

REPARATION AV MURADE FASADER MED KORROSIONSSKADOR

TOMAS GUSTAVSSON | JOHAN JÖNSSON | MIKLÓS MOLNÁR



svenskbyggjtjänst

Förlag och distribution
AB Svensk Byggtjänst
113 87 Stockholm
Tel 08-457 10 00
www.byggtjanst.se

© 2017 AB Svensk Byggtjänst och författarna
Omslag och layout: Anki Björklund
Tryck: Norra Skåne Offset, Klippan 2017
ISBN 978-91-7332-870-7



Innehåll

Förord	5
1. Inledning	7
1.1 Bakgrund	7
1.2 Korrosionsskador i murade fasader	10
1.3 Skademekanismer	14
1.4 Korrosionshastighet.....	15
1.5 Korrosionsskadornas omfattning	18
1.6 Klassificering av skador	19
1.6.1 Fasadpartier utan muröppningar	20
1.6.2 Armering över, under och mellan öppningar	22
1.6.3 Bristande horisontalförankring	23
1.7 Praxis vid reparation av 1/2-stens tegelfasader	24
1.7.1 Fasadpartier utan öppningar	25
1.7.2 Över öppningar.....	26
1.7.3 Murpartier mellan öppningar	27
1.7.4 Kramling	27
1.8 Praxis vid reparation av fullmurar	27
2. Projektering	29
2.1 Behöver man ersätta befintlig armering med ny?.....	31
2.2 Tilläggsramling	33
2.3 Kontroll av tilläggsramling före renovering av korrosions- skador.....	35
2.4 När är det dags att sätta in åtgärder?	36
2.5 Rensning av långa etapper i vägg respektive borttagning av undre skift i öppning	38
2.6 Armeringens roll i vindbelastade murar	40
2.7 Uppskattning av framtida korrosionsskador	43
2.7.1 Bakgrund	43
2.7.2 Skalmurar	44
2.7.3 Fullmurar.....	44
2.8 Förfrågningsunderlag.....	46
2.9 Gestaltningsmässiga krav.....	48

3.	Beställarens krav – teknisk funktion och gestaltningsaspekter	49
3.1	Tekniska krav	49
3.2	Gestaltningmässiga krav – vägar till det goda hantverket	49
3.2.1	Reparation på grund av korrosionsskador i armering	49
3.2.2	Tilläggskramling.....	60
4.	Reparationsmetoder	61
4.1	Korrosionsskadad armering i fasadpartier utan mur- öppningar	61
4.2	Korrosionsskadad armering i fasadpartier över öppningar	68
4.3	Korrosionsskadad armering i murpelare mellan mur- öppningar	72
4.4	Förstärkning av förankringen av fasadmuren genom tilläggs- kramling	76
4.5	Bristfälliga ingrepp vid reparation av skalmurar	79
5.	Skadefall	81
5.1	Nedrasad skalmur, flerbostadshus i Tenhult.....	81
5.2	Skadad skalmur, Högevallsbadet, Lund	82
	Litteratur	87

Förord

Handbokens andra utgåva utgör en sammanfattning av resultaten från tre forsknings- och utvecklingsprojekt som har bedrivits vid Lunds tekniska högskola mellan 2004 och 2016: Restaurering av murade fasader med korrosionsskador, Modell för kravdriven renovering av flerbostadshus byggda 1950–1975 samt Uppgradering av den befintliga bebyggelsens energiprestanda – med inriktning på klimatskalet i rekordårens flerbostadshus.

Den övergripande målsättningen avseende fasadproblematiken i projekten har varit att dokumentera, utveckla och sprida nödvändig kunskap för reparation av fasader med tegelmurverk som skadats av korrosion på armering och kramlor.

Handboken riktar sig till fastighetsägare, projektörer, entreprenörer och materialleverantörer som arbetar med frågor om korrosionsskador i murade fasader byggda i huvudsak under perioden 1950–1975. Under den aktuella perioden var det vanligt att man försåg murade fasader med icke korrosionsskyddad armering och förankring, vilket har lett till att det idag finns ett stort antal fasader med den här typen av skador.

Reparationsåtgärderna kan med fördel kombineras med andra åtgärder som syftar till att uppgradera byggnadens energiprestanda, såsom byte till fönster med lägre transmissionsförluster. Beroende på skadornas omfattning kan mer eller mindre genomgripande reparationsåtgärder behöva sättas in. I ytterlighetsfall är lösningen rivning och återuppmurning av den skadade fasaden. Stora ekonomiska och inte sällan även kulturhistoriska värden står därvid på spel.

Handboken ger inblick i orsaker och bakomliggande fenomen till armeringskorrosion i murade fasader. Fastighetsägare, projektörer och entreprenörer hittar praktisk hjälp för att på ett tekniskt och gestaltningssmässigt hållbart sätt angripa problemet. Den avslutas med ett antal praktikfall och förslag till ytterligare informationskällor.

Det finns idag behov av en metodisk genomgång av de murade fasaderna från den aktuella perioden, framförallt med avseende på bristande horisontalförankring. Det skulle göra det möjligt

att sätta in lämpliga åtgärder i god tid och därmed begränsa risken för framtida skadeverkningar, inte minst med tanke på att människor kan komma till skada vid eventuella ras. Ett problem i sammanhanget är att det saknas systematisk informationsinsamling av uppgifter om skadefall. Inrättande av ett nationellt bygghets- och haveriregister i Sverige efter BYG-ERFA-modellen i Danmark skulle också kunna bidra till att minska olycksriskerna samt rädda stora ekonomiska och kulturhistoriska värden.

Sedan utgåva 1 av denna handbok kom ut har ett relativt stort antal renoveringsprojekt avseende murade fasader från efterkrigstiden utförts. Praktiska erfarenheter från dessa och, inte minst, en omfattande utbildningsverksamhet som bedrivits i ämnesområdet av bland annat Sveriges Murnings- och Putsentreprenörförening (SPEF) har sannolikt haft stor betydelse för kompetensen att göra tekniskt och ur gestaltningssynpunkt bra lagningar. Det är vår förhoppning att utgåva 2 kommer att bidra till att ytterligare förbättra kunskapsstandarden om underhåll av murade fasader.

Projektet som ligger till grund för handboken *Reparation av murade fasader med korrosionsskador* har finansierats av Formas/BIC, Energimyndigheten, SBUF/FoU Syd, Byggrådet i Malmö-Lund, Föreningen tungt, murat och putsat byggande, AF Bostäder, Akademiska Hus, Lundafastigheter, Lunds Kommuns Fastighets AB, Malmö Stadsfastigheter, MKB Fastighets AB, Örebrobostäder AB, Joma AB, Tegelmäster AB, Wienerberger AB, Weber St. Gobain Byggprodukter AB, Karling Fasad AB, Paras Bygg AB, Thage. Författarna tackar finansiärerna för deras stöd. Författarna vill tacka medlemmarna i projektens referens- och arbetsgrupper för deras aktiva medverkan och många värdefulla råd.

Speciellt tack riktas till personer och organisationer som har varit behjälpliga med utgåva 2 – Kristina Bondesson, AF Bostäder; Torbjörn Fischbeck, Akademiska Hus; Corfitz Nelsson, FoU Syd; Gunnar Fremo och Henrik Johansson, Joma; Mikael Karling, Karling Fasad; Oskar Larsson Ivanov, Oskar Ranefjärd och Per-Olof Rosenkvist, Lunds tekniska högskola; Roland Larsson Edberg och Frej Josefsson, Morneon Fasad; Åsa Henriksson och Tomasz Lendzion, Paras Bygg; Alf Nordkvist, Thage; Ulrika Nelfelt, tidigare Weber St. Gobain; Lars-Göran Andersson, Örebrobostäder.

Lund, oktober 2017

Tomas Gustavsson Johan Jönsson Miklós Molnár

Inledning

1.1 Bakgrund

Tegelbyggnader från perioden före andra världskriget uppfördes normalt med massiva väggar, så kallade fullmurar, som murades med kalkbruk. Ytterväggar utfördes med 1 ½-stens djup, det vill säga cirka 380 mm eller mer, puts oräknad. Bärande innerväggar, och lägenhetsskiljande väggar, gjordes i regel med 1-stens djup, det vill säga cirka 250 mm. Fullmurstekniken innebar att såväl vertikal som horisontal bärförmåga var rejält stor och armering användes normalt inte i denna traditionella byggnadsteknik. I fullmurar som utfördes från 1940-talet och senare kan dock armering förekomma över muröppningar som är två meter eller längre. Vindlaster togs upp av väggarna och fördes vidare till bjälklagen, som genom skivverkan förde dessa till tvärgående massivväggar, vilka stabiliserade byggnaderna horisontellt. De homogena tegelväggarna utgjorde såväl bärande konstruktion som klimatskal.

Under 1930-talet introducerades det då nya konstruktionsmaterialet lättbetong, vilket efter hand kom till flitig användning som bärande bakmur i kombination med ½-stens (120 mm) skalmurar av tegel i fasaderna. ½-stens skalmurar förekommer från samma decennium också utanför bakmurar av 1-stens eller ½-stens tegel. Så småningom blev det vanligt med tegelskalmurar i kombination med betongstommar. Under framförallt 1960-talet ökade användningen av skalmurar utanpå utfackningsväggar av träreglar, i byggnader med primärt bärande stomsystem av betong, Tägil med flera (2011).

Övergången till ½-stens skalmurar skedde parallellt med att man mer allmänt gick över till att använda murbruk med cementinslag, kalkcementbruk, och att man började förse tegelmurverket med armering i liggfogarna. Armeringen utfördes normalt av icke rostfria armeringskvaliteter och utan speciellt konstruktivt rostskydd. Man antog, felaktigt, att det kalk- eller cementbaserade bindemedlet i murbruket fungerade som kemiskt korrosions-

skydd under konstruktionens hela livslängd.

Under årtiondenas lopp ökade efterhand mängden normalt inlagd armering. En bit in på 1970-talet, sedan insikten om behovet av bättre rostskydd efterhand ökat, gick man alltmer över till rostfri armering i utvändiga skalmurar. Användningen av icke rostfri armering i utvändiga skalmurar har emellertid aldrig i klartext stoppats i aktuella byggnormer, som Svensk byggnorm, Boverkets nybyggnadsregler, Boverkets konstruktionsregler respektive Eurokod 6. I detta avseende skiljer sig bestämmelserna i Sverige från motsvarande i flera av våra grannländer. Bland annat av denna anledning förekommer det att skalmurar i vårt land försetts med bristfälligt rostskyddad armering även en bit in på 1990-talet. På senare tid har dock armering av skalmurar i Sverige nästan uteslutande skett med rostfri armering.

Under perioden mellan 1940 och 1975 byggdes ett stort bestånd av byggnader med $\frac{1}{2}$ -stens tegelfasader. Enligt en översiktlig uppskattning uppgår den aktuella fasadarean till cirka 80 miljoner kvadratmeter, se avsnitt 1.5. Det faktum att man efterhand normalt armerade allt tätare i fasaderna och att man inte försåg armeringen med konstruktivt rostskydd innebär idag att fasader från den inledande delen av perioden paradoxalt nog ofta är i bättre skick än fasader från den senare delen.

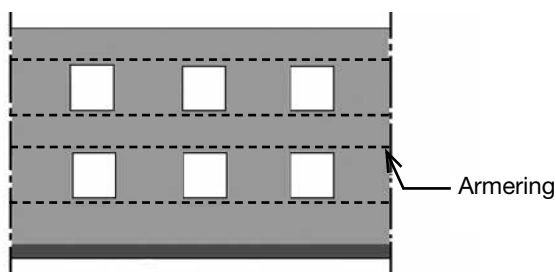
Under tidsperioden 1940–70 försågs murverk ofta med armering i liggfogar, möjligen enligt principen ”vid tveksamhet, lägg in armeringsjärn”. Avsikten med armeringen har troligtvis varit att:

- ta upp dragkrafter i murverk ovanför fönster och dörrar i murverket
- ta upp böjdragspänningar orsakade av vindlaster
- begränsa sprickor på grund av temperatur- och fuktrörelser.

För att motverka sprickbildning på grund av temperatur- och fuktrörelser utfördes emellanåt första liggfog under och över fönsteröppningar armerade längs hela fasader, se princip i figur 1.1. I lägen över muröppningar avsågs armeringen också medverka till att ta upp böjdragspänningar. Vid större öppningar förekommer det att man armerat fler fogar över öppningarna.

Armering över och under fönsteröppningar längs hela fasader torde ha förekommit framförallt under 1960-talet. I lägen där det finns stora murpartier mellan öppningarna kan armeringen vara avslutad, men ofta ligger det i praktiken armering längs hela fasaderna även i detta fall.

I och med att man gick över från fullmursteknik till $\frac{1}{2}$ -stens



Figur 1.1. Exempel på armering i skalmur från perioden 1940–1970. Armering har placerats i liggfogar både över och under fönsteröppningar, och dragits längs hela fasaden.

skalmurar och separat byggnadsstomme uppstod ett behov av att förankra skalmurarna till den bakomliggande byggnadsstommen för vindlaster. Det kan finnas exempel på, från framförallt 1930- och 1940-talen, att man i detta syfte murat ihop skalmurar med bakmurar av $\frac{1}{2}$ -stens tegel med bindare i förband. Men denna möjlighet fanns endast om bakmuren också utgjordes av tegel. Det normala, såväl för fallet bakmur av tegel som lättbetong, betong i bakomliggande byggnadsstomme eller betong i kombination med utfackningsväggar med träreglar, var istället att skalmurarna förankrades med kramlor av armeringsjärn eller stål. Kramlorna murades in i liggfogar i skalmurarna och gjöts in, murades fast eller fästes mekaniskt till byggnadsstommen.

Kramlorna utfördes de första av de aktuella decennierna ofta av vanligt armeringsjärn, utan konstruktivt rotskydd. Senare började man använda speciellt för ändamålet producerade kramlor. På 1950- och 1960-talen användes ofta järn med viss el- eller varmförzinkning. Vid 1960-talets mitt introducerades rostfria kramlor. Användningen av dessa ökade successivt och en bit in på 1970-talet hade dessa helt ersatt de varmförzinkade kramlorna, Bergkvist (2006).

Det kan finnas anledning att påtala att de byggnadstekniska problem på grund av korrosion som idag finns i tegelfasader från den aktuella perioden inte utgör något skäl att undvika användning av skalmurar med tegel i dagens nyproduktion. Men det bör klargöras för alla i byggbranschen att endast rostfritt stål ska användas i utvändiga skalmurar till såväl kramlor som armering.

1.2 Korrosionsskador i murade fasader

Det bristande korrosionsskyddet i armeringen har lett till att det idag finns ett stort antal skador på grund av korrosion i fasader som byggdes under den aktuella perioden. Situationen är inte unik i Sverige, i vissa jämförbara länder som till exempel Norge och USA finns liknande problem. Möjligen kan man ha haft för vana att armera mer i skalmurar i Sverige än vad man gjort i andra länder, varför problemen idag kan vara särskilt omfattande här. Det faktum att det byggdes väldigt mycket under den aktuella tidsperioden i Sverige bidrar också till att renoveringsbehoven är särskilt stora för tegelfasader här i landet.

När armering av stål rostar utvidgas dess volym. Volymökningen innebär att ett mekaniskt tryck uppstår, man säger att armeringen rostspränger. Rostsprängningen syns först genom att en hårfin spricka uppstår horisontellt mellan bruksfog och tegelyta. Sprickan växer efterhand till och mer vatten kan på grund av sprickan tränga in och snabba på processen, se bild 1.1. Så småningom kan bruksfogen tryckas ut på grund av volymökningen, exempel på detta visas i bild 1.2 och 1.3. Inträngningen av vatten kan också medföra ökad risk för frostsprängning i teglet samt efterhand fukt- och mögelskador i innanförliggande väggdel, om den är utförd med organiskt innehåll, som till exempel träreglar eller träbaserade skivor.

