka material och materialkombinationer går att använda?
- Hur behandlas tvångskrafter och rörelser med hänsyn till de olika materialegenskaperna?
- Hur bedömer man livslängden och hur tar man hänsyn till konstruktionens beständighet?
- Vilket underhåll krävs?
- Hur genereras en fuktsäker konstruktion?
- Hur skall montering gå till?

1.4 Metod och genomförande

Initialt genomfördes en förstudie där bland annat den skandinaviska marknadens metoder för att överbrygga öppningar kartlagts. Studien har sedan legat till grund för ett antal framtagna alternativa förslag som skulle kunna användas vid renovering eller nybyggnation. Förslagen har sedan utarbetats med hänsyn tagen till följande viktiga parametrar:

- Funktion
- Hållfasthet och beständighet
- Utformning
- Materialegenskaper

Med utgångspunkt från de teoretiskt framtagna förslagen har sedan fullskalemodeller byggts upp. Slutligen genomfördes en utvärdering och analys av de framtagna modellerna.

1.5 Avgränsningar

- Arbetet begränsar sig till att endast innefatta skalmurar med $\frac{1}{2}$ -stens tegel, med en bakomvarande bärande stomme.
- För att överbrygga öppningar i dessa murverk har en gräns på maximal öppningslängd reglerats till två meter.
- Lösningförslagen innefattar inte tegel utan alternativa byggnadsmaterial som stål och trä.
- Arbetet behandlar inga ekonomiska aspekter.
- Vad som är gestaltningsmässigt acceptabelt är en bedömningsfråga och författarna överlämnar utvärderingen av förslagen till sakkunniga inom området.

Alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel

2. Skalmurar

En skalmur är, som namnet antyder, ett yttre murverk som klär den bärande stommen i en byggnad. Skalmuren har ingen bärande funktion utan skall endast bära sin egentygnd samt vindlast. Eftersom skalmuren är slank, vanligen en halv tegelstens tjocklek (120 mm för svenskt tegel), måste den förankras i bakomliggande bärande konstruktion för stabilisering och lastöverföring. Förankringen utföres med kramlor av rostfritt, syrafast stål. Före 1975 var kraven på kramlornas korrosionsbeständighet otillräckliga, vilket medförde att mindre lämplig stålqualität, såsom varmförzinkat stål eller mässing användes.

För att överbrygga öppningar, förhindra sprickbildning, säkerställa bärförmågan och förstärka svaga murverkssnitt förses skalmuren även med armering i liggfogarna. Armeringen, likt kramlorna, utfördes tidigare av mindre lämpliga stålsorter vilket har lett till rostsprängning och ras av armerade skalmursväggar med stor risk för personsador. På senare år har uppmärksammas ras inträffat både på Klostergården i Lund⁶ (januari 2005) och på Amager i Danmark⁷ (mars 2003).

På grund av variation i temperatur och fuktinnehåll uppstår rörelser i skalmuren. Vertikala dilatationsfogar måste därför finnas med lämpligt avstånd normalt mellan 15-25 meter. Dilatationsfogarna utgörs normalt av en elastisk fogmassa men även en plastisk fogmassa kan användas. För att möjliggöra horisontella rörelser måste dessutom glidskikt finnas exempelvis mellan grund och skalmur.

Anslutningar mellan skalmuren och övriga byggnadsdelar är särskilt viktiga att beakta med avseende på vattenavledning, tätning och rörelser. Fukt- och rötsador på karm och båge vid fönsterkonstruktioner är ett vanligt förekommande problem, särskilt i flerbostadshus som är byggda under perioden 1960-80.

2.1 Överbrygga öppningar

Det förekommer principiellt fyra olika typer av överbyggnader: rakt valv, bågformigt valv, balk eller skiva. Valven avser oarmerade konstruktioner medan balkar och skivor innehåller armering. Armeringen i balkar och skivor placeras i liggfogarna i underkant och eventuellt i ovankant. För att kunna utnyttja någon av de fyra överbyggnadsprinciperna finns ett antal krav uppställda i MUR 90 för respektive

⁶Gustavsson, Tomas, *Restaurering av murade fasader med korrosionsador*, Bygg & teknik 2/05

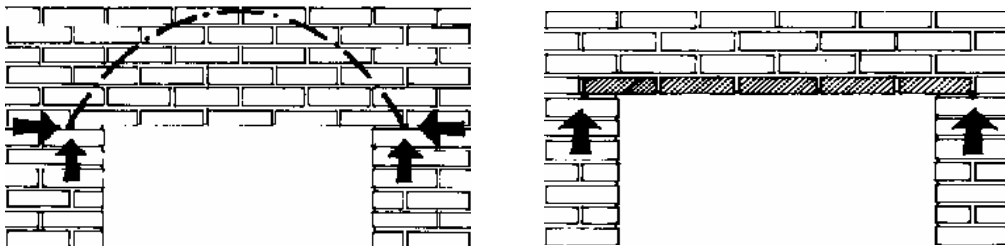
⁷<http://www.sbi.dk/content.aspx?itemguid={94D5C6F7-65DD-4074-8CB1-E57C33632D94}&type=3&menu=> besökt den 21 september 2005

överbyggnad. Nedan följer en kort beskrivning av valv och balkar. Skivverkan har utelämnats då höga balkar inte är relevant för rapporten.⁸

I äldre murverkskonstruktioner användes valvbågsformen över öppningar som har sitt ursprung i antikens byggnadsteknik. Den last som uppstår primärt vid en öppning är en vertikallast som består av murverkets egentvngd. Lasten ovanför öppningen förs ner genom en bågformad trycklinje till respektive upplag, där en vertikal och en horisontell lastkomponent uppstår, *se figur 2-1*. Lastkomponenterna tas upp genom friktion och vidhäftning vid upplagen som måste ha erforderlig area och bredd för vertikal respektive horisontell påkänning.⁹ Om ett rakt eller ett bågformat valv skall användas är bland annat beroende på funktion, laster, öppningsbredd och estetik.

Under efterkrigstiden implementerades armerade tegelskift över öppningar i murverk. Tegelskiften fungerar som en balkkonstruktion där den horisontella armeringen och ett antal ovanliggande tegelskift utgör en murverksbalk. Balken ovan öppningen belastas av det tegelparti som finns under den teoretiska trycklinjen. För att balkverkan skall kunna utnyttjas så finns villkor i MUR 90 som bör vara uppfyllda¹⁰:

- antal murskift måste minst uppgå till tre
- muröppningens bredd kan maximalt uppgå till sex meter



Figur 2-1. Bilden till vänster visar ett rakt valv med den teoretiska bågformade trycklinjen och dess upplagsreaktioner. Bilden till höger visar överbyggnad med balkkonstruktion.¹¹

En utveckling av de platsarmerade tegelskiften är prefabricerade förspända tegelbalkar, *se figur 2-2*, som har funnits på marknaden under flera decennier och fungerar som en självbärande balk utan samverkan med tegelskift ovanför. På detta sätt har murningarbetet rationaliserats. Tegelbalkar kan även utföras som

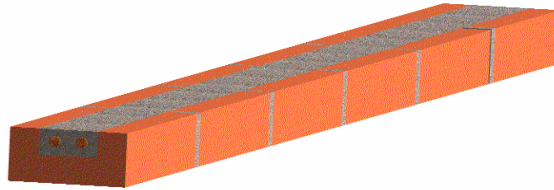
⁸MUR 90, *Häfte 4C Dimensionering, kap 8 Valv, balkar och skivor*, Sveriges tegelindustriförening STIF Svensk Byggtjänst Stockholm 1990

⁹MUR 90, *Häfte 7 Utförande, kap 6 Överbyggnad av öppningar*, Sveriges tegelindustriförening STIF Svensk Byggtjänst Stockholm 1990

¹⁰Engström, Björn, *Beräkning av betong- och murverkskonstruktioner*, Chalmers Tekniska Högskola, 1994

¹¹Byggforskningens informationsblad B8:1975, *Skalmurar*, Svensk Byggtjänst 1975, ISBN 91-540-2500-1

slakarmerade men kräver då stämning under murningsarbetet vilket en spännarmerad tegelbalk inte behöver. Se vidare kapitel 3.1.2 *Förtillverkade murstensskift*.



Figur 2-2. Förspänd armerad tegelbalk.

2.2 Fukt

Byggnadsfysikaliskt fungerar skalmuren som en klimatskärm. En skalmur kan under långa perioder stå blöt, då vatten absorberas genom bland annat slagregn. Absorptionen sker genom dåligt fyllda fogar eller sprickor i teglet och murbruket. Materialen är dessutom hygroskopiska vilket medför att de ställer in sig i jämvikt med omgivningen. Hur mycket vatten som absorberas beror dels av tegelkvaliteten och dels om någon ytbehandling finns. Exempel på ytbehandling kan vara att slamma utsidan av teglet med någon form av tjock- eller tunnputs. En tjockputs av KC-bruk anses ha god förmåga att stå emot slagregn medan det förekommer problem med tunnputs i form av avflagningar vilket beror på att vatten som trängt genom putsen har svårt att avdunsta.¹²

För att väggen skall uppfylla en god funktion krävs att uttorkning är möjlig åtminstone en gång per år. Med god funktion menas bland annat motstånd mot regngennomslag och armeringskorrosion samt att den har god frostbeständighet.¹³

Fukt kan även tillföras skalmuren från bakomliggande konstruktion genom diffusion men i betydligt mindre omfattning jämfört med slagregn. Fukt inifrån brukar därför inte beaktas i någon större utsträckning vad gäller en skalmurs fuktinnehåll.

Skalmurens höga fukthalt måste beaktas vid dimensionering av bakomliggande stomme, så att exempelvis sommarkondens (omvänd fukttransport med kondens på fel sida av ångspärr) inte uppstår. Rinnande vatten på insidan av skalmuren kan förekomma vilket kan orsaka fuktskador vid fönster- och dörröppningar något som måste förhindras med någon form av vattenavledning.¹⁴

¹²Burström, Per Gunnar, *Byggnadsmaterial, Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Studentlitteratur, Lund 2001

¹³Byggeforskningens informationsblad B8:1975, *Skalmurar*, Svensk Byggtjänst 1975, ISBN 91-540-2500-1

¹⁴Elmarsson, Bengt – Nevander, Lars Erik, *FUKT Handbok Praktik och teori*, AB Svensk Byggtjänst, Stockholm 1994

Alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel

Det finns ett antal skador som kan uppstå i ett murverk på grund av fukt så som missfärgningar, saltutslag och påväxt av alger och mossor men de i särklass vanligaste skadorna är frost- och rostsprängning.

Rostsprängning är en direkt följd av ett för litet täckskikt av murbruk som resulterar i snabb karbonatisering, upphörd passivering och begynnande armeringskorrosion. Armeringskorrosionen beror av ett felaktigt metodval för att säkerställa bärförmågan i skalmuren. På grund av skalmurens utformning är det omöjligt att erhålla ett större täckskikt vilket gör det olämpligt att använda icke korrosionsbeständig armering.

Rostsprängning syns tydligast över fönsteröppningar och kännetecknas av att bruket trycks ut och teglet trycks nedåt som följd av armeringens volymökning. Om förloppet är långt går det, förekommer ofta en öppen liggfog med synlig armering och nedböjande tegelskift, *se figur 2-3*.¹⁵



Figur 2-3. Blottad armering och nerhängande tegelskift p.g.a. rostsprängning. Bilden tagen på Margretedal, Lund, september 2005.

Rostsprängning kan även resultera i att delar av teglet på det första skiftet ovanför en öppning skalas av. Flisor, tillräckligt breda för att blottlägga armeringen, mer eller mindre sprängs loss på grund av de stora spänningar som uppstår vid armeringens volymförändring. När armeringen blottläggs har tegelbalken tappat en stor del av sin funktion och successivt försvinner balkens bärförmåga. Trots att balkens bärförmåga försvinner är det övriga murverket intakt, varför användandet av armering för att överbrygga öppningar kan ifrågasättas. Användandet kan motiveras med att de uppfyller en bärande funktion över öppningen vid två olika stadium av skalmurens livslängd. Initialt fungerar balken som stöd under uppmurning av skalmuren. Efter tillstyvnandet av murverket och under dess livslängd fyller balken ingen funktion men i ett slutskede där murverket ovanför öppningen återigen tappat sin bärande förmåga svarar balken för bärningen.

¹⁵MUR 90, *Häfte 8 Renovering och ombyggnad, kap 4*, Sveriges tegelindustriförening STIF Svensk Byggtjänst Stockholm 1990

Frostsprängning orsakas av att vatten som finns i teglets eller brukets porer fryser till is med efterföljande volymökning. Skadorna uppträder vanligast på fasader riktade mot syd och sydväst där slagregn är ofta förekommande. Frostskador på tegelstenar uppstår vanligen genom att tunna skivor, sliror, faller av från ytan eftersom vatten trängt ner i porerna bakom den tunna skivan. I fogarna medför en frostskada att bruket mjölar sig och tappar sin funktion. På grund av den höga fuktbelastningen som ofta förekommer i en skalmur finns det krav på frostbeständigheten hos fasadtegel¹⁶.

2.3 Laster och rörelser

De laster som en skalmur skall tåla är begränsade till egentyngd och vindlast. En skalmurs egentyngd kan ge upphov till stora tryckpåkänningar vid större väggpartier. Vid avvaxlingar som exempelvis att överbrygga öppningar förekommer det spänningskoncentrationer vid öppningens övre hörn, balkens upplag, därför är det viktigt att upplagen har erforderlig area. Det är viktigt att påpeka att öppningsstorleken har stor betydelse för vilka krafter som skall överföras vid öppningen.

Horisontella laster kan medföra att skalmuren rör sig ur planet. Förankringen med kramlor skall ta upp och föra över dessa laster till den bärande stommen. Förankringen kan dock resultera i sprickbildning på grund av olika inbördes rörelser mellan skalmur och den bärande stommen.

2.3.1 Dimensionering

Vid beräkningar enligt BKR avses det sammansatta murverkets hållfastheter. Således ses tegel och murbruk som en homogen vägg men i verkligheten är det ett komplext samspel mellan tegel och bruk. I BKR görs följande indelning av hållfastheter för ett murverk:

- Tryckhållfasthet, f_{ck} , vinkelrätt mot liggfogar.
- Böjdraghållfasthet, då murverk är utsatt för böjning på grund av transversal last (vindlast). Man skiljer på böjdraghållfasthet parallellt liggfogarna, $f_{tk,par}$ respektive vinkelrätt liggfogarna, $f_{tk,tra}$.
- Skjuvhållfasthet, $f_{vk,par}$, parallellt med liggfogarna.

Hållfastheterna gäller under vissa förutsättningar som finns angivna i BKR och ligger sedan som grund för beräkning av bärförmåga. Hållfastheterna i en murverkskonstruktion är olika beroende på påkänningsriktning. Om det är massivt tegel eller håltegel påverkar också hållfastheten, likaså murbrukssort. Vid dimensionering finns typ av bruk, miljöklass, utförandeklass, tjocklek och typ av armeringsjärn, täckskikt, kramlor, materialegenskaper, etc. reglerat i BKR.¹⁷

¹⁶ ibid.

¹⁷ Boverkets konstruktionsregler, *BKR, kap. 6 Murverkskonstruktioner*, (BFS 1998:39) Boverket Karlskrona

De rörelser som uppstår i en skalmur brukar delas in i engångsrörelser och upprepade rörelser. Engångsrörelser kan vara krympning eller krypning mellan den bärande stommen och skalmuren. Dessa rörelser är generellt försumbara då dessa uppstår relativt tidigt efter färdigställandet och på så sätt inte ger upphov till några större tvångskrafter. De upprepade rörelserna uppstår av temperatur- och fuktvariationer som beskrivs mer ingående i kapitel 2.4 *Sprickbildning*.¹⁸

2.4 Sprickbildning

Sprickor i skalmursfasader uppstår på grund av fukt- och temperaturvariationer. Varierande temperatur och fuktinnehåll skapar ett rörelsebehov dels under dygnet och dels över året. Om dessa rörelser förhindras uppstår tvångskrafter i murverket som kan orsaka sprickor om det inte finns dilatationsfogar och glidskikt i tillräcklig omfattning. Fogar krävs i vertikalled och glidskikt i horisontalled. Fogarnas placering beror på utformning och funktion hos murverket. Generellt är det fukt- och temperaturvariationerna över året som skall beaktas vid dimensionering av dilatationsfogar. Variationen i fukt och temperatur över dygnet blir avgörande för förankringarna. Dessutom är det viktigt att beakta de inbördes skillnaderna i längdutvidgningskoefficienter mellan den bärande stommen och skalmuren samt mellan skalmur, kramlor och armering.¹⁹

De faktorer som skall beaktas vid bedömningen av sprickrisk är:

- Rörelsebehov
- Tvångseffekter genom fastlåsning vid ränder och anslutning till angränsande konstruktioner
- Murverkets draghållfasthet

Källa: Beräkning av betong- och murverkskonstruktioner, del II – Beräkningsmodeller, Björn Engström (1994), Chalmers Tekniska Högskola

På samma sätt som för en betongkonstruktion så går det inte att armera bort sprickorna i en skalmursvägg utan endast begränsa sprickornas storlek och omfattning. Utöver dilatationsfogar så monteras även armering, rörelsearmering, för att undvika grova genomgående sprickor. Det finns dock inga metoder för beräkning av sprickbredder när det gäller murverk men i MUR 90 finns dimensioneringsprinciper för sprickbegränsande armering. Dimensioneringen tar bland annat hänsyn till beständighet, funktion och estetiska krav. I MUR 90 finns dessutom en sprickkontroll för armerade murverksbalkar. Kontrollen visar om en armerad murverksbalk har erforderlig spricksäkerhet i brukgränstillståndet.²⁰

¹⁸Byggeforskningens informationsblad B8:1975, *Skalmurar*, Svensk Byggtjänst 1975, ISBN 91-540-2500-1

¹⁹ *ibid.*

²⁰MUR 90, *Häfte 4C Dimensionering, kap 8 Valv, balkar och skivor*, Sveriges tegelindustriförening STIF Svensk Byggtjänst Stockholm 1990

2.4.1 Uppkomst av sprickor

Sprickor kan uppstå på ett antal sätt. Om en murad vägg är förhindrad att röra sig uppstår horisontella dragspänningar i murverket som kan leda till sprickbildning om spänningarna överstiger den murade väggens draghållfasthet. Vertikala sprickor, mikrosprickor, kan exempelvis uppstå nära randen av en murad vägg och grundfundament och sedan utvecklas till genomgående sprickor. Murning direkt mot en grund eller annat betongfundament är direkt olämpligt då det innebär en fastlåsning av randen. De viktigaste faktorerna för uppkomst av dragsprickor är väggens längd/höjdförhållande, glidskiktets och murverkets egenskaper, vertikala laster samt närvaron av öppningar.²¹ Särskilt öppningar är känsliga områden för uppkomst av sprickor vilket behandlas i kapitel 2.4.2 *Sprickbildning vid öppningar*.

Idag finns krav på att dilatationsfogar skall finnas och i MUR 90 finns riktlinjer som anger ungefärliga mått på avstånd mellan fogarna. Riktlinjerna anger vertikala dilatationsfogar med ett c/c-avstånd på ca 15-20 meter men måste beaktas individuellt från fall till fall. Om riktlinjerna i MUR 90 tillämpas kan det ibland innebära en felaktig placering av dilatationsfogar. Det förekommer väggpartier där fogarna sitter för tätt i förhållande till väggens storlek och utformning.²²

Vanliga spricktyper

En av de vanligast förekommande sprickorna är vertikala sprickor mellan två balkonger som ligger ovanför varandra. Sprickorna uppstår då den bärande stommen krymper och skalmuren kläms fast mellan två balkonger.²³

En annan typ av sprickor är hörnsprickor. Det finns både sneda och raka hörnsprickor. Uppkomsten av de raka hörnsprickorna beror återigen på att stommen krymper och skalmuren inte kan följa med i denna rörelse vid hörnen p.g.a. kramlorna. Fenomenet kallas för en momentspricka och dessa kan bli särskilt stora i långa fasader. De sneda hörnsprickorna är svårare att kartlägga men troligen uppstår även de p.g.a. att stommen krymper och tvångskrafter uppstår i skalmuren främst vid fastlåsningar vid exempelvis balkonger.²⁴

En tredje typ av spricka är spontana dilatationsfogar som uppstår då fukt- och temperaturvariationerna blir för stora. De är vanligast förekommande på långa väggpartier där det inte förekommer dilatationsfogar i tillräcklig omfattning.

²¹Gustavsson, Tomas – Jönsson, Johan – Molnár, Miklós, *Trettio meter långa tegelfasader utan dilatationsfogar?*, Bygg & Teknik 8/05

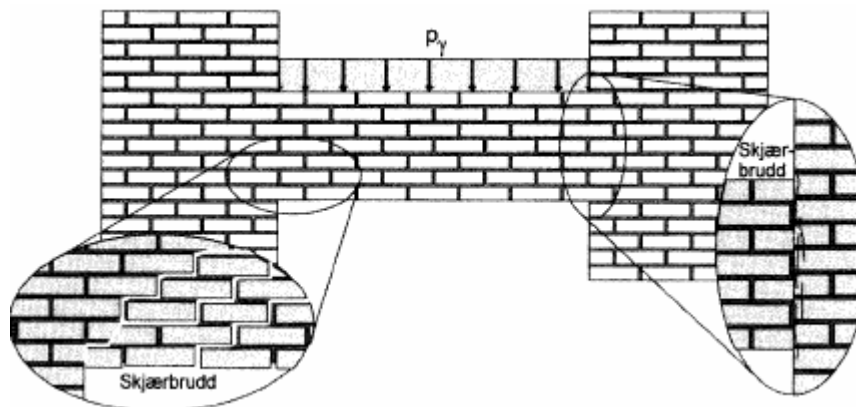
²² ibid.

