

# Skjuvkapacitet i vertikalarmerade murverksbalkar

Erik Gullne

Tekniska Högskolan i Lund  
Avdelningen för Bärande Konstruktioner  
Box 118  
221 00 Lund

Lund Institute of Technology  
Department of Structural Engineering  
P.O. Box 118  
S-221 00 Lund  
Sweden

## Skjuvkapacitet i vertikalarmerade murverksbalkar

Shear capacity in vertically reinforced masonry beams

Erik Gullne

1997

### **ABSTRACT:**

A study of shear capacity in vertically reinforced masonry beams being exposed to a concentrated force. The aim of the design was to get shear failure and thus get information regarding the method of reinforcing. The vertically reinforced beams were compared to a reference beam made of common bricks. The method can be used to bridge larger openings in structural masonry walls.

Rapport TVBK-5090  
ISSN 0349-4969  
ISRN: LUTVDG/TVBK--5090 --SE

## Examensarbete

Handledare: Miklós Molnár  
December 1997

## Förord

Detta examensarbete ingår i ett större forskningsprojekt kring bärande murverk som drivs på Avdelningen för Bärande Konstruktioner vid Lunds Tekniska Högskola. Rapporten är baserad på försök som har utförts på avdelningen under hösten 1996.

Avsikten med rapporten är att utröna vad det finns för fördelar med vertikalarmerat murverk och hur man skall gå tillväga vid praktisk produktion av vertikalarmerat murverk. Avsikten är inte att ge en fullständig utredning utan att koncentrera rapporten kring vertikalarmerat murverk över öppningar.

Examensarbetet har utförts under handledning av Miklos Molnar doktorand vid avdelningen. Tack till honom för all hjälp. Tack också till de på Sundlink Contractors HB som har hjälpt mig med att få tid till slutförande av arbetet.

Då jag började arbeta i näringslivet innan detta examensarbete var färdigskrivet, så tog själva slutförandet längre tid än planerat. Då det nu äntligen är färdigt så känns det att trots den långa tiden så har inte kvalitén på slutprodukten påverkats.

Malmö december 1997

Erik Gullne

---





# Innehållsförteckning

## SAMMANFATTNING

## SUMMARY

<b>1. INLEDNING .....</b>	<b>1</b>
1.1 BAKGRUND .....	1
1.2 SYFTE .....	1
1.3 AVGRÄNSNINGAR .....	2
1.4 METOD .....	2
1.5 DISPOSITION .....	2
<b>2. MATERIALEGENSKAPER .....</b>	<b>3</b>
2.1 INTRODUKTION .....	3
2.2 MURSTEN .....	3
2.3 MURBRUK .....	4
2.3.1 Bindemedel .....	4
2.3.2 Ballast .....	5
2.3.3 Tillsatsmaterial .....	5
2.3.4 Vatten .....	6
2.3.5 Brukstyper .....	6
2.3.6 Murbruksklasser .....	6
2.4 ARMERINGENS UTFORMNING .....	7
2.4.1 Armeringstyper .....	7
2.4.2 Utformning av vertikalarmering .....	7
2.4.3 Rostskydd av armering .....	8
2.4.4 Applicering av armering .....	9
2.5 BETONG .....	9
<b>3. DIMENSIONERINGSMETODER FÖR VERTIKALARMERAT MURVERK .....</b>	<b>10</b>
3.1 INTRODUKTION .....	10
3.2 BÖJNING .....	12
3.2.1 Stadium I, osprucket stadium .....	12
3.2.2 Stadium II, sprucket stadium .....	12
3.2.3 Stadium III, brottstadium .....	13
3.3 DIMENSIONERING, GENERELLT .....	14
3.4 DIMENSIONERING AV HORIZONTALARMERAD MURVERKSBAK .....	16
3.5 DIMENSIONERING AV VERTIKAL ARMERING .....	17
3.5.1 Grundläggande teorier för skjuvarmering .....	17
3.5.2 Dimensionering av vertikalarmeringen med utgångspunkt från MUR90 .....	18

---

<b>4. FÖRSÖK UTFÖRDA MED VERTIKALARMERAT MURVERK.....</b>	<b>21</b>
4.1 INTRODUKTION .....	21
4.2 BESTÄMNING AV INGÅENDE MATERIALPARAMETRAR .....	21
4.2.1 <i>Utformning av provkroppar</i> .....	21
4.2.2 <i>Test av provkroppar</i> .....	22
4.2.3 <i>Resultat och bestämning av parametrar</i> .....	22
4.3 UTFORMNING AV MURVERKSBALKAR .....	24
4.3.1 <i>Begränsande faktorer</i> .....	24
4.3.2 <i>Val av utformning</i> .....	24
4.3.3 <i>Val av ingående material</i> .....	26
4.4 DIMENSIONERING AV MURVERKSBALKAR.....	27
4.4.1 <i>Ingående material och materialparametrar</i> .....	27
4.4.2 <i>Detaljberäkningar balk 1-5</i> .....	27
4.5 UPPMURNING AV BALKAR.....	28
4.6 UTFORMNING AV FÖRSÖK .....	29
4.7 FÖRSÖKSRESULTAT PÅ MURVERKSBALKAR .....	31
4.7.1 <i>Analys av diagram</i> .....	31
4.7.2 <i>Jämförelse mellan teori och försök</i> .....	33
<b>5. SLUTSATSER OCH DISKUSSION.....</b>	<b>34</b>

**BILAGA A - DETALJBERÄKNINGAR PÅ FÖRSÖKSBALKAR**

**BILAGA B - DIAGRAM FRÅN FÖRSÖK MED MURVERKSBALKAR**

**BILAGA C - DIAGRAM FRÅN FÖRSÖK MED MURVERKSPROVKROPPAR**

**BILAGA D - SPECIFIKATION PÅ EXPANDERBRUK**

**REFERENSER**



## Sammanfattning

Denna rapport ingår i examensarbetet "Skjuvkapacitet i vertikalarmerade murverksbalkar" som har genomförts vid Avdelningen för Bärande Konstruktioner vid Lunds Tekniska Högskola. Syftet med examensarbetet är att:

- undersöka möjligheten att överbrygga större öppningar i bärande murverk genom vertikalarmerade murverksbalkar.
- genom provning verifiera om metoderna för dimensionering av betongbalkar kan tillämpas på vertikalarmerade murverksbalkar.
- samla erfarenheter som främjar användningen av vertikalarmerat murverk i produktionen.

Examensarbetet omfattar provning av bärförmågan vid statisk last av 5 murade balkar. Samtliga var 3500 mm långa och 510 mm höga men innehöll varierande mängder vertikalarmering. För att få fram grundvärden till beräkningarna, har även murverkets tryckhållfasthet parallellt liggfogarna provats.

Fyra av balkarna murades med specialtegel av normalformat där varje sten har två hål med diameter 50 mm. Vid murning i löpförband erhålles därmed vertikala kanaler med ett centrumavstånd på 130 mm. Önskad armeringsmängd placerades i kanalerna, varefter dessa ingjöts med lättflytande expanderbetong. En femte balk murades med massivt tegel och användes som referensobjekt. Samtliga balkar innehöll horisontalarmering, som var placerad i de två nedersta liggfogarna förutom referensbalken som endast hade armering i den understa fogen.

Vid dimensionering eftersträvades skjuvbrott. De fritt upplagda balkarna belastades med en punktlast 1200 mm från upplaget och fördes till ett tillstånd som kan jämföras med brott. Riktigt brott inträffade inte i något av fallen, vilket förklaras av armeringens seghet.

Det som är mest framträdande då man analyserar försöksresultaten är att de vertikalarmerade murverksbalkarna har en mycket högre deformationskapacitet än referensbalken. Man har med vertikalarmeringen säkrat balken mot sprött brott. Även bärförmågan ökar med 50-100 % för de vertikalarmerade balkarna. Balkarnas lastkapacitet beräknades enligt modeller av den typ som används för armerad betong. Bärförmågan för de 4 balkarna murade med håltegel blev 20-30 % högre än beräknat. Motsvarande skillnad för referensbalken var 100 %.

Tekniken att använda vertikalarmerade murverksbalkar över stora öppningar förenklar materialhanteringen och utförandet på en byggarbetsplats. Själva murningen med håltegel tar dock 2-3 gånger längre tid än traditionell murning. Jämfört med betong- eller förspända murverksbalkar, erbjuder vertikalarmerade murverksbalkar ett konkurrenskraftigt alternativ ur såväl ekonomisk som estetisk synpunkt.

---







## Summary

This thesis is a part of the diploma work "Shear capacity in vertically reinforced masonry beams" which has been carried out at the Department of Structural Engineering at Lund Institute of Technology. The purpose of the thesis is to:

- Examine the possibilities to bridge larger openings in structural masonry with vertically reinforced masonry beams.
- Through tests verify if the methods for dimensioning of concrete beams can be applied on vertically reinforced masonry beams.
- Collect knowledge that promotes the use of vertically reinforced masonry in the production.

The thesis comprises testing of the loadbearing capacity of 5 masonry beams under a static load. They were all 3500 mm long and 510 mm high but were reinforced with a different amount of vertical reinforcement. Tests on the compression strength parallel to the joints were also performed to obtain the basic values for the calculations.

Four of the beams were manufactured with special bricks of normal size (250x120x62 mm) that contained two holes with a diameter of 50 mm. When the bricks were layed in a stretcher bond, vertical channels were obtained at a center to center distance of 130 mm. The desired amount of reinforcement were placed in the channels which then were filled with expanding grout. A fifth beam was made of massive bricks and was used as a reference. All of the beams contained horisontal reinforcement in the two lowest joints except for the reference beam which only had reinforcement in the lowest joint.

The aim in the design of the test was to get shear failure. The freely supported beams were loaded with a concentrated force 1200 mm from the support and were tested to a state comparable with failure. Real failure was not obtained in either of the cases which can be explained by the toughness of the reinforcement.

It was found that the vertically reinforced beams has a much higher capacity of deformation than the reference beam. One has with the vertical reinforcement secured the beam against a brittle failure. And also the load carrying capacity increases with 50-100% with the vertically reinforced beams. The maximum load for the 4 beams that were made of special bricks was 20-30% higher than calculated as a reinforced concrete beam. The corresponding difference for the reference beam was 100%.

The method of using vertically reinforced beams over large openings simplifies the material handling and the workprocedure on a construction site. The bricklaying itself takes though 2-3 times longer than traditional bricklaying. Compared to concrete beams or prestressed masonry beams vertically reinforced masonry beams offer a competetive alternative from both a economic as a aesthetical point of view.

---



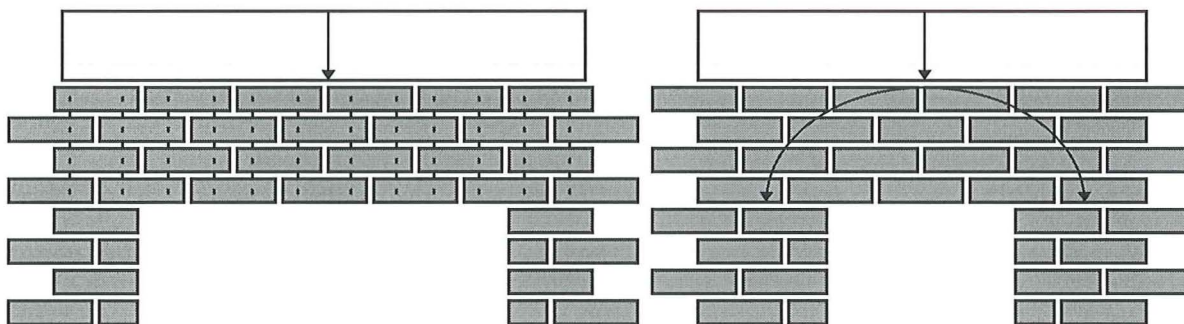


## 1. Inledning

### 1.1 Bakgrund

Anledningen till att man vill vertikalarmera bärande murverk är problemet med att överbrygga större öppningar. Horisontalarmering tar upp moment, medan tvärkraft tas upp av murverkets skjuvkapacitet. Den senare blir snabbt otillräcklig vid ökande spännvidd och konstruktionsdelen går till sprött brott. Genom att vertikalarmera murverket ökar man skjuvkapaciteten och brottet blir segt.

Vid mindre öppningar kan man oftast räkna med valvverkan och då behöver man endast ha viss horisontell armering för att hindra att murstensskiften ovanför öppningen faller ner. Gränsen för hur stora öppningarna kan vara för att slippa vertikalarmera ligger kring 2 m. En begränsande faktor är hur mycket murverk man har ovanför öppningen. Är det för få skift sätts valvverkan ur spel och man måste vertikalarmera. Se *Figur 1.1*.



*Figur 1.1* Den vänstra bilden visar öppning över vilken man har varit tvungen att vertikalarmera medan den vänstra visar hur valvverkan bidrar till att överbrygga öppningen.

Vertikalarmering av murverk är ganska okänt i Sverige men metoden används i USA, framför allt i de områden som är jordbävningdrabbade, då murverket får en större seghet och därmed håller konstruktionen ihop vid en jordbävning.

Alternativ till att vertikalarmera över öppningar kan vara att man istället applicerar en betongbalk i murverket. Detta medför dock estetiska nackdelar samt är en dyrare lösning. Man kan även använda förspända murverksbalkar men dessa är avsevärt dyrare än att vertikalarmera murverket.

### 1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att:

- undersöka möjligheter att överbrygga större öppningar i bärande murverk genom vertikalarmering.
- undersöka metoder och utformning att vertikalarmera murverk.
- skapa en uppfattning om de ingående materialens utformning och egenskaper.
- se hur väl dagens beräkningsmetoder stämmer.





### **1.3 Avgränsningar**

Arbetet behandlar endast murverk av tegel med koncentration på vertikalarmerat murverk för att överbygga öppningar. Försöken är begränsade till vertikalarmerade murverksbalkar med variation av armeringsmängd. Arbetet är inte avsett att komma fram till några nya beräkningsunderlag utan avser endast att belysa problem och metoder för att bedöma om vertikalarmering kan vara ett effektivt sätt för att öka murverkets hållfasthet.

### **1.4 Metod**

Arbetet har inletts med litteraturstudier för att skapa en uppfattning om metoder och normer för att dimensionera och uppföra vertikalarmerat murverk. Litteratur har införskaffats via Lunds Universitetsbiblioteks omfattande nätverk av kontakter och databaser eller via institutionens sakkunniga. Då det i Sverige finns väldigt lite forskning på det här området har det inneburit en hel del antaganden och provningar i samband med försöken.

Försöken har utförts med så ”normala” material som möjligt för att ge industrin en chans att se hur man i praktiken skulle kunna applicera metoderna på byggnader. All provning av material har skett enligt gängse standard.

När det gäller praktiskt utförande har sakkunniga tillfrågats angående tidsåtgång för arbetsmoment och möjlighet till genomförande.