Skador på grund av rostande horisontalarmering visar sig ofta först i lägen över fönster- och dörröppningar, där rostsprängningen trycker ner det understa skiftet på grund av att mothåll där saknas, enligt exempel i bild 1.1. Rostsprängningen kan så småningom medföra att tegelstenar över fönster och dörrar lossnar och att den yttre delen av fogarna trycks ut.

På motsvarande sätt som över muröppningar kan skador också först visa sig under fönsteröppningar, i lägen där man lagt armering även under dessa, se bild 1.3. Inte heller där finns något mothåll från egentygnd av ovanliggande murverk, varför rostsprängningen ofta resulterar i att fogbruket trycks ut även i dessa lägen när rostsprängningen pågått en tid.

Skador i tegelfasader orsakade av armeringskorrosion är inte begränsade till speciella byggnadstyper, utan förekommer i bland annat bostadshus, förvaltningsbyggnader, sjukhus, skolor och industrier. Det finns en risk att fasader i samband med renovering förvanskas och förändras på ofördelaktiga sätt, genom olämpliga



Bild 1.1. Tydlig horisontal spricka på grund av rostsprängning i murverk över fönster, studentbostadsområdet Vildanden i Lund, byggt 1966.



Bild 1.2. Fasaderna på Malmö Tekniska Museum, byggt 1972, uppvisar stora korrosions-skador. Fogbruk har här tryckts ut ur murverket.



Bild 1.3. Rostsprängning i första skift under fönsteröppning, Vildanden, Lund.

val av ersättningstegel, fogbruk och fogtyper. Detta gäller framförallt enskilda byggnader, men kulturmiljön kan också påverkas i hela områden. Ett exempel på det sistnämnda är bostadsområdet Klostergården i Lund byggt under andra halvan av 1960-talet, där den tidigare enhetlighet som skapades av att man använt samma tegel och bruk i kvartersstora grupper av hus i upptill åtta våningar äventyrats genom en rad av fasadrenoveringar där ersättningsmaterialen valts utan närmare reflektioner, se bild 1.6.



Bild 1.4 och 1.5. Kvarlämnad inre armeringsstång i skalmur orsakar nya sprickor inom ett fåtal år. Högevallsbadet, Lund, byggår 1979.



Bild 1.6. Fasad efter renovering p.g.a. armeringskorrosion vid bostadsområdet Klostergården, Lund.

Det är mer regel än undantag i stora delar av landet att problem på grund av armeringskorrosion finns, eller kommer att uppstå inom överskådlig framtid, i fasader från den aktuella tidsperioden.

Det är viktigt att se till att renoveringar utförs på sätt som tillvaratar de kvaliteter som finns i fasaderna framförallt i byggnader och områden som anses särskilt viktiga för kulturmiljön. Men även för mer ordinära byggnader från den aktuella perioden finns det väsentliga kvaliteter, inte minst ur gestaltningssynpunkt, att tillvarata, Tägil med flera (2011).

I samband med att armering korroderar och rostspränger kan alltså enskilda tegelstenar eller delar av murverket så småningom lossna, falla ned och orsaka skador. Skador som orsakas av rostsprängning syns dock normalt innan riskerna blir akuta, vilket ger fastighetsägare möjlighet att åtgärda problemen i tid. Men det krävs att man är observant och kontrollerar fasaderna, genom inspektion eller besiktning, så att eventuella problem upptäcks och åtgärdas i tid.

När det gäller brister i förankringen till byggnadsstommen är förhållandena annorlunda. Den inmurade delen av kramlorna är så kort att rostsprängning normalt inte ger synlig sprickbildning i fasaderna. Det kan också finnas för få verksamma kramlor, och de som finns kan vara nedbockade innanför tegellivet och således inte alls inmurade. Karakteristiskt för denna typ av problem är att bristerna i regel inte går att se från utsidan. Horisontalstabiliteten vid bristande förankring försvinner vanligtvis momentant, till exempel vid höga vindlaster, varvid ras utlöses utan förvarning, se bild 1.7.

Systematisk insamling av uppgifter kring ras orsakade av bristande horisontalförankring saknas, men det har förekommit ett antal i Sverige. I samband med bland annat utarbetande av denna



Bild 1.7. Klostergården i Lund, fasadras i samband med stormen Gudrun i januari 2005.



Bild 1.8. Återuppmurad gavelvägg i Rosengård i Malmö.

handbok och branschutbildning som arrangerats av Sveriges Murnings- och Putsentreprenörförening (SPEF) har rapporterats ett 20-tal skalmursfasader som rasat i landet. Sannolikt har det dock skett ytterligare ett antal ras.

Efter hand som fastighetsbeståndet från perioden 1940–1970 åldras måste man räkna med att risken för ras så småningom kommer att öka, enligt principen ju högre hus och ju större vindlast – desto större risk. Förutom att detta innebär risker för allmänheten bör man också vara klar över att det finns risk att kollaps kan utlösas i samband med renoveringsarbeten.

Riskerna för ras på grund av bristande förankring är som nämnts alltså störst i samband med kraftiga vindar. Hittills har inga personskador rapporterats i Sverige, men det är uppenbart att det finns risk för att människor kan komma till skada i framtiden. I ett uppmärksammat fall från 2003 i Danmark, rasade delar av en hög skalmur byggd 1973 ned över en lekplats vid ett barn-daghem. Ingen kom till skada eftersom olyckan skedde under en helg, men händelsen har initierat en diskussion i Danmark om risker i den byggda miljön. Händelsen visar också att ras kan ske vid mindre vindlaster, vid det aktuella tillfället rädde inte särskilt stark blåst.

1.3 Skademekanismer

Korrosion av icke rostskyddad armering i tegelmurverk initieras genom murbrukets karbonatisering eller närvaro av klorider. Okarboniserat murbruk är starkt basiskt (högt pH-värde) och utgör en skyddande miljö för stål. Stål omgivet av murbruk korroderar inte så länge murbruket behåller ett pH-värde kring 12.

Karbonatisering är en naturlig process som består i att murbrukets kalciumhydroxid omvandlas till kalciumkarbonat. Karbonatisering kräver tillgång till koldioxid, som kan tillföras genom luften eller upplöst i vatten. Allteftersom luftens koldioxid tränger in i murbruket sker en karbonatisering och murbrukets skyddande effekt på stålet går förlorad. Murbrukets skyddande effekt upphör när dess pH blir mindre än 9.

Karbonatisering av murbruk är en snabb process, speciellt vid användning av poröst murbruk och håltegel. Karbonatiseringsdjupet i murbruk kan vara mer än 20 mm redan efter några år. Eftersom täcksiktet i många praktiska fall inte är djupare än just 20–25 mm, kan 20 år gamla tegelfasader uppvisa omfattande korrosionsskador.

Om murbruket innehåller klorider, till exempel från avsnings-salter, havsluft eller kloridhaltiga delmaterial, kan armeringskorrosion starta även i okarbonatiserat murbruk. Tegelfasader med icke rostfri armering belägna i havsnära områden är exempel på extra utsatta konstruktioner i detta avseende.

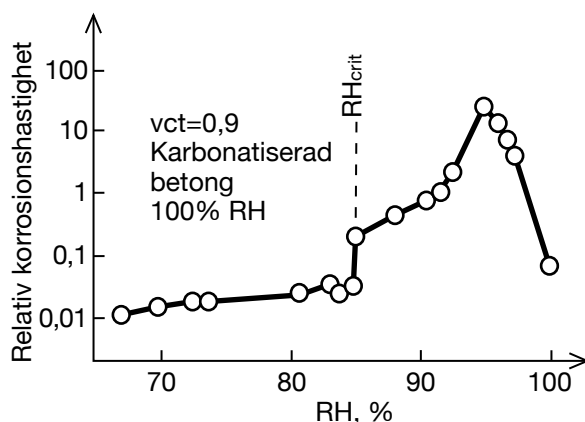
1.4 Korrosionshastighet

När armeringskorrosion väl startat, är korrosionshastigheten beroende av tillgången till en elektrolyt (syre- eller salthaltigt vatten) runt armeringen och av temperaturen.

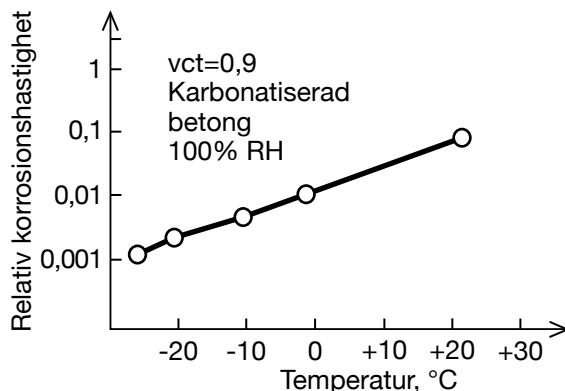
Luftens fuktighet och slagregn är de vanligaste källorna till den fukt som behövs för att driva korrosionsprocessen. Vid relativ fuktighet lägre än 65 % är korrosionshastigheten i stål i praktiken noll. Korrosionshastigheten för armering inbäddad i karbonatiserad betong ökar därefter måttligt med ökande relativ fuktighet. I intervallet 85–95 % relativ fuktighet sker ett markant språng, vartefter korrosionshastigheten återigen avtar när man närmar sig vattenmättnad, se figur 1.2.

I likhet med atmosfärisk korrosion av oskyddat stål, ökar korrosionshastigheten för armering som är inbäddad i betong med temperaturen, se figur 1.3. Korrosionshastighet för armering i tegelväggar kan förväntas uppvisa samma principiella beteende som armering i betong.

Fuktt innehåll och temperatur i ytterväggar avgörs i stor utsträckning av byggnadernas geografiska placering, orientering,



Figur 1.2. Relativ korrosionshastighet som funktion av relativ fuktighet hos armering inbäddad i betong. Relativ korrosionshastighet 1 motsvarar en uppmätt strömtäthet på 1 mA/m². Efter Betonghandbok (1980).



Figur 1.3. Relativ korrosionshastighet som funktion av temperaturen hos armering inbäddad i betong. Relativ korrosionshastighet 1 motsvarar en uppmätt strömtäthet på 1 mA/m². Efter Betonghandbok (1980).

det vill säga vilket väderstreck respektive fasad ligger mot, och väggpartiernas höjd över marknivå. Dessa faktorer har därför stor betydelse för korrosionshastigheten i tegelväggar med icke rost-skyddad armering.

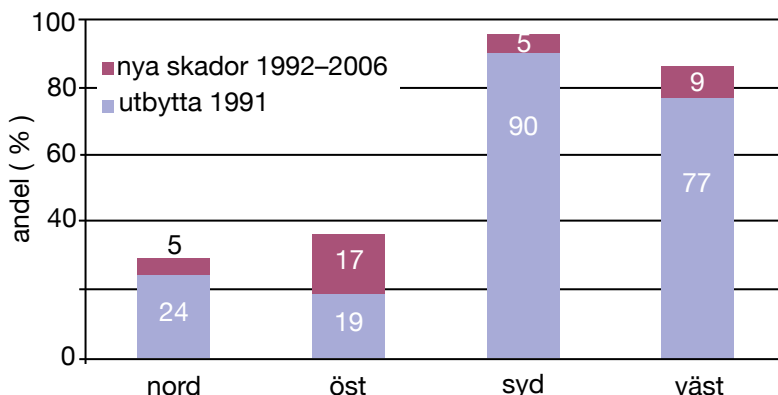
Fukttillståndet i ytterväggar påverkas i hög grad av slagregn. I södra Sverige är västliga och sydvästliga vindar dominerande, vilket gör att i denna landsända slagregn är vanligare på fasader mot dessa väderstreck. Mängden slagregn som träffar en fasad ökar med höjden över marknivå och den omgivande terrängens grad av öppenhet.

Exponeringen mot olika väderstreck påverkar även den direkta solstrålning som träffar ytterväggarna. Till exempel håller tegelskalmurar orienterade mot söder 2–3 °C högre årsmedeltemperatur än tegelskalmurar mot norr. I vissa fall avspeglas dessa faktorerers inverkan mycket tydligt, exempelvis i skalmurar under korrosionsförloppets inledande fas, se resultat från inventering av sprickförekomst i skalmurar gjord 2006 i figur 1.4.

Efter tillräckligt lång tid tenderar de väderstreckrelaterade skillnaderna i skadefrekvens i skalmurar att försvinna och så gott som all armering att bli drabbad av korrosionsskador, se figur 1.5. Det finns dock fall där skadefrekvensen i tegelfasader exponerade mot nord och öst är lägre jämfört med syd och västfasader även efter lång tid, se resultat från inventering av sprickförekomst i 70 år gamla fullmursfasader gjord 2014 i figur 1.6 (Molnár och Larsson 2016).

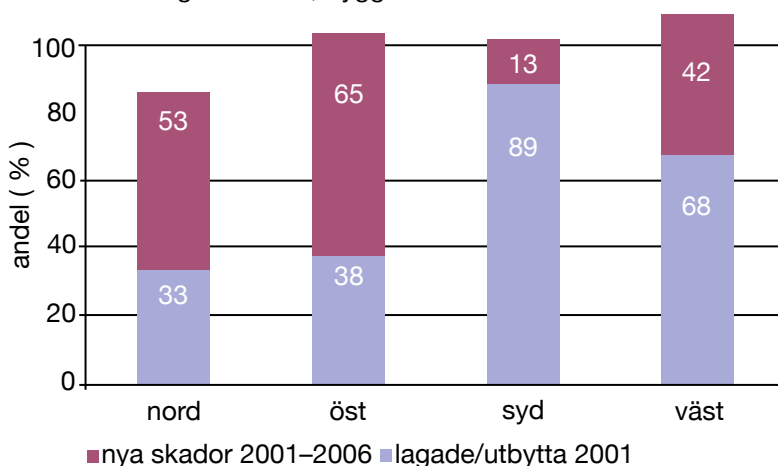
Nuförtiden finns tillgång till klimatdata från de senaste 40–50

Skadefrekvens hos fönsterbalkar i bostadsområdet
Eslöv – Rönneberga, byggår 1971



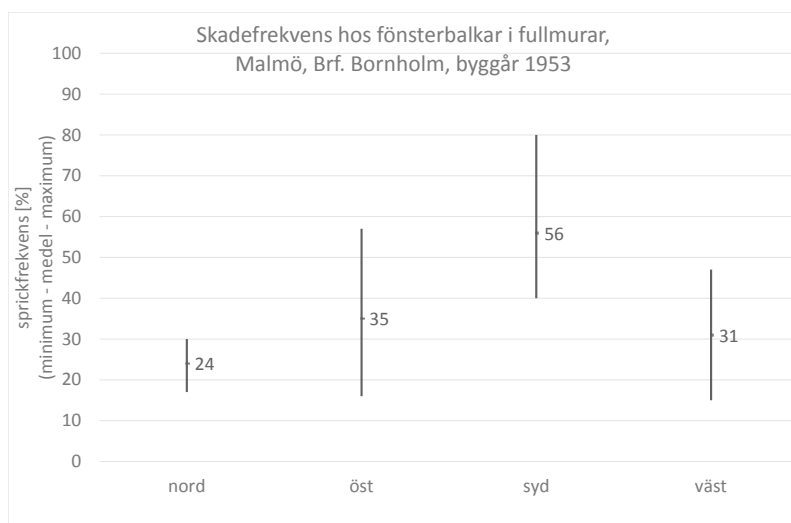
Figur 1.4. Resultat från inventering av sammanlagt 850 fönsterbalkar i bostadsområdet Eslöv – Rönneberga. Syd- och västfasader uppvisar mycket högre skadefrekvens jämfört med nord- och östfasader.