²³Byggeforskningsens informationsblad B8:1975, *Skalmurar*, Svensk Byggtjänst 1975, ISBN 91-540-2500-1

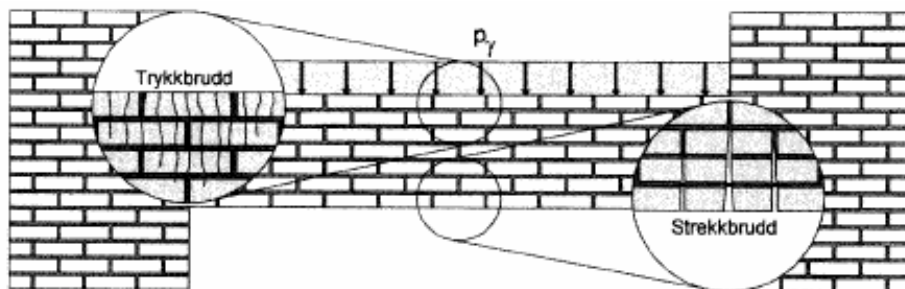
²⁴ ibid.

2.4.2 Sprickbildning vid öppningar

Sprickor i murverk över öppningar kan uppstå på ett antal sätt. Sprickorna uppstår då murverkets (balkens) kapacitet i något snitt överskrids. Kapaciteten anses vara cirka 40 % lägre vid en öppning jämfört med en vägg utan öppningar. Var eller vilken form sprickorna antar bestäms av öppningens placering i väggen och av den spänningskoncentration runt öppningen som då uppstår. Vanliga sprickmönster är vertikala/sneda sprickor mellan grund och öppningens nedre kant eller horisontella/sneda sprickor som utgår från öppningens överkant.²⁵ Det finns dessutom tryck-, drag-, och skjuvbrott som kan uppstå vid öppningens överkant. Skjuvbrotten är vanligast vid kortare öppningar medan tryck- och dragbrott är vanligare vid längre öppningar. *Figur 2-4* och *figur 2-5* visar var skjuvbrott respektive drag- och tryckbrott kan uppstå vid en öppning i en skalmur.



Figur 2-4. Exempel på var skjuvbrott kan uppstå vid en öppning.



Figur 2-5. Exempel på tryck- och dragbrott vid öppning.

Källa: "Dimensjonering av murte overdekninger (bjelker)", Murkatalogen 2002, Mursentret Norge.

²⁵Gustavsson, Tomas – Jönsson, Johan – Molnár, Miklós, *Trettio meter långa tegelfasader utan dilatationsfogar?*, Bygg & Teknik 8/05

2.4.3 Glidskikt

För att förhindra uppkomsten av sprickor monteras dilatationsfogar och glidskikt i fasader av skalmurstyp. Dilatationsfogarna består oftast av en elastisk fogmassa för att tillåta rörelser i skalmuren. Då rörelserna i en skalmur ofta är irreversibla och sker i en riktning kan även en plastisk fogmassa användas²⁶. Fogarna behövs främst vid stora, långa väggpartier där stora spänningar kan uppstå.

I skalmurar förekommer stora dygnsvarierande rörelser på grund av fuktighet och temperatur. Rörelserna kan ge upphov till tvångsspänningar. Spänningarna är särskilt viktiga att beakta i randzoner där olika byggnadsdelar möts eller vid öppningar där stora spänningskoncentrationer kan förekomma. För att tillåta horisontella rörelser monteras glidskikt av olika material. Rostfri plåt, syllpapp eller gummiduk (av butyl) kan användas som glidskikt mellan grund och skalmur²⁷. Vid öppningar med balkar av andra material än tegel kan rostfri plåt, gummi eller asfaltboard användas vid upplag.

2.5 Övrigt

Utöver skalmurens primära syfte som klimatskydd så är det en fasadkonstruktion som i sig inte kräver underhållsarbete i någon större omfattning. Murverket uppbringar dessutom ett bra brandskydd samt har en god ljudisolerande förmåga tillsammans med den bärande stommen.

Livslängd och beständighet för murverk är betydligt större än det normala dimensioneringsvärdet för ett bostadshus på ”minst 100 år”. Den byggnad som betraktas som Sveriges äldsta tegelbyggnad är Gumlösa kyrka i norra Skåne, daterad till slutet av 1100-talet (år 1192 e Kr)²⁸. Således är den svaga länken i en skalmurskonstruktion inte murverket i sig utan anslutningarna till den bärande stommen.

²⁶Burström, Per Gunnar, *Byggnadsmaterial, Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Studentlitteratur Lund 2001

²⁷Carlsson, Fredrik – Jönsson, Johan, *Analys av sprickrisker i murverk*, Avdelningen för Konstruktionsteknik, LTH 1999, Rapport TVBK-5096

²⁸Gustavsson, Tomas, *Moderna murverk*, Avdelningen för Konstruktionsteknik, LTH, Rapport TVBK-1023, Lund 2002

Alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel

3. Inventering

En inventering av lösningar för att överbrygga öppningar har genomförts för att få kunskap om och underlag till alternativa sätt att överbrygga öppningar i skadade murverksfasader. Inventeringens omfattning och geografiska utbredning har valts med hänsyn till var det traditionellt har förekommit byggande med tegel och skalmursfasader i stor skala. Danmark, Norge, norra Tyskland, Holland och Storbritannien har ett stort bostadsbestånd med fasader av tegel där skador på grund av korroderande armering också är vanligt förekommande. Inventeringen har dock koncentrerats till metoder och konstruktionsprinciper från den inhemska marknaden samt från våra nordiska grannländer Norge och Danmark. Informationen om renoveringsmetoder med tegel är omfattande medan det finns ett begränsat antal alternativa förslag i andra material.

Placeringen av fönster och dörrar inkluderas i inventeringen då det ställer olika konstruktiva och fukttekniska krav. Fönstret kan vara placerat i den bärande stommen, i linje med skalmuren eller utdraget i skalmursfasaden. Beroende på vilken lösning som valts så finns det många olika faktorer att ta hänsyn till vid montering.

För att ytterligare belysa problematiken med korroderande armering och dess följdverkningar genomfördes en fältstudie i Lund under hösten 2005. En kort genomgång av studien följer sist i detta kapitel.

3.1 Sverige

Vid en inventering av de existerande metoderna som finns på den svenska marknaden för att överbrygga öppningar i skalmurar så noteras att det finns relativt få alternativ till tegel. Prefabricerade betongbalkar används i ökande omfattning vid nyproduktion, främst ur gestaltningsmässigt perspektiv. Material som stål och trä används i stort sett inte alls. Stålbalkar används dock vid håltagning i existerande murverk men är inte synliga då de normalt byggs in.

Vid användande av tegel kan platsarmerade väggbalksystem eller förtillverkade murstensskift väljas. Nedan redogörs kort för varje system.

3.1.1 Platsarmerade väggbalksystem

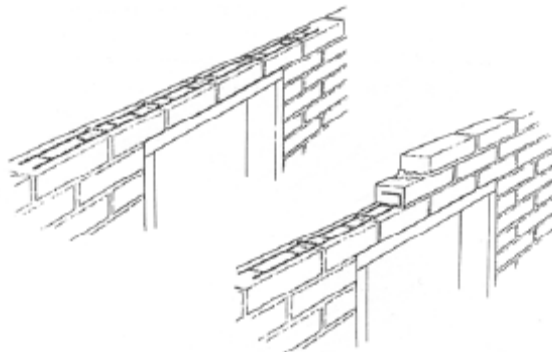
På den svenska marknaden finns två system för tegelbalkar som är armerade på plats. *Murma väggbalksystem* är ett system där man murar över öppningen på en kvarsittande valvbågsform och armerar med Brictec bistålsarmering i första liggfog, se figur 3-1. Den kvarsittande valvbågsformen, som finns i längder upp till 6 m, har ingen bärande funktion men fungerar som regnvattenutledare från skalmurens baksida. Till Murma väggbalksystem finns även upplag för att kunna utföra balken i rullskift. Upplaget kombineras med valvbågsformen och dess syfte är att bära upp

rullskiftet och att kompensera för skillnaden i höjd mellan rullskiftet och murverket i övrigt.²⁹



Figur 3-1. Murma väggbalksystem.

Hilti väggbalksystem är uppbyggt på en platsbyggd valvbågsform som stämp. I första skiftet muras byglar in och under byglarna förs en rostfri armeringsstege in. I andra skiftet muras sedan byglar in med undre skänkeln under armeringsstegen, *se figur 3-2*. I Hilti:s system får avledning för inträngande regnvatten monteras för sig.³⁰



Figur 3-2. Hilti väggbalksystem. Figur hämtad ur MUR 90.

3.1.2 Förtillverkade murstensskift

Förtillverkade murstensskift, tegelbalkar, utföres spännarmerade eller slakarmerade. Spännarmerade murstensskift tillverkas på fabrik och består av erforderligt antal tegelstenar med ett urfräst spår. I spåret placeras förspänd armering som sedan gjutes in med högvärdig betong. När betongen härdat och balken har upptagit förspänningskraften erhålls en balk med samverkan mellan mursten, betong och armering. Tegelbalken lägges sedan upp som första skift över öppningen eller hänges

²⁹ http://www.murma.se/prod_ptm_vaggbalk.asp besökt den 23 september 2005

³⁰ MUR 90, *Häfte 7 Utförande, kap 6 Överbyggnad av öppningar*, Sveriges tegelindustriförening STIF Svensk Byggtjänst Stockholm 1990

upp i konsoler. Tillsammans med ett antal påmurade skift verkar konstruktionen som en murverksbalk.

Spännarmerade murstensskift kan utföras i en mängd olika varianter av konstruktiva eller arkitektoniska skäl. Vanligast förekommande är löpskift där stenarna ligger i huvudsak i balkens riktning, *se figur 3-3*. Löpskift kan utföras som enkelskift eller av flera sammanfogade skift. Balken kan även utföras som koppskift, där balken tillverkas så att endast stenarnas kopp sida syns i fasaden eller som rullskift där balken består av stående stenar, *se figur 3-4*. Även de två senare nämnda varianterna kan utföras i olika kombinationer av sammanfogade skift.

Öppningar med annorlunda form såsom cirkulära öppningar och bågformiga valv kan utföras med slak armering.



Figur 3-3. Löpskift.



Figur 3-4. Rullskift.

3.1.3 Armerade betongbalkar

Under de senaste decennierna har prefabricerade armerade betongbalkar använts i allt större omfattning för att överbrygga öppningar i skalmurar, *se figur 3-5*. Det är främst ur ett gestaltningsmässigt perspektiv där speciella arkitektoniska kvaliteter vill lyftas fram.



Figur 3-5. Armerad betongbalk från fastighet på Bredgatan i Lund.

3.1.4 Renovering

De förtillverkade murstensskiften, tegelbalkarna, som beskrivs i kapitel 3.1.2 *Förtillverkade murstensskift*, kan även användas vid renovering. Vid renovering avlägsnas armering och stenar i de nedre skiften och en tegelbalk monteras istället. Balkhöjden kan vara upp till tre skift beroende på öppningens storlek. En stor nackdel med denna renoveringsmetod är att ersättningstegel av samma textur och nyans är svårt att hitta samt att murbruket ofta får en avvikande kulör, *se figur 3-6*.

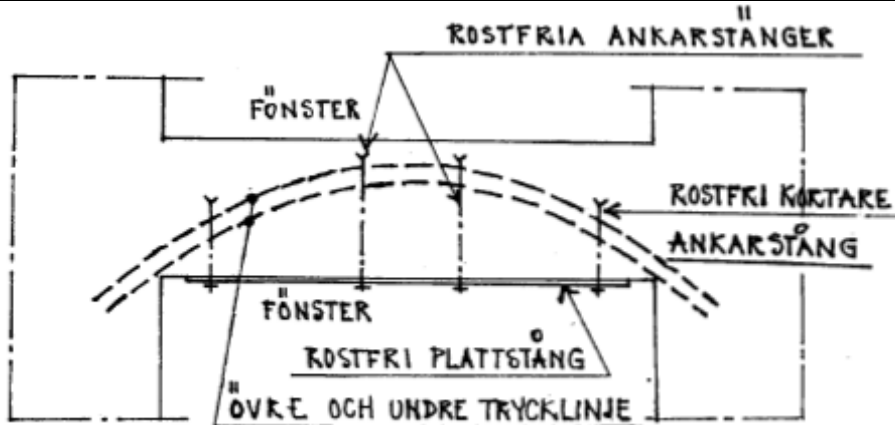


Figur 3-6. Renoverad fasad med avvikande kulör och storlek på fogar över fönsteröppning, Måsvägen, Lund.

Ankarstångbalken

En reparationsmetod för uppspruckna tegelbalkar presenterades av Arne Hervall och Alf Jergling i en rapport från FoU-Väst, 1994. Metoden som är testad på håltegel går ut på att en bärande, rostfri plattstång placeras under det nedersta skiftet. Långa skruvar, så kallade ankarstänger, förankrar sedan plattstången över tegelvalvets teoretiska trycklinje, *se figur 3-7*. Det finns dock ett antal villkor för användning av Ankarstångbalken. Bland annat så måste dimensioneringen av tegelbalkar vara utförda enligt MUR 90 samt att typgodkännandet endast gäller fria öppningar upp till två meter. I vilken utsträckning reparationsmetoden används idag är dock oklart.³¹

³¹Hervall, Arne – Jergling, Alf, *Ankarstångbalken – Reparation av skadade armerade tegelbalkar*. FoU (Forskning och Utveckling) – Väst Rapport 9402



Figur 3-7. Schematisk bild över ankarstångbalken.
Figur hämtad från FoU-Väst rapport 9402.

Författarna till rapporten ovan har även tagit fram fler typgodkända metoder för att skapa tegelbalkar i samband med håltagning i murverk. ”Putsbalken” och ”Klämbalken” är två konstruktionsprinciper som utvecklats.³²

Håltagning

Håltagning i en befintlig tegelvägg kan utföras genom att förstärka med stål balkar eller med klämbalksmetoden. Att lägga in stål balkar ovan öppningen är den vanligaste förstärkningsmetoden. Metoden, som finns utförligt beskriven i MUR 90, består av två stål balkar som placeras och gjutes fast i en slits i väggen varpå underliggande tegel kan avlägsnas.

Klämbalksmetoden kan användas till öppningar upp till tre meter. Plåtar på ömse sidor om väggen med förspända skruvar bildar ett klämförband varpå teglet under den konstruerade balken kan avlägsnas.³³

3.1.5 Fönsterplacering

Fönster kan placeras på ett flertal sätt i fasaden. Det kan monteras i den bärande stommen, i linje med eller utdragen i skalmuren. Beroende på placering så blir montering, upphängning, fuktskydd och inklädnad annorlunda. Skälen till varierande fönsterplacering är ofta rent estetiska.

Vid en placering av fönster i den bärande stommen så uppstår ett språng i fasaden som måste täckas. Utanför den bärande stommen finns normalt en luftspalt med eventuell isolering och ytterst skalmuren. Fönstret blir djupt indraget i fasaden och avståndet, språnget ut till fasaden täcks lämpligen med tunnplåt eller aluminium runt om. Vatten skall kunna ledas bort av plåten. Fukttekniskt så utgör rinnande vatten på

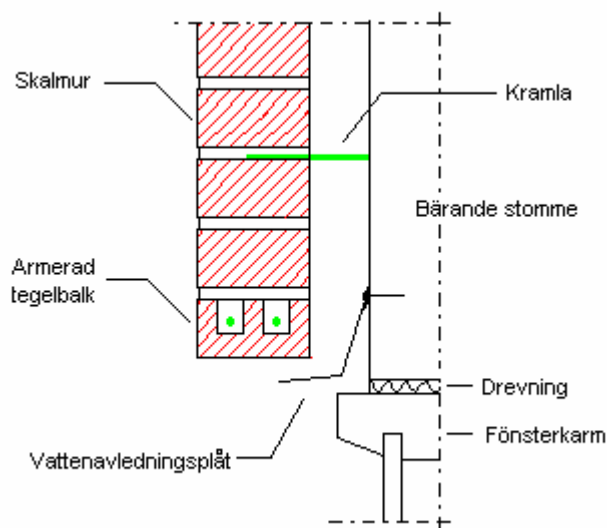
³² ibid.

³³MUR 90, Häfte 8, Renovering och ombyggnad, kap 4, Sveriges tegelindustriförening STIF Svensk Byggtjänst Stockholm 1990

Alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel

insidan av skalmuren inget problem för fönstret. Fönsterkarm och båge kan anses vara väl skyddat mot fukt om monteringen i den bärande stommen är utförd korrekt.

Om fönstret placeras med en del av karmen utdragen i skalmuren så ställs helt andra krav på fuktskydd och upphängning. Fönsterkarmen kan monteras så att den delvis vilar på den bärande stommen och delvis är upphängd med vinkelbeslag. Om denna metod tillämpas måste ett konstruktivt fuktskydd finnas. En vattenavledande plåt på insidan av skalmuren som leder bort vatten från fönstret monteras antingen i den bärande stommen eller i skalmuren, *se figur 3-8*. Runt om fönstret är en inklädnad med tunnplåt eller aluminium aktuell dels för vattenavledning (fönsterbläck) och dels för utseendets skull.



Figur 3-8. Exempel på vattenavledningsplåt monterad i den bärande stommen.

Ett tredje alternativ är att placera fönstret ute i kant med fasaden, d v s fönstret ligger i stort sett i linje med skalmuren. Skälet till denna placering kan vara att en plan fasad eller att en djup fönsternisch vill erhållas. Upphängningen i den bärande stommen utföres exempelvis med speciella vinkelbeslag. Även här krävs ett konstruktivt fuktskydd med vattenavledningsplåt för att inte skada fönsterkonstruktionen. Fönsterbläck skall finnas för vattenavledning och aluminiumprofiler bör monteras runt fönstret på samma sätt som för den utdragna fönsterkonstruktionen.

3.1.6 Övrigt

Vid avdelningen för Konstruktionsteknik, LTH, pågår examensarbetet ”Utvärdering av nytt reparationssystem av tegelbalkar” som behandlar metoder för förankring av det understa tegelskiftet över öppningar. Detta är ett alternativt sätt att återställa fasaden som i princip kan jämföras med ankarstångbalken. Metoden går ut på att teglet förankras med långa, grova, självgående skruvar vilka monteras i det ovanliggande teglet, där förankringen sker över den teoretiska trycklinjen. Examensarbetet är en del av det större forskningsprojektet ”Restaurering av murade fasader med korrosionsskador” som bedrivs vid avdelningen för Konstruktionsteknik, LTH.

3.2 Danmark

På den danska marknaden finns ett antal sätt att överbrygga öppningar i murverk. Flertalet metoder finns för tegel och betong men några alternativ med stål eller trä har inte uppdagats. De två vanligaste metoderna är att använda förspända tegelöverliggare eller tegelbågar³⁴. Vad gäller tegel och armerade tegelbalkar så infördes krav på rostfri armering och kramlor, ”trådbindere”, 1984. Således finns problem med korroderade armering för byggnader som är uppförda före 1984 då man använde varmförzinkat stål eller mässing som kramlor och armering. I vilken utsträckning problemen förekommer är dock svårt att uttala sig om då det finns exempel som visar att rostfri armering använts innan det blev ett lagstadgat krav.³⁵

Ett antal föreningar och intresseorganisationer har gett ut faktablad och dimensioneringsvägledning om tegelöverliggare och tegelbjälkar. Förspända tegelöverliggare kan erhållas i ett antal format. Öppningens bredd är avgörande för höjden av tegelbjälken vilket beaktas vid beräkning och dimensionering³⁶. Principiellt kan en tegelöverliggare jämföras med en prefabricerad tegelbalk medan en tegelbjälke kan jämföras med en murverksbalk.

Enligt Klavs Feilberg Hansen på SBI (Statens Byggeforskningsinstitut, Danmark) så är huvudproblemet när man skall överbrygga öppningar i murverk att de ingående materialen i överliggaren har olika fukt- och temperaturegenskaper i förhållande till det övriga murverket. Tvångskrafter som genereras mellan överliggaren och det övriga murverket måste tillåtas utan att fogarna i murverket spricker. Horisontella rörelsefogar mellan de olika materialen i murverket och tegelöverliggaren skall därför finnas.³⁷

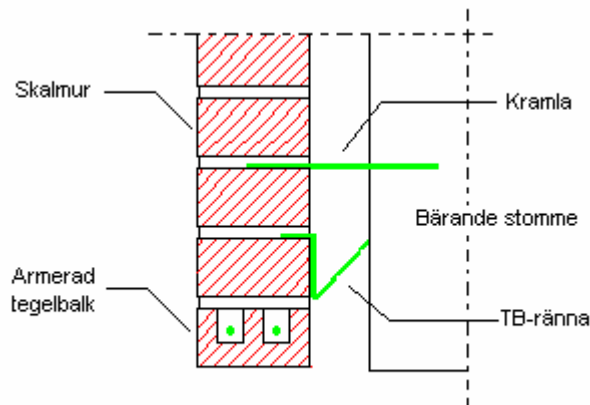
³⁴Feilberg Hansen, Klavs, *SBI Danmark*, den 5 september 2005

³⁵<http://www.sbi.dk/content.aspx?itemguid={000D88E7-FB70-4D21-B4DE-AD868F95A81C}&catguid={BF163B1C-91D5-42A7-B386-D53561819A01}>, Anvisning: Korroderade trådbindere i murverk. Besökt den 12 september 2005

³⁶*Armerede teglbaelker*, Murefagets byggeblade, nr 26, september 1982.