### **1.5 Disposition**

Rapporten är indelad i tre delar; en inledande del som behandlar materialegenskaper därefter följer en del om dimensionering av vertikalarmerat murverk och sist en del som behandlar försöken.

## 2. Materialegenskaper

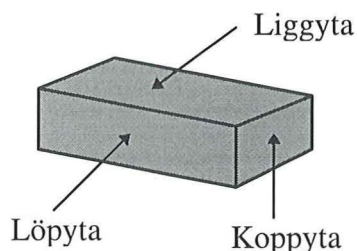
### 2.1 Introduktion

Murverk är en sammansatt konstruktion av separata enheter, murstenar, som är sammanbundna med murbruk. I vertikalarmerat murverk finns ytterligare två komponenter - armering och expanderbruk, som är lättflytande med en relativt liten kornstorlek.

Det är främst tre faktorer som påverkar murverkets kvalitet och har stor inverkan på den slutliga hållfastheten. Det är murstenarnas kvalitet, murbrukets kvalitet och yrkesskickligheten hos den som utför arbetet. Dessa tre faktorer medverkar till att murverket kan få en variation i hållfasthet och därmed är svårbestämt för ingenjören. De normer och bestämmelser som finns tar hänsyn till murverkets variabilitet. För att på ett adekvat sätt bestämma hållfastheten i armerade murverk måste man vara förtrogen med murverkets ingående material och dess egenskaper.

### 2.2 Mursten

Murstenenar utgörs vanligen av rektangulära block. Benämning på ytorna visas i *Figur 2.1*.



*Figur 2.1* Murstens geometri

Det finns ett antal standardiserade format men det vanligaste formatet på mursten i Sverige är det så kallade normalformatet, NF. Detta format används så väl till fasadmurar som konstruktionselement.

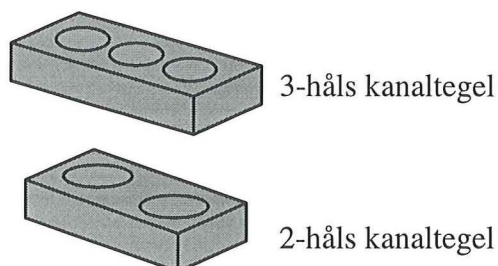
Tryckhållfastheten hos mursten bestäms genom att trycka enskilda stenar i provningsmaskin. Samma försök ger dock inte murverkets hållfasthet. För att bestämma detta måste man mura upp provkroppar. Det man kan säga generellt är att starkare mursten ger ett starkare murverk.

Det som även påverkar hållfastheten är tillverkningsmetoden och bränningsgraden. Detta är beroende av vem som tillverkar stenen och lerans beskaffenheter. Det är därför inte ovanligt med variationer mellan 15 och 150 MPa i tryckhållfasthet. Därför är det viktigt att noga konsultera datablad och tillverkarens uppgifter om man är osäker på materialet. Vad man dock skall veta är att tegel ofta har högre hållfasthet än bra betong.

Absorptionsförmågan påverkar foghållfastheten på så sätt att stenen drar vatten ur murbruket. Har stenen för hög absorptionsförmåga kommer fogen att sugas torr allt för snabbt varvid sprickor mellan sten och fog kan uppstå. En annan orsak är att muraren ofta knackar på stenen då han rättar till den. Om teglets absorptionsförmåga är för hög bryts bindningarna mellan bruket och stenen.



Mursten som används för vertikalarmering kan utformas på ett antal olika sätt. Det som är genomgående är att någon form utav vertikal kanal måste bildas i murverket för att möjliggöra armering. För att så lätt som möjligt kunna



anpassa vertikalarmerade delar till övriga delar av murverket bör man utgå från de standardformat som finns på marknaden. Vad som sedan bestämmer hålens placering är vilket förband man har planerat att använda. Det som är praktiskt genomförbart med de svenska murstensformaten är tegelstenar med två eller tre hål. Dessa kan sedan vara runda eller rektangulära vilket för murens funktion inte har så stor betydelse. Dock har det betydelse för själva murningarbetet vilken typ av hål man har. Det är enklare att ha någon form av plugg i runda hål än i fyrkantiga.

**Figur 2.2** Tegelsorter för vertikalarmering

Hålen i murstenen måste ha en väl avvägd storlek. För stora hål försvagar tvärsnittet och vidhäftningen i fogarna blir sämre. Det blir även svårare att få en kvalificerad murning med stora hål, då dessa skall hållas fria från bruk. Det som begränsar hålstorleken nedåt är att armeringen måste ha ett tillräckligt täckskikt och att eventuella ändkrokar på den vertikala armeringen måste få plats. Lämplig hålstorlek ligger mellan 50 och 70 mm.

### 2.3 Murbruk

Murbruk är den beståndsdel i murverket som är mest kritisk ur konstruktionshänseende. Då murbruket blandas och brukas på plats kan det förekomma variationer. Dessa har dock minimerats genom att industrin har standardiserat och optimerat murbruket. Murbruk finns att köpa färdigblandat och man behöver bara tillsätta rekommenderad mängd vatten. I ett modernt murbruk är de ingående beståndsdelarna bindemedel och ballast. Till dessa huvuddelar tillkommer sen eventuella tillsatsmedel och vatten.

#### 2.3.1 Bindemedel

Bindemedel kan i sig delas upp i 2 grupper

- Icke hydrauliskt
- Hydrauliskt

##### *Icke hydrauliska bindemedel*

Kalkhydrat (luftkalk) är torrsläckt kalk som vid blandning med vatten hårdnar i luft genom karbonatisering. Detta bindemedel kan inte hårdna i vatten.





Kalkdeg är kalkhydrat i vattensuspension som man erhåller vid våtsläckning av kalk, vid blötläggning av torrsläckt kalk eller som biprodukt då man framställer acetylen ur kalciumkarbid.

#### *Hydrauliska bindemedel*

Hydraulisk kalk är torrsläckt kalk som vid blandning med vatten har en förmåga att genom karbonatisering och hydratisering härda i både luft och i vatten. Dock måste det ha hårdnat ett tag i luft innan det kan vattenbegjutas.

Kalkcement är en blandning av kalkhydrat eller hydrauliskt kalk och cement som efter blandning med vatten kan härda i både luft och vatten.

Murcement innehåller finmald cementklinker, filler och tillsatsmedel. Det kan härda i både luft och vatten.

Cement består av finmald cementklinker och kan härda i både luft och vatten.

### 2.3.2 Ballast

Vanligtvis används sand som ballast till murbruk. Sanden skall vara fri från föroreningar och ha en lämplig kornfördelning.

### 2.3.3 Tillsatsmaterial

Man kan till bruket tillsätta flygaska, kalciumkarbonat eller liknande.

#### *Kemiska Tillsatsmedel*

- Luftporbildande ämnen tillsätts till murbruket för att göra det smidigare och förhindra vattenseparation samt för att minska kapillärsugningen hos det hårdnande murbruket och öka frostresistensen.
- Vattenreducerande tillsatser används för att kunna minska vattenhalten utan att arbetbarheten försämras.
- Frostskyddsmedel används då man är tvungen att mura vintertid. Det finns både accelererande tillsatser och alkoholer. De accelererande medför att bruket hårdnar snabbare och därmed får snabbt en resistens mot frost. Alkoholer används för att sänka vattnets fryspunkt. Dock skall man helst undvika murarbeten vid temperaturer under noll.

Det finns även andra tillsatsmedel såsom retarderande, konsistensförbättrande och pigmenterande.



### 2.3.4 Vatten

De rekommendationer som kan ges angående vattnet är att det skall vara rent och fritt från skadliga föroreningar såsom olja, syror, alkali, organiskt material eller motsvarande. Det gäller för både blandnings- och rengöringsvattnet. Salt eller bräckt vatten får inte användas.

### 2.3.5 Brukstyper

*Kalkcementbruk* innehåller kalk, cement, sand och vatten. Bruket måste användas 3-4 timmar efter beredning. Bruket klassificeras efter andelarna av de olika ingredienserna.

*Cementbruk* är en blandning av cement, sand och vatten. Användningstid är max två timmar efter beredningen.

*Murcementbruk* består av murcement, sand och vatten.

Det finns även rent kalkbruk, vilket inte är så lämpligt för vertikalarmerat murverk.

### 2.3.6 Murbruksklasser

För att det skall vara lätt att klassificera och utforma en standard har murbruket delats upp i olika klasser. Brukets styrka är graderat från A till E där A är det starkaste bruket. Se *Tabell 2.1*. Bruket klassas efter andelen bindemedel av de olika typerna cement, kalk, murcement och kalkhydrat.

<i>Murbruksklass</i>	<i>Murbrukstyp</i>	<i>Bindemedel</i>	<i>Bindemed./Sand Viktandelar</i>	<i>Volymandelar</i>
<b>A</b>	Cementbruk	Cement	C 100/450	C 1:4
	Kalkcementbruk	Kalk+cement	KC 10/90/350	KC 1:4:15
	Murcementbruk	Murcement	M 100/350	
<b>B</b>	Kalkcementbruk	Kalk+cement	KC 35/65/550	KC 1:1:8
	Murcementbruk	Murcement	M 100/600	
<b>C</b>	Kalkcementbruk	Kalk+cement	KC 50/50/650	KC 2:1:12
	Kalkcementbruk	Kalk+cement	KC 35/65/650	KC 1:1:10
	Murcementbruk	Murcement	M 100/900	
<b>D</b>	Kalkcementbruk	Kalk+cement	KC 50/50/950	KC 2:1:18
<b>E</b>	Kalkbruk	Kalkhydrat	K 100/1050	K 1:5

*Tabell 2.1 Olika klasser av murbruk enligt svensk norm (MUR 90)*



## 2.4 Armeringens utformning

Armeringen för att vertikalarmera murverket över öppningar skall helst vara standardiserad armering som finns att tillgå. Detta för att hålla nere kostnaderna och att slippa specialsystem som kan vara svåra att hantera om man inte är van.

### 2.4.1 Armeringstyper

Den enklaste typen av armering är vanligt armeringsstål, antingen slätstål eller kamstål. För att bättre anpassa armeringens samverkan med murverket, så har industrin utvecklat speciella armeringsstegar antingen i stegform eller i fackverksform. De armeringstyper som är vanligast förekommande är:

- *Stänger* - Som stänger finns det två typer, kamstål och släta stänger. Fördelarna med stängerna är att de är billiga och vanliga, vilket betyder att de går att få tag på utan större dröjsmål.
- *Bi-stål* - Är två parallella stänger förbundna med tvärstänger. Bi-stålet är rostskyddat och behöver inte förankras lika långt som armeringsstänger. Se *Figur 2.3*.
- *Fackverksstegar* - Två parallella stänger med fackverk emellan. Är en variant på bi-stålet. Se *Figur 2.3*.
- *Putsarmeringsnät och sträckmetall* - Används för att armera och binda putsen, men kan även ha en funktion att hålla uppe murstenar i nedersta skiftet.



*Figur 2.3 Specialutvecklad armering för murverk. Till vänster fackverksarmering och till höger stegarmering (Bi-stål)*

### 2.4.2 Utformning av vertikalarmering

Ett rationellt sätt att utforma vertikalarmeringen innebär att tid sparas vid själva murningen. Det finns i princip 3 typer av vertikalarmering som är praktiskt tillämpbara:

- Bygelarmering
- Stänger
- Specialprodukter

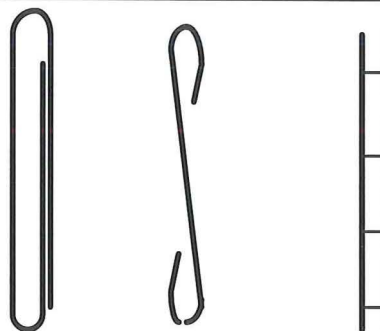




*Bygelarmering* innebär att man bockar vanlig armering till byglar av lämplig dimension, vilken får anpassas till murstenen. Bygelarmering är relativt lätt att tillverka och ger en god förankring av armeringen. Kan dock vara platskrävande om man skall hålla föreskrivna bockningsradier.

*Stångarmering* måste även den bockas för att få tillräcklig förankring. Ändkrokarna kan se ut på olika sätt men även här är kroken platskrävande om man skall hålla föreskrivna bockningsradier.

Olika *specialprodukter* kan vara t ex stegarmering som kan läggas i som den är och får då tillräcklig förankring via de tvärstag som håller ihop de två längsgående stängerna.



Bygel

Stång

Specialprodukter

**Figur 2.4** Olika typer av vertikalarmering

### 2.4.3 Rostskydd av armering

Då armering i murverk inte får samma korrosionsskydd som armering i betong, bör man rostskydda armeringen. Det finns ett antal metoder och principer att tillgå.

- *Ökning av godstjocklek* - Genom att öka armeringens dimension så att konstruktionen tål ett visst mått av korrosion. Detta är dock en tveksam metod då sprickor kan uppstå p g a armeringens expansion. Kan även vara olämplig då det finns ett maximalt mått på fogarna.
- *Galvanisering/varmförzinkning* - Är en väl beprövad metod som är relativt billig och kan fungera bra om armeringen inte behöver bockas. Nackdelen då man bockar armeringen är att det galvaniserade/varmförzinkade skiktet kan spricka upp och därmed går man miste om rostskyddet. Beläggningen bör vara minst 0.13 mm tjock.
- *Epoxybeläggning* - Finns två sorter: järnepoxy och zinkepoxy. Båda kan svetsas men zinkepoxyn utvecklar giftig gas vid svetsning. Man bör öka förankringslängden med 25% om man använder epoxybelagt stål.
- *Rostfritt och rostfritt syrafast* - Är otvivelaktigt det bästa alternativet om man vill ha ett beständigt murverk. Det rostfria stålet kräver ingen varsam behandling och kan fås i svetsbara kvaliteter. Den stora nackdelen med stålet är att det är dyrt, men detta kan troligen vägas upp av minskade hanteringskostnader.

Det kan dock diskuteras ifall det behövs rostskydd på den vertikala armeringen, då denna gjuts in i betong. Det kan dock vara befogat att även där använda rostskyddad armering, då det kan vara svårt att få betongen att komma innesluta armeringen helt. Detta beror till stor del på murstenens utformning.



#### 2.4.4 Applicering av armering

Armeringen appliceras i horisontalfogarna genom att den läggs i bruket. Lämpligt är att lägga en mindre mängd bruk först, för att sedan lägga i armeringen. Därefter läggs ytterligare en mängd bruk för att bädda in armeringen ordentligt så att vidhäftningen blir god. Viktigt är att förankringslängden blir tillräcklig.

I vertikalkanalerna kan armeringen förses med distanser för att se till att armeringen fixeras i mitten av kanalen. Det är viktigt att se till så det finns tillräckligt med utrymme mellan armeringen och kanalen så att betongen kan hållas i och nå runt överallt.