Skadefrekvens hos fönsterbalkar i bostadsområdet
Trelleborg–Malörten, byggår 1969–1971



Figur 1.5. Resultat från inventering av sammanlagt 254 fönsterbalkar i bostadsområdet Trelleborg–Malörten. I fönsterbalkar som åtgärdats 2001 finns i vissa fall nya skador, vilket förklarar skadeandelar som är större än 100 % i statistiken.

åren för mätstationer utspridda över hela landet. Uppgifter om regnmängder och speciellt solstrålning är inte lika lättillgängliga. Om tillgång finns till klimatdata, kan väggars fuktinnehåll och



Figur 1.6. Resultat från inventering av sprickförekomst i armerade skift över fönster i 1 ½-stens tegelfasader. Malmö, Brf. Bornholm, byggår 1953.

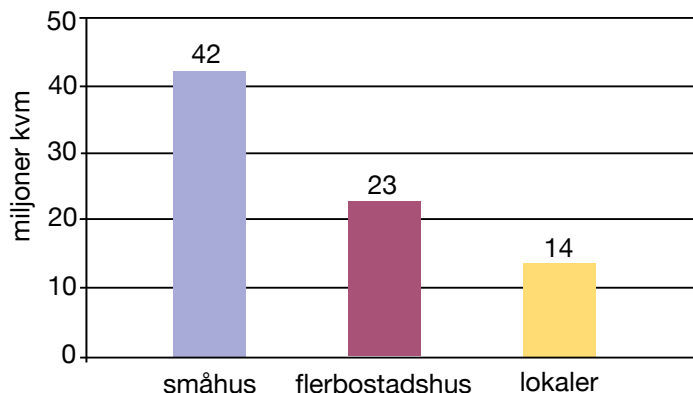
temperatur uppskattas med godtagbar noggrannhet med hjälp av kommersiella simuleringsprogram, till exempel WUFI från tyska Fraunhofer Institut eller liknande. I avsnitt 2.6 presenteras förslag på arbetsgång för uppskattning av korrosionshastighet och förväntad skadeutveckling hos tegelmurverk.

1.5 Korrosionsskadornas omfattning

En utvärdering av statistiska data från bland annat Statistiska centralbyrån och Bostadsstyrelsen visar att den totala arean av tegelfasader från perioden 1941–1975 uppgår till cirka 80 miljoner kvadratmeter, se figur 1.7. Stora delar av tegelfasaderna från denna period innehåller icke korrosionsskyddad armering. En stor andel av dessa fasader har eller kommer inom den närmaste framtiden att få korrosionsrelaterade problem. Omfattningen av skadan för de enskilda byggnaderna varierar kraftigt. För småhus handlar det oftast om att ersätta ett mindre antal skift över fönster- och dörröppningar i varje enhet.

För till exempel idrottshallar och andra publika byggnader kan man behöva sanera korroderande armering i flera tusen löpmeter liggfogar per objekt. I höga hus, till exempel bostadshus från miljonprogrammets dagar, kan det också vara nödvändigt att ta bort åtskilliga löpmeter rostande armering, och renoveringsarbe-

Area tegelfasader från perioden 1941–1975



Figur 1.7. Tegelfasader från perioden 1941–1975, baserat på statistiska data från SCB, Bostadsstyrelsen, m.m. Hus ägda av staten, fritidshus och vissa andra typer av byggnader ingår inte i sammanställningen.

tena kan vara komplicerade med hänsyn till erforderlig säkerhet för berörd personal. Och förutom att renoveringarna kan komma att kräva stora ekonomiska resurser gäller frågan även kulturella och gestaltningsmässiga värden.

1.6 Klassificering av skador

Skadorna kan delas in i tre olika grupper – skador på grund av:

- armeringskorrosion i fasadpartier utan muröppningar
- armeringskorrosion över och/eller under muröppningar samt i murpelare mellan öppningar
- bristande förankring av murverket till bakomliggande stomme.

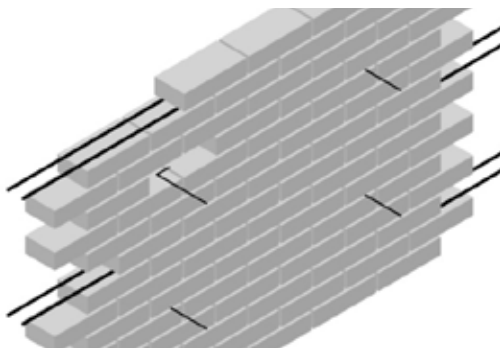


Bild 1.8a. Placering av armering och kramlor i fasadparti utan muröppningar.

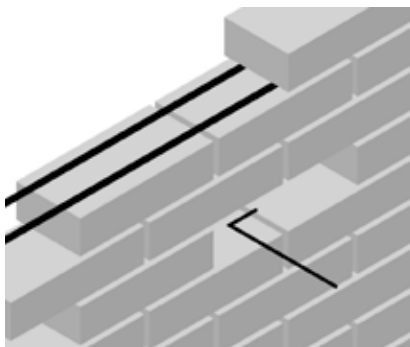


Bild 1.8b. Närbild på armeringens och kramlans placering i muren.

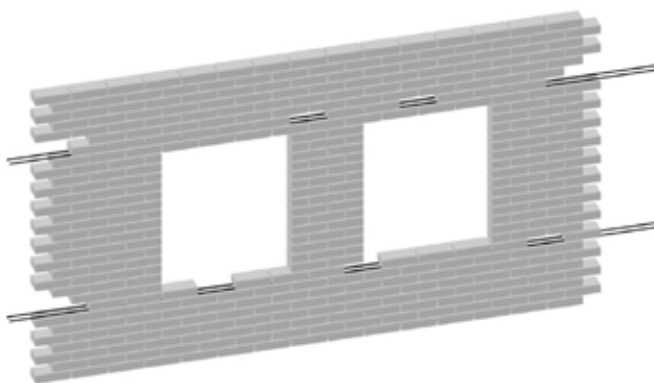


Bild 1.8c. Armering över och under öppningar samt genom murgelare.

1.6.1 Fasadpartier utan muröppningar

I fasaddelar utan muröppningar som utförts med armering ligger oftast två horisontella armeringsjärn i de armerade liggfogarna. Man armerade normalt med kamstänger, Ø6 till Ø10, varav en placerades i den inre delen av fogen och en i den yttre. Hur tätt armering lagts kan variera, i några skadefall (Malmö Tekniska Museum, Högevallsbadet, Lund) har armering i storleksordning vart 5–7 skift konstaterats. Skadorna som uppstår på murverket på grund av att armeringsjärnen korroderar är vanligtvis att fogen öppnar sig och trycks utåt, se bild 1.9 och 1.10. I de fall armeringen ligger ytligt trillar fogbruket ned på marken och blottar armeringsjärnet.



Bild 1.9. Muren lyfts.



Bild 1.10. Fogen trycks ut.



Bild 1.11. Fogen har tryckts ut och blottar armeringsjärnet.



Bild 1.12. Delar av stenen sprängs sönder.

Vid Malmö Tekniska Museum hade fogarna i en skalmursfasad tryckts ut i den övre delen av murverket, från murkrönet och cirka 6 meter nedåt. Längre ner satt fogarna kvar trots att armeringen även där var rostangripen. Detta förklaras sannolikt av en kombination av lindrigare korrosionsangrepp längre ner på fasaderna på grund av mindre slagregn och av att den ovanliggande skalmurens egentyngd i de lägre delarna av muren medför så stor friktion mellan murbruk och tegel att bruksfogen inte trycks ut.

Vid samma objekt konstaterades att skalmuren vid murkrönet var några centimeter högre än den bakomliggande stommen. Liknande observationer gjordes av författarna i samband med renovering av studentbostadskomplexet Vildanden i Lund. Observationerna vid Malmö Tekniska Museum kan förklaras av den kombinerade effekten av att betongpelarna har blivit kortare på grund av krympning och krypning, skalmursfasadens förlängning på höjden på grund av rostsprängning men även på grund av permanent fuktrelaterad svällning i teglet. Det senare fenomenet är vanligt i alla brända lergods och välkänt utanför Norden, Molnár (2010). Möjligheten att tegel kan genomgå permanent svällning

bör beaktas, se gällande regelverk för dimensionering av murverkskonstruktioner, Eurokod 6, del 1-1, avsnitt 3.7.4.

När skalmurar förlängs på höjden i förhållande till den bakomliggande stommen kan skador inträffa på horisontalförankringen samt på anslutningar till takkonstruktioner och fönsterbleck.

När förloppet gått tillräckligt långt kan teglet skadas av rostsprängningen. I ogynnsamma fall kan detta leda till att stenen sprängs sönder, se bild 1.12. För månghålstegel med ytligt liggande hål är risken för att det ska skadas av detta fenomen särskilt stor. I ett sådant fall, ett bostadshus i kvarteret Repslagaren, Lund, ledde rostsprängning till att ett stort antal tegelstenar spräcktes. Fasaden revs och murades upp med nyproducerat tegel.

1.6.2 Armering över, under och mellan öppningar

Det förekommer att man lagt armering i såväl första skiftet över som första skiftet under fönster- och dörröppningar. Men vanligare torde vara att man endast lagt armering i första skiftet över öppningar. Liksom i fallet fasadpartier utan öppningar har man i regel lagt två kamstänger, Ø6 till Ø10, varav ett i den inre delen av fogen och ett i den yttre. Framförallt i fall där öppningarna ligger nära varandra är det stor sannolikhet att armeringen ligger kontinuerligt genom murpelaren mellan öppningarna. Men också i fasader med relativt långa murpelare mellan öppningarna kan armeringen ha dragits längs hela fasaderna.

I lägen över muröppningar trycks det understa tegelskiftet neråt vid rostsprängning, eftersom det inte finns något mothåll där, se bild 1.13, 1.15 och 1.16. Under muröppningar trycks det överskiftet istället uppåt av samma anledning, se bild 1.14. I murpe-



Bild 1.13. Spricka över muröppning.



Bild 1.14. Fogen har tryckts ut och blottar armeringsjärnet under fönstret.



Bild 1.15. Fogen har tryckts ut och blottar armeringsjärnet.



Bild 1.16. Delar av stenen sprängs sönder.

lare mellan öppningar tar det längre tid innan sprickor syns, men så småningom räcker inte egentygngden från ovanliggande murverk till för att hålla emot rostsprängningen och sprickor slår upp.

1.6.3 Bristande horisontalförankring

Den viktigaste hållfasthetsfrågan i en $\frac{1}{2}$ -stens fasadmur är förankringen till den stabiliserande bakomliggande stommen. Kramlor utfördes till en början när man gick över till att bygga $\frac{1}{2}$ -stens skalmurar med vanliga armeringsjärn i vissa fall helt utan rostskydd, ofta med diameter av 5 eller 6 millimeter. Dessa bockades och murades in i bakmur och skalmur. Efterhand som man började använda ytterväggar av betong gjöts kramlorna fast för att sedan muras in i liggfogar när skalmuren uppfördes.

Från 1950-talet började man använda särskilt producerade kramlor med viss el- eller varmförzinkning. Varmförzinkning kan innebära att kramlorna fortfarande är i någorlunda kondition, men skadefall tyder på att rostskyddet även för dessa kan vara för dåligt idag. Vid mitten av 1960-talet började rostfria kramlor saluföras. Från en bit in på 1970-talet har rostfria kramlor dominerat marknaden.

I fasader där man använt kramlor med otillräckligt rostskydd medför så småningom korrosion att kramlornas verksamma area minskar, vilket leder till försämrade förankringskapacitet och risk för ras. Rostangreppen kan ofta antas vara störst i gränssnittet mellan tegel och luftspalt, se bild 1.17 och 1.18. I samband med skadefall har konstaterats att det verkliga antalet kramlor kan vara väsentligt lägre än avsett. En annan brist som konstaterats är att kramlor kan ha bockats ned innanför skalmuren och således inte alls varit verksamma för att stabilisera skalmuren. Detta kan ha



Bild 1.17. Rostangripen kramla i en kanalmur. Kramlan har påverkats mest i den del som inte varit inmurad, sannolikt p.g.a. högre fuktbelastning.



Bild 1.18. Frilagd rostangripen Z-formad kramla, uttagen vid en fasadrenovering av ett bostadshus på Kobjer i Lund, byggår 1954.

orsakats av att kramlorna gjutits in i betongen och inte passat in i skiftgången vid den efterföljande uppmurningen av skalmuren.

En ytterligare komplikation som kan försämra förankringen efter hand är att skalmuren har förlängts i förhållande till stommen på grund av stommens krympning, teglets permanenta svällning och av att skalmuren hela tiden rör sig på grund av temperatur- och fuktvariationer. I ogynnsamma fall kan det innebära att kramlorna efterhand spänns upp och utmattas, framförallt om det fria måttet mellan kramlornas inspända delar är kort. Inte minst kan dessa fenomen ha betydelse om kramlornas verksamma tvärsnitt dessutom minskar på grund av avrostning. Kramlor belägna i de övre delarna av höga fasader är normalt mest utsatta i sammanhanget.

Om förankringen till bakomliggande stomme inte är tillräcklig kan allvarliga ras inträffa. Denna typ av kollaps, se bild 1.7, initieras normalt av särskild yttre påverkan såsom till exempel stark vind. Men det finns också risk för att ras kan utlösas vid påverkan av annan orsak, som till exempel i samband med renoveringsarbeten. En viktig fråga ur säkerhetssynpunkt är att byggställningar inte ska fästas i skalmurar från den aktuella perioden.

1.7 Praxis vid reparation av 1/2-stens tegelfasader

I samband med revideringen av handboken inför den andra utgåvan, har vi översiktligt undersökt hur reparation av fasader med korrosionsskador respektive bristande kramling normalt utförs

idag. Vi har därvid haft kontakter med företrädare för specialistföretag som är medlemmar i Sveriges Murnings- och Putsentreprenörförening (SPEF). Egna erfarenheter från praktiskt genomförda renoveringsprojekt som forskningsgruppen vid LTH deltagit i har också beaktats.

Den stora volymen fasadrenoveringar under de senaste tio åren har överlag bidragit till en påtaglig förbättring av kvaliteten på renoveringsarbetena. Reparationsåtgärder som ger mindre lyckade resultat kan dock fortfarande förekomma. I texten nedan varnar vi tydligt för olämpliga reparationsåtgärder.

Reparationsåtgärder delas här in i de tidigare nämnda områdena fasadpartier utan muröppningar, över öppningar och kramling. Åtgärdande av skador i första skift under öppningar bedöms som ringa problematisk och behandlas inte vidare i handboken.

1.7.1 Fasadpartier utan öppningar

Följande åtgärder utförs ofta i förekommande fasadreparationer:

1. Såväl inre som yttre armeringsjärnet tas bort i alla armerade skift, varefter man fyller i med nytt bruk och fogar om i skalmurens hela djup. I förekommande fall lägger man in ny korrosionsbeständig armering.
2. All yttlig fog i armerade skift och det yttre armeringsjärnet tas bort i hela fasaden, varefter man fogar om berörda skift. Det inre järnet åtgärdas inte.
3. Yttlig fog och det yttre armeringsjärnet tas bort i fasaddelar där skadorna syns.

Det bör påpekas att åtgärder enligt alternativ 2–3 inte ger långsiktigt acceptabla resultat, eftersom det kvarlämnade järnet kan leda till framtida sprickbildning. Fortsatt korrosion i de inre järnen kan, om endast de yttre järnen avlägsnas, leda till geometriska imperfektioner i skalmuren, se även avsnitt 2.3.