³⁷Feilberg Hansen, Klavs, *SBI Danmark*, den 5 september 2005

I Danmark har en metod utvecklats för vattenavledning över öppningar mellan den bärande stommen och skalmuren, *se figur 3-9*. Metoden kallas för ”TB-rende” (TB betyder Tegelbjälke) och finns numera även i Sverige hos ett flertal återförsäljare. TB-rännan används vid murning över fönster och dörrar. Fördelarna med metoden är flera, bland annat ger TB-rännan en ökad hållfasthet hos murverksbalken samt att den ger en större säkerhet vid bortledning av inträngande vatten. En nackdel kan vara att rännan ibland monteras för nära skalmuren så att vatten trots allt kan rinna förbi och ner på fönsterkonstruktionen. Metoden används enklast vid nyproduktion även om den går att tillämpa vid restaurering.³⁸



Figur 3-9. Skalmur med prefabricerad tegelbalk och ”TB-rende” för vattenavledning. Figur hämtad från Cd-rom ”Mur- och tagdetaljer til AutoCAD”.³⁹

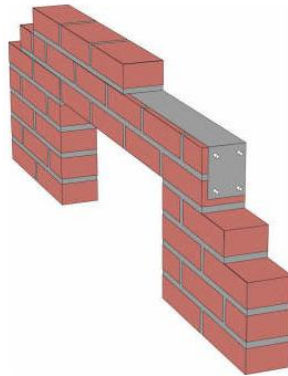
3.3 Norge

Vid reparation med tegel används i huvudsak två helt olika metoder för att överbrygga öppningar i skadat murverk.

Den första konstruktionsprincipen består av prefabricerade tegelbalkar där det bärande elementet utgörs av en betongbalk. På utsidan är betongbalken belagd med tegel, *se figur 3-10*. Betongbalken lägges upp på tegelupplagen på ömse sidor om öppningen med en upplagslängd på minst ½-stens tegel.

³⁸<http://www.tegelmaster.se/webcare.asp?ID=Stc600-Itm>, besökt den 13 oktober 2005

³⁹Mur- och tagdetaljer till AutoCAD, utgiven av Teknologisk Institut, Murverk, Danmark



Figur 3-10. Bärande betongbalk belagd med tegel.

Den andra konstruktionsprincipen är ”*plasmurte överdekningar*”. Dessa kan jämföras med platsgjutna överliggare eller tegelbalkar. Vid kortare öppningar används endast horisontalarmering men vid större öppningar kan även tegelbalken kompletteras med vertikalarmering, jämför i Hilti:s väggbalksystem. Den maximala längden på de platsmurade överliggarna avgörs av vilket utförande som väljs så som löpskift, rullskift, e t c.⁴⁰

Det finns även ”*prefabrickerte murbjelker*” (prefabricerade tegelbalkar) som kan levereras efter önskad utformning. Prefabricerade armerade balkar utformade med löp- och rullskift redovisas i *figur 3-3* och *figur 3-4*. Bjälkarna placeras närmast över öppningen och särskilt viktigt när det gäller den vanligare slakarmerade bjälken är samverkan med det påmurade teglet ovanför. Det finns även spännarmerade bjälkar på marknaden som fungerar utan samverkan med ovanliggande tegel.

De prefabricerade tegelbalkarna används i allt större utsträckning enligt John Christian Forester på Mur-Sentret i Oslo men någon statistik över fördelningen mellan prefabricerat och platsmurat finns inte. Intrycket är att allt fler byggprojekt använder prefabricerade tegelbalkar då dessa har flera fördelar. Bland annat förenklas logistiken på arbetsplatsen och byggandet blir mer rationellt.

Bjälkar av armerad betong förekommer också i relativt stor utsträckning, ofta som just ett arkitektoniskt eller gestaltningsmässigt uttryck ovanför fönster och dörrar.⁴¹

⁴⁰Röysand, Ole Jacob, *Mursentret, Norge*. den 14 september 2005

⁴¹Forester, John Christian, *Mursentret, Norge*. den 13 oktober 2005

3.4 Fältstudie

Under hösten 2005 genomfördes en kort fältstudie i Lund som en första introduktion till olika sätt att överbrygga öppningar i skalmurar. Studiens omfattning begränsades till fastigheter i Lunds centrala delar. I Lund är det vanligt förekommande med fastigheter med fasader av tegel från perioden 1940-70. Av de cirka 50-60 fastigheter som studerades uppvisade fem av dessa skadesymptom. Det fanns också cirka tio fastigheter där reparationsåtgärder var genomförda. Resultatet av studien visar därför att renoveringsbehovet på grund av korroderande armering är stort. Det finns även ett antal fastigheter uppförda under de senaste decennierna med prefabricerade armerade betongbalkar.

Exempel på problem

På Kakelvägen finns ett flertal fastigheter där renovering av fasaderna genomförts. Fastigheterna visar tydligt vilka problem som uppstår då gamla fasader skall renoveras. Avvikande fogtjocklekar, tegel- och fogkulör medför väggpartier som förfular fasaderna, *se figur 3-11 och figur 3-12.*



Figur 3-11. Avvikande fogkulör ovanför fönsteröppningar, Kakelvägen, Lund.



Figur 3-12. Armerad tegelbalk i avvikande kulör och varierande färg och tjocklek på fogarna, Kakelvägen, Lund.

Alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel

På Måsvägen finns liknande problem där renovering genomförts och avvikande väggpartier över öppningar erhållits. Det finns även fasader i fastigheter som ännu inte blivit renoverade som visar flera problem. Dels har den insatta armerade tegelbalken en avvikande kulör och dels uppvisar tegelbalken en trolig armeringskorrosion, *se figur 3-13*.



Figur 3-13. Armerad tegelbalk med avvikande kulör med armeringskorrosion, Måsvägen, Lund.

Det övergripande intrycket som fältstudien gav var att fastighetsbranschen står inför en period med omfattande renoveringar av befintligt fastighetsbestånd byggda med tegel av skalmurstyp.

Alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel

4. Utarbetade förslag

Utifrån examensarbetets givna förutsättningar har fyra alternativa lösningar arbetats fram för att överbrygga öppningar i skalmurar. Samtliga fyra förslag är baserade på materialen stål och trä. Öppningarnas storlek har begränsats till en bredd på maximalt två meter.

För att få en bild av hur en skalmur med alternativ överbyggnad skulle kunna se ut har förslagen ritats tredimensionellt i AutoCAD⁴². Modellerna har sedan renderats med ytor i olika material för att indikera vilken ytstruktur och färg varje förslag kan ha för att gestaltningsmässigt fungera med olika tegelkulörer. Vid rendering har verkliga materials ytstrukturer applicerats i programmet för att erhålla så verklighetstroga bilder som möjligt. *Figur 4-1* visar en rendering av ett av de framtagna förslagen.



Figur 4-1. Renderad bild från AutoCAD.

För de utarbetade förslagen har sedan detaljritningar konstruerats, beräkningar för maximala laster och nedböjningar har genomförts och provkroppar i fullskala har byggts upp. Modellerna har även bedömts med avseende på fukt och beständighet.

För samtliga lösningsförslag gäller att balken ses som fritt upplagd på två stöd med en jämnt utbredd last som utgörs av tegelpartiet ovanför balken som ligger under lastens trycklinje. Då specialfall kan förekomma får man beakta förutsättningarna från fall till fall och kontrollera att aktuella laster ej överskrider balkens lastkapacitet. Beräkningar för balkens lastkapacitet med hänsyn till moment och nedböjning har gjorts för längder i intervallet 1,2 – 2,2 meter med 0,2 meters mellanrum. För längder mindre än 1 meter anses moment och nedböjning vara så små att beräkningar ej är nödvändiga. Tillåten nedböjning har bedömts vara $L/600$. Anledningen till det hårda kravet är att även små deformationer kan orsaka sprickor i murverket kring balken. De olika

⁴²AutoCAD©2005, Autodesk, studentversion LTH

Alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel

lastkapaciteterna har även räknats om till vilken tegelhöjd detta skulle motsvara ovanför balken. Teglets densitet har antagits till 1800 kg/m^3 .

De fyra utarbetade förslagen kan användas både vid nyproduktion och vid renovering. Vid nyproduktion är monteringen enkel och rationell i samtliga fall eftersom balkarna är konstruerade så att de bygger antingen ett eller två skift. Vid renovering krävs mer omfattande arbete med bland annat borttagning av befintligt tegel och fogning runt balken.

På marknaden finns ett brett sortiment av tegel, bruk och tegelbalkar. Höjden på en specifik tegelsten eller fog i en befintlig fasad kan variera kraftigt. Vid nyproduktion förekommer en mängd olika standardstorlekar på tegel och tegelbalkar något som måste beaktas i varje specifikt fall. Modellerna har utarbetats för en viss höjd på sten och fog (62 mm respektive 12 mm).

Om något av de utarbetade förslagen skulle användas vid nyproduktion eller renovering där avvikande mått på sten och fog finns så kan exempelvis upplagens höjd eller dess glidplåtar väljas så att samma tjocklek på fogarna erhålls på skiften ovanför balken. Om höjdskillnaden mellan balk och fog endast uppgår till ett par millimeter, vid upplag eller vid skiften närmast ovanför balken, så finns även möjligheten att successivt ändra fogens tjocklek utan att det syns i fasaden.

Av de utarbetade förslagen kan man i huvudsak göra indelningen i trä- respektive stålprofiler. I kapitlet kommer träprofilerna behandlas för sig och stålprofilerna för sig. Vid beskrivning av de olika profilerna finns det både gemensamma och enskilda egenskaper för respektive förslag. De enskilda egenskaperna för respektive profil behandlas först och därefter de gemensamma.

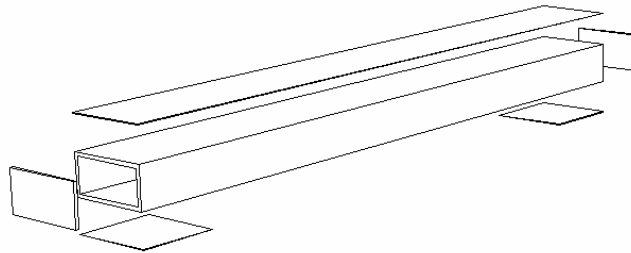
Två av de utarbetade förslagen består av stål balkar som placeras in i fasaden direkt ovanför öppningen. Balkarna skall försöka lyfta fram ett naturligt rostigt utseende hos stålet. För att detta skall uppnås har en metod för att påskynda rostangreppet provats som kan generera fina mönster och ytstrukturer. Metoden finns inte så väl dokumenterad och är troligen inte testad i någon större utsträckning tidigare. Metoden skall därför beaktas med viss återhållsamhet då långtidsförsök inte är genomförda, något som inte ryms inom tidsramen för examensarbetet. En utförligare beskrivning av metoden och dess för- och nackdelar finns i kapitlet 4.3.2 *Ytbehandling*.

De två återstående profilerna är av trä men med en grundkonstruktion av stål. Träet utgör balkprofilernas synliga ytor i fasaden. Uppbyggnaden av träprofilerna med K-virke, limträ och ek är mer komplicerad vilket kräver en större arbetsinsats. Grundkonstruktionen av stål har olika funktion beroende på modell. Stålbalkarnas egenskaper och samverkan med murverk finns utförligt beskrivet i kapitel 4.3 *Gemensamma egenskaper stålprofiler*. Trä exponerat i en aggressiv miljö kräver särskild behandling för att rätt funktion och utseende skall erhållas. K-virke, ek- och limträ beskrivs i kapitel 4.6 *Gemensamma egenskaper träprofiler*. I *Appendix* återfinns måttatta konstruktionsritningar för samtliga modeller.

4.1 Liggande VKR-stålprofil

4.1.1 Beskrivning

En VKR-profil med måtten 120x60x5 mm lägges, så att belastning sker i veka ritningen, över öppningen med minst en ½-stens upplag. VKR-profilen förses med ändplåtar med neoprengummi och på balkens ovansida samt på upplagen lägges en tunn plåt som rörelseskikt för att undvika tvångskrafter mellan stål och murverk, se figur 4-2. Ändplåtarna svetsas samman med VKR-profilen före montering. Ändplåtarnas funktion är att undvika att fylla VKR-profilen med bruk vid monteringen. Neoprengummi limmas på ändplåtarnas utsida med epoxilim för att tillåta rörelser i balkens längdriktning. Stålprofilens yta behandlas för att få ett rostigt utseende. Därefter skyddas ytan med linolja. Alternativt kan balken galvaniseras eller behandlas med rostskyddsfärg och målas.



Figur 4-2. 3D-modell av liggande VKR-stålprofil.

Eftersom balkens mått är ungefär som en tegelstens så är detta förslag en lösning som endast bygger ett skift i fasaden, vilket medför en enkel montering av balken. Då profilen är väldigt slank bör man inte välja detta alternativ vid bredare fönsteröppningar då balkens spännvidd kan kännas oproportionell mot dess höjd.

4.1.2 Material

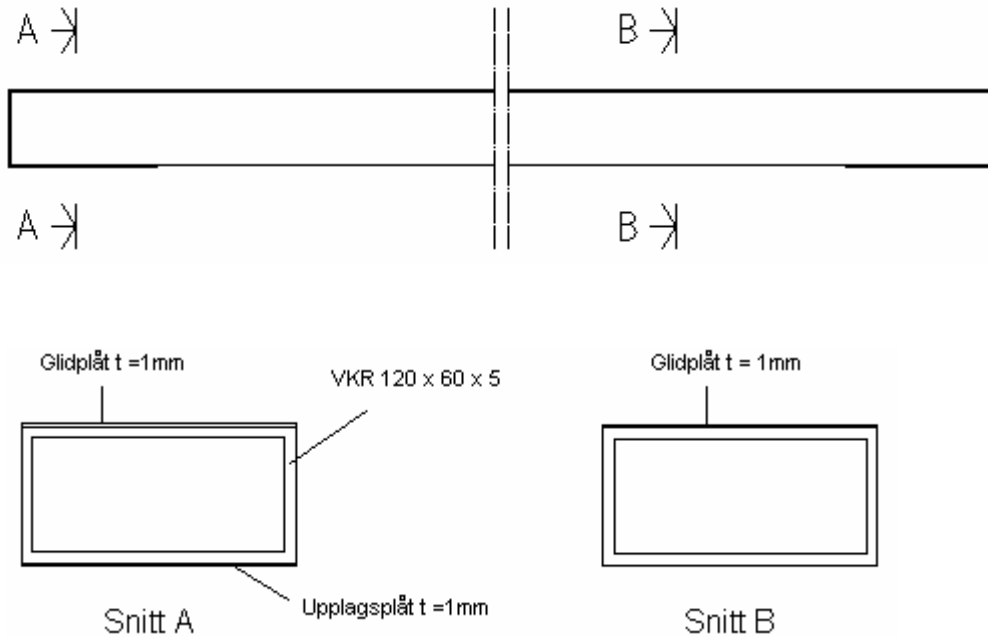
På grund av förslagets enkla utformning blir materialbehovet begränsat. Den bärande konstruktionen består av en VKR 120x60x5 mm med en längd som uppgår till öppningens bredd plus minst en sten. Övriga kompletterande material såsom glidskikt, upplag och ändplåtar är:

- Övre glidskikt, 1 mm syrafast* stålplåt, bredd 120 mm, längd = balklängd
- Undre glidskikt/upplag, 1 mm syrafast stålplåt, bredd 120 mm, längd = upplagslängd
- Ändplåtar, syrafast stål, bredd 120 mm, höjd 60 mm, tjocklek 1 mm. Svetsas fast i VKR-profilen.
- Neoprengummi, bredd 120 mm, höjd 60 mm, tjocklek 2 mm⁴³

⁴³<http://www.kuntze.se/index.asp?sidid=27&ProduktOmrade=Gummiduk%2C+packningar%2C+cellgummi+%26+cellplast> besökt den 30 december 2005

*Syrafast stål är ett rostfritt stål, ofta 18/8-stål, innehållande molybden⁴⁴.

Figur 4-3 visar den liggande VKR-profilen i elevation med tvärsnittssektioner där de olika materialen framgår. Måttsett konstruktionsritning med samtliga detaljer redovisas i K-1, Appendix.



Figur 4-3. Liggande VKR- profil i elevation samt tvärsnittssektioner.

4.1.3 Laster

Lastkapaciteten för VKR-profilen redovisas i *tabell 4-1*. Tabellen redovisar maximal tillåten last för olika längder då den maximala nedböjningen är $L/600$. Balken anses tillhöra säkerhetsklass två och tvärsnittsklass ett enligt beräkningarna nedan. Vid en balklängd på 2,2 meter uppgår den maximala lasten till 2,5 kN/m. Balkens kapacitet anses fullt tillräcklig då så stora laster inte förekommer över öppningar i skalmurar med en maximal öppning på två meter. Det bör dock beaktas att kapaciteten är direkt beroende av öppningens storlek. En större öppning medför en lägre lastkapacitet för den framtagna balkprofilen. Tvärsnittsdata och formler för beräkningar är hämtade ur *Tabell och Formelsamling*⁴⁵.

⁴⁴Elmarsson, Bengt – Nevander, Lars Erik, *FUKT Handbok Praktik och teori*, AB Svensk Byggtjänst, Stockholm 1994

⁴⁵Isaksson, Tord – Mårtensson, Annika, *Tabell och Formelsamling, Avdelningen för Konstruktionsteknik, LTH 2000*

Alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel

Tvårsnittsdata, VKR 120x60x5, (veka riktningen)

Stålkvalitet: S355J2H

$$W_y = 32,9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$I_y = 9,88 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$Z_y = 38,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

$$\text{SK 2, } f_{yd} = 323 \text{ MPa}$$

$$E_k = 210 \text{ GPa}$$

Beräkning av tvärsnittsklass (Tabell 2:3, Tabell och Formelsamling)

Fläns

$$\beta_f = \frac{b_f}{t_f} = \frac{120 - 10}{5} = 22$$

$$\beta_{fpl} = 1,0 \cdot \sqrt{\frac{E_k}{f_{yk}}} = 1,0 \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3}{355}} = 24,3$$

$$\beta_f \leq \beta_{fpl}$$

Liv

$$\beta_w = \frac{b_w}{t_w} = \frac{60 - 10}{5} = 10$$

$$\beta_{wpl} = \beta_1 \cdot \sqrt{\frac{E_k}{f_{yk}}} \quad (\beta_1 = 2,4) = 2,4 \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3}{355}} = 58$$

$$\beta_w \leq \beta_{wpl}$$

Tvärsnittet tillhör tvärsnittsklass 1

Momentkapacitet

$$M_{rd} = f_{yd} \cdot W \cdot \eta = f_{yd} \cdot W \cdot \frac{Z}{W} = f_{yd} \cdot Z = 323 \cdot 10^6 \cdot 38,4 \cdot 10^{-6} = 12,4 \text{ kNm}$$

Lastkapacitet med avseende på moment

$$M = \frac{qL^2}{8} \rightarrow q = \frac{M \cdot 8}{L^2}$$

Tillåten nedböjning

$$y_{\max} = \frac{L}{600}$$

Lastkapacitet med avseende på nedböjning

$$y_{\max} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \rightarrow q = \frac{y_{\max} \cdot 384 \cdot E \cdot I}{5 \cdot L^4}$$

Balklängd (m)	Lastkapacitet, q, mht moment (kN/m)	Tillåten nedböjning, y _{max} (mm)	Lastkapacitet, q, mht nedböjning (kN/m)	Motsvarar i tegelhöjd (m)
1,2	68,9	2	15,4	7,3
1,4	50,6	2,3	9,5	4,5
1,6	38,8	2,7	6,6	3,1
1,8	30,6	3	4,5	2,1
2	24,8	3,3	3,3	1,6
2,2	20,5	3,7	2,5	1,2

Tabell 4-1. Lastkapacitet med hänsyn till moment och nedböjning för olika balklängder.

Tvärkrafter, skjuvning eller några samverkans effekter (exempelvis samtidig tryck och böjning) förekommer i begränsad eller ingen omfattning alls. Balken kan eventuellt tänkas röra sig i planet om balken utsätts för en momentan yttre last, exempelvis någon form av olyckslast, men sannolikheten för att en sådan last skall uppstå är minimal. Om en sådan yttre last skulle träffa skalmursfasaden så är det mer sannolikt att den övriga tegelfasaden rör sig i planet och deformerar. Den kritiska punkten utgörs således inte av balkkonstruktionen.

Tvångskrafter som kan uppstå mellan de olika materialen på grund av olika materialegenskaper tas upp under kapitlet 4.3.1 *Rörelser*.

4.1.4 Montering

VKR-profilen har en vikt på 13,1 kg/m, vilket är mindre än en armerad tegelbalk som väger ca 15 kg/m. Den låga vikten i kombination med att den endast bygger ett skift gör att den är enkel att montera. Vid nyproduktion börjar arbetet med att en vattenavledningsplåt monteras i den bärande stommen så att den utstickande, vinklade delen hamnar strax under balken. Sedan placeras upplagsplåtar på upplagen och därefter monteras balken på plats. Ovanpå balken ska glidplåten läggas. Därefter fortskrider murningsarbetet.