### 2.5 *Betong*

I vertikalarmerat murverk används lättflytande undergjutningsbetong, helst av expanderbrukstyp för att få ut bruket i alla hålrum. Det finns ett antal leverantörer av denna typ av bruk och bruket brukar finnas i tre sorter, grov, normal och fin. För bruk till vertikalarmerat murverk är normal till grov lämpligast. Bruket är färdigblandat och endast vatten behöver tillsättas. Se bilaga D för specifikation på expanderbruk.

Betongen blandas i enlighet med föreskrifterna och hålls i murverkets kanaler efter att armeringen har applicerats. Det finns sällan någon möjlighet till vibrering, då detta kan skada murverket. Därför är det viktigt att betongen har en sådan konsistens att den kan nå ut till alla skrymslen i kanalerna. Det är nödvändigt med en ordentlig vattning av kanalerna innan betongen hålls i, då tegelstenen annars suger i sig vattnet.

Normalt expanderbruk motsvarar ungefär betong K50.







### 3. Dimensioneringsmetoder för vertikalarmerat murverk

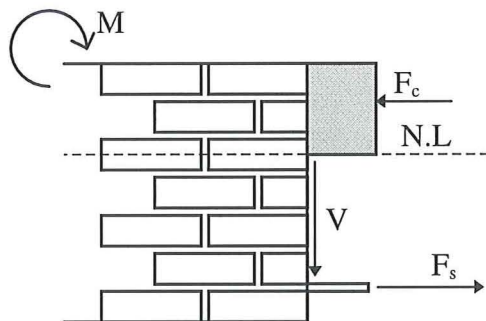
#### 3.1 Introduktion

Grunderna för att dimensionera armerat murverk kommer från metoderna att dimensionera betong. Dock har man i de flesta normerna anpassat beräkningsmetoderna något för att passa murverkets egenskaper. En faktor som alltid bör medräknas är att i murverk uppstår s k valvverkan, dvs att murverket blir till viss del självbärande över öppningar.

Den svenska handboken MUR90 anger tre parametrar som har speciell betydelse då man dimensionerar armerat murverk:

$f_{c,par}$	Murverkets tryckhållfasthet parallellt liggfogarna.
$f_{v,par}$	Tvärkraftskapaciteten parallellt liggfogarna.
$f_{v,tra}$	Tvärkraftskapaciteten transversellt liggfogarna.

Då tryckhållfastheten för murverk oftast är mer än tillräcklig, så blir det i de flesta fall tvärkraftskapaciteten som är dimensionerande.



Figur 3.1 Kraftfördelning i en tegelbalk

Den grundläggande armeringen över öppningar, t ex fönsteröppningar, utgörs av horisontell armering. I de flesta fall är detta mer än tillräckligt men när öppningen i murverket blir för stor, lasterna blir stora eller om speciella upplagsförhållande råder kan skjuvkrafterna överskrida tvärkraftskapaciteten som då blir dimensionerande.

Vid dimensionering enligt brottgränsteori bestäms den tillåtna maximala spänningen av de ingående materialens hållfasthet, dvs draghållfasthet för stålet och tryckhållfasthet för murverket. I normal

dimensionering belastas bara materialen till en bråkdel av deras kapacitet. Det är brukligt att dimensionera så att konstruktionen blir underarmerad, vilket innebär att ett segt brott kan förväntas.



## Skjuvkapacitet i vertikalarmerade murverksbalkar

### Dimensioneringsmetoder för vertikalarmerat murverk

---

Momentet i ett murverkstvårsnitt tas upp på trycksidan av ett spänningsblock i tryck och på dragsidan av den horisontella armeringen. Murverket måste vara tillräckligt starkt för att inte krossbrott skall uppstå i tryckzonen. Teorin för beräkningarna grundar sig på ett antal antaganden:

1. Plana tvärsnitt förblir plana.
2. Murverkets draghållfasthet kan försummas.
3. Stålet antas få optimal vidhäftning mot murbruket/betongen varefter man kan anta att töjningen i stålet är samma som töjningen i murverket.
4. E-modulen i murverket förblir konstant.

I de följande kapitlen kommer dimensioneringsmetoderna för vertikalarmerat murverk att beskrivas.

### 3.2 Böjning

Om man börjar med att se på ett murverk som endast är horisontalarmerat, så kan det armerade murverkets strukturella förlopp beskrivas i tre stadier:

- I. Osprucket stadium
- II. Sprucket stadium
- III. Brottstadium

#### 3.2.1 Stadium I, osprucket stadium

Om dragspänningen i murverket inte överskrider den maximala draghållfastheten så verkar hela tvärsnittet som lastupptagande. Vid detta stadium råder följande förhållanden;

1. Töjningen är linjär över hela tvärsnittet enligt tidigare antaganden.
2. Spänningen är proportionell mot avståndet till neutrala lagret.
3. Töjningen är så pass liten att murverket och armeringen motstår dragspänningen nedanför det neutrala lagret och att tvärsnittet härmed är helt elastiskt.

Se *Figur 3.2* där linjen (1) beskriver töjningsfördelningen i stadium I.

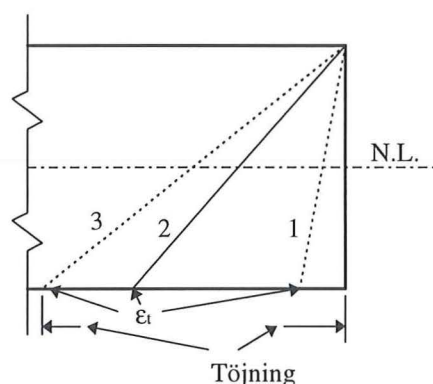
#### 3.2.2 Stadium II, sprucket stadium

Om lasten ökas så att draghållfastheten för murverket överskrids, kommer sprickor att uppstå på dragsidan. Dessa sprickor kommer att växa uppåt så länge som lasten ökar och därmed minska storleken på den tryckta zonen. Även om murverket kan ge en viss draghållfasthet så försummas denna.

Vid relativt måttliga laster gäller följande antaganden;

1. Töjningen är fortfarande linjär över hela tvärsnittet.
2. Tryckspänningar förblir elastiska.
3. Dragspänningar, som enbart tas upp av armeringen, är proportionella mot avståndet till neutrala lagret.

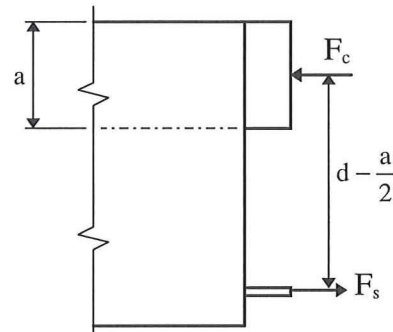
Se även *Figur 3.2* där kurva (2) visar töjningsfördelningen i stadium II.



**Figur 3.2** Murverkskropp med deformationer enligt böjteorin. Från *Reinforced masonry design, 1994*.

**3.2.3 Stadium III, brottstadium**

När man ökar lasten ytterligare kommer murverksbalken slutligen att nå brottgränsstadiet. Brottet kan ske på två olika sätt: Antingen plasticeras armeringen eller så kommer det att ske ett krossbrott i balkens tryckta zon. Om det är i armeringen som brottet sker säger man att balken är underarmerad. Sker brottet däremot i tryckzonen är balken överarmerad. Det som är lämpligt att utforma murverket så att dragarmeringen blir dimensionerande. Detta för att brottet skall bli segt, dvs att det sker en kraftig deformation innan själva brottet sker. På så sätt finns det en möjlighet att upptäcka brottet och åtgärda det innan konstruktionen kollapsar.



**Figur 3.3** Brottgränstillstånd i murverksbalk.

I *Figur 3.3* åskådliggörs hur armeringsstålet flyter och tryckzonen är totalt komprimerad så att ett rektangulärt spänningsblock bildas. I brottstadiet gäller följande;

1. Neutrala lagret förflyttas ytterligare uppåt.
2. Om balken är underarmerad kommer stålet att flyta innan tryckhållfastheten för murverket har överskridits och därmed kommer murverket att gradvis deformeras för att slutligen kollapsa.
3. Om balken är överarmerad kommer tryckhållfastheten för murverket att överskridas i tryckzonen och ett plötsligt explosivt brott uppträder.
4. Balanserat brott sker om både armeringsbrott och tryckzonsbrott sker samtidigt.





### 3.3 Dimensionering, generellt

Den dimensioneringsmetod som presenteras här grundas på MUR90's dimensioneringsmetoder för tegelbalkar.

Bestämning av murverkets dimensionerande tryckhållfasthet utgår från

$$f_{cd} = \frac{\alpha \cdot f_{ck}}{\gamma_m \cdot \gamma_n} \quad (3.1)$$

Där  $f_{ck}$  = Karakteristiskt värde för tryckhållfasthet vinkelrätt liggfogar  
 $\alpha$  = Reduktionsfaktor för tryckhållfasthet parallellt liggfogar  
 $\alpha$  = 0.4 om tryckhållfasthet parallellt liggfogar skall bestämmas  
 $\alpha$  = 1.0 i övriga fall

$\gamma_m$  och  $\gamma_n$  är partialkoefficienter för säkerhetsfaktorer och används inte i beräkningarna i denna rapport.

Murverkets böjdraghållfasthet bestäms i MUR90 ur

$$f_{td} = \frac{f_{tk}}{\gamma_m \cdot \gamma_n} \quad (3.2)$$

Där  $f_{tk}$  = Karakteristiskt värde för böjdraghållfasthet, olika för olika riktningar  
 $f_{tk,par}$  = Böjdraghållfasthet parallellt fogarna enligt Tabell 3.1  
 $f_{tk,tra}$  = Böjdraghållfasthet vinkelrätt fogarna enligt Tabell 3.1

$\gamma_m$  och  $\gamma_n$  är partialkoefficienter för säkerhetsfaktorer och används inte i beräkningarna i denna rapport.

Murtyp	Hållfasthetsklass	Murbruksklass	$f_{tk,par}$ (MPa)	$f_{tk,tra}$ (MPa)
Tegelsten	25-60	A-B	1.1	0.3
Kalksandsten	25	B	0.9	0.2

I murbruksklass C multipliceras angivna värden med 0.8.

**Tabell 3.1** Karakteristiska värden på böjdraghållfasthet enligt MUR90.



Dimensionerande värden på skjuvhållfasthet beräknas ur

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_m \cdot \gamma_n} \quad (3.3)$$

Där  $f_{vk}$  = Karakteristiskt värde för skjuvhållfasthet, olika för olika riktningar  
 $f_{vk.par}$  = Skjuvhållfasthet parallellt fogarna  
 $f_{vk.tra}$  = Skjuvhållfasthet vinkelrätt fogarna

$\gamma_m$  och  $\gamma_n$  är partialkoefficienter för säkerhetsfaktorer och används inte i beräkningarna i denna rapport.

Skjuvhållfastheten parallellt med fogarna bestäms ur

$$f_{vk.par} = 0.15 + 0.5 \cdot \sigma_n \leq 0.6 \text{ MPa} \quad (3.4)$$

Där  $\sigma_n$  = Medeltryckpåkänningen av vertikallast vid aktuellt lastfall

Formeln gäller endast för murbruksklass A och B. Vid klass C så skall  $f_{vk.par}$  multipliceras med faktorn 0.8.

I konstruktioner utan vertikala tryckpåkänningar t ex oarmerade valv och armerade balkar blir  $f_{vk.par} = 0.15 \text{ MPa}$ .

Skjuvhållfastheten vinkelrätt liggfogarna får man ur

$$f_{vk.tra} = f_{vk.tra.sten} \cdot \frac{h_s}{h} \text{ MPa} \quad (3.5)$$

där  $f_{vk.tra.sten} = 0.8 \text{ MPa}$   
 $h_s$  = Murstenarnas sammanlagda höjd i tvärsnittet  
 $h$  = Tvärsnittets höjd



### 3.4 Dimensionering av horisontalarmerad murverksbalk

Följande är en sammanfattning av MUR90's regler för dimensionering av murverk, vilka kan jämföras med BBK94.

Momentkapaciteten bestäms ur

$$R_{mk.a} = f_{st} \cdot A_s \cdot d \cdot \left( 1 - \frac{0.5 \cdot A_s}{t \cdot d} \cdot \frac{f_{st}}{f_{ck}} \right) \quad (3.6)$$

Där  $R_{mk.a}$  =Karakteristisk momentkapacitet beroende av armering  
 $f_{st}$  =Karakteristisk draghållfasthet för armeringsstålet  
 $A_s$  =Armeringsstålets sammanlagda tvärsnittsarea  
 $d$  =Effektiva höjden, dvs avståndet från armering till balkens överkant  
 $t$  =Murverkets tjocklek  
 $f_{ck}$  =Karakteristisk tryckhållfasthet för murverket

Detta gäller med begränsningen

$$R_{mk.c} \leq 0.3 \cdot t \cdot d^2 \cdot f_{ck} \quad (3.7)$$

Där  $R_{mk.c}$  =Dimensionerande momentkapacitet beroende av tryckkapaciteten

Gör man här en direkt jämförelse med teorin för betongbalk, kan man se att dessa är identiska.



### 3.5 Dimensionering av vertikal armering

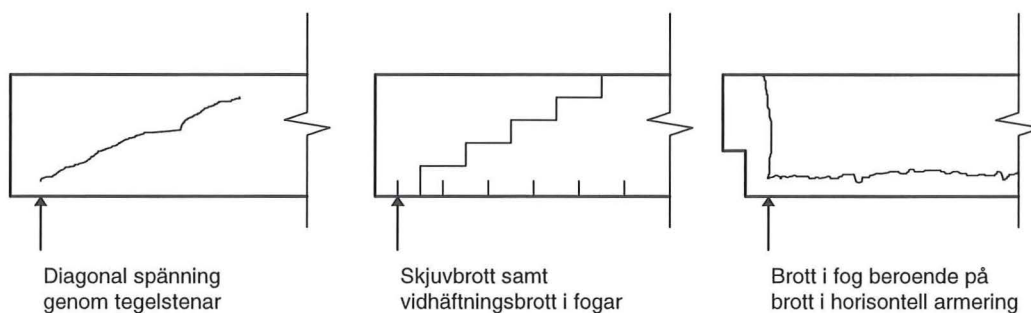
#### 3.5.1 Grundläggande teorier för skjuvarmering

En armerad murverksbalk utan vertikal armering uppför sig som en armerad betongbalk. När dragsprickor uppstår i murverket så måste böjdragspänningen tas upp av armeringsstålet. Tack vare detta kan större krafter tas upp än om ingen längsgående armering fanns. Vid de högre spänningsnivåer som uppstår då det finns dragarmering kommer diagonala dragspänningar att bildas, framför allt nära stöd och koncentrerade laster, se *Figur 3.4 Skjuvning på balkelement (Referens 7)*.