Det förekommer att man vid måttligt synbara skador avlägsnar den skadade fogen, varefter man fogar om. Denna åtgärd är olämplig eftersom nya sprickor uppstår bara några år efter åtgärden.

För att avlägsna fogbruket används vanligen fogfräs, mejselhammare och vinkelslip. Fogfräs och vinkelslip föredras av de vi samtalat med eftersom fräshuvudet styrs med anhåll och risken minskar för att man skadar teglet. Mejselhammare har rapporterats ge störande vibrationer. I de projekt där hela fogen tagits bort



Bild 1.19. Bistålsarmering (foto Murma).

har man bilat och kratsat bort med handkraft resterande del som inte kan avlägsnas med fogfräsen.

För att återställa fogen används ofta ”för hand fogning”, en metod som underlättar kompaktering av murbruket. Även olika typer av fogsprutor förekommer men alltför lös konsistens hos murbruket kan försvåra kompakteringen och efterfogningen. Fogsprutor som klarar murbruk med normal konsistens bör normalt användas, se vidare diskussion i kapitel 3 och 4. I merparten av fasaden har inte armeringen återställts, utan endast i kritiska områden, efter konsultation med konstruktör. Där man har satt in armering igen har man använt rostfri bistålsarmering, se bild 1.19.

1.7.2 Över öppningar

Rostsprängningar i någon av fogarna ovan fönster- eller dörröppningar åtgärdas normalt enligt följande:

1. Åtminstone första skiftet över öppningen avlägsnas och ersätts med förtillverkat, spännarmerat skift, antingen utfört med nyproducerat eller rensat och återanvänt tegel. Detta är den överlägset vanligaste åtgärden, ett val som ofta styrs av det fördelaktiga priset. Vid större öppningar tas de två understa skiften bort.
2. Man avlägsnar 3–4 skift, stämpar, murar upp på traditionellt vis och kompletterar med armering, varvid man väljer rostfritt bistål. Denna åtgärd anses ge det estetiskt mest tilltalande resultatet.
3. Armeringen avlägsnas men understa tegelskiftet bibehålls och förankras mot ovanförliggande murverk. Som förankring används ofta spiralformad stång, så kallad helifix eller dryfix. Annan typ av förankring förekommer.

4. Samma åtgärd som i alternativ 2, fast med ”kvarsittande stämp” i form av en så kallad valvbågsform.

Andra, mindre vanliga, åtgärder innebär att man förankrar nedersta skiftet med kemiskt ankare, gängad stång, mutter och bricka. I enstaka fall används en långsgående plattstång som ersätter brickorna, i detta fall blir mutter och plattstång synliga. I sistnämnda alternativ krävs oftast plåtinklädnad för att dölja förstärkningen.

1.7.3 Murpartier mellan öppningar

Det är fortfarande förhållandevis ovanligt att korroderande armering mellan muröppningar tas bort. De senaste åren har dock åtgärden genomförts i en handfull, för författarna kända, projekt. Tillvägagångssättet beskrivs i kapitel 4 i denna handbok.

1.7.4 Kramling

Återförankring av $\frac{1}{2}$ -stensmurar är idag en vanligt förekommande renoveringsåtgärd. Reparationskramlor finns för applicering i bakmurar av murverk, betong och trä. De mest använda reparationskramlorna är av typen expanderkramla eller spiralformad kramla. I avsnitt 4.4 presenteras fler produkter som kan användas vid återförankring av $\frac{1}{2}$ -stensmurar.

Kramlorna monteras i förborrade hål och förankras i både fasadmuren och bakmuren. När bakmuren består av icke-bärande träregelvägg, är det vanligt att kramlorna förankras i bjälklag och tvärgående väggar. Det är vanligt att återförankringens effektivitet kontrolleras genom utdragningsprov.

1.8 Praxis vid reparation av fullmurar

Den vanligaste åtgärden vid reparation av fullmurar består i att yttlig fog och yttre armeringsjärn avlägsnas. Ursprungligt tegel behålls och nedersta skift förankras i ovanförliggande murverk med hjälp av till exempel spiralformade stänger som appliceras i varannan eller var tredje tegelsten. Omfogning görs oftast för hand.

2. Projektering

Vid projektering av reparationsarbeten avseende korrosionsskadade skalmurar måste en bedömning göras av det befintliga murverkets konstruktiva förutsättningar och kondition. Underlag för denna bedömning kan bland annat hämtas från:

- Ritningar och beskrivningar från det ursprungliga uppförandet, och från eventuella tidigare renoveringar.
- Okulära besiktningar som inriktas på förekomst av sprickor samt rost- och frostsakat tegel, från mark och/eller från lift, beroende på lokala förhållanden. Genom användning av lift kan de delar av fasader som normalt har mest omfattande skador undersökas, varför den metoden är att föredra. Kikare är ofta ett bra hjälpmedel. Drönare kan också vara användbara vid undersökningar av fasader.
- Mer detaljerade undersökningar som kan innefatta att man tar upp hål i fasaden för att kontrollera kramlingens, murbrukets och armeringens status, enligt stickprovsmetod.
- Normalt är fogbruket i skalmurar som är 45 år eller äldre karbonatiserat i skalmurens hela djup. Men om tveksamhet i det fallet föreligger kan en undersökning av karbonatiseringsdjupet utföras med fenoltaleinlösning. För okarbonatiserat murbruk slår färgen om till violett, för karbonatiserat sker ingen färgförändring av vätskan.
- Samtal med fastighetsskötare, hantverkare, entreprenörer och andra som kan ha kunskap om den aktuella byggnaden.

En av de viktigaste frågorna för beslut om åtgärder är i vilken omfattning murverket är armerat. Ofta kan man genom att studera förekomst av sprickbildning längs liggfogar konstatera om och var det ligger armering. Emellanåt kan man också iaktta att vissa fogar, i lägen där man kan anta att det ligger armering, är tjockare än omgivande och det kan tyda på att man utfört omfogning på grund av rostande armering. Om det samtidigt i dessa fogar förekommer ny sprickbildning tyder det på att man utfört lagningar av kosmetisk natur.

Metalldetektorer kan användas för att närmare undersöka om det ligger armering i fogarna, och var i murverket den i så fall avslutats. Det finns metalldetektorer på marknaden för låg kostnad, och som är relativt lätta att använda.

Man kan också undersöka om det finns armering genom att borra. Finns det järn i fogen märks det på motståndet vid borrar-ningen.

Förslag till checklista för projektering av skalmursreparationer:

De kontroller och undersökningar som görs måste naturligtvis anpassas till det enskilda objektet. Men en mer generell checklista kan exempelvis innehålla följande:

1. Förundersökning:

- byggnadsår; vilket år en byggnad uppförts ger ofta en indikation på vilken byggnadsteknik som använts, vilket behandlas av Tägil med flera (2011)
- tidigare renoveringar
- undersökning om byggnaden fyllt andra funktioner tidigare
- ritningar och andra bygghandlingar
- kontroll om det finns särskilda skyddsföreskrifter för fasaderna.

2. Undersökningar på plats:

- undersök utvalda väggsektioner – antal kramlor/kvadratmeter och deras kondition
- skador på tegel – frostsprängningar, sprickor och liknande, skadeorsaker
- rostande armering
- skick på fog
- om tilläggskramling skall utföras – mät och dokumentera tegel, luftspalt, isolering och stommaterial
- missfärgningar, orsaker.

3. Projektering:

- myndighetskrav
- lokala förhållanden – laster, miljöklass med mera
- antal kramlor/kvadratmeter samt placering inklusive punktförstärkningar
- val av kramlor, beakta fria längden mellan kramlors inspanning vid dimensionering av antal kramlor.

2.1 Behöver man ersätta befintlig armering med ny?

En viktig fråga för den fortsatta projekteringen är om armering som tas bort bör ersättas. Denna fråga måste förstås besvaras genom en ingenjörsmässig bedömning i det enskilda objektet, men några viktiga generella ståndpunkter är rimliga att anta:

- Armering i första skiftet över muröppningar kan under vissa förutsättningar, se nedan, tas bort utan att man lägger dit ny.
- Armering för att ta upp vindlaster kan erfordras i kanalmurar om spännvidden mellan vertikala, avstyvande bärverk (till exempel tvärgående väggar eller pelare som murverket är förankrat i) är stor.
- Armering som lagts längs hela fasader över respektive under muröppningar i syfte att minska sprickrisker på grund av temperatur- och fuktrörelser kan normalt tas bort utan att man lägger i ny armering.
- Armering som lagts i skalmurar utanför betongstommar behöver normalt inte ersättas (förutom över öppningar, där ofta armering erfordras). Förutsättningar är att skalmuren är tillräckligt horisontalförankrad till stommen, att murverket klarar av att föra vindlasterna till infästningspunkterna och att betongtvärsnittet har tillräcklig lastkapacitet. Motsvarande principer torde också i vissa fall gå att tillämpa på skalmurar utanpå bakmurar av lättbetong. Dock bör kapaciteten i bakmuren och kramlingen kontrolleras. Tilläggs-kramling är sannolikt erforderlig.

Enligt handboken Rätt murat och putsat, Svensk Byggtjänst (2005) kan armering över öppningar med horisontell underkant i skalmurar, belastade enbart av sin egentyngd, uteslutas om valverkan får utnyttjas. Förutsättningar för detta är att:

- Öppningsmåttet är maximalt 2,0 meter.
- Murverkets höjd över öppningen är minst 25 % av öppningsmåttet.
- Horisontalkraften som uppstår vid upplaget kan tas upp.

För att horisontalreaktionen ska kunna tas upp ska murpelaren vid upplaget ha en längd av minst 250 millimeter. I murpelare mellan lika stora öppningar kommer horisontalreaktionerna att bli i stort sett lika stora och motriktade, varför de då balanserar varandra.



Bild 2.1. Fasadrenoveringsarbete, studentbostadsområdet Parentesen, Lund, innan målning av fasaden.

Bestämmelserna om valverkan är egentligen avsedda för nyproduktion, men bör också gå att tillämpa för befintligt murverk. Förutsättningarna för att få pålitlig vidhäftning mellan understa skiftet och ovanliggande murverk, sedan armeringen tagits bort, är dock inte lika goda som vid nymurning. Därför bör den understa delen av valvet förankras mekaniskt till ovanliggande, ostört murverk i fall där man inte avser att lägga dit prefabricerade murstensskift. Metod för att utföra denna säkring redovisas i avsnitt 4.2.

Normalt torde det dock vara mest rationellt att ta bort det understa skiftet och ersätta med ett prefabricerat murstensskift. Metoden är beprövad och effektiv. Det har dock rapporterats fall med sprickbildning i gränsytan mellan det prefabricerade skiftet och ovanliggande murverk, framförallt vid långa muröppningar, i storleksordning tre meter och större. För att minska den risken kan man tunngrunda det prefabricerade skiftet med cementrikt grundningsbruk.

Utnyttjande av valverkan kan vara aktuellt när man inte kan få fram bra ersättningstegel och det inte låter sig göras att rensa befintligt tegel från bruksrester för tillverkning av prefabricerade murstensskift. Traditionell återmurning med användning av befintligt tegel kan då fungera bra – det blir mindre risk för att murningsförbandet störs och teglet kommer då inte att avvika alls.

När man tar bort det understa skiftet över öppningar för att ersätta det gäller det att man kan lita på bärförmågan i det kvarvarande tvärsnittet under renoveringsarbetet. I varje objekt måste naturligtvis i detta sammanhang göras en bedömning av murverkets kondition. Den bärförmåga som i realiteten finns avgörs av teglets och murbrukets tillstånd samt att det finns vidhäftning mellan bruk och tegel.

Frågan om vid hur långa öppningar man kan ta bort det understa/de understa skiften utan att riskera bärförmågan blir principiellt likartad som frågan om hur långa delar av en fog som kan rensas i ett moment, se vidare behandling i avsnitt 2.3.

2.2 Tilläggskramling

För att eliminera risken för horisontell instabilitet kan man komplettera skalmurar med nya kramlor. Det finns en rad olika typer av kramlor, se kapitel 4.

Tilläggskramling kan normalt utföras till bakmurar av betong eller tegel. För bakmurar av lättbetong kan det också vara möjligt att förankra genom kramling, beroende på hållfasthetsegenskaperna för den aktuella lättbetongen. Den lättbetong som användes i ytterväggar under de aktuella årtiondena var normalt av högre hållfasthetsklass än den lättbetong som används i ytterväggar idag och förutsättningarna för tilläggskramling till bakmur av lättbetong kan vara goda.

Tilläggskramling till regelväggar är normalt svårt att utföra, på grund av svårigheter att lokalisera reglarna.

Kramlor dimensioneras för drag- och tryckkrafter samt för samtidig inverkan av de böjpkänningar som uppstår på grund av inspänning vid rörelser i skalmuren, främst orsakade av temperatur- och fuktvariationer. Den fria längden, den del av kramlorna som kan ta upp dessa rörelser, bestäms av inspänningsförhållandena i byggnadsstommen och vid inmurningen i skalmuren samt bredden på spalten innanför skalmuren. Ofta är spalten mellan bjälklagskant och skalmuren ett fåtal centimeter, vilket kan medföra att kramlorna får låg lastkapacitet med hänsyn till stålets utmattning på grund av temperatur- och fuktrörelser.

Man bör också beakta att byggnadsdelar och de material som dessa består av kan ha påverkats av tidens tand, varför provdragning bör genomföras för verifiering av kramlors utdragskapacitet.

I byggnader med betongstommar och utfackningsväggar av trä är man normalt hänvisad till att förstärka horisontalförankringen

mot bjälklagskanter och tvärgående betongväggar, eftersom det är svårt att lokalisera reglarnas lägen. Det kan vara svårt att i det fallet få plats med samma antal kramlor som är normalt vid nyproduktion. Enligt EKS10 ska det sättas minst 4 kramlor/kvadratmeter i kanalmurar och 3 stycken/kvadratmeter i skalmurar. Tätare placering av kramlor än cirka 250 millimeter längs till exempel en betongbjälklagskant torde inte vara meningsfullt. Men de byggnader som det handlar om har ju i praktiken klarat ett relativt stort antal oväder, varför det i normalfallet ändå bör vara acceptabelt att sätta kramlor med nämnda cc-avstånd längs betongkanterna, om det inte finns andra möjligheter för tilläggskramling. Om betongbjälklagen och de tvärgående betongväggarna finns på normala cc-avstånd, i storleksordningen cirka 3 meter för bjälklag och cirka 4–6 meter för tvärgående väggar, torde en noggrann kramling med moderna, beständiga material vara tillfyllest. För mindre gynnsamma fall bör andra typer av förstärkningsåtgärder övervägas.

Det kan finnas fall då det inte är praktiskt genomförbart att endast göra urfräsningar i fogarna och man vill undvika att sätta kramlor i tegelstenar. I sådana fall kan man ta bort enskilda stenar, rensa från fogbruk, kramla och mura tillbaka stenen. Det finns lämpliga fräsverktyg som gör det möjligt att fräsa bort fogarna på hela djupet, det vill säga cirka 120 millimeter. Normalt torde det vara tämligen omständligt att rensa de uttagna stenarna från bruk. Om man lyckats få fram bra ersättningstegel kan återmurning ske med detta, men detta är ofta problematiskt, se diskussion nedan.

- Nya kramlor placeras i fogar eller igenom tegelstenar. Placering i stötfogar undviks för kramlor som fästs via expanderverkan eller friktion i fasadmur.
- Bruksklass M2.5 (B-bruk) används för att förankra kramlorna vid placering i fogar där man fräser upp en slits. Fogkulör bör väljas så att fogarna får kulör så lika befintliga fogar som möjligt.
- Provdragning av kramlor föreskrivs om inte säkra värden på dimensionerande lastkapacitet på kramlorna i aktuella material kan redovisas av leverantör.
- Fasaden rensas från bruksrester efter arbetena.