Vid renovering påbörjas arbetet med att tegelstenarna i det första skiftet ovanför öppningen samt minst en halv sten in på upplagen plockas bort. Först lägges murbruk på upplagen och därpå placeras upplagsplåtarna och sedan monteras balken över öppningen. På balkens ovansida lägges glidplåten och slutligen fylls fogarna ovanför och vid sidorna väl med murbruk. Eventuellt kan monteringen underlättas om ytterligare ett eller två skift plockas bort under förutsättning att det går att använda samma tegel igen. Viktigt är att försöka hitta ett murbruk med en kulör som efterliknar det befintliga i största möjliga utsträckning. Glidplåtarna vid upplag och på ovansidan av balken monteras separat genom att de lägges på plats. Plåtarna ligger

löst och det är viktigt att kontrollera att de hamnar rätt vid murningen. För att glidplåtar och balk skall hamna i exakt rätt position så kan pallningsbrickor av plast med samma höjd som fogen användas. Pallningsbrickorna placeras på upplaget, glidplåten på brickorna och därefter balken på glidplåten, var på pallningsbrickorna fogas in. Brickorna finns i olika dimensioner och med olika höjd så att de går att stapla till erforderlig foghöjd⁴⁶.

4.1.5 Fullskalemodell

Murningen av provkroppen med den liggande VKR-stålprofilen fortskred utan problem. Balkens låga vikt kombinerat med få komponenter resulterade i en snabb och rationell montering. Den största fördelen upplevdes vara balkens dimensioner. Den totala balkhöjden är likvärdig en tegelstens vilket medförde ett enkelt murningsförfarande, *se figur 4-4*. Provkroppens totala bredd uppgår till ca två meter och öppningens storlek till en meter.



Figur 4-4. Fullskalemodell av liggande VKR-stålprofil.
Öppningsbredd: 1,0 m. Balklängd: 1,25 m.

En annan stor fördel som bidrog till en rationell murning var teglets dimensioner. Endast ett fåtal stenar av det gula teglet (250x120x62 mm) behövde kapas och på första skiftet ovanför balken kunde murningen fortskrida obehindrat. Montering i en verklig fasad är beroende på skalmurens utformning, teglets dimensioner och skiftens storlek men då balken enkelt kan kapas och anpassas efter den befintliga fasaden så blir montering rationell.

Fullskalemodellen visar tydligt att balkmodellen endast bör användas vid mindre fönsteröppningar. Vid en öppningsbredd på en meter upplevs balken inte som oproportionerlig men en större öppningsbredd kombinerat med den liggande VKR-

⁴⁶ <http://www.skbvast.se> besökt den 15 december 2005

Alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel

profilen kan balken upplevas som slank. Därför bör detta lösningsförslag begränsa sig till öppningar upp till en och en halv meter.

Vid upplagen kunde balken placeras på glidplåtarna utan att bruket sjönk undan. Detta berodde dels på balkens relativt låga vikt samt dels på murbrukets kvalitet. Vid murningen runt upplagen användes bruk som var relativt styvt. Pallningsbrickor var således ej nödvändiga på upplagen vid just den här fullskalemodellen. Vid murning av provkroppen har ändplåtarna ej försetts med neoprengummi.

Balken färdigställdes på plats. Ytbehandlingen med linolja utfördes då balken var monterad vilket skiljer sig från en verklig situation då balken skall vara färdigbehandlad innan insättning. Eventuellt kan viss efterbehandling ske på plats men endast för att komplettera det befintliga ytskiktet. Vid appliceringen blev liggfogarna under upplag utsatta för stänk av linolja. Dessutom fick den första liggfogen ovanför balken en avvikande kulör då den inte blev struken i samband med murningen, *se figur 4-5*.



Figur 4-5. Liggande VKR-stålprofil vid upplag.
Linolja på liggfogen under upplaget.

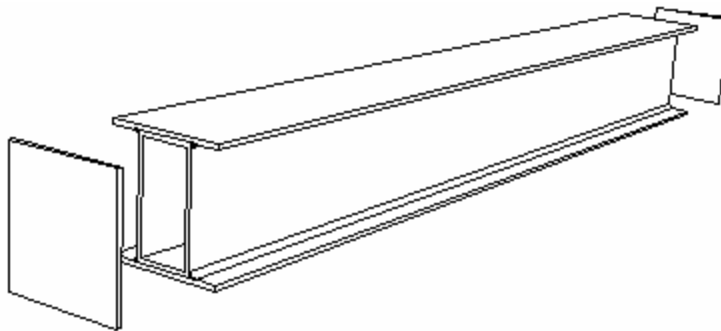
För att påskynda uttorkningen av linoljan har en blandning med balsamterpentin använts. Blandningen uppgick till lika delar linolja och balsamterpentin.

Vid murning av fullskalemodellen användes två olika fabrikat av ”murbrukstyp B”. Trots samma kvalitet och fördelning mellan kalk och cement så uppvisade bruken olika egenskaper. Kulör och arbetbarhet varierade trots samma tillverkningsprocess och arbetsrecept.

4.2 Stående VKR-stålprofil med plattstänger

4.2.1 Beskrivning

Balkkonstruktionen består av en VKR-profil som belastas i styva riktningen. Två plattstänger av stål, med samma längd, svetsas fast på över- respektive undersida av balkprofilen, *se figur 4-6*. Svetsarna utföres som kälsvetsar i balkens längdriktning. Kälsvetsarna blir synliga på sidan ut mot fasaden vilket kräver noggrann svetsning. På kanterna är balken försedd med ändplåtar av samma tjocklek som plattstängerna. Ändplåtarnas svetsas samman med VKR-profilen för att erhålla en sammansatt konstruktion, något som rationaliserar monteringsarbetet.



Figur 4-6. 3D-modell av VKR-stålprofil med plattstänger.

Ändplåtarnas funktion är dels att hålla murbruket i stötfogen på plats och dels för att skapa ett enhetligt intryck med ram runt hela konstruktionen. Det inramade intrycket uppnås bäst med samma godstjocklek på ändplåtarna som på plattstängerna. För att tillåta rörelser i balkens längdriktning limmas neoprengummi på ändplåtarnas utsida.

Balken placeras på upplag om minst en halv sten. På upplagen lägges en tunn plåt som rörelseskikt för att undvika tvångskrafter. Balkens totala höjd bygger två tegelskift. Vid renovering betyder det att minst två skift måste avlägsnas samt att tegelstenar måste kapas vid balkens upplag.

En fördel med lösningen är att tjockleken på flänsarna av plattstång kan varieras så att de passar in med fogarna. På så sätt kan en balk som bygger två skift erhållas oavsett skifthöjd. Fogarnas höjd och flänsarnas tjocklek bör därför beaktas i varje specifikt fall. För att det inramade intrycket skall bevaras är det, som tidigare nämnts, viktigt att ändplåtarna har samma godstjocklek som flänsarna.

Anledningen till att ingen standardprofil (HEA, IPE, etc.) utnyttjas är balklivets placering. Tanken är att livet skall vara inskjutet ett par centimeter för att erhålla en känsla av djup i konstruktionen. På en standardprofil sitter livet centriskt placerat vilket medför för breda flänsar och därmed ett allt för stort djup.

Profilen behandlas för att få ett rostigt utseende och förseglas med ett täckande skikt av linolja. Täcksiktet skall bland annat förhindra vidare korrosion och att rostfärgat vatten kan rinna av från balken och ner på tegelfasaden. Behandlingen beskrivs mer ingående i kapitlet 4.3.2 *Ytbehandling*.

Ett alternativ till ytbehandling är att montera en front av något annat material. En sådan förändring skulle vara enkel att genomföra. Det kan vara en träpanel i lämpligt träslag eller något keramiskt material. Infästningen i stålbalcken sker då med rostfria skruvar framifrån. Om balken kläs in med en front så skall stålet rotskyddsbehandlas med rotskyddsfärg. Vid användandet av fronter är det en stor fördel att dessa kan bytas upprepade gånger om så önskas.

4.2.2 Material

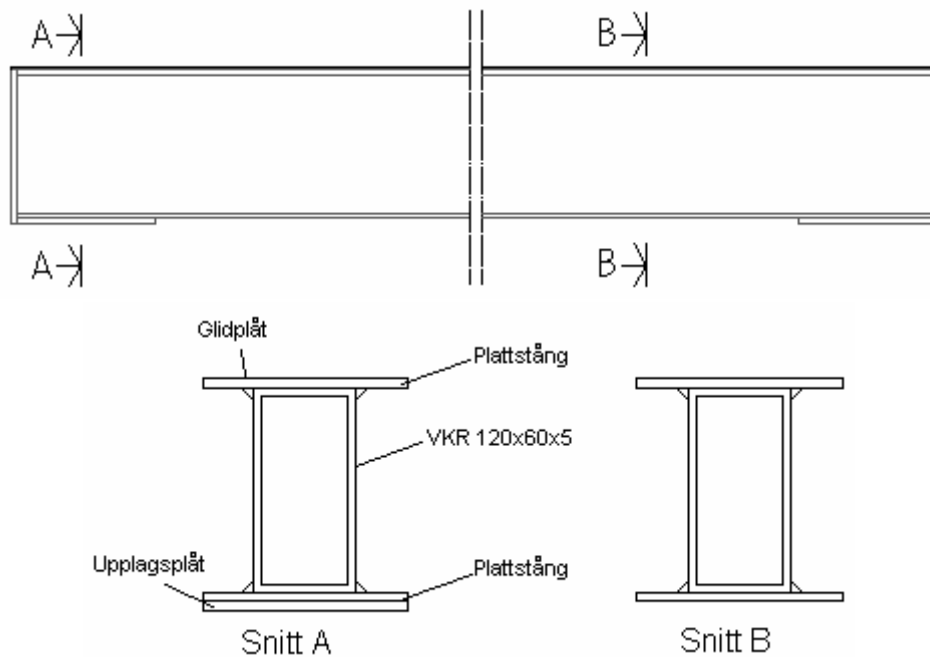
Konstruktionens bärförmåga utgörs i huvudsak av ett VKR-rör med dimension 120x60x5 mm samt två plattstänger i samma längd med dimension 120x5 mm. Balklängden uppgår till öppningsbredd plus upplagslängd om minst en stens tegel.

Övriga erforderliga beståndsdelar är:

- Övre glidskikt, 1 mm syrafast stålplåt, bredd 120 mm, längd = balklängd
- Undre glidskikt/upplag, plattstång 120 x 5 mm
längd = upplagslängd
- Ändplåtar, höjd 130 mm, bredd 120 mm, tjocklek 5 mm
- Neoprengummi, höjd 130 mm, bredd 120 mm, tjocklek 2 mm⁴⁷

Figur 4-7 visar VKR-profilen med plattstänger i elevation med tvärsnittssektioner där de olika materialen framgår. Måttfatt konstruktionsritning med samtliga detaljer redovisas i *K-2, Appendix*.

⁴⁷<http://www.kuntze.se/index.asp?sidid=27&ProduktOmrade=Gummiduk%2C+packningar%2C+cellgummi+%26+cellplast>



Figur 4-7. VKR-stålprofil med plattstänger i elevation samt tvärsnittssektioner.

4.2.3 Laster

Balken fungerar som en fritt upplagd balk på två stöd. Balken belastas enbart med egentyngheden av de tegelskift som ligger under lastens trycklinje. Vid beräkning av lastkapaciteten är det endast VKR-profilens bärförmåga som beaktas. Samverkan med flänsarna av plattstänger ökar kapaciteten men försummas vid beräkning. Lastkapaciteten för VKR-profilen redovisas och sammanställs i tabell 4-2. Tabellen redovisar maximal tillåten last för olika längder då den maximala nedböjningen är $L/600$. Vid en balklängd på 2,2 meter uppgår den maximala lasten till 7,6 kN/m. Balken anses tillhöra säkerhetsklass två och tvärsnittsklass ett enligt beräkningarna nedan. Tvärsnittsdata och formler hämtade ur *Tabell och Formelsamling*⁴⁸.

Tvärsnittsdata, VKR 120x60x5

Stålkvalitet: S355J2H

$$W_x = 49,9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$I_x = 2,99 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$Z_x = 63,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

$$\text{SK 2, } f_{yd} = 323 \text{ MPa}$$

$$E_k = 210 \text{ GPa}$$

⁴⁸Isaksson, Tord – Mårtensson, Annika, *Tabell och Formelsamling, Avdelningen för Konstruktionsteknik, LTH 2000*

Tvårsnittsklass (Tabell 2:3, Tabell och Formelsamling)

Fläns

$$\beta_f = \frac{b_f}{t_f} = \frac{60-10}{5} = 10$$

$$\beta_{fpl} = 1,0 \cdot \sqrt{\frac{E_k}{f_{yk}}} = 1,0 \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3}{355}} = 24,3$$

$$\beta_f \leq \beta_{fpl}$$

Flänsen tillhör tvårsnittsklass 1

Liv

$$\beta_w = \frac{b_w}{t_w} = \frac{120-10}{5} = 22$$

$$\beta_{wpl} = \beta_1 \cdot \sqrt{\frac{E_k}{f_{yk}}} \quad (\beta_1 = 2,4) = 2,4 \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3}{355}} = 58$$

$$\beta_w \leq \beta_{wpl}$$

Livet tillhör tvårsnittsklass 1, hela tvärsnittet tillhör tvårsnittsklass 1.

Momentkapacitet

$$M_{rd} = f_{yd} \cdot W \cdot \eta = f_{yd} \cdot W \cdot \frac{Z}{W} = f_{yd} \cdot Z = 323 \cdot 10^6 \cdot 63,1 \cdot 10^{-6} = 20,4 \text{ kNm}$$

Lastkapacitet med avseende på moment

$$M = \frac{qL^2}{8} \rightarrow q = \frac{M \cdot 8}{L^2}$$

Tillåten nedböjning

$$y_{\max} = \frac{L}{600}$$

Lastkapacitet med avseende på nedböjning

$$y_{\max} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \rightarrow q = \frac{y_{\max} \cdot 384 \cdot E \cdot I}{5 \cdot L^4}$$

Balklängd (m)	Lastkapacitet, q, mht moment (kN/m)	Tillåten nedböjning, y_{\max} (mm)	Lastkapacitet, q, mht nedböjning (kN/m)	Motsvarar i tegelhöjd (m)
1,2	113,3	2,0	46,5	21,9
1,4	83,3	2,3	28,9	13,6
1,6	63,8	2,7	19,9	9,4
1,8	50,4	3,0	13,8	6,5
2,0	40,8	3,3	9,9	4,7
2,2	33,7	3,7	7,6	3,6

Tabell 4-2. Lastkapacitet med hänsyn till moment och nedböjning för olika balklängder.

På motsvarande sätt som för VKR-profilen i kapitel 4.1 *Liggande VKR-stålprofil*, förekommer tvärkrafter, skjuvning eller några samverkans effekter (exempelvis samtidigt tryck och böjning) i begränsad eller ingen omfattning alls. Risken för att balken skall röra sig i planet på grund av yttre last eller inre spänningar bedöms även här vara minimal. Den kritiska punkten vid en sådan yttre last utgörs således inte av balkkonstruktionen utan troligen av det övriga murverket.

Tvångskrafter som kan uppstå mellan de olika materialen på grund av olika materialegenskaper tas upp under kapitlet 4.3.1 *Rörelser*.

4.2.4 Montering

Vid montering gäller att balken utgör en sammansatt konstruktion med flänsar och ändplåtar fastsvetsade före montering. Ändplåtarna skall även vara försedda med neoprengummi. Utöver balken är det glidlagren över upplag och överfläns som monteras separat. Balkkonstruktionens vikt är relativt stor 22,5 kg/m (VKR-profil 13,1 kg/m + plattstång 2 * 4,7 kg/m) vilket medför en något mer komplicerad montering. Arbetsutförandet kräver två personer framför allt när balken skall lyftas på plats. Vid upplagen är det viktigt att rätt höjd på underliggande fog erhålls. För att glidplåtar och balk skall hamna i exakt rätt position så kan pallningsbrickor med samma höjd som fogen användas med stor fördel. Brickorna placeras på upplaget, glidplåten på pallningsbrickorna och därefter balken på glidplåten. Slutligen placeras övre glidplåten på balken. Pallningsbrickorna fogas sedan in till exempel när stötfogarna vid ändplåtarna färdigställs. Om brickor inte används så finns risken att murbruket sjunker undan, fogen vid upplaget blir minimal och den totala balkhöjden blir felaktig. Balkens vikt och murbrukets kvalitet är avgörande om rätt höjd på fogen skall erhållas utan pallningsbrickor.

Glidplåtarna vid upplag och på ovansidan av balken monteras separat genom att de lägges på plats. Plåtarna ligger löst och det är viktigt att kontrollera att de hamnar rätt vid murningen.

4.2.5 Fullskalemodell

Då provkroppen endast är till för en gestaltningsmässig bedömning så har ett antal mindre modifieringar genomförts. Den stora skillnaden är att svetsningen utfördes som punktsvetsar i förborrade hål i plattstängerna. I verkligheten skall kälsvetsar användas vilket resulterar i ett mer stilrent intryck och att vatten inte kan tränga in mellan balk och underfläns. I *figur 4-8* visas fullskalemodellen av den stående VKR-profilen med plattstänger. Balkens djup framgår av *figur 4-9*.



Figur 4-8. Fullskalemodell av stående VKR-stålprofil med plattstänger.

Öppningens bredd uppgick till en meter och balklängden till 1,25 meter vilket inte var helt optimalt med tanke på väggens totala bredd. Ett antal stenar fick kapas och en del fogar justeras för att måtten runt balken skulle stämma överens med ritning. Helhetsintrycket påverkas dock inte av justeringarna ovan.

En annan modifiering var att balken las direkt på murbruk vid upplag. I en verklig situation krävs glidplåtar vid upplag för att tillåta rörelser. Med tanke på balkens vikt så hade monteringsarbetet underlättats om pallningsbrickor hade använts på upplagen. Vid murning av provkroppen har ändplåtarna inte heller försetts med neopregummi.

I likhet med den liggande VKR-stålprofilen så utfördes ytbehandlingen med linolja då balken var monterad vilket skiljer sig från en verklig situation då balken skall vara färdigbehandlad innan insättning. Även i denna modell har liggfogarna under upplag varit särskilt utsatta för stänk av linolja, *se figur 4-9*.



Figur 4-9. Stående VKR-stålprofil med plattstänger där balkens djup framgår.

Under uppmurning av modellen skyddades balken med plastfolie för att inte skada den rostade ytan. Ytan var vid detta tillfälle endast rostad och inte förseglad med linolja. Linoljan applicerad cirka två veckor efter monteringen vilket var en nackdel. Den rostiga ytstrukturen hade till vissa delar försvunnit genom att små ytskikt flagats av. I jämförelse med de tester som genomfördes initialt erhöles ett sämre slutresultat. Orsaken torde vara tidsfaktorn mellan rostning och ytbehandling. En omgående behandling med linolja hade sannolikt bevarat ytstrukturen bättre.

På grund av en förenkling av arbetsutförandet erhöles dålig anliggning mellan ändplåtar och balk beroende på att plåtarna endast lades på plats. Ändplåtarna skall i en verklig situation vara fastsvetsade i balken.

Murningen av fullskalemodellen skedde med ett och samma fabrikat av ”murbruk B”. Efter färdigställandet kompletterades dock vissa fogar med murbruk. Tyvärr var detta bruk från en annan tillverkare vilket påverkade modellens utseende. Kulören på vissa fogar är därför ljusare vilket drar ner helhetsintrycket, vilket tydligt syns i *figur 4-8*.

4.3 Gemensamma egenskaper stålprofiler

4.3.1 Rörelser

Murverkets och stålets olika längdutvidgningskoefficienter kräver att rörelser är möjliga mellan de olika materialen. Förhållandet mellan teglets och stålets längdutvidgningskoefficienter är cirka 1:2. Problemen med längdförändringar blir dock inte så stora då balkens längd är begränsad. Vid beräkning av längdutvidgning med en antagen temperaturskillnad på 70°C (-20°C - +50°C) och en balklängd på två meter kommer skillnaden i längdutvidgning mellan stål och tegel vara cirka 1 mm enligt beräkningar nedan. Skillnaden i längdutvidgning mellan stål och det sammansatta murverket är sannolikt mindre. Det finns dock risk för att spänningar och tvångskrafter genereras något som kan visa sig som sprickor i fogarna, framför allt vid hörn. Spänningarnas inverkan för sprickbildning kan inte negligeras utan måste beaktas. Svårigheten består i att uppskatta spänningarnas storlek, omfattning och uppkomst. Beräkningar är behäftade med osäkerheter då sprickbildning ofta är okontrollerbar.

För att tillåta rörelser mellan de olika materialen är glidskikt monterade vid upplag och på ovankant av balkarna. Glidskikten skall medge att materialen kan röra sig individuellt. Rörelser av glidskikten kan eventuellt resultera i sidoeffekter som sprickor eller dåligt fyllda fogar något som kan uppstå under härdningsprocessens tidiga skede. Materialegenskaper och formler hämtade ur *Burström*⁴⁹.

Längdutvidgningen mellan tegel och stål är beräknad enligt följande:

Längdutvidgningskoefficienter (Tabell 8.1)

$$\alpha_{\text{tegel}} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$
$$\alpha_{\text{stål}} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

Längdutvidgning (ekvation 8:1)

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$$
$$\Delta T = -20^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C} = 70^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta L_{\text{tegel}} = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 2000 \cdot 70 = 0,7 \text{ mm}$$
$$\Delta L_{\text{stål}} = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 2000 \cdot 70 = 1,7 \text{ mm}$$

Skillnad: 1 mm

⁴⁹Burström, Per Gunnar, *Byggnadsmaterial, Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*, Studentlitteratur Lund 2002

Ett kritiskt snitt i den tillverkade modellen som bygger två skift är stötfogarna i anslutning till balken. Här blir det tre stötfogar på höjd på grund av symmetri, vilket leder till att det föreligger en uppenbar risk för sprickbildning om fogarna är dåligt fyllda eller om rörelser uppstår. *Figur 4-10* visar anslutningen mellan skalmur och balk från modellen ”Stående VKR-stålprofil med plattstänger” där balken bygger två skift.