*Figur 3.4 Skjuvning på balkelement (Referens 7)*

Olika typer av sprickbildningar i en tegelbalk utan vertikal armering visualiseras i *Figur 3.5*. Den vänstra figuren visar hur sprickbildningen kan se ut då fogarna är tillräckligt starka för att sprickan skall kunna gå genom murstenen. Den mittersta figuren visar hur det kan se ut om skjuvsprickan vandrar i fogarna. Slutligen visar den högra figuren hur det kan se ut då det blir vidhäftningsbrott i den horisontella armeringen.



*Figur 3.5 Skjuvbrott i tegelbalkar (Referens 7)*

När väl skjuvsprickor har bildats i en tegelbalk kommer denna snabbt att förlora bärförmågan. Det som sker är att tryckzonen i balken reduceras allt eftersom sprickorna växer. För att undvika detta måste man använda vertikal armering. Den vertikala armeringen ger en dubbeleffekt:

- Den hämmar tillväxten av skjuvsprickor utöver den sprickbildning som sker innan den vertikala armeringen blir verksam.
- Den ökar deformationskapaciteten och eliminerar därmed uppkomsten av ett sprött brott.



Innan skjuvsprickor har uppkommit i murverksbalken, så fyller den vertikala armeringen ingen funktion. Då skjuvsprickor börjar uppkomma aktiveras vertikalarmeringen och därmed ändras murverksbalkens beteende. Skjuvarmeringen bidrar till ökning av det diagonala dragmotståndet på flera sätt:

1. En del av den totala skjuvkapaciteten tas upp av armeringsjärnen som korsar en spricka. I armerad betong blir den mängd armering som behövs differensen mellan den rådande skjuvkraften och skjuvkapaciteten på balkavsnittet. I murverk bör man räkna med att den vertikala armeringen skall ta all skjuvkraft p g a osäkerheter i materialet och utförandet.
2. Den vertikala armeringen hindrar tillväxten av sprickorna och minimerar deras inverkan på tryckzonen vilket medför att en större mängd osprucket murverk finns för att motstå böjtrycket.
3. Den vertikala armeringen binder den horisontella armeringen och murverket till en enhet som samverkar och uppnår en seghet tack vare att tegelstenen binds in mellan armeringen.

#### 3.5.2 Dimensionering av vertikalarmeringen med utgångspunkt från MUR90

Då man i sina beräkningar har insett att en murverksdel inte kan klara av de skjuvkrafter som belastningen medför, så är det upp till konstruktören att välja metod för att ta hand om krafterna och föra dessa till upplaget. I MUR90 ges ingen metod för dimensionering av den vertikala armeringen, men man kan utgå från de metoder som finns för att beräkna murverkets tvärkraftskapacitet.

I MUR90 nämns att tvärkraftskapaciteten för ett (horisontal-)armerat tvärsnitt begränsas av skjuvhållfastheten parallellt liggfogarna och är tillräcklig om

$$V_d \leq R_{vd} = t \cdot d \cdot f_{vd} \quad (3.8)$$

där  $V_d$  = Dimensionerande skjuvlast  
 $R_{vd}$  = Dimensionerande skjuvkapacitet  
 $f_{vd}$  = Dimensionerande skjuvhållfasthet

Det minsta dimensioneringsvärdet för skjuvhållfastheten erhålls ur:

$$f_{vd,par} = \frac{f_{vk,par}}{\gamma_m \cdot \gamma_n} \quad (3.9)$$

där  $f_{vk,par} = 0.15 \text{ MPa}$

då normalpåkänning i vertikalled ej tillgodoräknas i balkar enligt MUR90. Värdet på  $f_{vd}$  kan erhållas ur *Tabell 3.2*, sidan 21.



## Skjuvkapacitet i vertikalarmerade murverksbalkar

### Dimensioneringsmetoder för vertikalarmerat murverk

Enligt MUR90 får laster som angriper på konstruktionsdelens översida och nära upplag reduceras enligt regler i BBK94 (I MUR90 hänvisas till BBK79, men då BBK94 har ersatt BBK79 så är det den som är gällande).

	Skjuvhållfasthet parallellt liggfogar då $\sigma_n=0$		Skjuvhållfasthet transversellt liggfogar			
	Murbruksklass A-B $f_{vk,par}=0.15$		Stötfog i vartannat skift $f_{vk,tra}=0.33$		Stötfog i 2 av 3 skift $f_{vk,tra}=0.23$	
	Bärande murverk	Skalmur	Bärande murverk	Skalmur	Bärande murverk	Skalmur
Säkerhetsklass	3	2	3	2	3	2
$\gamma_m \cdot \gamma_n$	1.8 · 1.2	1.5 · 1.1	1.8 · 1.2	1.5 · 1.1	1.8 · 1.2	1.5 · 1.1
$f_{vd,pat} / f_{vd,tra}$	0.069	0.091	0.153	0.200	0.106	0.139
I murbruksklass C multipliceras med 0.8			Murbruksklass saknar inverkan för $f_{vk,tra}$ och $f_{vd,tra}$			

**Tabell 3.2** Murverks skjuvhållfasthet enligt MUR90 för tegel i hållfasthetsklass 25-60 och kalksandsten i hållfasthetsklass 25. Värdena gäller för utförandeklass I, används utförandeklass II så skall värdena multipliceras med 0.8.

För att dimensionera vertikalarmeringen så måste man vända sig till betongnormerna för att få vägledning. För att beräkna igjutningsbetongens tillägg så använder man lämpligen följande uttryck som grundar sig på betongnormernas beräkningsmetoder för armeringsbyglar.

$$V_c = A_c \cdot f_{ctk} \cdot \frac{d}{s} \quad (3.10)$$

- där
- $V_c$  =Betongens skjuvkraftkapacitet
  - $A_c$  =Arean för varje betongigjutning
  - $f_{ctk}$  =Betongens karakteristiska draghållfasthet
  - $d$  =Avstånd från armeringens centrum till överkant balk
  - $s$  =Centrumavståndet mellan kanalerna

Armeringens tillägg på skjuvkraftkapaciteten beräknas enligt betongnormerna. Följande uttryck anges bl a i BBK94:

$$V_s = A_{sv} \cdot f_{sv} \cdot \frac{0.9 \cdot d}{s} \quad (3.11)$$

- där
- $V_s$  =Armeringens skjuvkraftkapacitet
  - $A_{sv}$  =Tvärsnittsarean för armeringen i varje kanal
  - $f_{sv}$  =Armeringens karakteristiska skjuvhållfasthet
  - $d$  =Avstånd från armeringens centrum till överkant balk



## Skjuvkapacitet i vertikalarmerade murverksbalkar

### Dimensioneringsmetoder för vertikalarmerat murverk

---

$s$  =Centrumavståndet mellan den vertikala armeringen

Ur de inledande formlerna kan man nu enligt superpositionsprincipen addera de olika skjuvkapaciteterna för att få den sammanlagda skjuvkapaciteten.

$$V = V_k + V_c + V_s \quad (3.12)$$

där  $V_k$  =Murverkets skjuvkraftkapacitet  
 $V_c$  =Betongens skjuvkraftkapacitet  
 $V_s$  =Armeringens skjuvkraftkapacitet

Då betongen ofta är förutbestämd och tegelsorten samt murbruket likaså, så innebär det att för en given last så skall endast armeringsmängden bestämmas.







## 4. Försök utförda med vertikalarmerat murverk

### 4.1 Introduktion

Det har i Sverige endast utförts ett fåtal mindre försök med vertikalarmerat murverk. Dessa har i huvudsak skett i materialtillverkarnas regi.

För att undersöka befintliga metoder för att vertikalarmera har enklare försök på vertikalarmerade tegelbalkar utförts för att utvärdera betydelsen av armeringens storlek och placering. Alla försök är utförda på Avdelningen för Bärande Konstruktioner vid Lunds Tekniska Högskola.

För att balkarna skulle bli så bra som möjligt anlätades en kvalificerad murare för murningen. Han hade dock aldrig arbetat med vertikalarmerat murverk tidigare.

### 4.2 Bestämning av ingående materialparametrar

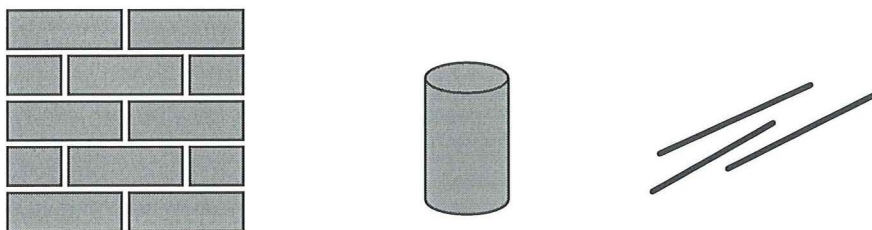
#### 4.2.1 Utformning av provkroppar

För att få materialparametrar som var så nära verkligheten som möjligt, utfördes försök med provkroppar enligt standardtest.

*Tryckhållfastheten hos murverket parallellt fogarna* bestämdes med provkroppar 2 stenar långa och 5 skift höga. De var murade av kanaltegel, som hade gjutits i med expanderbruk. Det tillverkades totalt 6 stycken provkroppar.

*Brukets tryckhållfasthet* bestämdes med gjutna provcylindrar, 100 mm i diameter och 200 mm höga. Totalt gjöts 4 st för murbruket och 2 st för expanderbruket.

*Armeringens draghållfasthet* bestämdes med 500 mm långa bitar av armeringen. Totalt tillverkades 8 bitar av varje sort.



**Figur 4.1** Provkropparnas utformning. Från vänster murverket, bruket och armeringen.



#### 4.2.2 Test av provkroppar

Försöken utfördes då de murade provkropparna hade fått torka i minst 28 dagar. Murverkskropparna sågades först jämna med hjälp av en betongsåg.

Provkropparna för murverkets tryckhållfasthet påfördes en utbredd last parallellt liggfogarna tills brott uppstod. Kraften påfördes med en hastighet av 0.02 mm/s (deformationsstyrt).

Provkropparna för bruket belastades med en utbredd last på änden av cylindern tills brott uppstod. Kraften påfördes med en hastighet av 0.1 mm/s (deformationsstyrt).

Armeringen dragbelastades från ändarna tills det bildades en ”midja”. Hastigheten var här 0.5 mm/s (deformationsstyrt).

#### 4.2.3 Resultat och bestämning av parametrar

Resultatet av murverksprovkropparna ger ett medelvärde på 4.98 MPa. Beräkning av  $f_{ck}$  enligt CEN Standard för murverk ger värdet 3.7 MPa. Detta värde används i senare beräkningar. Detta kan jämföras med ett teoretiskt värde enligt MUR90 på 7.1 MPa. För diagram över testserien se *Bilaga C*.

Provkropp nr	Max kraft (kN)	Hållfasthet (Mpa)
1	218	5.02
2	231	5.32
3	248	5.71
4	220	5.06
5	202	4.65
6	179	4.12
<b>Medelvärde</b>	<b>216</b>	<b>4.98</b>
Standardavvikelse		0.55
Variationskoeffecient		11%
n		6
$k_p$		2.336
$f_{ck}$		3.70

*Tabell 4.1* Testresultat av murverkskropparna.

Testet av murbruket ger en medeltryckhållfasthet på 8.9 MPa, se *Tabell 4.2*. Karakteristisk hållfasthet blir 1.1 MPa. Kravet på bruk typ B ligger på min 4 MPa, vilket gör att bruket ej uppfyller kraven. Denna testserie är ej användbar för beräkningarna. I stället används brukets karakteristiska värde enligt materialtillverkaren.





## Skjuvkapacitet i vertikalarmerade murverksbalkar

Försök utförda med vertikalarmerat murverk

Provkropp nr	Max kraft (kN)	Hållfasthet (Mpa)
1	<b>83.4</b>	<b>10.6</b>
2	<b>95.1</b>	<b>12.1</b>
3	<b>50.1</b>	<b>6.4</b>
4	<b>49.9</b>	<b>6.4</b>
<b>Medelvärde</b>	<b>69.6</b>	<b>8.9</b>
Standardavvikelse		<b>2.9</b>
Variationskoefficient		<b>33%</b>
n		<b>4</b>
$k_p$		<b>2.681</b>
$f_k$		<b>1.1</b>

*Tabell 4.2 Testresultat av murbrukprov.*

Test av armeringen visar resultat som är något osäkra. Här kommer karakteristiska värden enligt BBK94 att användas.

Proven på expanderbruket var endast två stycken, vilket gör att värdena är osäkra. Medelvärdet av de två är 41.3 MPa. Angivet 28-dygnsvärde för bruket enligt tillverkarens specifikationer är 53.1 MPa, vilket kommer att användas i beräkningarna. Se *Bilaga D* för specifikationer på expanderbruk.

Provkropp nr	Max kraft (kN)	Hållfasthet (Mpa)
1	<b>329</b>	<b>41.9</b>
2	<b>320</b>	<b>40.7</b>
<b>Medelvärde</b>	<b>325</b>	<b>41.3</b>

*Tabell 4.3 Resultat från provning av expanderbruk.*

Den huvudsakliga begränsningen vid bestämningen av materialparametrarna är det ringa antalet provkroppar. Detta medför en viss osäkerhet i försöken. För murverkskropparna och bruksprovkropparna, finns det en osäkerhet i anliggningsytan mot kraften, då det helst skall vara helt plant för att få jämnt utbredd last.

Vad som även kan påverka resultatet är om lastpåföringshastigheten inte var den ideala. Dock har ansträngningar gjorts för att minimera alla felkällor.





### 4.3 Utformning av murverksbalkar

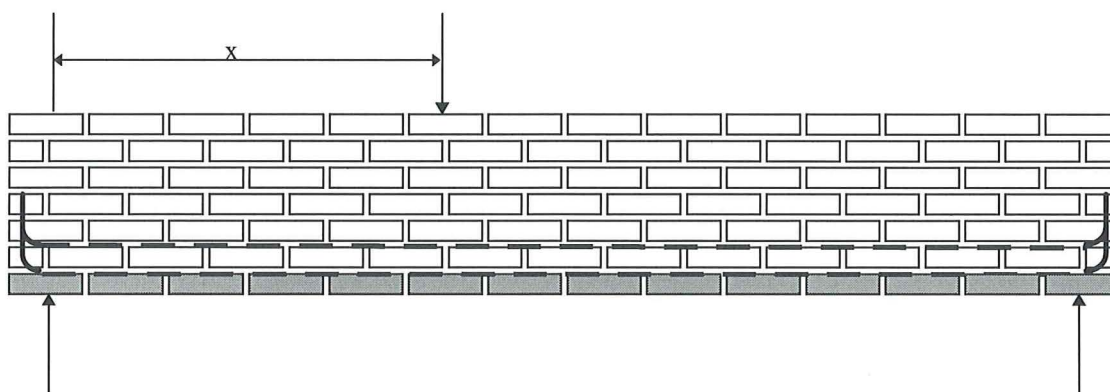
#### 4.3.1 Begränsande faktorer

För att på ett enkelt sätt utföra försök med vertikalarmering visade det sig bäst att utforma försökskropparna som balkar. På så sätt förenklar man beräkningar och via en punktlast får man en väl definierad tvärkraft. Det finns ett antal faktorer som påverkar utformningen av balkarna:

- Längden måste anpassas så att balkarna blir hanterbara. Balkarna måste kunna transporteras med travers.
- Är balkarna för korta har den valvverkan som kan uppstå i murverket för stor inverkan på försöket.
- Punktlasten får inte ligga för nära stöd, men ändå förskjuten från mitten för att uppnå så stor tvärkraft som möjligt.
- Balkarna får inte vara för höga, då stabilitetsproblem kan uppstå. Dock måste de vara tillräckligt höga för att den vertikala armeringen skall vara verksam.
- Både den horisontella och den vertikala armeringen måste ha tillräcklig förankring.