2.3 Kontroll av tilläggskramling före renovering av korrosionsskador

Arbetsmiljöaspekter och säkerhetsfrågor är av största vikt vid genomförande av den här aktuella typen av reparationsarbeten. Bygg-/murningsentreprenören är primärt ansvarig för att arbetena drivs på så sätt att dessa aspekter beaktas och det bör specificeras i projekthandlingar att entreprenören ska vara ansvarig för att det tas fram en arbetsmiljöplan. Men projektörerna, framförallt byggnadskonstruktören, måste ta fram det konstruktiva underlag som entreprenören behöver för att kunna göra erforderliga bedömningar. Och om inte de konstruktiva förutsättningarna går att klargöra bör konstruktören göra entreprenören uppmärksam på det.

I normalfallet är möjligheterna begränsade att på ett säkert sätt bedöma om fasader är tillräckligt horisontalförankrade. Man kan till exempel riva mindre partier och kontrollera hur många kramlor det finns, i vilken status de är ur korrosionssynpunkt, om de kan ha påverkats av utmattningsfenomen, huruvida de är korrekt inmurade i skalmuren, om de är utförda med rostfritt material, varmförzinkade eller helt obehandlat järn. Men provrivningar är som regel inte rimligt att göra på mer än ett fåtal, mindre ställen, och man kan inte vara säker på att dessa är representativa. Eventuella ras kommer att initieras i särskilt känsliga lägen och sedan fortplantas. Det är normalt vanskligt att säkert fastställa var dessa lägen är belägna i en fasad.

Uppgifter på ritningar från byggskedet kan vara till viss hjälp i bedömningen, men man kan inte vara säker på att utförandet i slutänden stämmer överens med det som står i ritningsunderlaget.

Andra metoder för att bedöma förankringsstatusen kan vara att använda sig av metalldetektor eller fiberoptik ("titthålskirurgi") för att lokalisera kramlor. Syrafast rostfritt stål är en molybden-legerad austenitisk stålsort som inte är magnetisk och därmed kan vara svår-detekterad. Denna typ av metoder är dock dåligt ägnade att avgöra korrosionsgrad, huruvida kramlorna verkligen är korrekt inmurade och om de påverkats av utmattningsfenomen.

Mest användbar torde rivning av mindre partier vara, i kombination med att man läser in sig på ursprungliga ritningar.

Med tanke på de svagheter som vi vet horisontalförankringen ofta är behäftad med är det uppenbart att man normalt innan man åtgärdar armeringskorrosion i skalmurar bör förstärka kram-

lingen, med hänsyn till berörd personals säkerhet. Ett starkt argument för detta är ett flertal ras av skalmurar som skett i fasader från efterkrigstiden, se kapitel 1. Undantag från grundregeln att komplettering av kramlingen bör ske kan göras för skalmur som stabiliseras tillräckligt av tvärgående närliggande murpartier.

Med hänsyn till de brister som konstaterats i skalmurar uppförda före 1970-talets inledning är det rimligt att förutsätta att befintliga kramlor inte längre ger erforderlig horisontalstabilitet i skalmurar som utsätts för utemiljö, om inte tilläggskramling redan utförts.

Byggnadsställningar bör inte förankras i skalmurar från den här aktuella tidsperioden, om man inte genomfört åtgärder för horisontalstabilisering, eller man på annat sätt kan vara säker på att skalmuren har tillräcklig stabilitet.

2.4 När är det dags att sätta in åtgärder?

Horisontalförankringen av fasader byggda under perioden 1940–1970 kan generellt bedömas som bristfällig. Det har förekommit ett antal ras. Riskerna är större för höga hus än för låga och de ökar med vindhastigheten vid oväder. Möjligheterna att i praktiken förutse vilka fasader som utgör särskilt stora risker är ringa och riskerna ökar efterhand som fastighetsbeståndet åldras.

Om det på ursprungliga handlingar framgår att man satt erforderligt antal kramlor, om rostfritt material och ledade kramlor använts och dessa uppgifter verifieras vid provrivning vid ett flertal lägen bör man kunna bedöma horisontalförankringen som tillräcklig. Också om fasadskalmur murats i förband med bakmur på ett betryggande sätt från början kan förankringen anses vara beständig, eller om skalmuren stabiliseras tillräckligt av tvärgående murdelar. Men i övriga fall, som kan betraktas som normalfall, bör förstärkning av horisontalstabiliteten utföras för byggnader med skalmurar från den aktuella perioden. Detta innebär i praktiken att en systematisk genomgång av fastighetsbeståndet som byggts mellan någon gång på 1930-talet och en bit in på 1970-talet bör utföras. För fasader från den aktuella perioden som hittills inte åtgärdats bör således tilläggskramling övervägas, framförallt i höga byggnader.

Riskerna med korrosion av armering i liggfogar är mer förutsägbara. Rostsprängning visar att skadorna finns och att de förvärras successivt. När rostskadorna efter hand växer riskerar man att enskilda tegelstenar eller murverksdelar lossnar, faller ned och i

värsta fall vållar personskador. Rostsprängning kan också, i långt framskridet skede, medföra att teglet skadas av volymökning på grund av korrosion, risk för frostskaador i teglet samt fukt- och mögelskaador i bakomliggande väggdelar med organiskt innehåll. Långtgående rostsprängningar kan vidare medföra ökad belastning på kramlingen, som dessutom redan kan vara bristfällig på grund av andra omständigheter.

Vid omfattande rostsprängningar i skalmurar med stort antal armerade fogar kan volymökningen i det rostande stålet medföra en längdutvidgning som kompenseras genom att skalmuren antar en annorlunda form. Exempelvis kan den anta en C-form eller deformeras som en sinuskurva, beroende på hur den hålls fast i anslutande byggnadsdelar. Dessa avvikelser från lodlinjen innebär att excentricitet uppstår vid upptagning av skalmurens egentyngd, vilket i sin tur leder till böjmoment i murverket. Böjmomenten stabiliseras av horisontalkrafter, som ger en påverkan på kramlorna som dessa normalt inte är dimensionerade för. Man bör därför vara observant på om avvikelser ifrån ursprunglig geometri föreligger, de kan i ogynnsamma fall ge upphov till instabilitet.

I armerade fogar ligger det normalt två armeringsjärn (även om det finns exempel på att det bara ligger ett), ett yttre och ett inre. Det yttre järnet är relativt enkelt att ta bort i jämförelse med det inre järnet. I en del fall har man begränsat sig vid reparation till att ta bort det yttre järnet, och fogat om. En nackdel med denna strategi för skalmurar är att korrosionsprocessen för det inre järnet fortsätter och det kan leda till att geometriska imperfektioner enligt ovan uppkommer. Denna reparationsstrategi bör helst undvikas, men om man ändå tillämpar den måste man i fortsättningen vara observant på att inte avvikelser från lodlinjen av betydelse uppkommer efter reparationen.

Slutsatsen beträffande skador på grund av armeringskorrosion bör vara att när skador börjar synas i en fasad åtgärdas dessa innan förloppet gått för långt, inom loppet av ett fåtal, förslagsvis maximalt fem år. För fasader där det inte finns synliga skador i samma byggnad bör man dock kunna avvakta tills synliga skador uppträder.

Vid beslut om reparationsåtgärder kan det också vara aktuellt att bedöma skadeutvecklingen under den närmaste framtiden. Metod för att göra sådana bedömningar behandlas i avsnitt 2.6. Framställningen är främst avsedd för fullmurar, men kan i viss mån även tillämpas för skalmurar.

2.5 Rensning av långa etapper i vägg respektive borttagning av undre skift i öppning

Såväl när man tar bort armering på större längder i skalmurar utan öppningar som när man rensar armering i lägen över muröppningar kan murverkets förmåga att ta upp egentygnden mellan stöden utgöra en begränsning. En viktig aspekt är därför vid hur stora längder man kan förlita sig på att murverket genom valvverkan, eller balkverkan i oarmerat tillstånd, kan överbrygga avståndet mellan de vertikala stöd som i praktiken tar upp murverkets egentygnd.

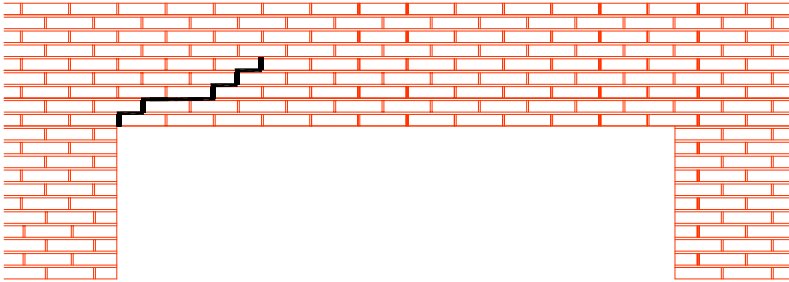
I slutänden avgörs denna fråga av murbrukets respektive teglets egenskaper och kondition samt i vilken omfattning det finns vidhäftning mellan bruk och tegel. Inte minst är vidhäftningen central i detta sammanhang.

De tidigare refererade tumreglerna avseende valvverkan för skalmurar som endast tar upp murverkets egentygnd indikerar att man bör kunna klara öppningar som är 4 gånger längre än murverkets höjd, upp till en öppningslängd av 2 meter. Praktiska erfarenheter visar att man kan klara större längder än så.

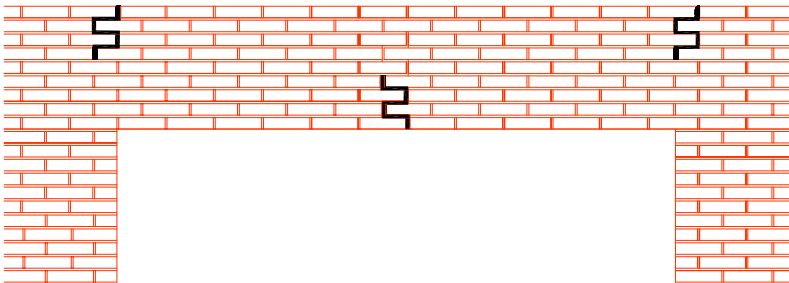
Man kan göra konstruktionsberäkningar enligt balkteori, vilket innebär att man beräknar det kvarvarande, oarmerade tvärsnittets kapacitet att ta upp böjmoment respektive tvärkraft.

Vid beräkning enligt balkteori för vertikalbelastat murverk är normalt tvärkraftskapaciteten vid stöd den begränsande faktorn. Men med tanke på vidhäftningens betydelse skulle, åtminstone i teorin, böjbrott på grund av dragspänningar kunna uppstå i underkant mellan stöden. Ett böjbrott i fält skulle troligen föregås av uppsprickning i ovankant invid respektive stöd. De båda förloppen illustreras i figurerna 2.1 och 2.2. Om denna typ av skadebild föreligger, eller uppstår under arbetet, finns det anledning att på något sätt säkra skalmuren mot ras.

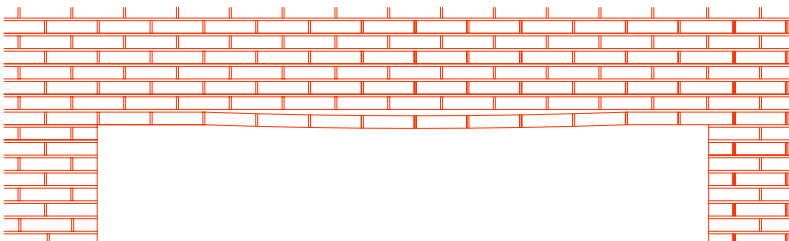
En vanligare skadebild visas schematiskt i figur 2.3; rostsprängning i armering som ligger i fog över understa skiftet har medfört att en spricka slagit upp och växt varvid det understa skiftet tryckts ned i muröppningen. När vidhäftningen helt upphört kan egentygnden av detta belasta karmöverstycket. Alternativt kan egentygnden tas upp i murverket genom att tegelstenarna med tillhörande stötfogar i skiftet under sprickan i sin övre del kilas mot varandra. Om det i denna typ av skadefall också finns sprickbildning av den typ som visas i figurerna 2.1 och 2.2 finns det anledning att säkra mot ras.



Figur 2.1. Exempel på uppsprickning på grund av hög skjuvspänning vid stöd.



Figur 2.2. Exempel på hur uppsprickning på grund av att böjspänningar enligt balkteori skulle kunna ske. Beräkning av böjmomentkapacitet i oarmerat murverk enligt denna modell förutsätter att dragspänningarna, innan uppsprickning, tas i liggfogarna, eftersom man inte kan räkna med att dragkraft i en tegelsten kan föras mellan intilliggande tegel.



Figur 2.3. Exempel på skadebild. Rostprängning har tryckt ned det understa skiftet, som kan vila på karms överstycke, alternativt bärs det understa skiftet på grund av att tegelstenarna kilas fast mot varandra. Murverket i övrigt är osprucket, egentynghden förs via valvverkan till stöden på ömse sidor.

I första utgåvan av denna handbok redovisades konstruktionsberäkningar för balkverkan avseende hur långa längder man kan ta bort armering i en fog i ett arbetsmoment vid cc-avståndet 0.45 meter mellan armerade fogar i ett murverk murat med C-bruk. Beräkningen, som baserades på de då gällande konstruktionsreglerna (BKR), visade att man då skulle klara en längd av 2.6 meter. Motsvarande beräkning enligt EKS10 och EK6 ger ett liknande resultat. Med hänsyn till de osäkerheter som finns beträffande murverkets kondition, framförallt avseende vidhäftningen, finns dock anledning att inte förlita sig alltför mycket på den typen av konstruktionsberäkningar.

Praktiska erfarenheter från genomförda fasadreparationer ger vid handen att man i stor omfattning kan räkna med att valverkan fungerar över öppningar i skalmurverk, vid öppningsmått av normal storlek i exempelvis bostadshus från de aktuella decennierna. Men det är viktigt att man är observant på murverkets kondition, inte minst vidhäftningen, i samband genomförandet. Vidare bör man vara observant på sprickbildning som finns, eller uppstår under arbetena, och som indikerar bristande bärförmåga, jämför figurerna 2.1 och 2.2. Upp till öppningsmått cirka tre meter och om murverkshöjden är minst 25 % av öppningsmåtten, bör man kunna räkna med att bärförmågan är tillräcklig, under förutsättning att murverkets kondition är god och att det finns fungerande vidhäftning. För större öppningsmått än så, eller vid tveksamheter enligt ovan, finns det anledning att vidta förstärkningsåtgärder temporärt under reparationsarbeten, se vidare behandling i kapitel 4.

2.6 Armeringens roll i vindbelastade murar

Man bör kontrollera hur vindlasten i fasader som ska åtgärdas kan tas om hand av konstruktionen. Ofta kan man förutsätta att vindlasten tas upp av bakomliggande väggstomme, och för detta fall bör man se till att det finns tillräckligt antal kramlor för att föra lasten till bakomliggande bärverk. Om inte vindlasten kan tas upp av den bakomliggande stommen kan skalmurens momentkapacitet, i oarmerat eller armerat tillstånd, utnyttjas.

Tabell 2.1 visar exempel på momentkapacitet för oarmerade skalmurar enligt EK6 och EKS10.

Momentkapacitet m_d (kNm/m)	Murtjocklek	
	87 mm	120 mm
m_{xd1}^*	0,19	0,36
m_{xd2}	0,69	1,32

* Utan egentynghdens positiva inverkan

Tabell 2.1. Exempel på momentkapaciteter m_{xd1} och m_{xd2} (kNm/m) för oarmerad tegelskalmur. Håltegel, murbruksklass M2.5, utförandeklass I, mursten kategori I, receptmurbruk.