Figur 4-10. Stående VKR-stålprofil med plattstänger. Tre stötfogar på höjd.

4.3.2 Ytbehandling

Ett förslag till ytbehandling är att spruta saltsyra på balken för att påskynda korrosionsangreppet. Att behandla en stålprofil med klorider, i detta fall saltsyra (HCl), medför en kraftig ökning av korrosionshastigheten⁵⁰. Ytorna bör vara fria från glödska (benämns även valshud) innan behandlingen. Efter några dagars angrepp av saltsyran erhåller balken en spräcklig rödbrun rostfärg varefter ytan sköljs av med vatten och slutligen förseglas med linolja. Balken får ett naturligt rostigt utseende men ser behandlad ut med det oljeskikt som linoljan utgör. Observera att det endast är de ytor som syns i fasaden, fram- och underkant, som behandlas enligt principen ovan. Övriga ytor behandlas med rostskyddsfärg.

En rostig balk kan eventuellt resultera i en osäkerhet hos betraktaren. Korrosion och rost upplevs generellt som något negativt och hållfastheten bedöms i sådana situationer ofta som undermålig. Förhoppningen är att den linoljebehandlade ytan motverkar denna uppfattning.

Rostfärgen smälter in i tegelfasader med mörkare nyanser men kan även vara spännande att bryta av med i ljusa fasader. Detta bör dock främst användas vid nybyggnation för att inte ändra för mycket på den ursprungliga arkitektoniska gestaltningen. För att få en uppfattning om hur ytbehandlingen ser ut i verkligheten

⁵⁰ ibid.

har VKR-profilerna i de uppbyggda fullskalemodellerna behandlats på nämnda vis med rostning. Genom rostning kan man med olika utföranden erhålla varierad struktur och mönster på balkens ytor. Det är enkelt att variera mängd saltsyra, antal behandlingar, tidpunkt för oljning, miljö, förvaring och antalet strykningar med olja. Uttrycksmässigt är det omöjligt att erhålla exakt samma struktur på två balkar. Detta upplevs som en av rostningens positiva egenskaper. *Figur 4-11* och *figur 4-12* visar ett exempel på hur en balk ser ut efter den inledande behandlingen med saltsyra och senare efter det att linolja applicerats.



Figur 4-11. I-profil efter behandling med saltsyra.



Figur 4-12. Samma I-profil efter behandling med linolja, en strykning.

Ytskiktet skall i huvudsak uppfylla tre olika funktioner⁵¹:

- Skydda stålet mot fukt, kemikalier och andra påfrestningar
- Lyfta fram stålets estetiska effekter
- Förhindra nedsmutsning och missfärgning av stålet

Täckskiktet måste vara absolut tätt, annars kan vatten i kontakt med stålet göra att korrosionsprocessen fortskrider vilket kan leda till missfärgningar på tegelfasaden. Viktigt är även att linoljan inte får en glansig yta. En glansig yta kan medföra att ljuset reflekteras för mycket istället för att ljus absorberas och lyfter fram strukturen hos balken.

Linolja som ytskikt

När det gäller rostskyddet av balken så utgörs det endast av linoljan. Linoljan skall då ensam stå för den isolerande funktionen något som traditionellt sett inte är tillräckligt. Hur väl metoden fungerar är oklart då det är svårt att erhålla ett absolut tätt skikt samt att man vanligen kombinerar den isolerande funktionen med ett katodiskt skydd eller någon form av passivering.⁵² Metoden används dock som rostskydd vid bland annat underreksbehandling av fordon.

⁵¹ ibid.

⁵² ibid.

Linoljan ger ett bättre skydd mot exempelvis korrosion om den appliceras upprepade gånger. Hur många gånger påstrykning behövs och med vilket intervall är svårt att uppskatta. Användningen av linoljan kan dock motiveras med att vid upprepade behandling så bildas ett tjockare skikt som kan stå emot fukt längre. Dock kan det vara svårt att erhålla ett sammanhängande ytskikt vid hörn och kantzoner.

Att använda linolja som rostskydd har vid upprepade tillfällen brukats av handledaren. Ytorna har under lång tid varit placerade i utomhusmiljö med positiva erfarenheter⁵³. I övrigt finns inte några långtidsförsök med denna typ av rostskydd dokumenterade.

Linolja används ofta som bindemedel hos färger och lacker men kan även användas separat. Det förekommer både rå- och kokt linolja. Den kokta linoljan är rå linolja med tillsats av torkmedel som värmts upp, vilket påskyndar torkning. Av denna anledning är det bättre med kokt linolja. Det finns dock en del nackdelar med linolja. Framför allt är de känsliga mot alkali samt att skiktet är mjukt och långsamt torkande.⁵⁴ Av denna anledning är det särskilt viktigt att det inte hamnar något murbruk på de sidor av balken som är inoljade. Om murbruk hamnar på balken bryts ytskiktet av linolja ner, stålet blottas och korrosionsprocessen startar igen.

Alternativ ytbehandling

En alternativ ytbehandling är att varmgalvanisera balken vilket ger en matt yta. Detta alternativ är mer gestaltningsmässigt tveksamt men skulle kunna användas vid nybyggnation av moderna tegelhus om man använder andra husdetaljer i samma nyans, exempelvis avvattningsystemet med hängrännor och stuprör. En fördel med detta alternativ är att balken erhåller rostskydd och ytstruktur i samma skikt samt att den får en lång livslängd så länge ytskiktet är intakt.

4.3.3 Underhåll

Linoljan fungerar som rostskydd för balken och när den successivt försvinner blottläggs balkens stålyta och korrosionsprocessen fortskrider. Därför bör balken med jämna mellanrum påstrykas med linolja för att förhindra eller fördröja korrosion. Upprepade påstrykningar genererar en tjockare beläggning vilket bidrar till ett effektivare rostskydd. Behandlingen med linolja ger ytan en behandlad struktur vilket visar att balken är rostad med flit och inte en följd av dåligt underhåll. Avsikten är att lyfta fram den rostiga ytans positiva drag utan att betraktaren får en negativ uppfattning om den rostiga balken. Linoljans egenskaper beskrivs mer ingående under kapitlet *4.3.4 Beständighet*.

⁵³Jönsson, Johan, Avd. för Konstruktionsteknik, den 21 oktober 2005

⁵⁴Burström, Per Gunnar, *Byggnadsmaterial Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper* Studentlitteratur Lund 2001

4.3.4 Beständighet

Stålbalkens beständighet mot korrosion är direkt beroende av ytbehandlingskvalitet. Om ett tätt skikt erhålls ökar balkens livslängd och därmed hela konstruktionen för att överbrygga öppningen. Glidskikt, ändplåtar och upplagsplåtar befinner sig i en alkalisk miljö men skall bestå av syrafast stål och anses därmed ha god beständighet.

Ytbehandlingsbeständighet påverkas även av solens UV-strålning. Strålningen orsakar en nedbrytning av täcksiktet. Nedbrytningshastigheten är dock svårt att beräkna eller uppskatta med flera faktorer som påverkar. Ytskikt på balkar som finns i fasader i syd eller sydväst där slagregn är vanligt förekommande torde brytas ner i en snabbare takt.

En annan faktor som kan påverka ytbehandlingen är stålbalkarnas relativt mörka färg. Mörka material har större temperaturbetingade rörelser på grund av solstrålning⁵⁵. Rörelserna kan eventuellt orsaka sprickor och hål i ytskiktet vilket medför blottat stål och korrosion.

Då inga långtidsförsök finns dokumenterade för den utarbetade metoden är det oklart hur ytstrukturen kommer att förändras. Det rostiga stålets yta kan eventuellt skifta nyans vilket kan förändra hela fasadens utseende.

De ytor av stålbalken som behandlas med rostskyddsfärg kan anses uppbibringa ett fullgott skydd under balkens livslängd. En förutsättning är dock att färgen är anbringad enligt de anvisningar som gäller.

4.3.5 Fukt

Balkarna skall rostskyddsbehandlas då de är placerade i en aggressiv utemiljö, miljöklass 2 eller 3 enligt BKR⁵⁶. På skalmurens insida kan vatten som trängt igenom vid slagregn rinna ner till öppningen vid balken. För att vattnet inte ska rinna in i fönsterkonstruktionen och skada karm eller båge monteras en vattenavledande plåt i den bärande stommen. Den vattenavledande plåten är vinklad så att vattnet leds ut bakom balken och kan droppa ner på fönsterbläcket. Ett alternativ till plåten är att montera en TB-ränna ovanför öppningen, *se figur 3-9 i kapitel 3. Inventering*.

Slagregn som träffar den stående VKR-profilens underfläns kan bli stående vilket kräver absolut täthet på täcksiktet. Om det förekommer blottat stål påskyndar inträngande vatten korrosionsprocessen. Följdproblem i form av rinnande ”rostfärgat” vatten på fasaden kan då uppstå.

⁵⁵ *ibid.*

⁵⁶ Boverkets Konstruktionsregler, *BKR, kap. 6 Murverkskonstruktioner*, tabell 6:3128c, (BFS 1998:39) Boverket Karlskrona

På grund av stålets termiska egenskaper så kommer ytorna att vara kalla stora delar av året och kondens kommer därför att bildas. Det kondenserade vattnet måste beaktas på samma sätt som slagregn. Vattnet utgör troligen ingen större risk för konstruktionerna eftersom materialen är rostskyddsbehandlade och det kondensvatten som rinner från balkarna kommer att droppa ner på vattenavledningsplåten eller direkt ner på fönsterbläcket.

4.4 UPE-stålprofil med träfront

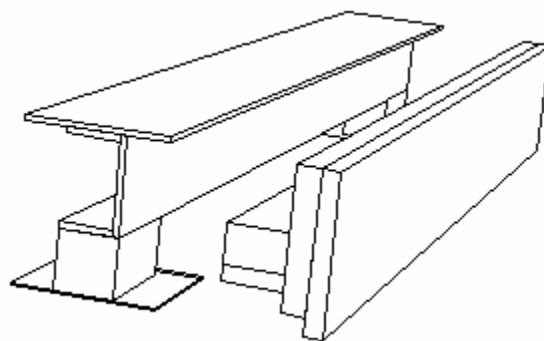
4.4.1 Beskrivning

Balken utgörs av en UPE 80 som vilar på upplag av VKR-rör med dimension 100x50x5 mm och höjden 50 mm. Höjden på VKR-upplagen kan dock varieras beroende på sten- och fogtjocklek. Under upplagen, mot liggfogen, placeras först en glidplåt. På UPE-profilens ovansida svetsas en plattstång med samma bredd som en tegelsten, 120 mm. En tunn glidplåt med bredden 120 mm placeras i sin tur på plattstången för att undvika tvångskrafter mellan materialen. Balkens kanter förses med ändplåtar samt neoprengummi. En översiktsmodell framgår av *figur 4-13*.

På fram- och undersidan monteras en sammansatt träkonstruktion av k-virke och ekträ. Anledningen till att inte massiv ek användes är att det är onödigt dyrt och att träkonstruktionen ändå måste sammanfogas av minst två delar. Därför minskar materialkostnaden genom att endast låta den exponerade delen av träet bestå av en 15 mm ekplanka och fylla ut med k-virke.

Träfronten vilar på upplagen dels i framkant och dels på den utskjutande delen av glidplåten mellan öppning och VKR-rör. Dessutom skruvas träfronten fast i UPE-profilen med hjälp av rostfria skruvar som döljs med träpluggar.

Balken är en lösning som bygger två tegelskift vilket medför att lösningen passar till större fönsteröppningar. Träslaget i den synliga panelen i träfronten kan varieras beroende på vilken gestaltning arkitekten eftersträvar och kan koordineras med andra detaljer på byggnaden.



Figur 4-13. 3D-modell av UPE 80 med träfront.

4.4.2 Material

Modellen är uppbyggd av en stål- respektive träkonstruktion. Stålkonstruktionen är sammansatt av ett antal komponenter som svetsas samman innan monteringen i skalmursfasaden. Träkonstruktionen, bestående av fyra olika delar, limmas med polyuretan som används vid limning av limträ. Träkonstruktionen kan sättas samman med stålkonstruktionen efter det att murningen av fasaden är klar. Infästningen mellan de båda konstruktionerna görs med hjälp av rostfria skruvar som är självborrande i stål.

Konstruktionen består av:

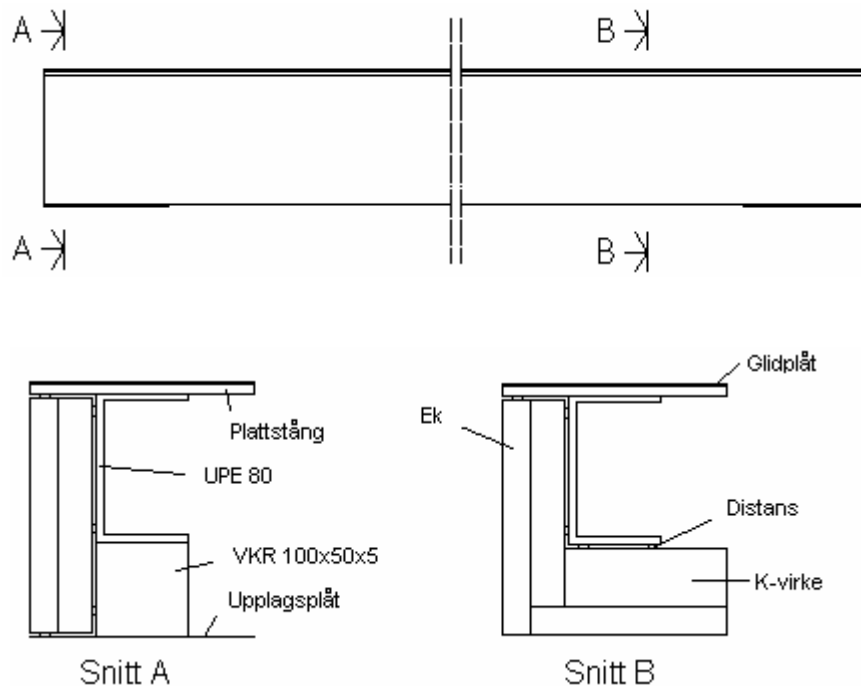
- UPE 80, längd = balklängd
- Plattstång 120 x 5, längd = balklängd
- VKR 100 x 50 x 5, längd = 50 mm (varierbar efter sten- och foghöjd)
- K-virke 18 x 126, längd = balklängd – rörelsemån i var ände
- Ekplanka 15 x 126, längd = balklängd – rörelsemån i var ände
- K-virke 31 x 87, längd = öppningsbredd + 2 x 20 mm upplagslängd
- Ekplanka 15 x 87, längd = öppningsbredd + 2 x 20 mm upplagslängd
- Ändplåtar 120 x 136 x 1
- Neopregummi, 120 x 136 mm, tjocklek 2 mm
- Upplagsplåtar 120 x 125 x 1
- Distanser av gummibrickor 6,5 x 17 x 2 från Würth⁵⁷
- Borrskruv trä-stål, SCT10/45-12-6,3 x 70 från SFS Intec⁵⁸

Balklängd = öppningens storlek plus total upplagslängd om en sten.

Figur 4-14 visar UPE-stålprofilen med träfront i elevation med tvärsnittssektioner där de olika materialen framgår. Måttfatt konstruktionsritning med samtliga detaljer redovisas i *K-3, Appendix*.

⁵⁷[http://www.wurth.se/kunder/Wurth/WurthProdKat.nsf/p/03300300-1.pdf/\\$file/03300300-1.pdf](http://www.wurth.se/kunder/Wurth/WurthProdKat.nsf/p/03300300-1.pdf/$file/03300300-1.pdf) besökt den 27 december 2005

⁵⁸<http://www.sfsintec.biz/Internet/SFS08.nsf/PageID/SCT10> besökt den 28 november 2005



Figur 4-14. UPE-stålprofil med träfront i elevation samt tvärsnittssektioner.

4.4.3 Laster

Balken fungerar som en fritt upplagd balk på två stöd som belastas av det tegelparti som befinner sig under lastens trycklinje ovanför balken. UPE-balken står för den bärande funktionen i konstruktionen och endast dess bärförmåga beaktas vid beräkningar av lastkapaciteten. Plattstångens främsta funktion är att skapa större yta att lägga tegelstenar på och dess bärförmåga försummas i beräkningarna nedan. Fronten av trä har ingen bärande funktion. I *tabell 4-3* presenteras balkens lastkapacitet för olika balklängder. Den maximala nedböjningen uppgår enligt tidigare till $L/600$ och balken antas tillhöra säkerhetsklass två. Balken hamnar i tvärsnittsklass ett och den maximala lastkapaciteten för en balk på 2,2 meter uppgår till 2,7 kN/m. Tvärsnittsdata och formler är hämtade ur *Tabell och Formelsamling*⁵⁹.

Tvärsnittsdata, UPE 80

Stålkvalitet: S355N/M

$$W_x = 26,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$I_x = 1,07 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$Z_x = 31,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

$$\text{SK 2, } f_{yd} = 323 \text{ MPa}$$

$$E_k = 210 \text{ GPa}$$

⁵⁹Isaksson, Tord – Mårtensson, Annika, *Tabell och Formelsamling, Avdelningen för Konstruktionsteknik, LTH 2000*

Beräkning av tvärsnittsklass (Tabell 2:3, Tabell och Formelsamling)

Fläns

$$\beta_f = \frac{b_f}{t_f} = \frac{50 - 4}{7} = 6,6$$

$$\beta_{fpl} = 0,3 \cdot \sqrt{\frac{E_k}{f_{yk}}} = 0,3 \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3}{355}} = 7,3$$

$$\beta_f \leq \beta_{fpl}$$

Flänsen tillhör tvärsnittsklass 1

Liv

$$\beta_w = \frac{b_w}{t_w} = \frac{80 - 2 \cdot 7}{4} = 16,5$$

$$\beta_{wpl} = \beta_1 \cdot \sqrt{\frac{E_k}{f_{yk}}} \quad (\beta_1 = 2,4) = 2,4 \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3}{355}} = 58,4$$

$$\beta_w \leq \beta_{wpl}$$

Livet tillhör tvärsnittsklass 1, hela tvärsnittet tillhör tvärsnittsklass 1.

Momentkapacitet

$$M_{rd} = f_{yd} \cdot W \cdot \eta = f_{yd} \cdot W \cdot \frac{Z}{W} = f_{yd} \cdot Z = 323 \cdot 10^6 \cdot 31,2 \cdot 10^{-6} = 10,1 \text{ kNm}$$

Lastkapacitet med avseende på moment

$$M = \frac{qL^2}{8} \rightarrow q = \frac{M \cdot 8}{L^2}$$

Tillåten nedböjning

$$y_{\max} = \frac{L}{600}$$

Lastkapacitet med avseende på nedböjning

$$y_{\max} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \rightarrow q = \frac{y_{\max} \cdot 384 \cdot E \cdot I}{5 \cdot L^4}$$

Alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel

Balklängd (m)	Lastkapacitet, q, mht moment (kN/m)	Tillåten nedböjning, y_{max} (mm)	Lastkapacitet, q, mht nedböjning (kN/m)	Motsvarar i tegelhöjd (m)
1,2	56,1	2,0	16,6	7,8
1,4	41,2	2,3	10,3	4,9
1,6	31,6	2,7	7,1	3,4
1,8	24,9	3,0	4,9	2,3
2,0	20,2	3,3	3,6	1,7
2,2	16,7	3,7	2,7	1,3

Tabell 4-3. Lastkapacitet med hänsyn till moment och nedböjning för olika balklängder.

På motsvarande sätt som för övriga lösningsförslag så förekommer tvärkrafter eller några samverkans effekter (exempelvis samtidig tryck och böjning) i begränsad eller ingen omfattning alls.

Träkonstruktionen utsätts endast för de interna krafter som kan uppstå på grund av fukt- och temperaturvariationer vilket behandlas under kapitlet *4.6.1 Rörelser*. Även tvångskrafter som kan uppstå mellan de olika materialen på grund av olika materialegenskaper tas upp under detta kapitel.

De skruvar som svarar för infästningen av träfronten i stålkonstruktionen kan utsättas för tvärkrafter då rörelser mellan stål och trä kan uppstå. Storleken på dessa skjuvkrafter bedöms vara så liten att någon risk för skjuvbrott inte förekommer. I sådant fall är det mer sannolikt att träfronten deformeras genom hållkantstryck.

4.4.4 Montering

Monteringen påbörjas med att vattenavledningsplåt fästes i den bärande stommen. För att inte dölja underkanten av trä så ska vattenavledningsplåten inte skjuta ut mer än ett par centimeter från stommen. Balken monteras i två etapper vilket gör att arbetsinsatsen blir mindre krävande. UPE-profilen har en vikt på 7,9 kg/m och plattstången väger 4,7 kg/m. Den totala vikten av stålkonstruktionen blir 12,6 kg/m om ändplåtar, glidskikt och upplag försummas. Till detta skall vikten för VKR-upplagen adderas.

Stålkonstruktionen består av UPE-profilen vilken är sammansvetsad med övriga ståldetaljer såsom överfläns, upplag och ändplåtar för att åstadkomma en rationell montering. Stålkonstruktionen placeras på upplagens glidplåtar och murning runt balken kan sedan fortskrida obehindrat. Balken är rostskyddsbehandlad innan insättning. *Figur 4-15* visar stålkonstruktionen monterad i fullskalemodellen.

Träkonstruktionen monteras med enkelhet i ett senare skede. Det finns flera fördelar med en senare montering av träkonstruktionen. Risken för nedsmutsning, skador på ytskikt eller att det kommer murbruk på ekträet elimineras.