#### 4.3.2 Val av utformning

Längden på balkarna bestämdes till ~3.5 m vilket gav en 14 stenar lång balk ( $L=3630$  mm). Lämplig höjd visade sig vara ~0.5 m, som avrundades till 7 skift av tegel i NF. Understa skiftet murades i fulltegel för att simulera en balk som skall vara över en öppning. I *Figur 4.2* visas utformningen av balken med punktlasten inlagd på avstånd  $x$  från stöd.



*Figur 4.2* Principiell utformning av försöksbalkarna

Grunduppsättningen är en tegelbalk som är 7 skift hög och 14 stenar lång. Balken är horisontellt armerad med 4 kamstänger Ks60 Ø8 ovanför första och andra skiftet. Den horisontella armeringen böjs upp minst två skift i ändarna för att få god förankring.



## Skjuvkapacitet i vertikalarmerade murverksbalkar

### Försök utförda med vertikalarmerat murverk

---

De olika försöksbalkarna är:

1. Balk utan vertikal armering men murad av kanaltegel. Kanalerna gjuts i med expanderbruk.
2. Balk med armering av vart 3:e hål med 1Ø6.  $A_{sv}/s=72\text{mm}^2/\text{m}$ .
3. Balk med armering av vart 3:e hål med 1Ø8.  $A_{sv}/s=128\text{mm}^2/\text{m}$ .
4. Balk med armering av vartannat hål med 1Ø8.  $A_{sv}/s=192\text{mm}^2/\text{m}$ .
5. Balk utförd av endast fulltegel. Horisontell armering med 2Ø8 i första skiftet.

Målet med försöken är att undersöka armeringsmängdens betydelse för balkens hållfasthet. Balken utan vertikalarmering, men med kanaltegel används som referens till de vertikalarmerade balkarna. En balk av vanligt fulltegel behövs för att skapa en jämförelse mellan armerat murverk och vanligt murverk.

Vid utformningen av balkarna togs en viss hänsyn till normerna utom i fråga om armeringens förankring. Här skulle bockningsradier och armeringskrokar ha sett annorlunda ut. Den horisontella armeringen bockas upp i ändarna samt bockas in mot mitten. Se *Figur 4.3* där den horisontella armeringen visas från sidan och uppifrån. Att armeringen bockas in mot mitten är bara för att den skall kunna gå upp i de yttersta kanalerna och förankras där genom att man gjuter i betong. Vid ett användande av horisontalarmering på en arbetsplats så behöver man inte bocka upp den utan kan förlänga armeringen så att tillräcklig förankring erhålls. Detta var dock ej möjligt på försöksbalkarna.



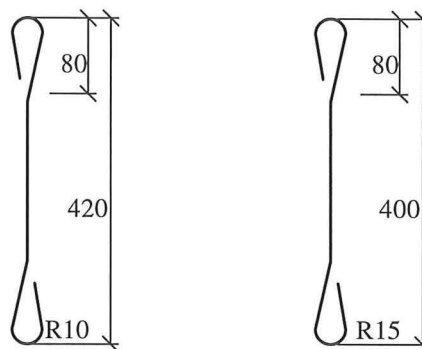
**Figur 4.3** Utformning av den horisontella armeringen. Den övre bilden är sett från sidan och den undre är sedd ovanifrån.

Den vertikala armeringen utformades som stänger med ändkrokar, vilka hade en relativt liten radie. Här visade det sig att det hade varit bättre med lite större kanaler i tegelstenarna då man på så sätt kunde få bättre täckskikt. Dimensionerna på den vertikala armeringen anges i *Figur 4.4*.



### 4.3.3 Val av ingående material

Det viktigaste vid materialvalet var att använda de material som finns allmänt tillgängliga ute på marknaden. Då tegelstenarna inte är allmänt tillgängliga än, så kan man inte garantera att de kommer att ha samma utseende som försöksstenarna när de når marknaden. Tegelstenarna är av normalformat 250x120x62 mm och av klass 35. Utseendet är mellanröd trådkuren. Tegelstenarna är tillverkade genom strängpressning. Teglet för vertikalarmering hade två runda hål med en diameter på 50 mm. En mindre mängd fulltegel användes också för att visa att det gick att få en estetisk undersida på balken. Som horisontell armering valdes Ks60 standard armering. I verkligheten måste man använda rostskyddad armering för att säkra konstruktionen mot rostangrepp. Normalt används sk armeringsstegar som är antingen rostfria eller epoxy-lackerade. Valet av vertikal armering föll på Ss22s-stål. Då målet med försöken var att få skjuvbrott i balkarna, så var det viktigt att den vertikala armeringen inte var av för hög kvalitet.



**Figur 4.4** Dimensionerna på den vertikala armeringen. Till vänster armering  $\varnothing 6$  och till höger  $\varnothing 8$ .

Murbruket var standardiserat murbruk typ B dvs ett KC-bruk. Expanderbruket för att gjuta kring den vertikala armeringen var Stråbrukens expanderbruk grov, se specifikation i *Bilaga D*.





### 4.4 Dimensionering av murverksbalkar

#### 4.4.1 Ingående material och materialparametrar

Understa skiftet är av massivt tegel klass 35, övriga skift består av specialtegel med kanaler, klass 35. Horisontell armering är av kvalitet Ks60. Vertikal armering i kvalitet Ss22s. Kanalerna gjuts i med grovt expanderbruk motsvarande betong K50. Murbruksklass B.

Med antaget värde menas att det är ett rimligt antagande. Teoretiskt värde är taget ur BBK94, MUR90 eller materialtillverkarnas specifikationer.

#### Materialparametrar

Tegel klass 35:	$\rho_{\text{mur}}$	=1500 kg/m <sup>3</sup>	(Antaget värde)
	$f_{\text{ck}}$	=3.70 MPa	(Försöksvärde)
	$f_{\text{vk.par}}$	=0.15 MPa	(Antaget värde)
Armering Ks60:	$f_{\text{yk}}$	=590 MPa	(Teoretiskt värde)
	$E_{\text{sk}}$	=200 Gpa	(Teoretiskt värde)
Armering Ss22s Ø6:	$f_{\text{yk}}$	=220 MPa	(Teoretiskt värde)
Armering Ss22s Ø8:	$f_{\text{yk}}$	=220 MPa	(Teoretiskt värde)
Expanderbruk:	$f_{\text{ck}}$	=53.1 MPa	(Teoretiskt värde)
	$f_{\text{ctk}}$	=2.25 MPa	(Antaget värde)

#### 4.4.2 Detaljberäkningar balk 1-5

Resultat från beräkningar

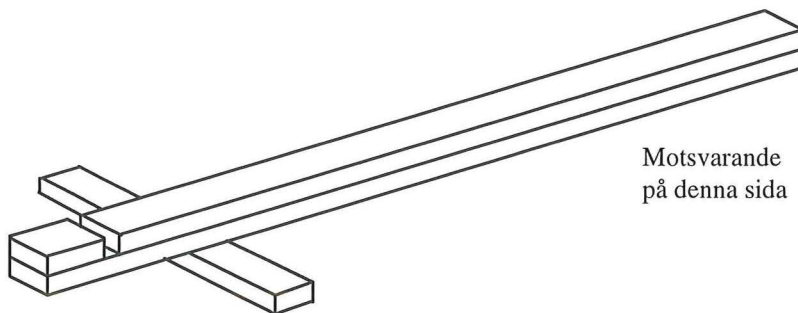
	Balk	1	2	3	4	5
Momentkapacitet (kNm)		26.9	26.9	26.9	26.9	22.3
Tvärkraftskapacitet för murverket (kN)		6.8	6.8	6.8	6.8	7.5
Tvärkraftskapacitet för betongen (kN)		7.7	7.7	7.7	7.7	-
Brottlast beroende på momentkapacitet (kN)		32.6	32.3	31.7	31.8	26.6
Brottlast beroende av tvärkraftskapacitet (kN)		21.1	30.5	38.2	46.8	9.8

Beräkningar redovisas i *Bilaga A*.



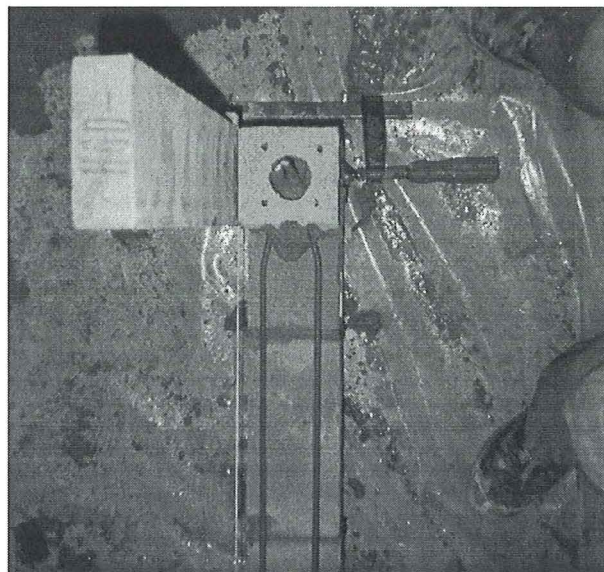
### 4.5 Uppmurning av balkar

För att på ett smidigt sätt kunna transportera balkarna tillverkades träramar att mura på. Dessa utgjordes av två liggande regler 45x120 mm som spikades ihop med varandra. Tvärgående under dessa spikades 45x95 regler med en längd av ca en meter som stöd. På en och en halv tegelstens avstånd från kanten sågades ett jack för att göra det möjligt att lyfta bort tegelbalken. Se *Figur 4.5*.



*Figur 4.5* Träram för att mura balkarna på

Murningsarbetet inleddes med att blanda murbruket i en elektrisk betongblandare typ "tombola". Bruket var förpackat i 25 kg säckar, som blandades med vatten enligt tillverkarens rekommendationer ca 3.2 liter. Då teglet var mycket torrt, var det nödvändigt att fukta det genom att bestänka med vatten. Första skiftet murades i vanligt fulltegel. När första skiftet var lagt placerades de två första horisontella armeringsjärnen, se *Figur 4.6*. Dessa hölls på plats med hjälp av att lägga lite murbruk i ändarna och på mitten. Andra skiftet murades med håltegel för vertikalarmering. Efter andra skiftet lades de två sista armeringsjärnen på plats.



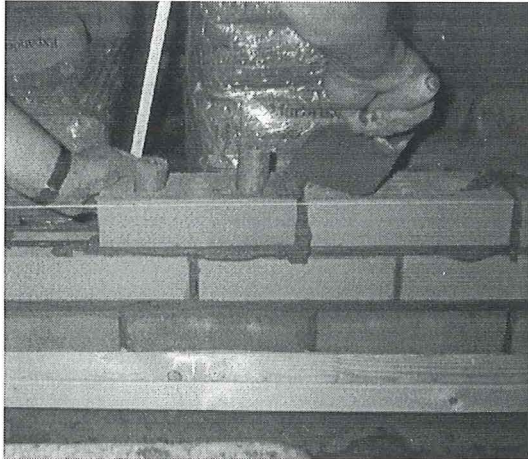
*Figur 4.6* Armeringsjärn lagda ovanför första skiftet.

Då tredje skiftet påbörjades blev det nödvändigt att använda pluggar i kanalerna för att undvika att murbruk trillar ner i hålen. Som pluggar användes vanlig rörisolering av skumplast, se *Figur 4.7*, sidan 34. Diametern på isoleringen var 40 mm, vilket var en aning för litet. Detta medförde att det trots allt trillade ner lite murbruk i botten av kanalen. Den optimala diametern på rörisoleringen vore 45 mm. Då balken var färdig, dvs då 7 skift var murade, hade det gått ca 2 timmar 30 minuter.



## Skjuvkapacitet i vertikalarmerade murverksbalkar

### Försök utförda med vertikalarmerat murverk



**Figur 4.7** Användning av rörisolering för att förhindra bruk från att falla ner i kanalerna.

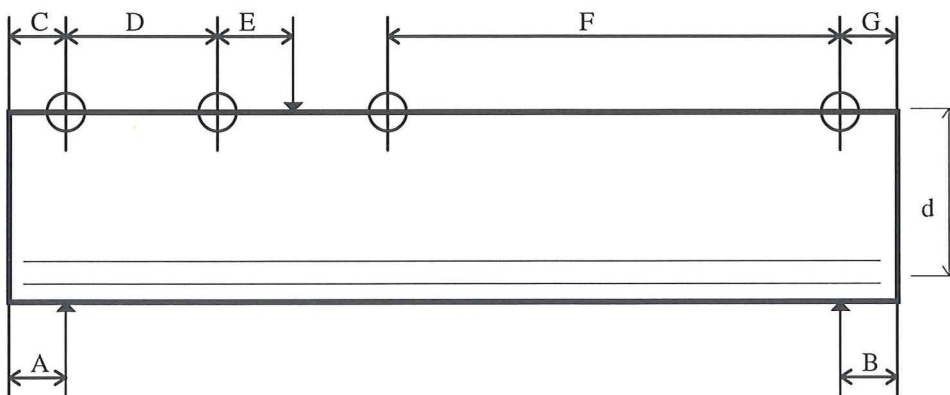
Innan det var dags att vertikalarmera balken så förvattnades kanalerna. Expanderbruket blandades med vatten enligt tillverkarens rekommendationer, 4.2 liter vatten per säck på 25 kg. Armeringen placerades i kanalerna och bruket hälldes i. För att det inte skulle finnas några luftbubblor, rörde bruket i kanalerna med ett armeringsjärn. Det krävdes ett par påfyllningar av bruket i kanalerna, då tegelstenarna sög åt sig vattnet och därmed minskade brukets volym. Det var därför viktigt att kanalerna förvattnades ordentligt. Då balkarna var klara täcktes de över med plast för att de inte skulle torka för snabbt. Plasten togs bort efter några dagar. Torktiden var minst 28 dagar.