Om en beräkning visar att momentkapaciteten i ett oarmerat murverk inte är tillräcklig, kan detta kompenseras genom att murverket armeras i liggfogarna. Den tillförda armeringen måste tillgodose hela den erforderliga momentkapaciteten i väggen, eftersom sprucket murverks böjhallfasthet är noll. Observera att om färre än tre bistål/höjdmeter placeras i liggfogarna, överskrider de tillåtna ståltöjningarna fastställda i EK6.

Momentkapacitet m_d (kNm/m)	Murtjocklek	
	87 mm	120 mm
3 bistål/höjdmeter	1,52	2,18
4 bistål/höjdmeter	1,91	2,79

Tabell 2.2. Exempel på momentkapacitet m_d , bistål för rostfri stegarmering med tvärsnittsarea 21 mm², centrumavstånd mellan stängerna i stegarmeringen 23,6 mm, karakteristisk draghållfasthet 850 MPa. Armering placerad i mitten av liggfogen i tegelmurverk med murbruksklass M2.5, utförandeklass I, mursten kategori I, receptmurbruk.

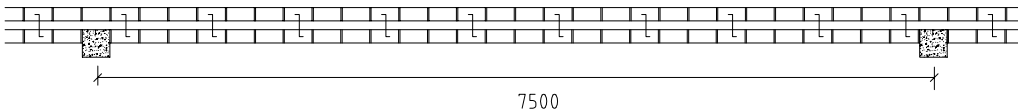
För mer ingående behandling av konstruktiv dimensionering av murverk, se Molnár & Gustavsson (2016).

Fall där armering inte kan tas bort utan att delvis ersättas av ny, är kanalmurar av ½-sten tegel i ytterväggar där dessa spänner långt mellan vertikala, avstyvande bärverk (till exempel pelare eller tvärgående väggar). Ofta torde det vara tillräckligt att återarmera endast i den yttre skalmuren lokalt i lägen utanför pelare eller tvärgående väggar.

Förutom konventionell stegformad bistålsarmering, finns särskilda stegformade bistål för renovering med bredd 18 millimeter. Vidare finns på marknaden rostfria kamstänger i diameter 6 och 8 millimeter samt spiralstänger.

EXEMPEL**Behov av ersättningsarmering i kanalmur med stabiliserande pelare**

Vi betraktar en kanalmur av två $\frac{1}{2}$ -sten (120 millimeter) tegelskal med vinden som huvudlast. Betongpelarna är infällda i bakmuren, som är förankrad i pelarna. Fasadmuren är kontinuerlig förbi betongpelarna och samverkar med både bakmur och betongpelare genom kramling. Denna typ av konstruktion förekommer ofta i idrotts- och simhallar, museer och industribyggnader.



Figur 2.4. Kanalmur med stabiliserande betongpelare enligt exempel.

Förutsättningar

Vägglängd 7.5 m, vägg höjd 10 m, murtjocklek 0.12 m

Tegelmurverk av håltegel, utförandeklass I, murstenar kategori I, receptmurbruk M2.5

Böjhållfasthet i murverk $f_{xd2} = 1.1/2.0 = 0.55$ MPa

Böjhållfasthet i murverk $f_{xd1} = 0.30/2.0 = 0.15$ MPa

Armering av bistål, egenskaper enligt tabell 2.2

Vindlast

Fasadmur och bakmur förutsätts vara ihopkopplade med kramlor, varför utvändig och invändig vindlast fördelas mellan de båda halvstensmurarna, efter styvhet. I detta fall antas fasadmur och bakmur murade med samma tegel och bruk, varför de tar vardera 50 % av vindlasten.

Karaktäristisk vindlast $q_{wk} = 0.68$ kN/m² (vindhastighet 26 m/s, terrängtyp II)

Säkerhetsklass 3

$q_{wd} = 1.5 \times 0.68 \times (0.8 + 0.3) \times 0.5 = 0.56$ kN/m²

Kontroll av bärförmågan

Moment av vindlast uppskattas med hjälp av metod i SS-EN 1996-1-1, appendix E.

Upplagsfall G, $\mu = 0.27$

$\alpha_2 = 0.046$

$$M_{Ed2} = \alpha_2 \times q_{wd} \times L^2 = 0.046 \times 0.56 \times 7.5^2 = 1.45 \text{ kNm/m (moment per höjdenhet av väggen)}$$

$$M_{Rd2} = W \times f_{xd2} = 1.0 \times 0.12^2 \times 550/6 = 1.32 \text{ kNm/m (momentkapacitet per höjdenhet av väggen)}$$

Momentet på grund av vindlast, 1.45 kNm/m, är större än momentkapaciteten, 1.32 kNm/m. Det medför att väggen måste armeras för hela vindlasten.

Armeringsbehov

Genom inläggning av tre stycken bistål per höjdenhet av väggen, det vill säga ett bistål i var fjärde liggfog, fås en momentkapacitet på 2.18 kNm/m, vilket är större än momentet av vindlast, se även tabell 2.2.

Murade väggars kapacitet för transversallast kan beräknas även med hjälp av brottlinjemetoden och finit elementmodellering. Beräkning enligt brottlinjemetoden ger i vanliga fall störst beräkningsmässig bärförmåga. För mer ingående behandling av konstruktiv dimensionering av murverk, se Molnár & Gustavsson (2016).

2.7 Uppskattning av framtida korrosionsskador

2.7.1 Bakgrund

Ett ur teknisk synpunkt riktigt alternativ i samband med fasadrenovering är att ta bort all icke korrosionsskyddad armering, vilket i grunden eliminerar risken för framtida korrosionsrelaterade skador. Åtgärden är dock arbetskrävande och dyr. I många fall finns därför intresse för mer differentierade åtgärder, till exempel för att enbart ta bort armering som redan har orsakat korrosionsskador tillsammans med armering som förväntas leda till korrosionsskador inom en definierad framtid, till exempel inom en period på 10–20 år.

Frågan om differentierad renovering av murade fasader med korrosionsskador undersöktes inom forsknings- och utvecklingsprojekten "Kravdriven renovering av flerbostadshus byggda 1950–1975" och "Uppgradering av den befintliga bebyggelsens energiprestanda – med inriktning på klimatskalet i rekordårens flerbostadshus" som genomfördes vid Lunds tekniska högskola

mellan 2012–2016. Resultaten från dessa projekt har redovisats i vetenskapliga och populärvetenskapliga artiklar, se Larsson & Molnár (2014-1), Larsson & Molnár (2014-2) och Molnár & Larsson (2016).

2.7.2 Skalmurar

En undersökning av cirka 50 år gamla skalmurar på studentbostadsområdet Vildanden i Lund visade att endast 30–50 procent av armeringens tvärsnitt fanns kvar. Någon skillnad mellan yttre och inre armering kunde inte konstateras. Detta senare fynd från Vildanden bekräftas av datorsimuleringar som visar att fukt- och temperaturförhållandena i skalmurar skapar snarlika förutsättningar för korrosion i yttre och inre armeringsstång.

En inventering av sprickförekomsten i fönsterbalkar på Vildanden gav en skadefrekvens på mellan 80–100 procent. Alla fönsteröppningar åtgärdades, varvid både yttre och inre armering togs bort och ersattes av prefabricerade murstensskift. All armeringen togs bort även från murpartier mellan öppningar.

När skadefrekvensen hos fönsterbalkar i en fasad är i närheten av 80 procent, förefaller renovering av alla fönsterbalkar vara en lämplig åtgärd. Vid väsentligt lägre skadefrekvens kan det vara motiverat att begränsa åtgärden till de skadade fönsterbalkarna. I det senare fallet kan även ännu inte uppspruckna fönsterbalkar åtgärdas om dessa bedöms vara lika utsatta för korrosionsskador som de redan skadade fönsterbalkarna. Till exempel kan det vara rationellt att åtgärda alla fönsterbalkar på samma våningsplan, eftersom utsattheten för slagregn ofta är ungefär densamma.

I avsnitt 2.7.3 presenteras en metod som kan användas för att uppskatta korrosionsskadornas framtida utveckling.

2.7.3 Fullmurar

Undersökningar av 50–70 år gamla 1½-stens fullmursfasader i sydvästra Skåne har visat att skadefrekvensen vid murskift ovan öppningar med liggfogsarmering ofta är mellan 20–60 procent, se Molnár & Larsson (2016). Denna skadefrekvens är betydligt lägre än den som konstaterades i lika gamla eller nyare skalmurar från samma region, se avsnitt 1.4 och 2.7.1.

Den lägre skadefrekvensen i fullmursfasader förklaras av den lägre korrosionshastigheten i den här typen av murar jämfört med ½-stens murar. Den lägre korrosionshastigheten beror på att

fullmurar är torrare än $\frac{1}{2}$ -stens murar, vilket förklaras av värmetillförseln från den uppvärmda innemiljön. Ytterligare en förklaring kan vara den mer begränsade syretillförseln i fullmurar.

Fullmursfasader med 1 $\frac{1}{2}$ -stens tjocklek består ofta av ett yttre, $\frac{1}{2}$ -stens, skikt av fasadtegel som med hjälp av koppstenar har murats ihop med ett inre, 1-stens tjockt, skikt av murtegel, det vill säga tegel som inte bränts så hårt att det kan utgöra yttersta skikt i fasaden. Ovanför fönsteröppningar har armering placerats i både det yttre och det inre skiktet. Det är dock nästan uteslutande i det yttre $\frac{1}{2}$ -stensskiktet som korrosionsrelaterad sprickbildning förekommer.

Det yttre $\frac{1}{2}$ -stensskiktet innehåller normalt två armeringsstänger men antalet stänger kan variera mellan ett och tre. Korroderande armerings sprängverkan ökar med antalet stänger. Det har konstaterats att sprickfrekvensen i murskift med en enda armeringsstång är betydligt lägre än sprickfrekvensen i murskift med två armeringsstänger. Sprängverkan från en armeringsstång förväntas avta med ökande avstånd från fasadytan.

Inom forskningsprojekten som har nämnts i avsnitt 2.7.1, har en metod för uppskattning av den framtida sprickbildningen utvecklats. Metoden kan användas vid beslut om huruvida armering kan lämnas kvar i en fasad utan att det leder till uppsprickning inom en bestämd tidsperiod.

I följande stycken beskrivs metoden översiktligt – för en mer detaljerad beskrivning hänvisas till Molnár & Larsson (2016). Metoden bedöms vara intressant vid renovering av större byggnader där korrosionsrelaterade sprickor har konstaterats men där skadefrekvensen i murskift ovan öppningar fortfarande är under 50 procent.

Metoden för uppskattning av den framtida sprickbildningen består av följande moment:

Liggfogsarmering tas ut från spruckna och ospruckna murskift.

Armeringen rengörs så att korrosionsdjupet kan bestämmas.

Korrosionsdjupet som orsakar sprickbildning uppskattas.

Korrosionsutvecklingen uppskattas med hjälp av datorsimulering av fukt- och värmetillståndet i berörda fasader.

Tiden tills armeringskorrosionen i olika fasaddelar uppnår kritiska nivåer uppskattas med hjälp av information framtagen under moment 3 och 4.

Metoden är förhållandevis arbetskrävande och moment 3–5 förutsätter arbetsinsatser från specialister inom byggnadsfysik.

Merkostnaderna kan dock vara motiverade om beställaren vill anpassa fasadrenoveringens omfattning till åtgärder mot existerande korrosionsskador och framtida korrosionsskador som förväntas kunna inträffa inom en given tidsperiod.

En vanlig fråga i renoveringssammanhang är huruvida det är lämpligt att enbart ta bort det yttre armeringsjärnet från fasadskiktet i en 1 ½-stens fullmursfasad utan förhöjd risk för framtida sprickbildning. Frågan aktualiseras av de tekniska svårigheter och höga kostnader som borttagning av armeringsjärn som sitter längre in från fasadytan ofta innebär.

För närvarande finns inte erfarenheter av vilka skaderisker som uppstår när djupt sittande korroderande armeringsstänger, ofta placerade mellan 80–100 mm från fasadytan, lämnas kvar i samband med fasadrenoveringar. Från undersökningar genomförda i samband med renoveringen av V-husets fasader vid Lunds tekniska högskola i Lund finns indikationer på att sprängverkan från ett enda djupt sittande armeringsjärn (i det aktuella fallet i genomsnitt 60 mm från fasadytan) är betydligt lägre än från två armeringsstänger. Det är därför rimligt att anta att sprängverkan från en korroderande armeringsstång som sitter ännu djupare, vilket normalt är fallet med det inre armeringsjärnet i fasadskiktet i en 1 ½-stens fullmursfasad, är ännu lägre.

Med stöd i redogjorda erfarenheter och observationer kan kvarlämning av det inre armeringsjärnet i 1 ½-stens fullmurars fasadskikt vara ett renoveringsalternativ med begränsad risk för framtida korrosionsskador. Under gynnsamma omständigheter - till exempel vid god samverkan mellan en 1 ½-stens fullmurs yttre och inre skikt samt hög vidhäftning mellan murbruket och teglet i liggfogen som innehåller den kvarlämnade armeringsstången - kan sprickbildningen helt utebli. Framtida forskning och erfarenheter från fler studieobjekt kommer förhoppningsvis att tillföra mer kunskap om vilka risker den här typen av fasadrenovering innebär.

2.8 Förfrågningsunderlag

Vid upphandling av renoveringsarbete på generalentreprenad bör förfrågningsunderlaget omfatta följande handlingar:

- Fasadritningar
- Byggsnitt, sektion av yttervägg
- Byggnadsbeskrivning
- Administrativa föreskrifter.

Fasadritningarna ska ge en allmän orientering om projektets läge och specificera dess omfattning.

Byggsnittet ska redovisa hur förstärknings- och renoveringsåtgärder utförs.

I byggnadsbeskrivningen redovisas renoveringsåtgärderna i text och övriga specifikationer som gäller klargörs.

De administrativa föreskrifterna ("Af-delen") reglerar affärsförbindelsen mellan beställaren (byggherren) och entreprenören.

Vid upphandling på totalentreprenad kan byggsnitt och detaljerad beskrivning utgå och ersättas av en ramhandling där tekniska funktionskrav och krav på gestaltningshänsyn förs in. I totalentreprenader kan vidare byggsnitt och beskrivning tas fram av totalentreprenören.

Reparationsarbeten av tegelfasader med korrosionsskador är ofta komplicerade att genomföra och ställer stora krav på erfarenhet och kunskap om murverkskonstruktioner. Ofta finns det en hantverksbaserad kunskap hos entreprenörer som det är värdefullt att ta tillvara, se bilderna 2.2 och 2.3. Vid upphandling som generalentreprenad, eller liknande utförandeentreprenad, kan beställaren därför hålla dörren öppen för alternativa lösningar och arbetsmetoder som föreslås från entreprenörernas sida.

I förfrågningsunderlaget bör det framgå att ansvaret för att ta fram arbetsmiljöplan och att svara för säkerheten under arbetet åvilar entreprenören. Samtidigt är det viktigt att de som projekterar klargör för entreprenören vilka förutsättningar som gäller för stabilitet och bärförmåga i det aktuella fallet. Projektörerna måste därför tillhandahålla det underlag i form av ritningar, beskrivningar, föreskrifter och redogörelser för tekniska förhållanden som är för handen och som krävs för att entreprenören ska kunna garantera arbetsmiljön vid entreprenadarbetet.

Det är också lämpligt att projektörerna ges möjlighet att medverka i genomförandefasen. Därigenom kan den kunskap som dessa arbetat fram om projektet tas tillvara vid det praktiska genomförandet, säkerhets- och kvalitetsfrågorna tillföras viktig kompetens och erfarenhetsåterföring säkras för kommande projekt.