Figur 4-15. Stålkonstruktionen monterad och inmurad i fullskalemodellen.
Träkonstruktionen monteras senare.

Arbetsutförandet kräver två personer vid montering. Det går även att utföra på egen hand men det är svårt att utföra justeringen i höjddled ensam. För en rationell montering kan det vara en fördel med pallningsbrickor med samma höjd som liggfogarna. Pallningsbrickorna, vars bredd är mindre än teglets, kan då med enkelhet fungera som upplag för glidplåten. Brickorna fogas sedan in.

Träkonstruktionen kräver en speciell monteringsanvisning. Grunden utgörs av de två K-virkesplankorna. Dessa limmas och skruvas ihop till en L-formad konstruktion där underflänsen utgörs av den mindre plankan. På underflänsen limmas sedan den synliga ekträpanelen. Slutligen limmas den ekträpanel som utgör fronten ut mot fasaden. Viktigt är att underflänsen inte buktar ner utan att det enda synliga virket framifrån utgörs av frontstycket av ekträ. Färdigställd front framgår av *figur 4-16*.



Figur 4-16. Träfronten i profil efter limning och behandling med linolja.

Monteringen av träfronten i stålkonstruktionen sker med hjälp av rostfria skruvar som sedan täcks med pluggar. Hållfasthetsmässigt räcker det med ett fåtal skruvar i framkant för att träkonstruktionen inte skall röra sig ur planet.

4.4.5 Fullskalemodell

Provkroppen är endast till för en gestaltningsmässig bedömning vilket inneburit att ett antal mindre modifieringar genomförts jämfört med en verklig situation. Modellen har murats samman med ett rött slaget tegel där ett antal stenar har kapats för att måtten runt balken och väggens totala bredd skulle stämma överens med ritning. Öppningens bredd uppgick till en meter och balklängden till 1,25 meter vilket inte var helt optimalt med tanke på teglets dimensioner och väggens bredd. En negativ effekt var att tre stötfogar på höjd erhöles över balkens ändar. Om balken vilat på en halv sten hade den tredje stötfogen hamnat under balken istället, vilket kanske hade varit mindre störande. Helhetsintrycket påverkas dock inte i någon större omfattning, se *figur 4-17*.



Figur 4-17. Fullskalemodell av UPE-stålprofil med träfront.

Innan murningen av fullskalemodellen preparerades balken så att ändplåtar och upplag var fastlimmade med UPE-profilen. I en verklig situation skall upplag, ändplåtar och balk svetsas samman. I modellen har dessutom ändplåtar och upplag av felaktig stålqualität använts. UPE-profilen är inte heller rostskyddsbehandlad, se *figur 4-15*.

Vid monteringen användes inga pallningsbrickor på upplagen utan glidplåtarna lades direkt på murbruket. Därefter placerades balken på upplagen och justerades i höjddled så att liggfogarna över öppningen erhöles samma storlek som tidigare. Att monteringen av träfronten kunde ske vid ett senare tillfälle upplevdes som den största fördelen då någon större aktsamhet inte behövde vidtas vid murningen.

Alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel

En annan fördel med en montering i två etapper var att inoljningen av träfronten kunde ske separat. Inoljningen skedde efter det att samtliga delar limmats samman med trälim. Ekträet behandlades med en blandning av lika delar linolja och balsamterpentin. Balsamterpentin användes för att påskynda torkningsprocessen. Det bakomvarande K-virket behandlades inte alls i fullskalemodellen. Träfronten visas monteringsklar i *figur 4-16*.

En nackdel var att efter färdigställandet kompletterades vissa fogar med murbruk. Tyvärr var detta bruk från en annan tillverkare vilket påverkade modellens utseende. Kulören på vissa fogar är därför ljusare vilket drar ner helhetsintrycket, *se figur 4-17*.

Träfrontens kanter mot ändplåtarna och överflänsen har fasats av för att erhålla en skarpare övergång mellan murverket och ekträet. För att överflänsen av stål inte skall synas har den försökt döljas med murbruk för att smälta samman med resten av fogen. Syftet är att ekträet skall framhävas i största möjligaste mån.

Vid upplagen vilar träfrontens underkant på en del av glidplåten vilket genererar en känsla av att ekträet utgör ett massivt stycke. Injusteringen av träfronten blev särskilt lyckad i fullskalemodellen. *Figur 4-18* visar modellen vid upplag där en enhetlig känsla genereras med ekträet i fram respektive underkant.



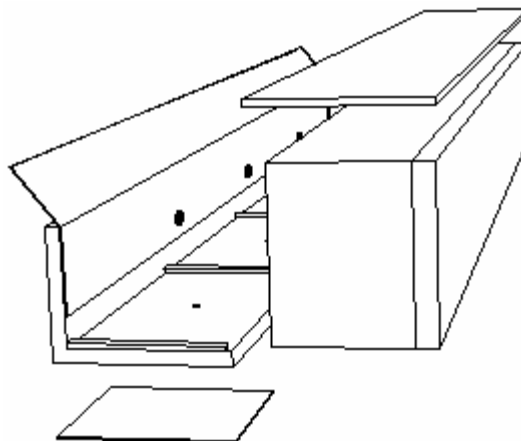
Figur 4-18. Fullskalemodell av UPE-stålprofil med träfront vid upplag.

4.5 Vinkelstång av stål med träbalk

4.5.1 Beskrivning

Konstruktionen består av en oliksidig vinkelstång, med måtten 120x80x10 mm, som belastas i veka riktningen. På vinkelstången lägges en sammansatt träkonstruktion bestående av bärande limträ och en träpanel i lämpligt träslag beroende på vilket utseende som eftersträvas. På konstruktionens ändrar fästes tjärpapp och neoprengummi med epoxilim. För att undvika tvångskrafter mellan balk och murverk vilar konstruktionen på upplagsplåtar och ovanpå trät lägges en 5 mm tjock plattstång. Plattstångens tjocklek syftar till att ge träbalken ett symmetriskt intryck med en tjockare stålkanter på bägge sidor.

Träkonstruktionen vilar på 3 mm höga upplag av plattstål och cirkulära distanser monterats mellan trä och vinkelstångens baksida för att möjliggöra vattentransport bakom och under trät. På livets övre kant monterats en vinklad plåt som fungerar som vattenavledningsplåt. Plåten leder vatten från skalmurens baksida in under vinkelstången, där vattnet kan rinna ut vid balkens framkant eller genom hål som borrats i balkens underfläns. I *figur 4-19* åskådliggörs en principskiss av balkkonstruktionen.



Figur 4-19. 3D-modell av vinkelstång av stål med träbalk.

4.5.2 Material

Balken är sammansatt av en stål- och en träkonstruktion. Stålkonstruktionen utgörs av en oliksidig vinkelstång med vattenavledningsplåt och distanser för vattenavledning. Vinkelstångens underfläns är försedd med hål (\varnothing 7 mm) med ett c/c-avstånd på cirka 300 mm så att slagregn och eventuellt vatten från skalmurens baksida kan rinna ut.

Alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel

Träkonstruktionen består av limträ som limmas ihop med träpanelen med polyuretan, då det ställs höga krav på mekanisk och kemisk beständighet⁶⁰. Höjden på träkonstruktionen kan varieras för att matcha fog- och tegelhöjd.

Alternativt kan träkomponenterna skruvas ihop med rostfri träskruv för att möjliggöra utbyte av fronten. Hålen skall i så fall döljas med träpluggar.

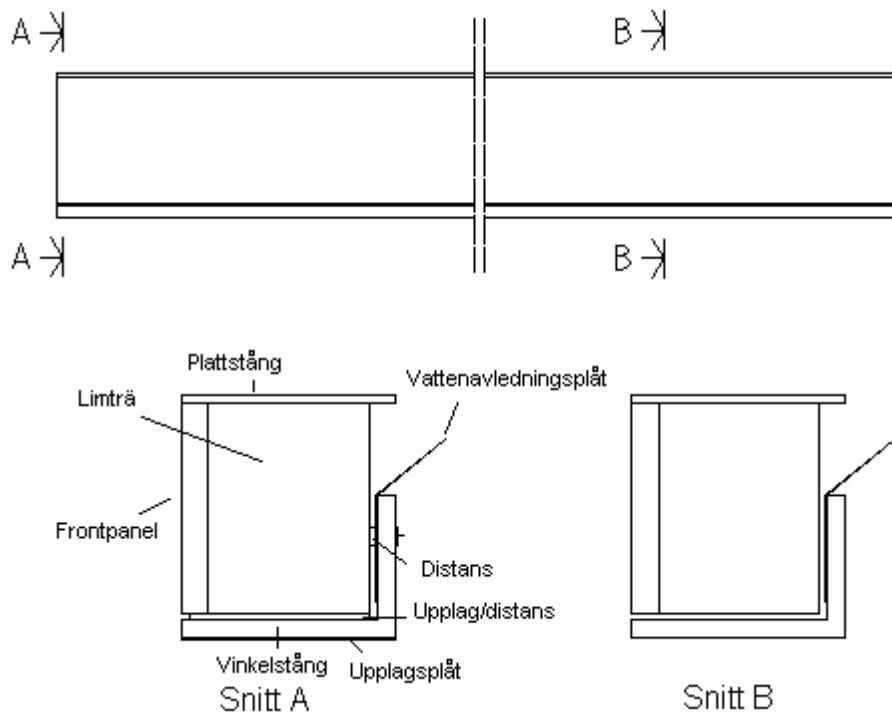
På baksidan skruvas träkonstruktionen fast med rostfria skruvar i vinkelstången genom förborrade hål. Skruvarna har även som uppgift att hålla vattenavledningsplåten och distanserna på plats. På träkonstruktionens ändar finns skydd av tjärpapp för att förhindra att vatten kan suga kapillärt i träets fiberriktning och neoprengummi för att tillåta rörelser i balkens längdriktning.

Konstruktionen består av:

- Oliksidig vinkelstång 120 x 80 x 10 mm, längd = balklängd
- Limträ L30, 90 x 118 mm, längd = balklängd
- Träpanel 15 x 118 mm, längd = balklängd
- Plattstång 120 x 5 mm, längd = balklängd
- Vinklad plåt för vattenavledning, längd = balklängd
- Tjärpapp ändskydd 120 x 136 mm, tjocklek 1 mm
- Neoprengummi, 120 x 136 mm, tjocklek 2 mm
- Upplagsplåtar 120 x 125 x 1 mm
- Distanser av gummibrickor 6,5 x 17 x 2 från Würth
- Upplagsdistanser 10 x 100 x 3 mm plattstål
- Bakre infästning med WFD-T-6,0 x 60 från SFS Intec
- Alt. infästning av front med WFR-T-4,0 x 50 från SFS Intec

Figur 4-20 visar vinkelstången med träbalk i elevation med tvärsnittssektioner där de olika materialen framgår. Måttfatt konstruktionsritning med samtliga detaljer redovisas i *K-4, Appendix*.

⁶⁰Burström, Per Gunnar, *Byggnadsmaterial Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper* Studentlitteratur Lund 2001



Figur 4-20. Snitt A visar en sektion vid balkens upplag och snitt B visar en sektion vid balkens mitt.

4.5.3 Laster

För att vara på säkra sidan beräknas balkens lastkapacitet enbart på träbalkens bärförmåga. Balken belastas endast av det tegelparti som befinner sig under lastens trycklinje. Lasterna på balken kommer troligtvis aldrig att överstiga träbalkens bärförmåga, men då det råder stor skepsis mot bärande träbalkar i fasader ökas marginalen genom att försumma vinkelstångens bärförmåga. I *tabell 4-4* redovisas träbalkens lastkapacitet för olika balklängder. Beräkningar är utförda i säkerhetsklass 2 och hänsyn har tagits till att balken befinner sig i klimatklass 3 genom att multiplicera κ_T med en faktor 0,85. Viktigt är att kontrollera tryck vinkelrätt fibrerna vid långtidslast då troligen även en måttlig belastning kommer leda till att träet komprimeras. Detta gäller både i ovankant men framför allt i underkant där träkonstruktionen vilar på små upplag som kan generera relativt stora lokala spänningskoncentrationer.

Utöver de yttre laster träkonstruktionen utsätts för så uppkommer även inre spänningar på grund av fukt- och temperaturvariationer. Inverkan av inre spänningar beaktas i kapitel 4.6.1 *Rörelser*. Tvärsnittsdata och formler hämtade ur *Tabell och Formelsamling*⁶¹.

⁶¹Isaksson, Tord – Mårtensson, Annika, *Tabell och Formelsamling, Avdelningen för Konstruktionsteknik, LTH 2000*

Beräkningar trä

Böjning parallellt fibrerna, limträ L 30: $f_{mk} = 30 \text{ MPa}$

Lasttyp P, Klimatklass 3 $\rightarrow \kappa_r = 0,7 \cdot 0,85$

$$f_{md} = \frac{(\kappa_r \cdot f_{mk})}{(\gamma_n \cdot \gamma_m \cdot \eta)} = \frac{((0,7 \cdot 0,85) \cdot 30)}{(1,1 \cdot 1,15 \cdot 1)} = 14,1 \text{ MPa}$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,09 \cdot 0,118^2}{6} = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$M_d = f_{md} \cdot W = 14,1 \cdot 10^6 \cdot 2,1 \cdot 10^{-4} = 3,0 \text{ kNm}$$

Lastkapacitet med avseende på moment

$$M = \frac{qL^2}{8} \rightarrow q = \frac{M \cdot 8}{L^2}$$

Tillåten nedböjning

$$y_{\max} = \frac{L}{600}$$

Lastkapacitet med avseende på nedböjning

$$y_{\max} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \rightarrow q = \frac{y_{\max} \cdot 384 \cdot E \cdot I}{5 \cdot L^4}$$

Elasticitetsmodul, limträ

$$E_{L30} = 12,0 \text{ GPa}$$

$$E_d = E \cdot \kappa_s = 12 \cdot 10^9 \cdot 0,3 = 3,6 \text{ GPa}$$

Tröghetsmoment, limträ

$$I_{\text{limträ}} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0,09 \cdot 0,118^3}{12} = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel

Balklängd (m)	Lastkapacitet, q, mht moment (kN/m)	Tillåten nedböjning, y_{max} (mm)	Lastkapacitet, q, mht nedböjning (kN/m)	Motsvarar i tegelhöjd (m)
1,2	16,4	2,0	3,2	1,5
1,4	12,0	2,3	2,0	0,9
1,6	9,2	2,7	1,4	0,7
1,8	7,3	3,0	0,9	0,4
2,0	5,9	3,3	0,7	0,3*
2,2	4,9	3,7	0,5	0,2*

Tabell 4-4. Lastkapacitet med hänsyn till moment och nedböjning för olika balklängder. *Balken bör utföras med en höjd om tre skift.

Tryck vinkelrätt fibrerna

Då träbalken vilar på upplag med relativt liten area är det viktigt att kontrollera att aktuell last inte medför tryckbrott vinkelrätt fibrerna i träet. Med ett c/c-avstånd på 300 mm mellan de små upplagen kan lasten uppgå till 10 kN/m innan brottlast uppnås enligt beräkningar nedan.

$$f_{c90k} = 7 \text{ MPa}$$

$$f_{c90d} = \frac{(\kappa_r \cdot f_{c90k})}{(\gamma_n \cdot \gamma_m \cdot \eta)} = \frac{((0,65 \cdot 0,85) \cdot 7)}{(1,1 \cdot 1,15 \cdot 1)} = 3,0 \text{ MPa}$$

$$\text{Hookes lag: } \sigma = \frac{F}{A}$$

$$\text{Upplagens area: } 0,1 \cdot 0,01 = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$F = \sigma \cdot A = 3,0 \cdot 10^6 \cdot 1,0 \cdot 10^{-3} = 3,0 \text{ kN / upplag}$$

Då den maximala influensbredden per upplag är 300 mm blir den maximala lasten med hänsyn till tryckbrott vinkelrätt fibrerna $3,0 \cdot \frac{1}{0,3} = 10,0 \text{ kN / m}$

4.5.4 Montering

Balken är ganska tung, vilket gör den ganska otymplig att montera. Vinkelstången har en vikt på 15 kg/meter, träkonstruktionen väger uppskattningsvis 5 kg/m (räknat på densiteten 500 kg/m³) och plattstången väger 4,7 kg/m. Den sammanlagda vikten uppgår till cirka 25 kg/m.

Monteringen påbörjas med att bruk lägges på upplagen, vilka minst ska omfatta en halv sten. På bruket på var sida om öppningen placeras glidplåtarna och sedan lägges den sammansatta balken på plats. För att erhålla en rationell montering och rätt höjd på liggfogon vid upplag kan balken läggas på pallningsbrickor med samma höjd som

fogen. Därefter fylls fogen väl med bruk. Ovanpå träbalken lägges plattstången och på ändarna placeras tjärpapp och neoprengummi. Sedan muras de två skiften vid sidan om balken upp och stötfogarna intill balken fylls med bruk. På plattstången som även fungerar som glidskikt lägges bruk och murningsarbetet fortskrider.

Vid renovering påbörjas arbetet med att tegelstenarna i de två första skiften ovanför öppningen samt minst en halv sten in på upplagen plockas bort. Befintligt bruk skall avlägsnas noggrant. Eftersom stenarna ligger med en halv stens förskjutning måste den sista stenen i ena skiftet kapas på var sida om balken. Monteringens fortskrider sedan på samma sätt som vid nyproduktion. Särskilt viktigt är att fogarna runt balken fylls väl med bruk. Eventuellt kan monteringen underlättas om ytterliggare ett eller två skift plockas bort under förutsättning att det går att använda samma tegel igen. Viktigt är att försöka hitta ett murbruk med en kulör som efterliknar det befintliga i största möjliga utsträckning.

4.5.5 Fullskalemodell

Tillverkningen av balken till fullskalemodellen med vinkelstång och träbalk var något komplicerad. För att minimera materialåtgången användes två befintliga 900 mm långa vinkelstänger som kapades och svetsades ihop till rätt längd, d v s 1250 mm. Av denna anledning syns svetssträngen på balkens undersida, vilket är en nackdel då undersidan är synlig eftersom ingen separat vattenavledningsplåt krävs.

Montering av balken på plats var enkel. Väggen i fullskalemodellen bestod av ett gult håltegel. Eftersom balken är ganska tung lades plastbrickor på upplagen för att erhålla rätt höjd på liggfogarna. Att balken bygger två skift gjorde murningsarbetet enkelt och rationellt. Vid andra skiftet kapades tegelstenarna vid balkens ändar, *se figur 4-21*. Totalt sett var det endast ett fåtal stenar som behövde kapas då det gula teglets dimensioner passade väl överens med väggens totala bredd.



Figur 4-21. Fullskalemodell av vinkelstång med träbalk.
Öppningsbredd: 1,0 m. Balklängd: 1,25 m.

Alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel

Under utförandet av fullskalemodellen gjordes vissa förenklingar, eftersom modellen endast skall visa hur balken gestaltningsmässigt passar in i tegelfasaden. Detaljer som skiljer sig från det projekterade utförandet är bland annat att vattenavledningsplåten, som är en väsentlig del av balken, ej monterades. Som skydd i balkens ändar användes plast istället för tjärpapp och som distanser mellan vinkelprofil och träets baksida användes plastpluggar som inte är ämnade för detta ändamål. På upplagen lades dessutom aldrig de glidplåtar som annars skall finnas där. Rent gestaltningsmässigt anses dock fullskalemodellen generera en god bild av hur balken kommer att se ut i verkligheten. *Figur 4-22* visar balken snett underifrån vid upplag där övergången mellan underkant balk och fog lyfts fram.



Figur 4-22. Vinkelstång med träbalk vid upplag.

Vid monteringen täcktes balken in med plast för att undvika nedsmutsning och skador.

Ekfronten behandlades efter montering med linolja, uppblandad med balsamterpentin för att erhålla en snabbare uttorkning. Det bakomvarande limträet lämnades obehandlat.

Fullskalemodellen visar att balken är lämplig i något större öppningar eftersom den bygger två skift. Vid öppningar som är närmare två meter kan det vara nödvändigt att låta balken vara tre skift hög för att få rätt proportioner mellan murverk och balk i fasaden. Vid en ökning av balkhöjden blir även balkens lastkapacitet större.

4.6 Gemensamma egenskaper träprofiler

4.6.1 Rörelser

Då materialen i de olika förslagen har olika längdutvidgningskoefficienter och träet har stora volymändringar vid olika fuktillstånd, är det viktigt att det finns rörelseskikt mellan materialen samt att det finns utrymme för träet att utvidga sig. Skillnaden i längdförändring på grund av temperatur är relativt liten mellan de olika materialen. Beräkningarna nedan visar att vid en temperaturskillnad på 70°C är skillnaden i längdutvidgning ca 1 mm mellan trä (parallellt fibrerna) och stål i balkens längdriktning vid en balklängd på två meter. Stål har större temperaturberoende rörelser än trä. Tegel och trä har ungefär samma temperaturberoende rörelser i träets fiberriktning.