Alla fem balkarna murades på samma sätt. De avvikelser som uppträdde var att den första och den femte balken blev lite kortare, då ingen anpassning till träramen skedde. Detta tas hänsyn till i beräkningarna. Den femte balken murades ungefär en och en halv månad efter de fyra första.

Samtidigt med balkarna murades provkroppar, dels för att prova murverkshållfastheten och för att testa hållfastheten hos expander- och murbruk. 6 stycken provkroppar två stenar långa och 5 skift höga murades av håltegel för vertikalarmering. De armerades inte utan kanalerna gjöts endast i med expanderbruk. 4 st murbrukscylinrar och 2 st expanderbrukscylinrar gjöts i gjutformar.

#### 4.6 Utformning av försök

Då balkarna hade torkat 28 dagar så provades de i bygglaboratoriet på Väg och Vatten. Balkarna placerades på en uppställningsvagn och stagades i sidled så att ingen vippning skulle kunna ske, se *Figur 4.9* sidan 32. Då balken var placerad mättes alla relevanta avstånd, se *Figur 4.8* och *Tabell 4.4*.



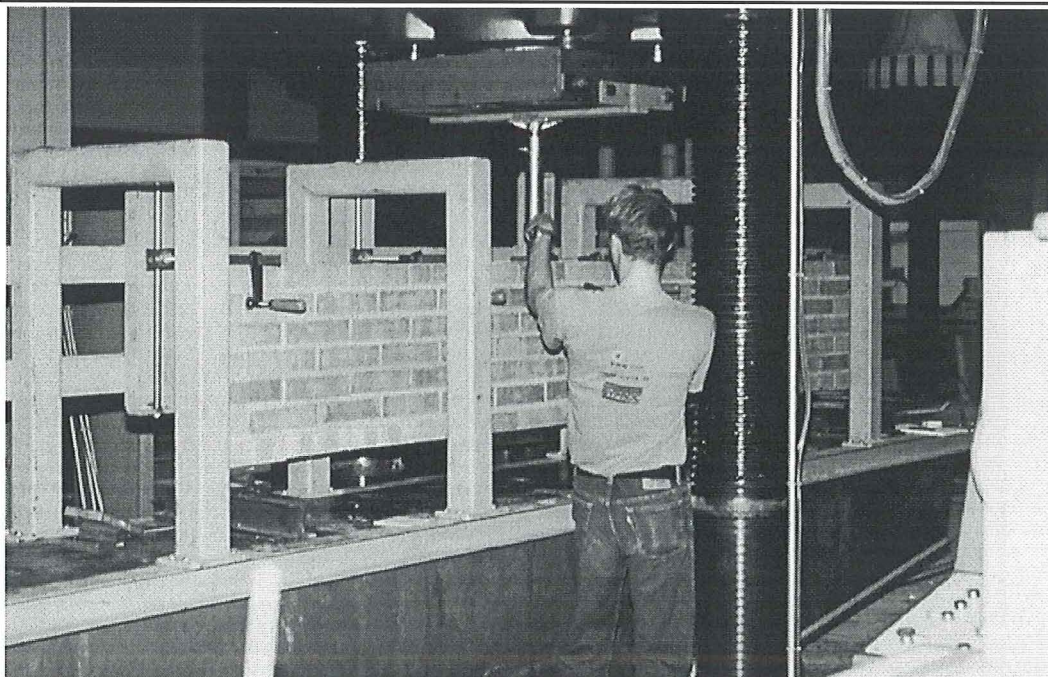
**Figur 4.8** Måttangivelser för balk. Ringarna representerar infästningspunkter för stagning.





## Skjuvkapacitet i vertikalarmerade murverksbalkar

Försök utförda med vertikalarmerat murverk



Figur 4.9 Försöksuppställning för murverksbalkar. Den grå ramen är för stagning.

Balk nr	Längd	Höjd	A	B	C	D	E	F	G	d
1	3560	512	115	115	148	826	452	1542	120	404
2	3630	516	138	143	146	820	469	1510	219	408
3	3630	525	123	114	128	829	495	1616	115	417
4	3630	523	123	129	137	837	479	1531	197	415
5	3570	515	120	125	125	770	525	1500	145	445

Tabell 4.4 Måttangivelser i mm för de olika balkarna. För beteckningar se Figur 4.8.

Ett specialfall är balk nummer 5, på vilken det monterades töjningsgivare för att kunna följa spänningsförloppet i balken. Resultatet av detta redovisas dock inte i denna rapport.

Då balkarna var korrekt placerade påfördes kraften med en hastighet av 0.1 mm/s (deformationsstyrning). Under försöket noterades händelseförloppet varav nämnvärt är:

- Första sprickan uppträder ovanför understa skiftet, längs med den horisontella armeringen.
- Då den horisontella armeringen har blivit verksam, ökar sprickbildningen och det understa skiftet lossnar.
- Skjuvsprickorna vandrar i fogarna tills de stöter på den vertikala armeringen, då sprickorna vandrar i armeringens riktning.

Efter försöket så var fortfarande 60% av balkarna intakta (visuellt). För att få ut så mycket information som möjligt ur balkarna, spändes den oförstörda biten av balk 1-4 fast som en konsol. Dessa försök visade sig dock vara mycket osäkra och redovisas ej denna rapport.

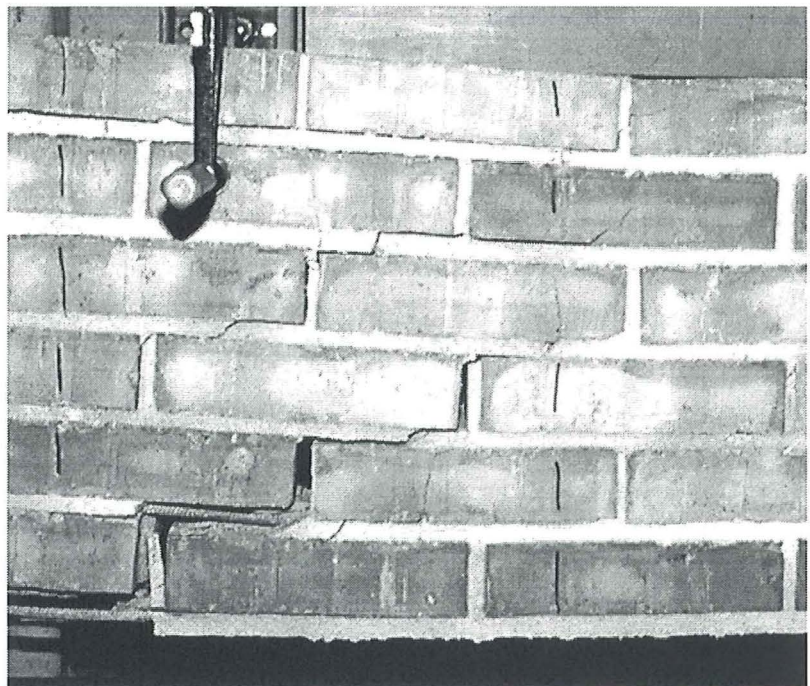


#### 4.7 Försöksresultat på murverksbalkar

##### 4.7.1 Analys av diagram

Försöken ger dataserier med deformation och last. Från dessa kan man skapa diagram för att få en bild av händelseförloppet. Utmärkande för alla balkar utom balk 5 är:

- Lutningen på kurvan ökar vid 6-7 kN. Här kan man misstänka att den horisontella armeringen blir verksam. Det är vid detta värde som murverkets draghållfasthet passeras.
- Det finns en ”knyck” på kurvan vid 20-25 kN. Då man på kurva 1 kan se att murverkets skjuvkapacitet är nådd vid denna punkt är det rimligt att anta att den vertikala armeringen blir verksam här. Uppsprickningen av murverket bör vara fullt synlig.
- Då den vertikala armeringen har blivit verksam, så uppför sig kurvan mer oregelbundet. Skjuvsprickor slår upp men stoppas av den vertikala armeringen, se *Figur 4.10*.



*Figur 4.10* Skjuvsprickor som delvis stoppas av den vertikala armeringen.





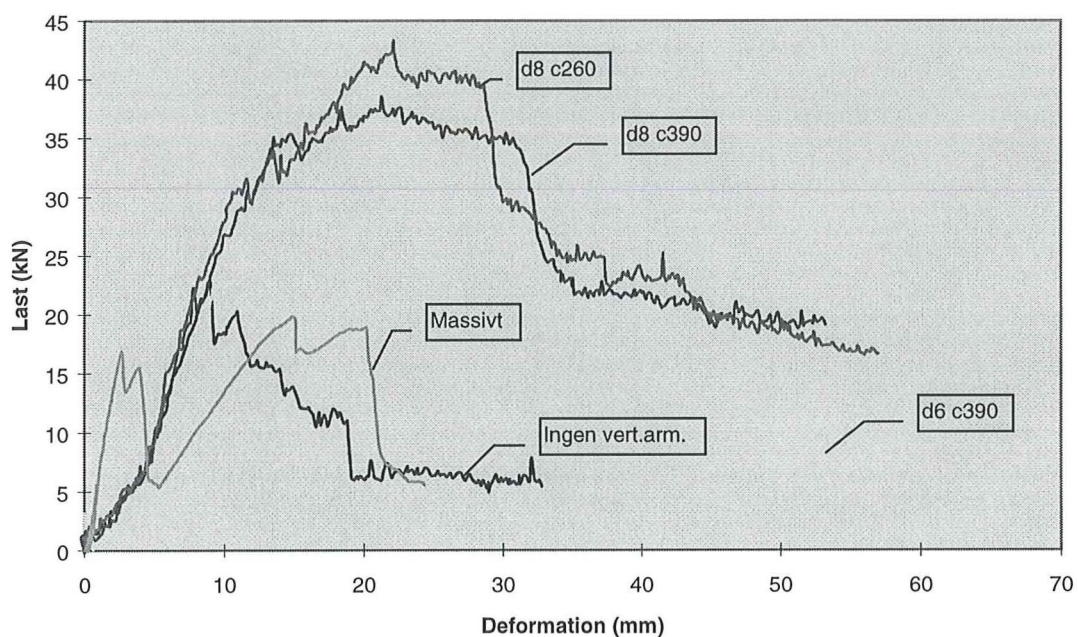
## Skjuvkapacitet i vertikalarmerade murverksbalkar

### Försök utförda med vertikalarmerat murverk

Jämför man balken utan vertikala kanaler (Balk 5) med de övriga så finner man att balk 5 bara har ca 3 mm deformation när den når sin maximala bärförmåga medan balk 1 har ca 10 mm och de övriga ca 20 mm. Man har med vertikalarmeringen uppnått en segare konstruktion, men deformationerna kan bli stora.

Studerar man lutningen på kurvorna är det uppenbart att alla mätserierna med kanaltegel följer samma linje. Se *Figur 4.11* sidan 34. Den som avviker först är balk 1 som saknar vertikal armering. De övriga följs åt upp till samma punkt vid ca 35 kN där förloppet blir mer oregelbundet. Man ser tydligt i diagrammet att det inte är så stor skillnad mellan balk 2-4 som alla har vertikal armering.

Alla diagrammen finns att studera i *Bilaga A*.



*Figur 4.11 Last-deformationsdiagram för balk 1 till 5. Notera skillnaden i deformation..*



#### 4.7.2 Jämförelse mellan teori och försök

Det finns en viss överensstämmelse mellan teorin och försöken, men då försöken var få så går det inte att säga att teorierna stämmer. Se *Tabell 4.5*.

Balk	Teoretisk brottlast (kN)	Brottlast (kN)
1	21.1	23
2	30.5	37
3	31.7	38
4	31.8	43
5	9.8	20

*Tabell 4.5 Jämförelse mellan teori och försök.*

Alla balkarna tog mer last än vad som var teoretiskt beräknat. Vad som är särskilt anmärkningsvärt är att balk 5 tog dubbelt så mycket last som det teoretiska värdet.





## 5. Slutsatser och diskussion

Försöken visar att tegel som material är tämligen svårt att beräkna exakt. Då murverket i sig är en samverkanskonstruktion av de olika ingående beståndsdelarna som i sin tur är beroende av tillverkningsprocessen, blir felkällorna många. Det man behöver finna är en metod att på ett tillförlitligt sätt beräkna murverkets hållfasthet. Här visar det sig att de konstruktionsregler som finns för betong kan vara tillämpliga i vissa fall, men med modifikationer.

Försöksresultaten antyder att ett flertal olika brottförlopp kan medverka till att kollaps sker. För ett flertal av balkarna kan förankringsbrott misstänkas. Då nästan alla balkarna är överarmerade blir det troligtvis en kombination av kross- och skjuvbrott

Vad som är avgörande för bärförmågan är centrumavståndet mellan den vertikala armeringen. Ingen större ökning av bärförmågan fås genom att öka den vertikala armeringens area, med bibehållet centrumavstånd. Man bör därför applicera vertikal armering i alla kanalerna.

Den stora konstruktionsmässiga fördelen ligger i att murverket får en seghet, det blir inget plötsligt brott. Man kan på så sätt komma fram till att det vertikalarmerade murverket inte behöver lika stora säkerhetsmarginaler som utan vertikalarmering.

Metoden för att mura upp balkar eller liknande med kanaltegel för vertikalarmering måste förbättras för att få en produktionsmetod som kan passa in i dagens snäva byggtider. Försöksbalkarna kan enkelt appliceras i en bärande vägg, men för att slippa få tydliga skillnader i fasaden bör balkarna muras på plats. Det lär vara onödigt med ett undre skift av fulltegel, då eventuella hål kan täckas senare.

Murarens spontana intryck av arbetsmetoderna och systemet var mestadels positiva. Problemet ligger i att på ett smidigt sätt undvika att det kommer ner murbruk i kanalerna. Det visade sig vid ett snabbt överslag att tidsåtgången för att mura upp de vertikalarmerade balkarna är 2-3 gånger så stor som för att mura upp motsvarande balk av normalt tegel.

När man ser till alternativen så finns det främst två, betongbalk och den förspänd murverksbalk. Dessa har sina fördelar men vertikalarmerat murverk har ett försprång i sin enkelhet. Det är i princip bara att lägga upp en enkel plankställning vid öppningen man skall överbygga och sedan mura i stort sett som vanligt.





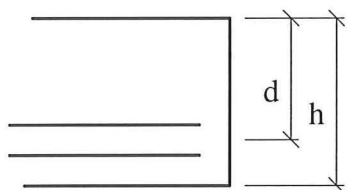
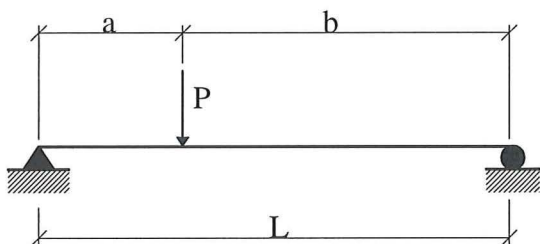


### Bilaga A

#### Detaljberäkningar på försöksbalkar

Inledande beräkningar

Beräkningsuppställning:



Val av  $a$  har skett för att få så hög skjuvlast som möjligt utan att få effekter av att lastpunkten ligger för nära stöd.