Bild 2.2. Reparation av murverk över fönster, utfört genom ommurning och med utnyttjande av valvverkan. Befintliga och nya tegel blandades vid återmurningen. Foto: Frej Josefsson, Morneon Fasad AB.



Bild 2.3. Samma fönsterbalk som i bild 2.2, utan markering i tegelstenar. Foto: Frej Josefsson, Morneon Fasad AB.

2.9 Gestaltningsmässiga krav

Utöver rena tekniska krav är det av största vikt att projekteringsunderlaget också innefattar krav på gestaltningsmässiga aspekter. Förutom adekvata val av tegel och murbruk innefattar detta framförallt krav på att lagningarna utförs med hantverksmässig omsorg. Dessa frågor behandlas i kapitel 3 och 4.

3. Beställarens krav – teknisk funktion och gestaltungsaspekter

3.1 Tekniska krav

De fasader där man idag har problem med rostande armering och/eller kramling är i allmänhet mellan cirka 45 och 75 år gamla. Det är en lämplig målsättning att man efter reparationsåtgärder siktar på att de ska klara sig minst 50 år till.

I samband med reparationsarbeten bör följande krav tillgodoses:

- Skalmurars förankring i bakomliggande byggnadsstomme säkras.
- Icke rostskyddad armering avlägsnas. För det fall att man överväger att inte ta bort all icke rostfri armering, se avsnitt 2.6.
- Frost- och rostskadade tegelstenar byts ut.
- Skadade fogar återställs.
- Där armering krävs för att murverket ska kunna ta upp aktuella vindlaster och egentyngd från ovanliggande murverk ska ny, rostfri armering läggas in.
- Arbetsmiljön säkras så att risk för ras i samband med arbetena elimineras.

3.2 Gestaltungs-mässiga krav – vägar till det goda hantverket

3.2.1 Reparation på grund av korrosionsskador i armering

Fastighetsbeståndet från efterkrigstiden har än så länge inte uppmärksamrats i särskilt stor omfattning när det gäller arkitektonis-

ka, antikvariska och byggnadshistoriska värden. Men man kan räkna med att dessa byggnader kommer att bli föremål för ett större intresse i framtiden. Hantverket kring såväl tegeltillverkning och framställning av murbruk som murning var väl utvecklat under den aktuella perioden. Detta präglar idag fasaderna i stor omfattning. Och, förutom att byggnader från den aktuella perioden kan komma att omfattas av formella föreskrifter ur byggnadsantikvarisk synpunkt, finns det kvaliteter i många av dessa fastigheter som är värda att tas tillvara ur fastighetsägarnas, nyttjarnas och samhällets perspektiv. Mer om arkitektoniska och hantverksbaserade kvaliteter i fasader från efterkrigstiden behandlas av Tägil med flera (2011).

I samband med att reparationsarbeten för tegelfasader med korrosionsskador i armering projekteras bör man därför identifiera de gestaltningsmässigt väsentliga aspekter som präglar muret. De normalt viktigaste faktorerna att beakta är i detta sammanhang:

- tegeltyp
- ytstruktur hos tegelstenarna
- tegelformat
- graden av variation i kulör och mått i befintligt tegel
- fogtjocklek för ligg- respektive stötfogar
- fogbrukstyp
- fogutformning
- fogningsteknik, verktyg som använts vid avslutande fogstrykning
- förband eller mönster man murat med
- detaljutformningar som kan vara speciella för fasaden.

Det är viktigt att vara klar över att det här handlar om att identifiera kvaliteter som kan finnas i muret och i fasaden. Variationerna i denna typ av byggande är betydande och därför bör man vara observant på att även andra egenskaper än här nämnda kan vara väsentliga för en specifik fasad.

Ofta ägnas val av ersättningstegel det dominerande intresset, men för det slutliga resultatet kan val av fog, fogbruk och det hantverksmässiga utförandet vara lika viktigt.

Målsättningen ur gestaltningsynpunkt måste vara att de utförda ingreppen märks så lite som möjligt. Det ställer krav på val av ersättningstegel, murbruk och hantverksmetoder.

I många fall, kanske till och med normalfall, kan det betraktas som omöjligt att göra lagningar som blir helt osynliga. Men det är ofta inte heller nödvändigt, det kan få lov att synas att lagning gjorts. Om bästa möjliga materialval gjorts och en reparation ut-

förts med hantverksmässig skicklighet och omsorg kan det visa att man värnar och vårdar byggnaden - en lagning gjord med gott hantverk och omsorg kan bidra till en byggnads patina. Men tegelfasader från efterkrigstiden är känsligare för avvikande lagningar än äldre fullmurar, se vidare diskussion i Modernismens tegelfasader, Tägil med flera (2011).

Fördel om befintligt tegel kan rensas och återanvändas

Den ofta svåraste frågan är att välja ersättningstegel. Om det är möjligt att använda sig av stenar som plockats bort ur muren bör förstås den möjligheten prövas i första hand. Nya prefabricerade murstensskift kan då tillverkas av befintligt tegel alternativt att man renoverar det första skiftet (eller eventuellt flera skift) över öppningar genom att ta bort rostande armering, bibehåller teglet och förankrar de understa skiften vertikalt, en metod som redovisas i avsnitt 4.2.

Det kan dock vara vanskligt att rensa tegel som murats med KC-bruk, vilket vanligen användes till skalmurar under efterkrigstiden. Inte minst hårdbrända tegelsorter murades normalt med hög cementhalt i bruket, vilket medför att fogbruket idag är besvärligt att ta bort.

Återanvändning av befintligt tegel är endast aktuellt om armeringen har lagts i liggfogarna. För de fall man använt prefabricerade murstensskift med ingjuten armering, vilket kan förekomma i murverk från slutet av 1950-talet och framåt, kan man inte räkna med att återanvända teglet. Rostsprängning i betongen har ofta förstört teglet och ingjutningen omöjliggör också i praktiken återanvändning.

Val av ersättningstegel

Målsättningen vid val av ersättningstegel bör i normalfallet vara att hitta sten som ligger så nära originalet som möjligt. Förutom formatet, som bör vara identiskt, gäller det att färg och ytstruktur ligger nära originalet. Men det handlar också om att de variationer som finns i teglet, avseende såväl färg som form och ytstruktur, överensstämmer med det ursprungliga. Praktiska erfarenheter visar att det kan vara fördelaktigt att testa och provmura flera olika tegelsorter och utvärdera skillnaderna.

Under perioden 1940–1970 fanns det i Sverige ett stort utbud av tegel med varierande utseende och struktur. Det mesta strängpressades, men också maskin- och handslagning förekom. Trots att mycket strängpressades var variationerna i form och färg

i stenarna betydande. Sammantaget innebär det att det kan vara svårt att hitta bra ersättningstegel. Det finns idag, och sannolikt ännu mer accentuerat framöver, behov av mindre serier, speciellt framtagna ersättningstegel. Kanske skulle detta kunna utvecklas till en intressant marknad för producentsidan, med tanke på att det finns ett stort framtida renoveringsbehov.

Hur olika val av ersättningstegel, murbruk och hantverksmetoder med mera inverkar vid renoveringsarbeten studerades i provmurar som utfördes vid Göteborgs Universitet, Institutionen för Kulturvård, Mariestad (tidigare Hantverksskolan Dacapo) av Kristina Bergkvist, 2007. Arbetena refereras i Modernismens tegelfasader, Tägil med flera (2011). För en utförligare behandling av frågan hänvisas till sistnämnda publikation.

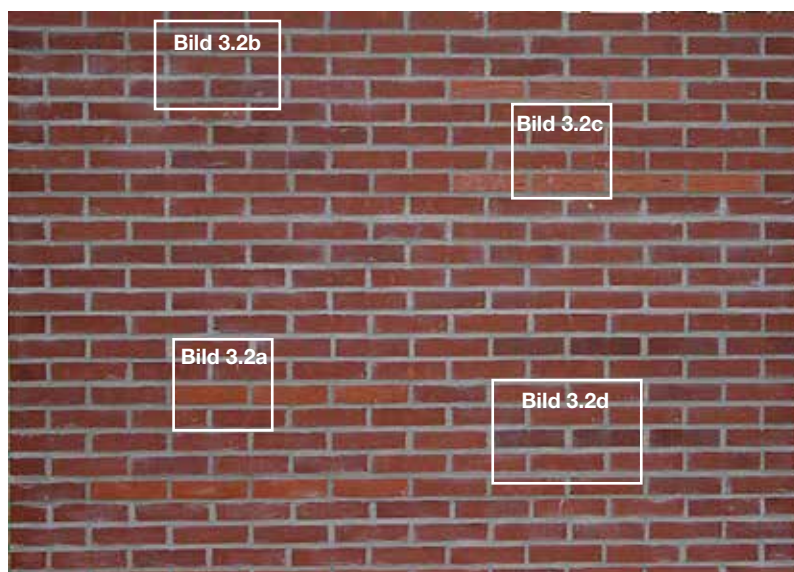


Bild 3.1. Provmur uppförd vid Hantverkslaboratoriet, Mariestad (Institutionen för Kulturvård, Göteborgs Universitet). Muren är huvudsakligen uppförd med ett rött borstat tegel. I murverket har murats in ett mindre antal tegel med avvikande ytstruktur och med liknande respektive avvikande kulör, se närbilder nedan. Från Modernismens tegelfasader, Tägil med flera (2011), provmurning och foto: Kristina Bergkvist.

Man bör vid fasadrenoveringar vara observant på att det är helhetsintrycket som är väsentligt för hur man kommer att uppfatta lagningen. I detta inverkar såväl färg och form som ytstruktur och den variation i dessa egenskaper som är karakteristiskt för murverket. Att exempelvis välja en sten som har samma borstade ytstruktur som originalmurverket kan vara mindre lyckat om vari-

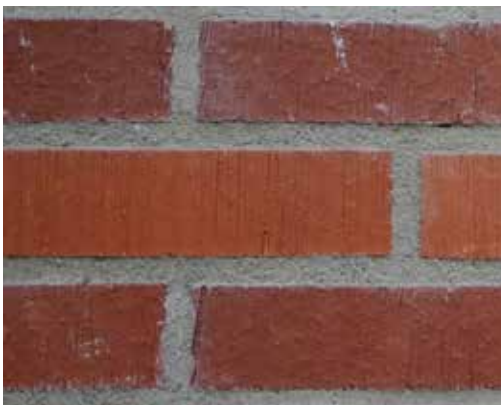


Bild 3.2a. Närbild, från samma mur som bild 3.1, inmurning av tegel med samma ytstruktur (borstat), men ljusare kulör (andra skiftet nedifrån).



Bild 3.2b. Närbild, från samma mur som bild 3.1, inmurning av spånat tegel (andra skiftet nedifrån) med något mörkare kulör, i mur med borstad yta.



Bild 3.2c. Närbild, från samma mur som bild 3.1, inmurning av tegel med valsad ytstruktur och ljusare kulör i mur med borstad yta.



Bild 3.2d. Närbild, från samma mur som bild 3.1, inmurning av räfflat tegel med mörkare kulör, i mur med borstad yta.

ationerna i till exempel färg och/eller form inte finns. I ett sådant fall skulle det kanske till och med kunna vara fördelaktigare att välja ett maskinslaget tegel som har variation i paritet med det ursprungliga murverket, även om ytstrukturen inte överensstämmer. Det kan också ligga en fara i att se för mycket till aspekten att ligga nära det befintliga teglets färg. Om färgen på ersättnings teglet helt saknar variationer kan det vara fördelaktigare att välja ett tegel som avviker något färgmässigt men vars formvariationer bättre överensstämmer med originalet.

Under perioden 1940–1975 fanns det som nämnts ovan ett stort antal tegelbruk i Sverige, även om antalet successivt minskade. Idag finns det i landet kvar ett tegelbruk som tillverkar fasadtegel i industriell produktion, och två små där tillverkning sker

mer hantverksmässigt. Men, förutom att vi faktiskt har ett större tegelbruk kvar i produktion, vars tegel visat sig kunna vara bra val för reparationer idag, finns också möjligheter att få fram tegel i svenskt format från danska tegelbruk. Vidare finns det normalformat i andra länder, till exempel Tyskland, som är mycket nära svenskt normalformat. Exempelvis kan mindre avvikelse i höjd (någon/några millimeter) vara acceptabelt om man endast byter ut ett eller några skift. Så erfarenheterna under senare år visar ändå att det är mycket viktigt att leta fram bästa möjliga val av ersättningstegel.

Möjligheterna att ta fram specialtillverkade tegel bör inte heller helt uteslutas, det finns tegelbruk som erbjuder detta. Styckepriset per tegel kan bli högt, men det kan vara motiverat för en beställare med tanke på hur viktig fasaden är för en byggnad, såväl upplevelsemässigt som med tanke på fastighetsvärdet.

Det kan också finnas möjligheter att få fram passande tegel från återbruksdepåer, framförallt om det handlar om mindre kvantiteter, vilket är normalfall i denna typ av reparationer.

- Marknaden inventeras på tänkbara ersättningstegel.
- Om inte lämpligt ersättningstegel hittas undersöks möjligheterna att ta fram specialtillverkade tegelsorter.
- Avvikelser i kulör syns enligt praktiska erfarenheter betydligt tydligare vid val av ljusare kulör än om man väljer ett tegel som är mörkare än befintligt murverk. Om man inte kan få fram exakt tegelkulör bör man därför hellre välja ett tegel som är mörkare än originalet.
- I *Undvik misstag i murat och putsat byggande*, utgåva 2 (2016) och Bjarnadóttir Madsen (2009) beskrivs en metod för att visualisera val av ersättningstegel i en mur vid reparationer med hjälp av AutoCad och fotografier.
- Slutligt val av ersättningstegel görs genom praktisk jämförelse på plats, gärna efter provmurning.

Val av fogningsbruk och fogtyp

Under perioden 1940–1970 användes vanligtvis KC-bruk eller murcementbruk ("Gullex"). Bruket betecknades efter volymandelar. Den äldre beteckningen KC 2:1:12 betyder 2 delar kalk, 1 del cement och 12 delar sand, allt räknat i volymdelar. En annan från tiden förekommande beteckning på samma bruk är KC 21/4, som innebär 2 delar kalk, 1 del cement och 4 delar sand på en del bindemedel, allt också räknat efter volym.

För att underlätta valet av murbruk kan en professionell bedömning göras av brukets sammansättning och hållfasthet. Bruksleverantörer brukar vara beredda att hjälpa till med detta. Vid behov av mer ingående undersökning kan även en kemisk analys och tunnslipsanalys göras. I det senare fallet undersöks bruket i mikroskop, varvid innehåll av kalk, cement, ballast, luft och andra tillsatser slås fast. Med hjälp av denna information kan murbruk med lämpliga egenskaper tas fram av murbrukstillverkare.

Praktiska erfarenheter och provmurningar visar att överensstämmelse mellan fogarna i de lagade partierna och omgivande murverk är minst lika viktigt som att teglet har liknande utseende. Ofta till och med viktigare – om inte ett identiskt tegel kan fås fram kan en fog som överensstämmer vara det som visuellt binder ihop lagningen med omgivande originalmurverk.

Under de här aktuella årtiondena utfördes ofta murverk med efterfogning. Det vill säga, vid murningen kratsades fogen ur cirka 20–25 mm varefter fogningen utfördes som ett separat moment. Emellanåt användes pigmenterat bruk vid efterfogning. För att åstadkomma acceptabla lagningar i sådana fall kan man naturligtvis göra motsvarande idag.

En vanligt förekommande fogtyp var att liggfogar var något tryckta i ovankant och i liv med teglet i underkant. Detta var från början en följd av att fogningen utfördes ”överhand”, det vill säga man stod på bjälklaget vid murningen, inte på utvändig ställning och fogströk med arbetsställning böjd över muren. Men den relief som erhöles blev också något som arkitekter i många fall eftersträvade.