Då båda modellerna med träprofiler är uppbyggda med olika virkeskvaliteter är det särskilt viktigt att beakta de spänningar som kan uppstå i gränssnitt där olika virkeskvaliteter möts. K-virke, limträ och ek har olika materialegenskaper och förändras olika beroende på temperatur och fuktinnehåll. Polyuretan som används vid limning har en väldigt god vidhäftning och troligen är det inte limmet som deformeras utan ytstrukturen i randzonen närmast intill limfogen. Trämateriell uppvisar dessutom olika fuktberoende rörelser i olika riktningar. Vid tillverkning och limning av träkonstruktionerna skall därför fiberriktningen vara den samma på de ingående träslagen. Montering och limning av träet skall helst ske parallellt fiberriktningen. På så sätt torde de spänningar som uppstår minimeras då exempelvis furu och ek har samma längdutvidgningskoefficient parallellt fibrerna vid normala temperaturer, *se längdutvidgningskoefficienter nedan*. För att ytterligare begränsa spänningar som uppstår av rörelser mellan materialen så skall 3 mm breda spår sågas i samtliga trämaterial utom limträet. Spårens djup uppgår till ca hälften av materialens tjocklek, *se ritning K-3 och K-4 i Appendix*. De fuktberoende rörelserna som är större hos trämaterialen behandlas mer ingående i kapitlet 4.6.5 *Fukt*.

Materialegenskaper och formler hämtade ur *Burström*⁶². Längdutvidgningen m a p temperatur mellan tegel, stål och trä är beräknad enligt följande:

Längdutvidgningskoefficienter (Tabell 8.1)

$$\alpha_{\text{tegel}} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$\alpha_{\text{stål}} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$\alpha_{\text{furu//fiber}} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$\alpha_{\text{furu}\perp\text{fiber}} = 34 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$\alpha_{\text{ek//fiber}} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$\alpha_{\text{ek}\perp\text{fiber}} = 54 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

⁶²Burström, Per Gunnar, *Byggnadsmaterial, Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*, Studentlitteratur Lund 2002

Längdutvidgning (Ekvation 8:1)

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = -20^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C} = 70^{\circ}\text{C}$$

Längdutvidgning i balkens längsriktning.

$$\Delta L_{\text{tegel}} = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 2000 \cdot 70 = 0,7 \text{ mm}$$

$$\Delta L_{\text{stål}} = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 2000 \cdot 70 = 1,7 \text{ mm}$$

$$\Delta L_{\text{trä}} = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 2000 \cdot 70 = 0,7 \text{ mm}$$

I balkens höjdriktning blir skillnaderna i rörelse väldigt små då balken endast bygger cirka 140 mm. Ek och furu har olika längdutvidgningskoefficienter vinkelrätt fibrer och den maximala skillnaden i längdutvidgning är mellan ek och tegel och är i storleksordningen 0,4 mm. Stålets längdutvidgning i balkens höjdriktning försummas då stålet inte bygger i någon större omfattning i den riktningen.

Längdutvidgning i höjdriktning

$$\Delta L_{\text{tegel}} = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 140 \cdot 70 = 0,05 \text{ mm}$$

$$\Delta L_{\text{furu}} = 34 \cdot 10^{-6} \cdot 118 \cdot 70 = 0,28 \text{ mm}$$

$$\Delta L_{\text{ek}} = 54 \cdot 10^{-6} \cdot 118 \cdot 70 = 0,45 \text{ mm}$$

4.6.2 Ytbehandling

För att konstruktionen ska få en godtagbar livslängd och bibehålla sin gestaltningsmässiga karaktär är det viktigt att alla delar behandlas noga. Alla ståldetaljer skall rostskyddsmålas alternativt galvaniseras. Det är viktigt att balkarna hanteras varsamt så att ytbehandlingen inte skadas.

Eftersom det inte behövs någon extern vattenavledningsplåt i modellen med vinkelprofilen kommer balkens undersida vara synlig, vilket betyder att denna måste behandlas extra varsamt. Stålet kan målas i valfri färg beroende på vilka färger som finns i fasaden och hur man vill kombinera med valt träslag.

Det är mycket viktigt att trädetaljerna i konstruktionerna behandlas noga. Detta är speciellt viktigt i vinkelprofilskonstruktionen eftersom trä är bärande och inte är lätt att byta ut. Limträ, k-virke och träpaneler av ek oljas noggrant in med linolja. Framför allt skall ändträet behandlas väl, gärna genom att doppa ändarna i linoljan.

Viktigt är att linoljan inte ger en glansig yta. En matt ytstruktur är att eftersträva då en glansig yta kan medföra att ljuset reflekteras för mycket istället för att ljus absorberas och lyfter fram strukturen hos ekträet, *se figur 4-23*.

För att erhålla ett bra fuktskydd, minska de hygroskopiska rörelserna och öka livslängden för träet bör linoljan appliceras upprepade gånger vid tillverkning men även senare då träprofilerna är monterade. I vilket intervall balken skall bestrykas med olja är framför allt beroende på linoljans egenskaper och funktion i den aktuella

miljön. Linoljans egenskaper beskrivs mer ingående under kapitlet 4.3.2 *Ytbehandling, Linolja som ytskikt*.



Figur 4-23. Fronten till UPE- profilen före och efter behandling med linolja. Bilden till vänster visar framkanten obehandlad och bilden till höger visar underkanten nystruken med linolja.

Linoljan är känslig mot alkali vilket medför att det är särskilt viktigt att skydda träprofilerna under montering och murning⁶³. För att påskynda uttorkningen har en blandning med balsamterpentin använts till de båda lösningsförslagen.

Alternativ ytbehandling

I utomhusmiljö utgör alkydfärger ett alternativ till linoljan. Alkydfärger är syntetiskt framställda och har kort torktid och en mycket slitstark yta. Idag används alkydfärgerna i en mycket större utsträckning än linoljefärg i utomhusmiljö.

Att använda lasyr kan vara ett bra alternativ för att behandla och underhålla trä utomhus. Det finns oljelasyr baserad på alkydolja som ger en transparent ytstruktur där träets egenskaper framhävs. Lasyren har en geléaktig konsistens och god inträngning samt har ett brett användningsområde.⁶⁴

4.6.3 Underhåll

Underhållet av de exponerade delarna av träprofilerna skall utföras regelbundet. Utemiljön gör att ytskikten successivt bryts ned och den främre träytan blottas allt mer med tiden. Utvändigt trä behöver underhållas med linolja med ett intervall på 7 - 12 år.⁶⁵ Om oljning av ekträet uteblir kommer kulören successivt att förändras och anta en grå ton. Missköts underhållet kan balkkonstruktionernas livslängd förkortas avsevärt. Det finns dock exempel som visar att obehandlat trä i utomhusmiljö kan

⁶³ ibid.

⁶⁴ <http://www.jotun.se/www/se/20030062.nsf/viewUNID/04C38590AE6F300BC1256BDD> besökt den 12 december 2005

⁶⁵ <http://www.traguiden.se/templates/PopUp/Common.asp?id=938> besökt den 2 november 2005

uppfylla en god funktion under lång tid. Äldre korsvirkeshus är ett exempel där träet i och för sig inte är obehandlat men där underhållet ofta är undermåligt.

4.6.4 Beständighet

Då vinkelstången med bärande limträ till största del består av trä kommer troligtvis dess livslängd att bestämmas av träets beständighet. En uppskattning av livslängden görs genom att jämföra med fasader av täckmålad träpanel som är utsatt för samma klimatiska påfrestningar som aktuell balk. Dessa har en ungefärlig livslängd på 60 år om underhållet sköts väl. Då balkens trä inte är täckmålad uppskattas livslängden till cirka 40 år.⁶⁶ En av de positiva egenskaperna med ekträ är att det har en naturligt god beständighet och har använts i utomhuskonstruktioner under många år.

K-virke skall vara inoljat för att stå emot angrepp av bakterier och svampar. Limträ skall behandlas med lämplig grundfärg samt toppfärg och ekträet behandlas med linolja eller alkydfärg för att erhålla ett starkt ytskikt och en god beständighet. Särskilt viktigt är att allt ändträ får ett täckande tjockt skikt. Färgvalet bedöms från fall till fall då ett antal olika parametrar måste beaktas.

UPE-stålprofilen med träfront har lång livslängd eftersom stålet är rostskyddsbehandlat och träfronten enkelt kan bytas ut.

4.6.5 Fukt

Konstruktionen med vinkelprofilen är utsatt för både slagregn utifrån och fukt som fångas upp från skalmurens baksida. Eftersom springan mellan trä och stål är relativt stor kommer slagregn även att tränga in i utrymmet framifrån. Tanken är att springans vidd ska vara så pass stor så att vatten inte kan få kontakt med träet. Vattnet ska kunna rinna ut i framkant, genom de borrade hålen i underflänsen eller ventileras bort. Då träet i konstruktionen är bärande är det viktigt att behandla det väl så att dess bärande funktion inte försämras. Eftersom limträbalken inte är åtkomlig för underhåll måste den vara behandlad för att klara de fuktiga förhållanden som den är utsatt för. Detta kan åstadkommas genom oljning eller med lämplig grund- och täckfärg. Den yttre träpanelen oljas in noggrant med linolja och särskilt viktigt är att ändarna blir väl behandlade. På balkens ändar finns tjärpapp som ska se till att träet inte har kontakt med murbruk. Alla ståldetaljer ska grundmålas med rostskyddsfärg innan de målas med färg i rätt kulör. Detta är speciellt viktigt eftersom vatten leds in i konstruktionen, då balken fungerar som vattenavledare från skalmurens baksida.

Balken med bärande UPE-profil och träfront måste kompletteras med vattenavledningsplåt, som leder bort vatten som rinner på skalmurens baksida så att det inte rinner in och skadar karm och båge. Ståldetaljerna kommer under stora delar av året vara fuktiga av kondensvatten eftersom stålet lätt får låg ytemperatur.

⁶⁶<http://www.traguiden.se/templates/PopUp/Common.asp?id=937> besökt den 2 november 2005

De fuktbetingade rörelserna hos olika träslag är svåra att bedöma med hänsyn till fiberriktning, porstruktur, initial fuktkvot, längd, tjocklek och miljö. I utomhusmiljö förekommer stora variationer i fukthalt vilket medför att träet måste kunna röra sig i fasaden. Det är även viktigt att konstatera att de fuktbetingade rörelserna kan medföra att ytskikten spricker varför underhåll med lämpligt tidsintervall måste förekomma.

För att inte trät ska trycka sönder omgivande material vid utvidgning så bör träet byggas in med en fuktkvot som någorlunda överensstämmer med den miljö där den kommer att vara. Fuktkvoten bör ligga i intervallet 12 – 22 %.⁶⁷

Nedan följer exempel på längdförändringen hos furu och ek med hänsyn till de fuktbetingade rörelserna. Beräkningarna kan endast användas för att få en generell uppfattning om storleken på de volymförändringar som uppstår på grund av varierande fuktinnehåll. Beräkningar av de fuktbetingade rörelserna bör utföras för varje enskilt fall. Vid beräkningarna har en fuktkvotsändring på 10 % antagits samt en balklängd på två meter och en höjd på 126 mm. Fiberriktningen anses vara balkens längdriktning och radiellt balkens höjdriktning. Formler och dimensioneringsvärden är hämtade ur *Burström*⁶⁸.

Krympning och fibermättnadspunkt furu (tabell 18.3 och 18.4)

$$\alpha_f, \text{ fiberriktning} = 0,4 \%$$

$$\alpha_f, \text{ radiellt} = 4,0 \%$$

$$u_f = 3,0 \text{ vikt-\%}$$

Krympning och fibermättnadspunkt ek (tabell 18.3 och 18.4)

$$\alpha_f, \text{ fiberriktning} = 0,4 \%$$

$$\alpha_f, \text{ radiellt} = 4,5 \%$$

$$u_f = 23 \text{ vikt-\%}$$

Krympning (ekvation 18.3)

$$\Delta\alpha = \frac{u_2 - u_1}{u_f} \cdot \alpha_f$$

Furu

$$\Delta\alpha_{\text{fiberriktning}} = \frac{0,1}{0,3} \cdot 0,004 = 0,0013$$

$$\Delta\alpha_{\text{radiellt}} = \frac{0,1}{0,3} \cdot 0,04 = 0,013$$

⁶⁷Burström, Per Gunnar, *Byggnadsmaterial, Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*, Studentlitteratur Lund 2002

⁶⁸ ibid.

Ek

$$\Delta\alpha_{\text{fiberriktning}} = \frac{0,1}{0,23} \cdot 0,004 = 0,0017$$

$$\Delta\alpha_{\text{radiellt}} = \frac{0,1}{0,3} \cdot 0,045 = 0,019$$

Längdförändring (ekvation 18.4)

$$\Delta L = \Delta\alpha \cdot L$$

Furu

$$\Delta L_{\text{fiberriktning}} = 0,0013 \cdot 2000 = 2,67 \text{ mm}$$

$$\Delta L_{\text{radiellt}} = 0,013 \cdot 126 = 1,64 \text{ mm}$$

Ek

$$\Delta L_{\text{fiberriktning}} = 0,0017 \cdot 2000 = 3,48 \text{ mm}$$

$$\Delta L_{\text{radiellt}} = 0,019 \cdot 126 = 2,47 \text{ mm}$$

Beräkningarna ovan gäller då fukthalten i trämaterialen sjunker, d v s träet krymper men förhållandet blir det samma vid svällning under de givna förutsättningarna. Beräkningarna visar att det måste finnas utrymme, både vid balkens ändar och vid ovankant som medger volymförändring. Skillnaden i längdutvidgning mellan furu och ek ger upphov till spänningar i det limmade gränssnittet mellan de båda materialen. Limmet måste därför kunna ta upp dessa spänningar utan att snittet deformeras. De sågade spåren som beskrivs i kapitlet 4.6.1 *Rörelser* är också till för att försöka begränsa de fuktbedingade rörelserna.

5. Analys och diskussion

Med utgångspunkt från de fyra utarbetade förslagen kan det konstateras att det finns för- och nackdelar med samtliga förslag. Generellt finns det svårigheter med att kombinera stål och trä med murverk. De olika materialegenskaperna skapar tvångskrafter och rörelser som måste tillåtas utan att det påverkar balkens funktion och utseende i fasaden negativt.

Avgörande för rapporten var att de framtagna modellerna kunde byggas upp i fullskala. Viktiga synpunkter kunde därmed inhämtas, något som inte hade varit möjligt annars. Fullskalemodellerna var även värdefulla rent visuellt och gestaltningsmässigt.

När de olika förslagen togs fram var det särskilt viktigt att anpassa balkarnas höjd till fogar och skift. I fullskalemodellerna har detta slagit väl ut men vid en verklig situation kan det vara svårare att kombinera rätt standardtegel med rätt balkdimension.

Rapporten behandlar endast öppningar upp till två meter. Större öppningar torde även gå att överbrygga med de utarbetade modellerna som bygger två skift. Balkarna kan då modifieras så att den totala balkhöjden uppgår till tre skift.

De två utarbetade förslagen med en rostig ytstruktur har ett naturligt rostigt utseende som lyfter fram det blottade stålet i fasaden men modellerna bör bedömas med en viss återhållsamhet. Rostskyddet utgörs i detta fall endast av linoljan något som traditionellt sett inte är tillräckligt. Därför behöver modellerna utvärderas mer, bland annat genom långtidsförsök, något som inte ryms inom tidsramen för detta examensarbete. Modellerna skulle i sådana fall placeras i utomhusklimat under en längre tidsperiod, flera år, där förändringar av balkens och ytskiktets egenskaper studeras.

Ur utvärderingssynpunkt hade det varit bättre att galvanisera den ena stålprofilen i fullskalemodellerna för att variera ytbehandlingen.

Fördelarna med den stående VKR-profilen upplevs vara det naturliga rostiga utseendet och att den kan kläs in med en front av lämpligt material. Fronten skulle kunna bestå av något trä-, sten- eller keramiskt material. Balken har en stor lastkapacitet och kan användas för att överbrygga större öppningar. Nackdelarna är att rostskyddet inte är så väl dokumenterat och att slagregn kan bli stående på underflänsen.

Den liggande VKR-profilen bygger endast ett skift och bör därför inte användas till större öppningar då balken kan kännas oproportionerlig i förhållande till öppningens storlek. fördelarna är att en enkel montering erhålls då den består av få komponenter och har en låg vikt.

Alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel

Den framtagna lösningen med UPE-profilen kan med enkelhet modifieras så att den passar till olika tegeldimensioner och storlek på fogar. Modellen kan fungera som en standardmodell där fronter av olika material kan monteras. Fronterna behöver nödvändigtvis inte utgöras av trä. En fördel är att den rostskyddsbehandlade stål balken står för den bärande förmågan medan fronten endast skall klara de påfrestningar som uppstår på grund av klimatet. Till den utarbetade fullskalemodellen har endast en front av ekträ producerats. Fler fronter av andra material och träslag borde ha tagits fram för utvärdering och gestaltning. Förslagsvis kan fronten bestå av någon form av sten- eller keramiskt material såsom granit, kakel eller mosaik.

Modellen med den bärande träbalken är gestaltningsmässigt tilltalande men samtidigt utgör bärande trä i fasaden en risk för sprickbildning. Endast ett måttligt tryck vinkelrätt fibren, på grund av långtidslast, kan medföra att balken komprimeras och sprickor i murverket uppstår. Träbalken uppvisar även stora temperatur- och fuktbetingade rörelser vilka måste tillåtas med hjälp av glidskikt och dilatationsfogar. Att placera in slitsar av stål med jämna mellanrum kan vara ett sätt att försöka reducera träets komprimering och minimera eventuell sprickbildning. Positiva egenskaper hos balken är den inbyggda vattenavledningen och den enkla monteringen i skalmuren.

6. Slutsatser

Rapportens målsättning var att utarbeta förslag till alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar som kan användas i forskningsprojektet. Författarnas förhoppning var att minst ett av förslagen skulle kunna användas vidare i projektet och eventuellt i större skala vid renovering och nyproduktion av skalmurar.

En modell som är lämplig att arbeta vidare med är UPE-profilen med front. Modellens dimensioner kan enkelt anpassas vilket möjliggör montering i de flesta skalmursfasader. Att modellen monteras i två etapper ger en rationell murning. Fronten, som monteras i ett senare skede, kan bestå av olika material i olika fasader beroende på funktion och gestaltning. I fullskalemodellen har en front av ekträ monterats. Trä i fasaden kan mötas med viss skepsis ur beständighetssynpunkt. Med denna modell kan dock underhåll och eventuellt byte av fronten ske utan hinder.

Gestaltningmässigt kan tyckas att den stående VKR-profilen med det blottade, rostiga stålet är stilfull och ger ett kraftigare intryck. Svårigheterna med att erhålla ett tätt ytskikt gör dock att modellen känns mer osäker i ett längre tidsperspektiv. Modellens konstruktion är i sig inget problem utan endast den aktuella ytbehandlingen. Om det finns någon ytbehandling som ger ett tätt ytskikt samtidigt som den rostiga strukturen lyfts fram så är modellen ett bra alternativ. VKR-profilen kan även monteras tillsammans med ett frontstycke av lämpligt material.

Den liggande VKR-profilen är väldigt enkel i sitt utförande, vilket medför en rationell montering. Materialkostnaden är låg och modellen är enkel att anpassa till olika dimensioner på tegel och fogar. Förslaget skulle därför kunna användas i större skala.

Vinkelstången med träbalk har inbyggd vattenavledning och är gestaltningmässigt tilltalande, men bärande trä i skalmursfasader är tveksamt. Förslaget bör därför utvärderas mer bland annat genom långtidsförsök.

Alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel

7. Referenser

Skriftliga referenser

BKR, Boverkets konstruktionsregler, (BFS 1998:39), Kap. 6 *Murverkskonstruktioner*, Boverket Karlskrona, ISBN 91-7147-455-2

Boverket (2003) - *Bättre koll på underhåll*, Boverket Karlskrona, ISBN 91-7147-785-3

Burström, Per Gunnar (2001) - *Byggnadsmaterial, Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Studentlitteratur, Lund, ISBN 91-44-01176-8

Byggforskningens informationsblad B8:1975, -*Skalmurar*, Svensk Byggtjänst 1975, ISBN 91-540-2500-1

Carlsson, Fredrik – Jönsson, Johan, (1999) - *Analys av sprickrisker i murverk*, Avdelningen för Konstruktionsteknik, Lunds Tekniska Högskola, Rapport TVBK-5096

Engström, Björn, (1994) - *Beräkning av betong- och murverkskonstruktioner*, Chalmers Tekniska Högskola, Kompendium 94:2B

Elmarsson, Bengt – Nevander, Lars Erik, (1994) - *FUKT Handbok Praktik och teori*, AB Svensk Byggtjänst, Stockholm, ISBN 91-7332-716-6

Gustavsson, Tomas, (2002) - *Moderna murverk*, Avdelningen för Konstruktionsteknik, Lunds Tekniska Högskola, Rapport TVBK-1023

Gustavsson, Tomas, (2005) - *Restaurering av murade fasader med korrosionsskador*, Bygg & teknik 2/05

Gustavsson, Tomas – Jönsson, Johan – Molnár, Miklós, -*Trettio meter långa tegelfasader utan dilatationsfogar?*, Bygg & Teknik 8/05

Hervall, Arne – Jergling, Alf, (1994) - *Ankarstångbalken – Reparation av skadade armerade tegelbalkar*, FoU – Väst Rapport 9402

Isaksson, Tord – Mårtensson, Annika, (2000) - *Tabell och Formelsamling*, Avdelningen för Konstruktionsteknik, Lunds Tekniska Högskola

Johansson, Lars – Trägårdh, Jan, (2001) - *Ökande skador på fasader*, Bygg & teknik 8/01

Murefagets byggeblade nr 26 (1982) - *Armerede teglbaelker*, Danmark

Sveriges Tegelindustriförening, STIF (1990) – *Murverkshandboken Mur 90*, Dokumentnummer B-104846

Muntliga referenser

Feilberg Hansen, Klavs, *Statens Byggeforskningsinstitut, SBI, Danmark* den 5 september 2005

Forester, John Christian, *Mursentret, Norge* den 13 oktober 2005

Jönsson, Johan, *Avd. för Konstruktionsteknik, Lunds Tekniska Högskola* den 21 oktober 2005

Molnár, Miklós, *Avd. för Konstruktionsteknik, Lunds Tekniska Högskola* den 2 september 2005

Röysand, Ole Jacob, *Mursentret, Norge* den 14 september 2005

Internetreferenser

<http://www.jotun.se/www/se/20030062.nsf/viewUNID/04C38590AE6F300BC1256BDD> besökt den 12 december 2005

<http://www.kuntze.se/index.asp?sidid=27&ProduktOmrade=Gummiduk%2C+packningar%2C+cellgummi+%26+cellplast> besökt den 30 december 2005

http://www.murma.se/prod_ptm_vaggbalk.asp besökt den 23 september 2005

<http://www.sbi.dk/content.aspx?itemguid={000D88E7-FB70-4D21-B4DE-AD868F95A81C}&catguid={BF163B1C-91D5-42A7-B386-D53561819A01}>, Anvisning: Korroderade trådbindere i murverk, besökt den 12 september 2005

<http://www.sbi.dk/content.aspx?itemguid={94D5C6F7-65DD-4074-8CB1-E57C33632D94}&type=3&menu> besökt den 15 september 2005

<http://www.sfsintec.biz/Internet/SFS08.nsf/PageID/SCT10> besökt den 28 november 2005

<http://www.skbvast.se> besökt den 15 december 2005

<http://www.tegelmaster.se/webcare.asp?ID=Stc600-Itm> besökt den 13 oktober 2005

<http://www.traguiden.se/templates/PopUp/Common.asp?id=937> besökt den 2 november 2005

Alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel

<http://www.traguiden.se/templates/PopUp/Common.asp?id=938> besökt den 2 november 2005

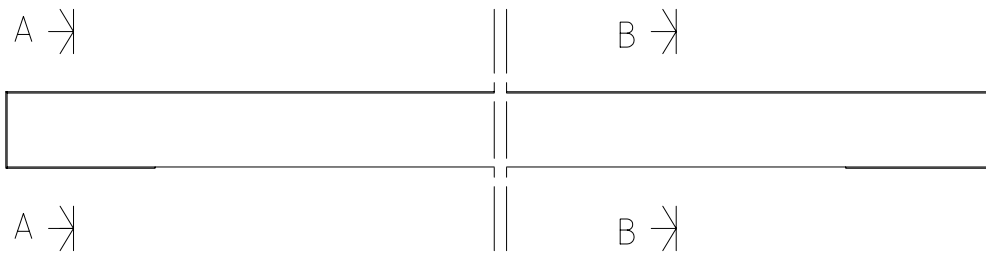
[http://www.wurth.se/kunder/Wurth/WurthProdKat.nsf/p/03300300-1.pdf/\\$file/03300300-1.pdf](http://www.wurth.se/kunder/Wurth/WurthProdKat.nsf/p/03300300-1.pdf/$file/03300300-1.pdf) besökt den 27 december 2005

Övriga referenser

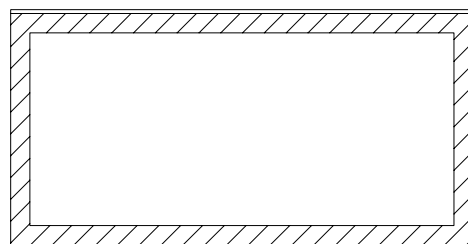
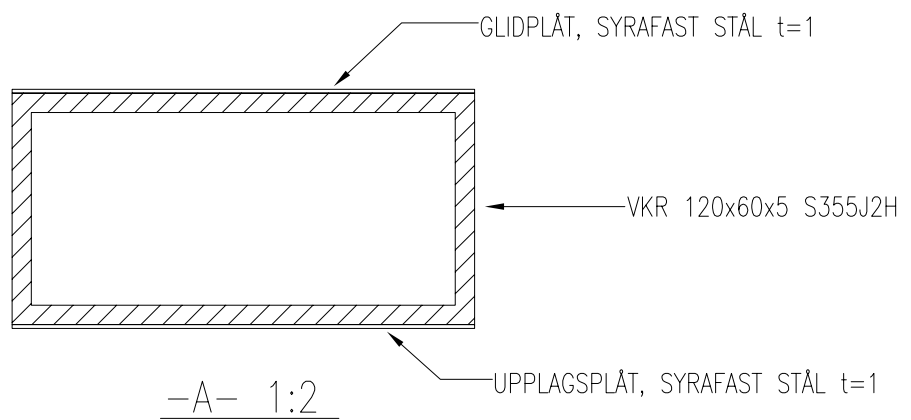
Teknologisk Institut, Murverk, *Mur- og tagdetaljer till AutoCAD*, version 2.0, Danmark

Alternativa sätt att överbrygga öppningar i skalmurar av tegel

Appendix



ELEVATION 1:5



-B- 1:2

ÖVRIGT ENLIGT -A-

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
 KONSTRUKTIONSTEKNIK
 BOX 118
 221 00 LUND

ARBETSHANDLING

DATUM
 2005-12-27

LIGGANDE VKR-PROFIL

ANSVARIG
 JOHAN JÖNSSON
 SKALA

UPPDRAG
 TVBK-5136

RITAD/KONSTRUERAD AV
 AH/SH

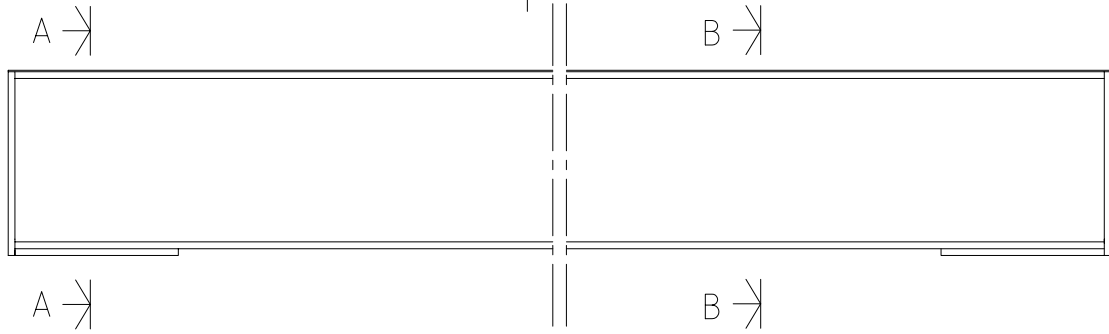
HANLÄGGARE
 JJ

NUMMER
 K-1

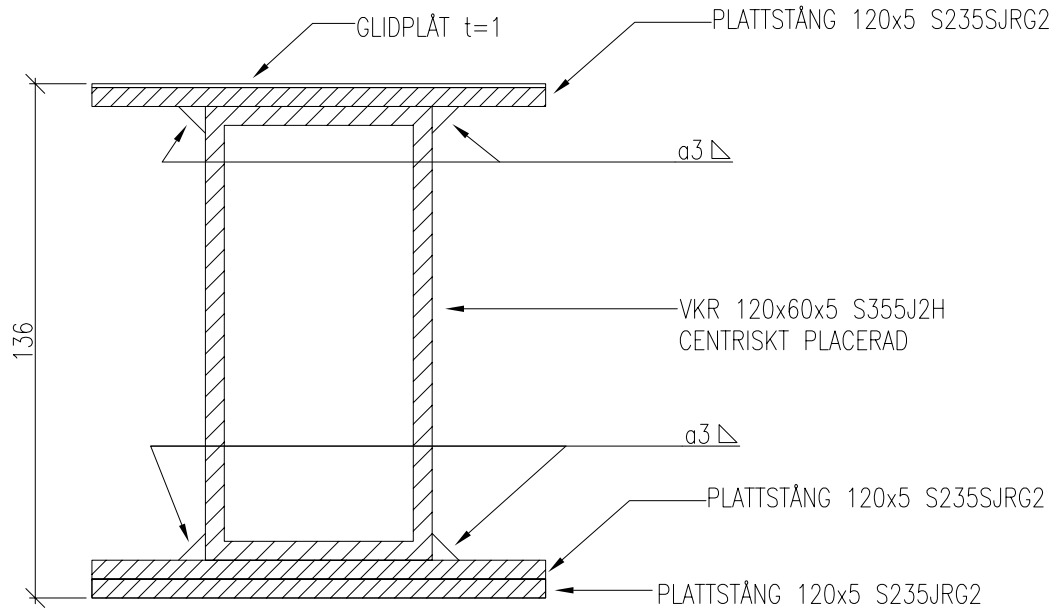
BET

XREF

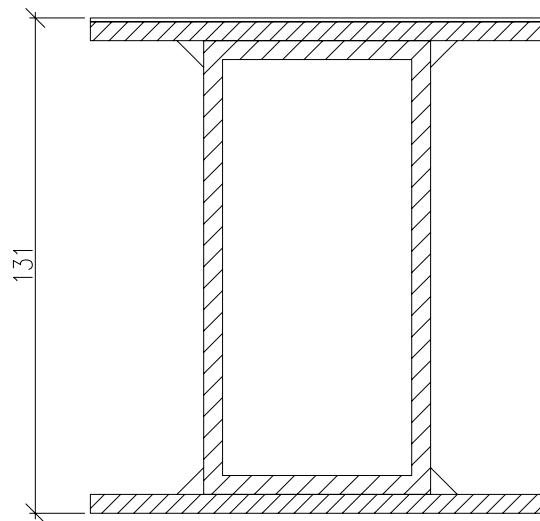
LAGER



ELEVATION 1:5



-A- 1:2



-B- 1:2

ÖVRIGT ENLIGT -A-

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
KONSTRUKTIONSTEKNIK
BOX 118
221 00 LUND

ARBETSHANDLING

STÄNDE VKR-PROFIL MED PLATTSTÄNGER

DATUM
2005-12-27

ANSVARIG
JOHAN JÖNSSON
SKALA

UPPDRAG
TVBK-5136

RITAD/KONSTRUERAD AV
AH/SH

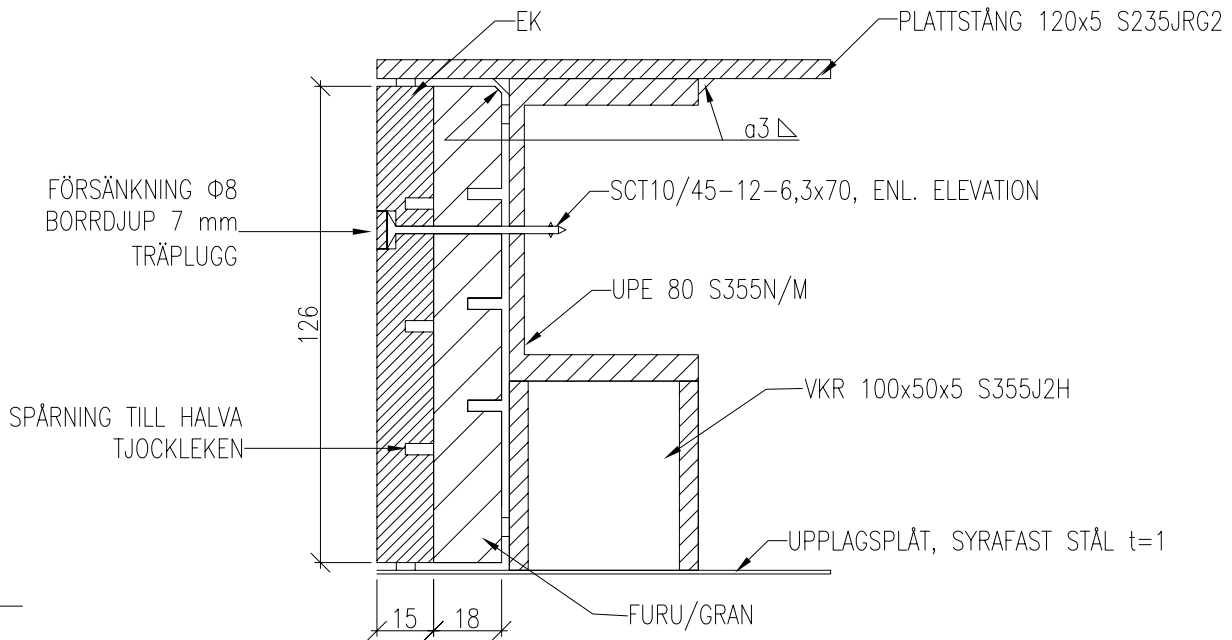
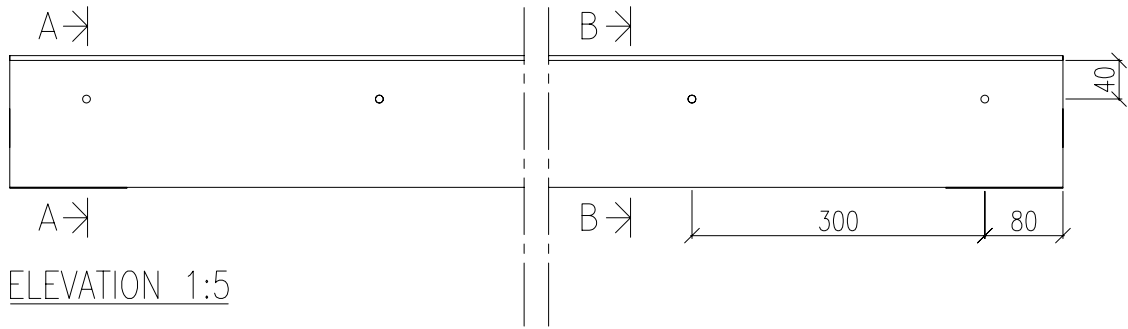
HANDLÄGGARE
JJ

NUMMER
K-2

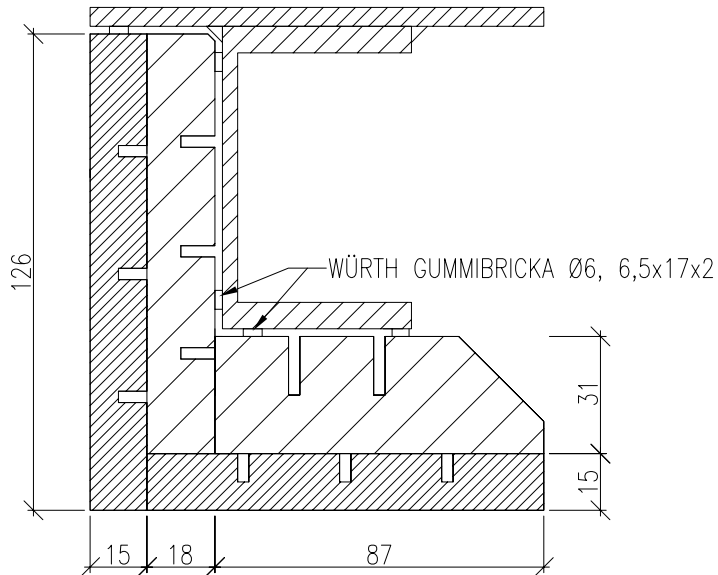
BET

XREF

LAGER



-A- 1:2



-B- 1:2

ÖVRIGT ENLIGT -A-

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
KONSTRUKTIONSTEKNIK
BOX 118
221 00 LUND

ARBETSHANDLING

DATUM
2005-12-27

UPE 80 MED TRÄFRONT

ANSVARIG
JOHAN JÖNSSON
SKALA

XREF

UPPDRAG

TVBK - 5136

RITAD/KONSTRUERAD AV

AH/SH

HANDLÄGGARE

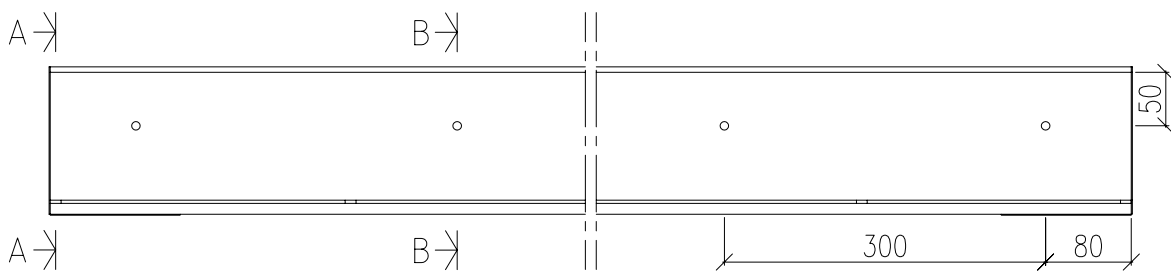
JJ

NUMMER

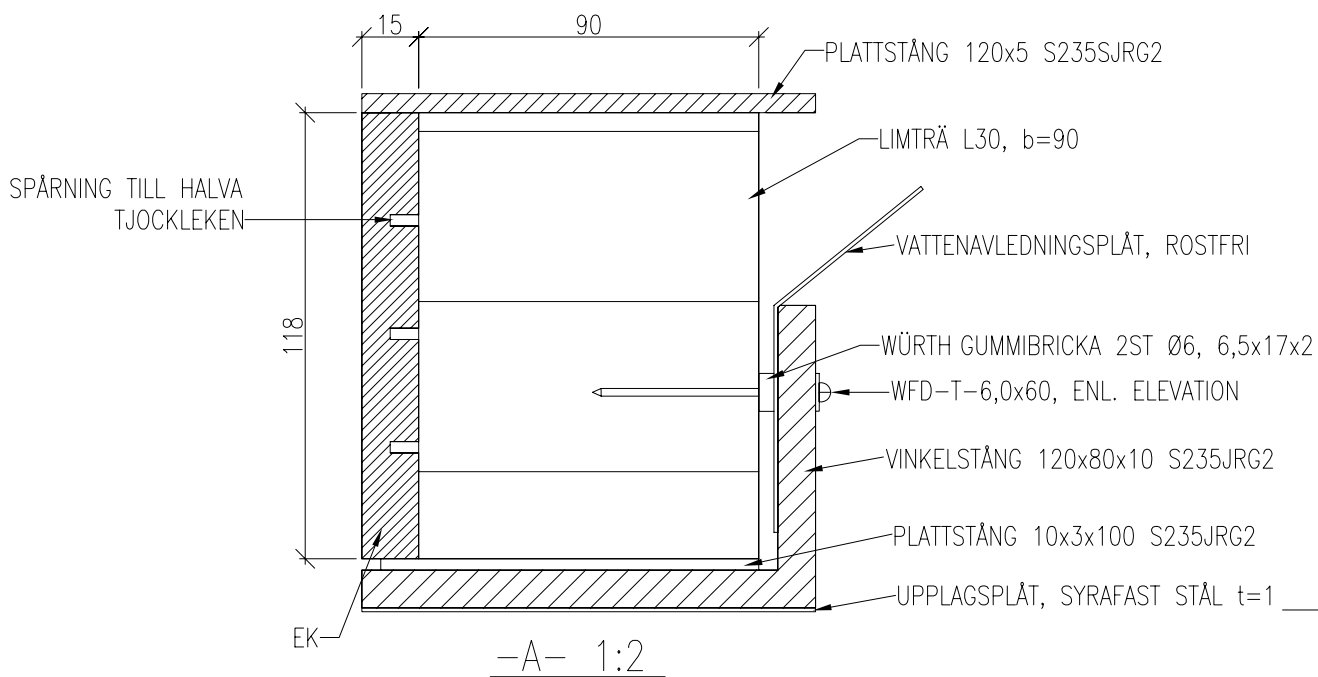
K-3

BET

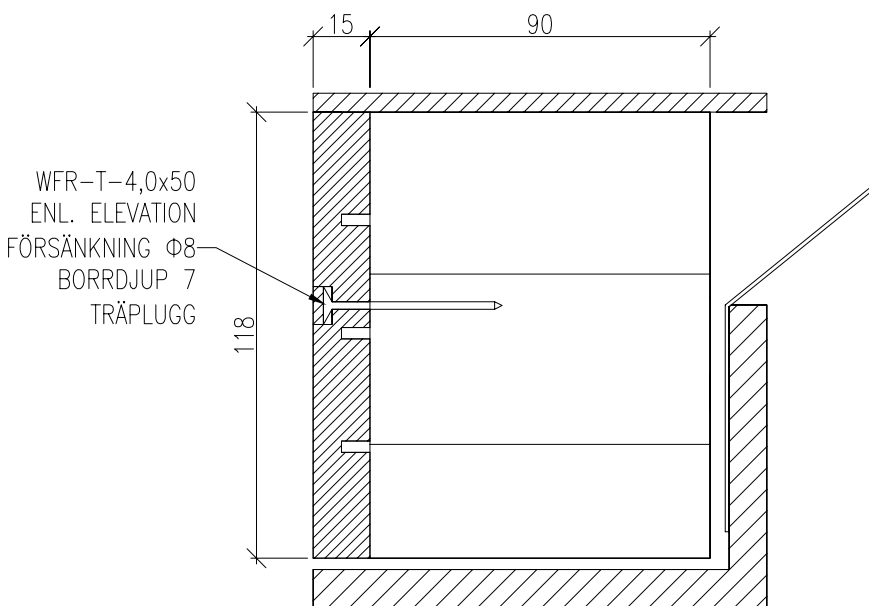
LAGER



ELEVATION 1:5



-A- 1:2



-B- 1:2

ÖVRIGT ENLIGT -A-

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
 KONSTRUKTIONSTEKNIK
 BOX 118
 221 00 LUND

ARBETSHANDLING

VINKELSTÅNG MED TRÄBALK

DATUM
 2005-12-27

ANSVARIG
 JOHAN JÖNSSON
 SKALA

UPPDRAG
 TVBK-5136

RITAD/KONSTRUERAD AV
 AH/SH

HANDLÄGGARE
 JJ

NUMMER
 K-4

BET

XREF

LAGER