**Bestämning av skjuvhållfasthet vinkelrätt liggfogarna enligt MUR90**

$$f_{vk,tra} = 0.8 \cdot \frac{h_s}{h} \text{ MPa}$$

$$f_{vk,tra} = 0.8 \cdot \frac{62}{365} = 0.14 \text{ MPa}$$

Där

$h_s$  = Stenhöjden

$h$  = Sammanlagd stenhöjd över dragarmering

**Murverkets egentyngd:**

$$q = \rho_{mur} \cdot g \cdot t \cdot h = 1500 \cdot 9.81 \cdot 0.120 \cdot 0.512 = 905 \text{ N / m}$$

**Momentkapacitet enligt MUR90:**



$$\omega_{bal} = 0.8 \cdot \frac{\varepsilon_{cm}}{\varepsilon_{cm} + \varepsilon_{sy}}$$

där  $\varepsilon_{cm} = 3.5 \text{ ‰}$

$$\varepsilon_{sy} = \frac{f_{sy}}{E_s} = \frac{590}{200 \cdot 10^3} = 2.95 \text{ ‰}$$

$$\omega_{bal} = 0.8 \cdot \frac{3.5}{3.5 + 2.95} = 0.434$$

$$\text{Balk 1-4} \quad \omega_{balk\ 1-4} = \frac{A_s \cdot f_s}{b \cdot d \cdot f_c} = \frac{201 \cdot 590}{120 \cdot 404 \cdot 3.7} = 0.661$$

Balkarna är överarmerade.

$$\text{Balk 5} \quad \omega_{balk\ 5} = \frac{A_s \cdot f_s}{b \cdot d \cdot f_c} = \frac{100 \cdot 590}{120 \cdot 445 \cdot 3.7} = 0.299$$

Balken är normalarmerad.

### Böjkapacitet balk 1-4:

$$(\rightarrow) \quad F_c = F_s$$

$$0.8 \cdot b \cdot x \cdot f_{ck} = \sigma_s \cdot A_s$$

$$(\curvearrowright) \quad M = \sigma_s \cdot A_s \cdot (d - 0.4 \cdot x)$$

$$\sigma_s = E \cdot \varepsilon_s$$

$$\frac{\varepsilon_s + \varepsilon_{mv}}{d} = \frac{\varepsilon_{mv}}{x}$$

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{mv}}{x} \cdot d - \varepsilon_{mv} = \varepsilon_{mv} \cdot \left( \frac{d}{x} - 1 \right)$$

$$\sigma_s = E \cdot \varepsilon_{mv} \cdot \left( \frac{d}{x} - 1 \right)$$



## Skjuvkapacitet i vertikalarmerade murverksbalkar

### Bilaga A - Detaljberäkningar på försöksbalkar

---

$$0.8 \cdot b \cdot x \cdot f_{ck} = E \cdot \varepsilon_{mv} \cdot \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot A_s$$

$$0.8 \cdot 120 \cdot x \cdot 3.7 = 200 \cdot 3.5 \cdot \left( \frac{404}{x} - 1 \right) \cdot 201$$

$$x = 248$$

$$\sigma_s = E \cdot \varepsilon_{mv} \cdot \left( \frac{d}{x} - 1 \right) = 200 \cdot 3.5 \cdot \left( \frac{404}{248} - 1 \right) = 439 \text{ MPa}$$

$$M = \sigma_s \cdot A_s \cdot (d - 0.4 \cdot x) = 439 \cdot 201 \cdot (404 - 0.4 \cdot 248) = 26.9 \text{ kNm}$$

### Böjkapacitet balk 5:

$$M_k \leq R_{mk.a} = f_{stk} \cdot A_s \cdot d \cdot \left( 1 - \frac{0.5 \cdot A_s}{t \cdot d} \cdot \frac{f_{stk}}{f_{ck}} \right)$$

$$R_{mk.a} = 590 \cdot 100 \cdot 0.445 \cdot \left( 1 - \frac{0.5 \cdot 100 \cdot 10^{-6}}{0.12 \cdot 0.445} \cdot \frac{590}{3.7} \right) = 22.3 \text{ kNm}$$

### Kontroll av tryckzon:

$$\begin{aligned} \text{Balk 1-4} \quad R_{mk.c} &\leq 0.3 \cdot t \cdot d^2 \cdot f_{ck} \\ R_{mk.c} &\leq 0.3 \cdot 0.12 \cdot 0.404^2 \cdot 3.70 \cdot 10^6 = 21.7 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Balk 5} \quad R_{mk.c} &\leq 0.3 \cdot t \cdot d^2 \cdot f_{ck} \\ R_{mk.c} &\leq 0.3 \cdot 0.12 \cdot 0.445^2 \cdot 3.70 \cdot 10^6 = 26.4 \text{ kNm} \end{aligned}$$

### Tvärkraftskapacitet hos murverket:

$$\begin{aligned} \text{Balk 1-4} \quad V_k \leq R_{vk} &= t \cdot d \cdot f_{vk} \\ R_{vk} &= 0.12 \cdot 0.404 \cdot 0.14 \cdot 10^6 = 6.8 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Balk 5} \quad V_k \leq R_{vk} &= t \cdot d \cdot f_{vk} \\ R_{vk} &= 0.12 \cdot 0.445 \cdot 0.14 \cdot 10^6 = 7.5 \text{ kN} \end{aligned}$$





### Beräkningar balk 1

**Förutsättningar:** Ingen vertikal armering. Igjutning av samtliga kanaler.

$$L=3330 \text{ mm}$$

$$h=512 \text{ mm}$$

$$a=1278 \text{ mm}$$

$$d=404 \text{ mm}$$

**Tvärkraftskapacitet hos betongen:**

$$V_c = A_c \cdot f_{ctk} \cdot \frac{d}{s}$$

$$V_c = 1963 \cdot 2,25 \cdot \frac{0,404}{0,130} = 7,7 \text{ kN}$$

**Beräkning av brottlast beroende av momentkapacitet:**

$$M = \frac{P \cdot a \cdot b}{L} + \frac{q \cdot L^2}{8}$$

$$P = \frac{L}{a \cdot b} \cdot \left( M - \frac{q \cdot L^2}{8} \right) = \frac{3,33}{1,278 \cdot (3,33 - 1,278)} \cdot \left( 26,9 \cdot 10^3 - \frac{905 \cdot 3,33^2}{8} \right) = 32,6 \text{ kN}$$

**Beräkning av brottlast beroende av tvärkraftskapacitet:**

$$P = \frac{L}{L-a} \left( V - \frac{q \cdot L}{2} \right) = \frac{3,33}{3,33 - 1,278} \left( (7,7 + 6,8) \cdot 10^3 - \frac{905 \cdot 3,33}{2} \right) = 21,1 \text{ kN}$$



### Beräkningar balk 2

**Förutsättningar:** Armering med byglar  $\text{Ø}6\text{s}390$  (var 3:e kanal)

$$L=3349 \text{ mm}$$

$$h=516 \text{ mm}$$

$$a=1297 \text{ mm}$$

$$d=404 \text{ mm}$$

**Tvärkraftskapacitet hos betongen:**

$$V_c = A_c \cdot f_{ctk} \cdot \frac{d}{s}$$

$$V_c = 3848 \cdot 2,25 \cdot \frac{0,404}{0,130} = 7,7 \text{ kN}$$

**Tvärkraftskapacitet hos armeringen:**

$$V_s = A_{sv} \cdot f_{sv} \cdot \frac{0,9 \cdot d}{s}$$

$$V_s = 28 \cdot 220 \cdot \frac{0,9 \cdot 0,404}{0,390} = 5,7 \text{ kN}$$

**Beräkning av brottlast beroende av momentkapacitet:**

$$M = \frac{P \cdot a \cdot b}{L} + \frac{q \cdot L^2}{8}$$

$$P = \frac{L}{a \cdot b} \cdot \left( M - \frac{q \cdot L^2}{8} \right) = \frac{3,349}{1,297 \cdot (3,349 - 1,297)} \cdot \left( 26,9 \cdot 10^3 - \frac{905 \cdot 3,349^2}{8} \right) = 32,3 \text{ kN}$$

**Beräkning av brottlast beroende av tvärkraftskapacitet:**

$$P = \frac{L}{L-a} \left( V - \frac{q \cdot L}{2} \right) = \frac{3,349}{3,349 - 1,297} \left( (7,7 + 6,8 + 5,7) \cdot 10^3 - \frac{905 \cdot 3,349}{2} \right) = 30,5 \text{ kN}$$



### Beräkningar balk 3

**Förutsättningar:** Armering med  $\varnothing 8s390$  (var 3:e kanal)

$$L=3393 \text{ mm}$$

$$h=525 \text{ mm}$$

$$a=1329 \text{ mm}$$

$$d=404 \text{ mm}$$

**Tvärkraftskapacitet hos betongen:**

$$V_c = A_c \cdot f_{ctk} \cdot \frac{d}{s}$$

$$V_c = 3848 \cdot 2,25 \cdot \frac{0,404}{0,130} = 7,7 \text{ kN}$$

**Tvärkraftskapacitet hos armeringen:**

$$V_s = A_{sv} \cdot f_{sv} \cdot \frac{0,9 \cdot d}{s}$$

$$V_s = 50 \cdot 220 \cdot \frac{0,9 \cdot 0,404}{0,390} = 10,3 \text{ kN}$$

**Beräkning av brottlast beroende av momentkapacitet:**

$$M = \frac{P \cdot a \cdot b}{L} + \frac{q \cdot L^2}{8}$$

$$P = \frac{L}{a \cdot b} \cdot \left( M - \frac{q \cdot L^2}{8} \right) = \frac{3,393}{1,329 \cdot (3,393 - 1,329)} \cdot \left( 26,9 \cdot 10^3 - \frac{905 \cdot 3,393^2}{8} \right) = 31,7 \text{ kN}$$

**Beräkning av brottlast beroende av tvärkraftskapacitet:**

$$P = \frac{L}{L - a} \left( V - \frac{q \cdot L}{2} \right) = \frac{3,393}{3,393 - 1,329} \left( (7,7 + 6,8 + 10,3) \cdot 10^3 - \frac{905 \cdot 3,393}{2} \right) = 38,2 \text{ kN}$$



### Beräkningar balk 4

**Förutsättningar:** Armering med  $\varnothing 8s260$  (varannan kanal)

$$L=3378 \text{ mm}$$

$$h=523 \text{ mm}$$

$$a=1330 \text{ mm}$$

$$d=404 \text{ mm}$$

**Tvärkraftskapacitet hos betongen:**

$$V_c = A_c \cdot f_{ctk} \cdot \frac{d}{s}$$

$$V_c = 3848 \cdot 2,25 \cdot \frac{0,404}{0,130} = 7,7 \text{ kN}$$

**Tvärkraftskapacitet hos armeringen:**

$$V_s = A_{sv} \cdot f_{sv} \cdot \frac{0,9 \cdot d}{s}$$

$$V_s = 50 \cdot 220 \cdot \frac{0,9 \cdot 0,404}{0,260} = 15,4 \text{ kN}$$

**Beräkning av brottlast beroende av momentkapacitet:**

$$M = \frac{P \cdot a \cdot b}{L} + \frac{q \cdot L^2}{8}$$

$$P = \frac{L}{a \cdot b} \cdot \left( M - \frac{q \cdot L^2}{8} \right) = \frac{3,378}{1,330 \cdot (3,378 - 1,330)} \cdot \left( 26,9 \cdot 10^3 - \frac{905 \cdot 3,378^2}{8} \right) = 31,8 \text{ kN}$$

**Beräkning av brottlast beroende av tvärkraftskapacitet:**

$$P = \frac{L}{L-a} \left( V - \frac{q \cdot L}{2} \right) = \frac{3,378}{3,378 - 1,330} \left( (7,7 + 6,8 + 15,4) \cdot 10^3 - \frac{905 \cdot 3,378}{2} \right) = 46,8 \text{ kN}$$





### Beräkningar balk 5

**Förutsättningar:** Ingen vertikal armering. Normalt fulltegel. Horisontell armering med 2Ø8 Ks60 i understa fogen.

$$L=3325 \text{ mm}$$

$$h=515 \text{ mm}$$

$$a=1300 \text{ mm}$$

$$d=445 \text{ mm}$$

### Beräkning av brottlast beroende av momentkapacitet:

$$M = \frac{P \cdot a \cdot b}{L} + \frac{q \cdot L^2}{8}$$

$$P = \frac{L}{a \cdot b} \cdot \left( M - \frac{q \cdot L^2}{8} \right) = \frac{3.325}{1.300 \cdot (3.325 - 1.300)} \cdot \left( 22.3 \cdot 10^3 - \frac{905 \cdot 3.325^2}{8} \right) = 26.6 \text{ kN}$$

### Beräkning av brottlast beroende av tvärkraftskapacitet:

$$P = \frac{L}{L-a} \left( V - \frac{q \cdot L}{2} \right) = \frac{3.325}{3.325 - 1.300} \left( 7.5 \cdot 10^3 - \frac{905 \cdot 3.325}{2} \right) = 9.8 \text{ kN}$$

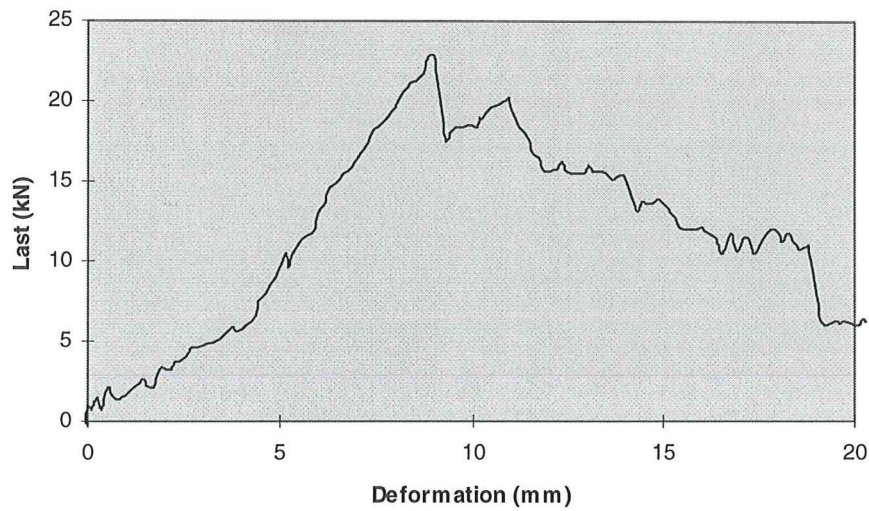


## Bilaga B

### Diagram från försök med murverksbalkar

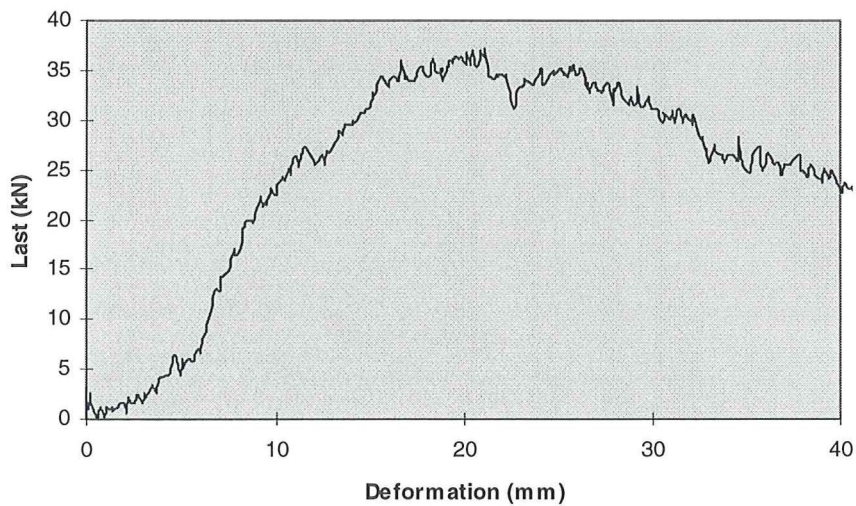
Balk 1

Murverksbalk 1



Balk 2

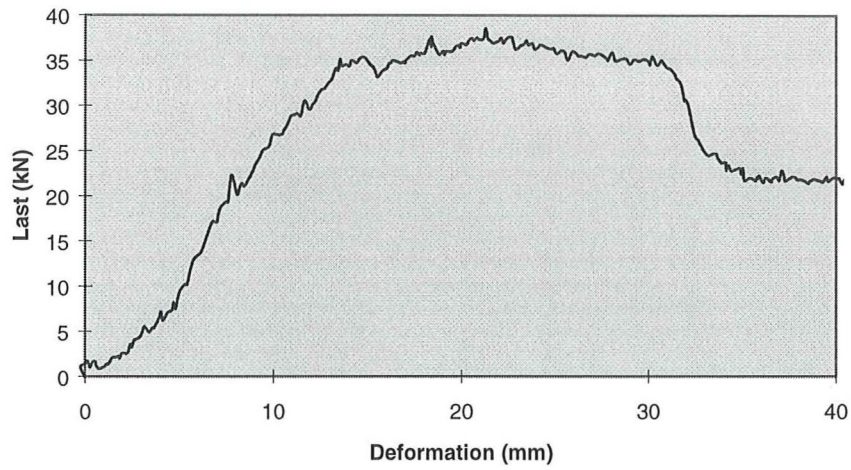
Murverksbalk 2





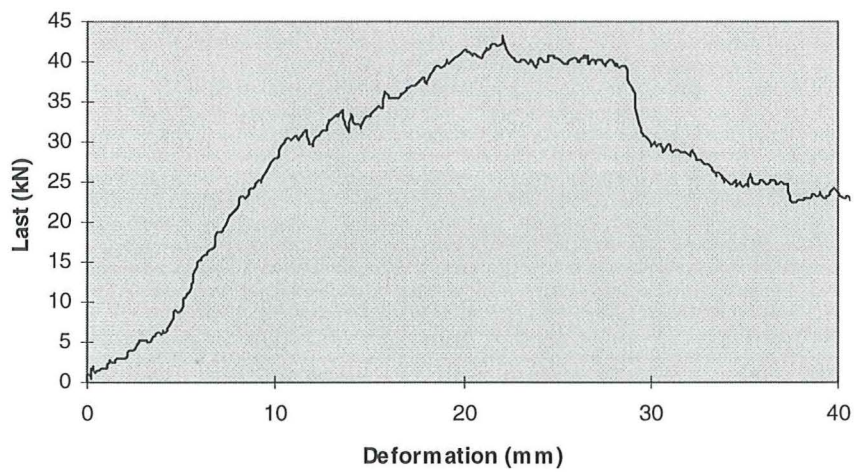
Balk 3

Murverksbalk 3



Balk 4

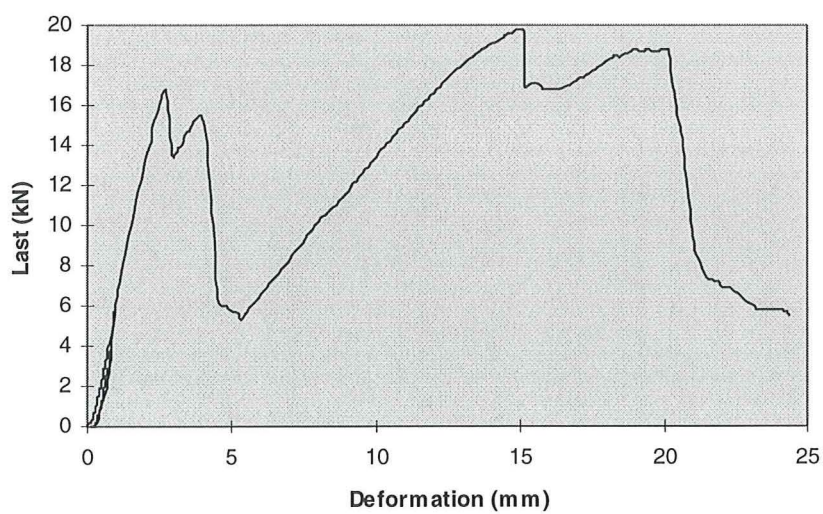
Murverksbalk 4



Balk 5



Murverksbalk 5





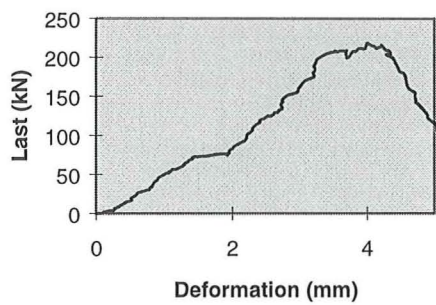




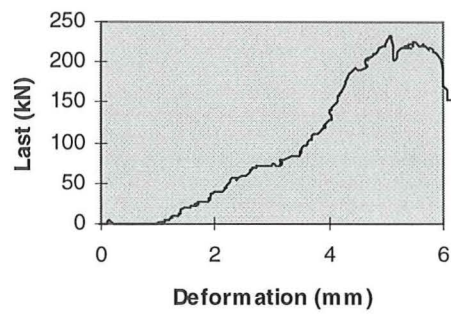
## Bilaga C

### Diagram från försök med murverksprovkroppar

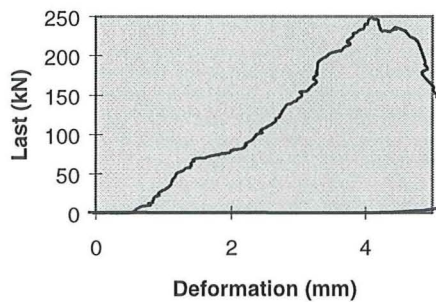
Provkropp 1



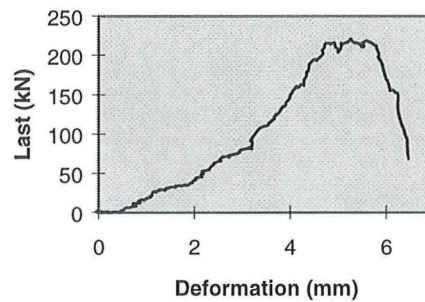
Provkropp 2



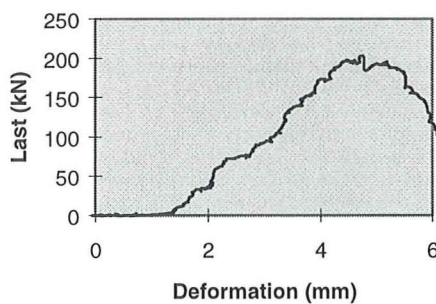
Provkropp 3



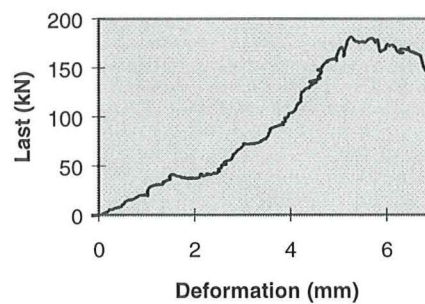
Provkropp 4



Provkropp 5



Provkropp 6







## Bilaga D

### Specifikation på expanderbruk

# STRÅ Expander Grov

#### Användningsområde

STRÅ Expander Grov används till grövre undergjutningar t ex stål- eller betongpelare, maskininstallationer, betongelement samt till förankringar m m, där höga krav ställs på vidhållningsförmågan samt de expanderande egenskaperna. Om gjutkroppen är så grov att temperaturskillnader mellan yttemperatur och innertemperatur är  $>30^{\circ}\text{C}$  bör produkten beställas med std-cement eller anläggningscement.

STRÅ Expander Grov uppfyller kraven för frostbeständiga undergjutningsbruk enl. Bronorm 86 pkt 43.32 och finns i förteckning, som är redovisad i avsnitt 81.2 över undergjutningsbruk lämpade för användning i salt miljö.

#### Produktfakta

STRÅ Expander Grov är en enkomponents viktsproportionerad torrprodukt med volymökning som kompenserar brukssättning. STRÅ Expander Grov har en snabb hållfasthetstillväxt och en hög slutlig tryckhållfasthet.

STRÅ Expander Grov är pumpbar och därför lämplig att använda där det kan vara svårt att nå fram vid ett manuellt förfarande.

#### Materialåtgång

Av en säck (25 kg) STRÅ Expander Grov erhålls ca 13 liter massa.

#### Leveranssätt

25 kg papperssäck. (1,2 ton storsäck kan beställas.)

#### Lagring

Lagras torrt. Lagringstid högst 6 mån.

#### Arbetsgång

##### Förarbete

1. Rengör underlaget väl. Dammsug!
2. Förvattna alltid gjutstället. Tillse att fritt vatten ej förekommer.

#### Blandning

STRÅ Expander Grov blandas med vatten, 4,25 liter per 25 kg-säck. Blanda med maskinvisp eller snabbblandare, ca 3 min.

Hållfasthetstillväxten är temperaturberoende. Den kan vid låga temperaturer kompenseras genom användning av varmvatten vid blandningen.

#### Utförande

Fyll STRÅ Expander Grov om möjligt från ena sidan i formen. Se till att inte luft stannar kvar efter fyllningen. Vanligen är betongens konsistens sådan att komprimering ej är nödvändig.

Nygjuten STRÅ Expander Grov skall efterhårdas genom att betongen fuktas under minst 2 dygn efter gjutningen. Se till att ytan ej torkar ut mellan vattningarna.

#### Teknisk information

Cementtyp:	SH
Fraktion:	0-6 mm
Expansion:	0,5 - 2 %
Konsistens:	Rinnande
Alkalikiselreaktivitet:	0,35 promille
Salt/Frostbeständighet:	$<0,50 \text{ kg/m}^2$
Rek. gjuttjocklek:	50-200 mm
Tryckhållfasthet	
1 dygn:	32,7 MPa
7 dygn:	44,0 MPa
28 dygn:	53,1 MPa
Rek gjuttemp.	$>5^{\circ}\text{C}$
Pumpbar:	Ja
Tillsatsmedel:	Expanderande Stabiliserande
vcl vid rek. vattentillsättning:	0,43
Krympning efter 35 dygn:	1,5 promille
Rek. vattenmängd:	4,25 l/25 kg
Öppentid vid $+20^{\circ}\text{C}$ :	30 min.



Stråbruken AB, Division Byggprodukter, Produktområde Specialbetong.  
Box 1195, 581 11 Linköping. Telefon 013-11 48 00. Telefax 013-13 54 87.





### STRÅ Expander Grov PROVNINGSRESULTAT



April 1993  
Blad 2.5.2

Egenskap	Resultat	Krav	Metod	
Cementtyp	SH			
D-max	6 mm		SS 13 21 23	
Expansion	0,5-2,0 %	0-4%	SS 13 75 31	
Konsistens	5 min	>350 mm	Btg-handboken	
	15 min	>5min - 50 mm	Btg-handboken	
	30 min		Btg-handboken	
	45 min		Btg-handboken	
Vattenseparation 24 tim	0	0	SS 13 75 31	
AKR-resistens	0,35 promille	<0,70 promille	NT Build 295	
Salt/Frostbeständighet	0,02 kg/m <sup>2</sup>	<0,50 kg/m <sup>2</sup>	SS 13 72 44 IA	
Tryckhållf. 20°C	1 dygn	32,7 MPa	20 MPa	SS 13 75 33 B
Tryckhållf. 20°C	7 dygn	44,0 MPa	40 MPa	SS 13 75 33 B
Tryckhållf. 20°C	28 dygn	53,1 MPa	50 MPa	SS 13 75 33 B
Öppentid	ca 30 min			
Tillstyvnadstid 3,5 MPa	8 tim		SS 13 71 26	
Pumpbarhet	God		STRÅ MP93-35	
Rek. skiktjocklek	50-200 mm			
Rek. gjuttemperatur	>5°C			
Rek. vattenmängd	170 ml/kg			
vct vid rek. vattenmängd	0,43			
Krympning 35 dygn	1,5 promille		SS 13 72 15	
Kloridhalt	<0,01% Cl <sup>-</sup>	<0,01% Cl <sup>-</sup>	SS 13 72 27	



## Referenser

- /1/ Amrhein, James E. 1992  
*Reinforced masonry engineering handbook*  
Masonry Institute of America, USA.
- /2/ Boverket 1994  
*BBK 94 Band 1 Konstruktion*  
Svensk Byggtjänst AB, Sverige.
- /3/ Hendry, A. W. (ed.) 1991  
*Reinforced and prestressed masonry*  
Longman Scientific & Technical, England.
- /4/ Humble, Olle (red.) 1990  
*Äldre murverkshus - Reparation och ombyggnad*  
Statens råd för byggforskning, Sverige.
- /5/ Park, R. And Paulay, T. 1975  
*Reinforced concrete structures*  
John Wiley & Sons, New Zealand.
- /6/ Sahlin, Sven 1971  
*Structural Masonry*  
Prentice-Hall International, USA.
- /7/ Schneider, Robert R. 1994  
*Reinforced masonry design*  
Prentice-Hall international series in civil engineering and engineering mechanics, USA.
- /8/ Sveriges Tegelindustriförening 1990  
*Murverkshandboken MUR90*  
Svensk Byggtjänst AB, Sverige.
-