I murverk som fogats med opigmenterat bruk passar erfarenhetsmässigt idag ofta konventionella KC-bruk i bruksklass M1 (C-bruk), eller murcementbruk (”Gullex”) om murverket murats med sistnämnda brukstyp.

Brukets ljushet i hårdnat tillstånd avgörs i stor omfattning av hur lång tid som gått mellan när det tryckts in i fogen och den avslutande fogbehandlingen, se nedan under rubriken Hantverksmässig omsorg vid utförandet.

Avgörande för hur tät mot fuktpåverkan fogen blir och dess frostresistens, förutom brukets materialegenskaper, är att bruket komprimeras väl vid applicering och att det är anpassat till teglets sugförmåga. För starkt respektive svagt sugande tegel kan erfordras murbruk med anpassade egenskaper för att tillräcklig vidhäftning ska erhållas. För normalsugande tegel (med minutsugning mellan 1–2.9 kg/m², min) är vidhäftningen mot tegelytor sällan

problem, för svagt respektive starkt sugande tegel finns anledning att kontrollera att bruket har rätt egenskaper – korrigering med tillsatser kan erfordras.

Genom att foga om hela fasadytan kan man komma ifrån avvikelser i fogkulör. Mot detta alternativ talar ofta att generell omfogning i de flesta fasader från efterkrigstiden ännu inte är nödvändig ur teknisk synvinkel, och att befintliga fogar kan ha en patina som man vill behålla.

- Murbruk med samma innehåll som ursprungligt eftersträvas, om inte brister kan konstateras i befintligt murverk.
- Brukssammansättning väljs normalt med samma proportioner mellan ingående material som i originalbruket.
- Sand väljs om möjligt med likartad gradering som ursprungligt. I en del fasader finns fogar med ballast som kan ge mycket karaktéristiskt utseende, framförallt när finare material i fogen eroderats bort. Detta kan gå att efterlikna genom inblandning av liknande ballastkorn i fogningsbruket.
- Brukskulör väljs så att det överensstämmer i görlig mån med fogarna idag, det vill säga i patinerat tillstånd. Om man vid fasadrenoveringen genomför fasadtvätt eftersträvas kulör i tvättat tillstånd.
- Fogtyp, till exempel slät, tryckt eller utskrapad föreskrivs lika befintligt murverk.
- Fogmått, det vill säga höjd på liggfogar och bredd på stötfogar, sätts lika befintligt murverk.

Användning av fogsprutor eller traditionellt hantverk vid inmurningen?

I traditionellt hantverk utförs omfogning genom att murbruk läggs upp på ett verktyg, murarslev eller brätte, varefter det i små portioner trycks in i den urkratsade fogen (som kratsats ur cirka 1.5–2 gånger fogtjockleken samt därefter rengjorts och rensats från bruksrester) med ett stålverktyg, en stålslev. I arbetet ska fogen komprimeras med stålsleven så att fogbruket trycks ordentligt mot och arbetas ihop med innanför liggande fogbruk, så att det inte bara bildar en lös, utanpåliggande kaka. Som avslutning bearbetas fogen genom fogstrykning med en fogpinne av trä, om man eftersträvar en rå yta, eller ett stålverktyg om man vill ha en slät yta.

Under senare år har man tagit fram fogsprutor som maskinellt fyller på bruk i fogarna, som använts i en del renoveringsarbeten.

Risken med fogsprutor är att man använder bruk med för lös konsistens och att komprimering av fogen inte utförts effektivt. En annan nackdel med fogsprutor är att det är svårt att få det överskott av bruk som bör finnas vid avslutande fogstrykning utan att bruk tränger ut på tegelytorna vid sidan av fogen. I projekt där fogsprutor används är det därför särskilt viktigt att dessa kan hantera bruk med samma konsistens som används vid fogning för hand, att bruket komprimeras väl och att man i byggskedet kontrollerar utförandet.

Prefabricerade murstensskift över muröppningar

I samband med tillverkning och inmurning av prefabricerade murstensskift är det viktigt att dessa anpassas till det befintliga murverket.

- Muröppning där man ska lägga in prefabricerade murstensskift ritas upp och måttsätts.
- Murförband i skiftet anges.
- Bredd på stötfogar specificeras.
- Det prefabricerade skiftet passas in så att liggfogen får samma höjd längs hela öppningsbredden.
- För att säkerställa vidhäftningen och undvika horisontell sprickbildning mellan ovanliggande murverk och det prefabricerade murstensskiftet kan detta slammas med en cementrik slamma.
- Om inte längd på alla prefabricerade murstensskift som ska sättas in mäts upp och specificeras individuellt bör dom tillverkas med någon stens övermått, så att tillpassning kan ske genom att man kapar skiftet på ömse sidor. Därigenom undviks avvikande stora stötfogar och alltför korta tegelbitar mellan det prefabricerade skiftet och omgivande murverk.

Förband

När man river murverksdelar är det viktigt vid återmurning att arbetet utförs enligt de geometriska förhållanden som man ursprungligen murat med:

- Förbands- eller mönstermurning föreskrivs lika befintligt murverk.
- Prefabricerade murstensskift utformas och placeras in så att stötfogar inte linjerar med fogar i ovanliggande skift

Hantverksmässig omsorg vid utförandet – avgörande för slutresultatet

Som framgått ovan är det väsentligt att använda tegel och murbruk som passar in i det aktuella murverket. Men arbetstekniken vid murning och fogning är också väsentlig för slutresultatet.

Exempelvis kan man välja bruk för fogning med stor noggrannhet. Men tidpunkten för fogstrykning avgör ändå i mycket stor omfattning ljusheten på det hårdnade bruket. När färskt bruk och tegel sätts ihop inleds en reaktion som medför att hållfastheten börjar växa till. Om den slutliga fogstrykningen görs i ett tidigt skede får man fram mycket bindemedel och finmaterial i ytan, vilket resulterar i en påfallande ljus och slät fog. Om man avvaktar lite längre hinner hållfastheten växa till och denna effekt uteblir, fogen blir betydligt mörkare. Processen är komplex, förutom brukets egenskaper inverkar hur starkt teglet suger till sig vatten och, inte minst, den aktuella temperaturen. Det gäller för hantverkaren att läsa situationen och anpassa hantverket till rådande förhållanden. Praktiska erfarenheter visar att murare kan vara skickliga på detta.

Också för murbruket gäller normalt, liksom vid val av ersättnings tegel, att om man får ljusare fogar än originalet syns avvikelser betydligt tydligare än om man i de omfogade delarna erhåller mörkare fog.

Fogbruket i orörda delar av fasaderna har i ytan vanligen eroderats på cementpasta och fogningen i de ommurade delarna bör då utföras på sätt som gör att murbrukets yta inte blir för slätt. Fogstrykning med träverktyg kan då vara lämpligt, och att man borstar av fogen med en mjuk borste efter fogstrykning. Borsten bör föras diagonalt, inte horisontellt.

Det förekommer även att fogstrykning från början utförts med stålverktyg. Detta har resulterat i en ljus och slät fog, vilket kan innebära att man i sådana fall bör välja fogverktyg av stål vid reparation idag.

Vid "överhandsfogning" användes ofta en tegelbit som verktyg, och det kan vara lämpligt att använda samma metodik vid reparationer.

Om helt slät fog ska åstadkommas bör murbruket dras av någon millimeter utanför tegellivet. Alternativt kan muraren vid inmurning av tegel åstadkomma ett överskott av bruk i fogen genom att lägga på mer bruk och att avsluta inmurningen med ett lätt tryck på teglet. Den släta fogen åstadkoms därefter genom att fogverktyget hålls något snett vid fogningen, eller att man använ-

der ett fogverktyg som är något bredare än fogen, så att det ligger an mot teglet på fogens både över- och undersida. Men det är normalt viktigt att bruket inte tränger ut på teglet så att resultatet blir en avvikande tjock fog.

Om den släta fogen verkligen blir slät på avsett sätt, så att fogbruket livar med teglet i både över- och underkant, upplevs fasaden som ljusare.

Om fogverktyget hålls helt horisontellt blir fogen något tryckt i såväl över- som underkant. Särskilt accentuerat blir detta om inte fogbruket dragits av någon millimeter utanför tegellivet. Fogen blir då en aning tryckt utan att det är meningen. Detta utförande bör undvikas vid såväl renovering som nyproduktion, eftersom det normalt resulterar i att murverket ser ut att vara slarvigt murat. Om det murverk som ska renoveras är fogat enligt denna teknik bör undantag dock naturligtvis göras.

- Fogningsverktyg av metall ger en blankare, mer tillsluten och ljusare yta i fogen.
- Fogpinne av trä ger en råare och öppnare yta, med mindre mängd synlig bindemedelspasta, och är normalt att föredra.
- Om helt slät fog eftersträvas ska fogverktyget föras så att det ligger an mot såväl ovan- som underliggande tegelkant, och med visst överskott av bruk i fogen innan fogstrykning.
- Vid arbetet tillses att fasader inte i onödan fläckas ned av bruksrester. Efter lagning rengörs fasaderna.

En fråga som kan vara aktuell i samband med fasadreparationer, och ha betydelse för val av material och hantverk, är om man samtidigt utför fasadtvätt. I många fall uppskattas den patina som kom-



Bild 3.3



Bild 3.4

I bild 3.3 har en helt slät fog utförts, genom att fogpinnen (av trä) hållits något snett, så att den legat an mot tegel både över och under fogen. I bild 3.4 har fogpinnen hållits helt horisontellt. Efter inplacering i läge hade stenen tryckts till så att fogbruket pyst ut någon millimeter utanför tegellivet innan fogningen utfördes. Foto: Kristina Bergkvist.

mer med åren i tegelfasader. Men genom att utföra fasadtvätt kan också tidigare oanade nyanser komma i dagen, och det kan också underlätta att hitta ersättningstegel. Framförallt kan det vara problematiskt att hitta lämpliga gula tegelsorter i starkt nedsmutsade fasader som ersättningstegel, och fasadtvätt kan underlätta detta.

3.2.2 Tilläggskramling

När korroderande armering i tegelmurverk åtgärdas är gestaltungsfrågorna särskilt väsentliga, eftersom ingreppen är relativt stora. Rivning och ommurning görs ofta i anslutning till fönster- och dörröppningar, varför de kan bli särskilt iögonfallande.

Gestaltungsfrågorna är inte lika centrala när man behöver förstärka horisontalförankringen. De ingrepp som krävs ska i normalfall gå att begränsa till att några centimeters längd av fogarna fräses ur, eller att hål borrar upp i fog alternativt tegel, varefter man fyller igen med bruk. Om man sätter tre till fyra kramlor/kvadratmeter kan möjligen uppborrade hål i tegel bli problematiskt med tanke på utseendenaspekter. Hål i tegel kan tätas igen med bruk, och det har förekommit att man blandat in borrester i detta för att undvika avvikande utseende. Men det torde vara en öppen fråga hur den typen av lagningar kommer att motstå tidens tand.

Bruksklass M2.5 (B-bruk) bör användas för att förankra kramlorna om dessa sätts i fogar, där man fräser ur en slits. Fogbruket ska väljas så att det ansluter så nära som möjligt till befintlig fogkulör, för att fasaden inte ska se fläckig ut. De ifyllda fogpartierna utförs med samma fogtyp som övriga delar av murverket. Rengöring utförs efter arbetet så att fasaden är fri från bruksrester efter förstärkningsåtgärderna.

4. Reparationsmetoder

I detta kapitel presenteras och utvärderas reparationsåtgärder för en ½-stens tegelfasad med korroderande armering, som bygger på att hela eller större delen av fogen och all armering tas bort. Därefter fylls fogen med murbruk. I vissa fall krävs det att armeringen ersätts, vanligen i lägen över öppningar och i kanalmurar med stort avstånd mellan de avstyvande konstruktionerna. Vidare ges också information om hur befintlig korrosionsskadad kramling ersätts med ny. Armering och kramling som ersätter gammal ska vara av rostfritt stål respektive rostfritt syrafast stål för att undvika problem i framtiden. Metoderna som beskrivs är även tillämpbara för fullmurar med tjockleken 1-sten och bredare. I många hänseenden är renovering av denna typ av vägg väsentligt mycket enklare, och redovisas inte i denna bok.

I de efterföljande avsnitten presenteras förslag på hur reparationsarbeten för korrosionsskadade ½-stens tegelfasader kan utföras. Följande fyra typfall behandlas:

- Korrosionsskadad armering i fasadpartier utan öppningar.
- Korrosionsskadad armering i fasadpartier över öppningar.
- Korrosionsskadad armering i murpelare mellan muröppningar.
- Förstärkning av horisontalstabilisering genom tilläggs kramling.

4.1 Korrosionsskadad armering i fasadpartier utan muröppningar

Vid denna typ av reparationsarbeten finns ett antal frågeställningar som måste hanteras såsom:

Fråga: Hur lång del av en fog är det möjligt att ta bort åt gången utan att ras från ovanliggande murverk riskeras?

Svar: Detta är beroende av bland annat vilket murbruk som använts, i vilken kondition bruket är och dess nuvarande vidhäftning. Enligt kapitel 2 ovan kan oarmerade raka valv i en ½-stens

tegelfasad utföras om det fria öppningsmåttet är maximalt 2 meter. Detta förutsätter att murverket bedöms vara i god kondition, att överbyggnaden är minst 25 % av öppningsmåttet och att murelaren på var sida om öppningen är minst 250 millimeter bred, för att den horisontala upplagsreaktionen ska kunna tas om hand. Denna tumregel är egentligen avsedd för nyproduktion, men den bör vara tillämpbar också vid renovering av fasadpartier utan murreppningar. Man tar bort fogbruket i hela skalmurens djup och tar bort armeringen på en längd av cirka 2 meter. Nästa fog som får rensas i samma läge bör ligga minst 500 millimeter högre, det vill säga minst sju skift högre för murverk med tegel i normalformat. För att reparationsarbetet ska fungera så effektivt och säkert som möjligt är det viktigt med en väl genomtänkt arbetsplan, vilken visar bland annat var fogen ska avlägsnas och återställas, i vilken ordning, tidpunkt mm.

Om murverket inte bedöms vara i tillräckligt god kondition, till exempel för att det finns genomgående sprickor i skalmuren eller att murbruket har låg hållfasthet, måste borttagen foglängd minskas. Det går inte att ange generellt hur mycket man bör minska tillåten längd, det måste bedömas från fall till fall av tekniskt sakkunnig. Det är möjligt att med en del olika hjälpmedel öka längden på borttagen fog och samtidigt öka säkerheten vid arbetet. Nedan visas några kommersiella produkter som kan vara användbara, bild 4.1–4.3. Dessa används främst för att utföra större håltagningar, men kan i vissa lägen vara användbara vid arbeten med att ta bort hela liggfogen. Innan denna typ av reparationer ska utföras är det mycket viktigt att kontrollera att befintlig kramling fortfarande är funktionsduglig, detta för att undvika okontrollerat ras. Normalt vid denna typ av arbete krävs att väggen tilläggskramlas, enligt avsnitt 2.2. Vidare ska eventuell stabilisering/infästning av ställning inte ske i tegelfasaden utan i den stabiliserande stommen.



Bild 4.1. Provisorisk stötta för att avlasta murverket ovan öppning/fog. (Heaton Products Ltd)



Bild 4.2. Anordning för att öka tryckkraften i horisontal led på skiftet ovan öppningen/fog. (Brick Brace Ltd)



Bild 4.3. För att öka kapaciteten i vertikalled kombineras anordningen i bild 4.2, med i detta fall en stålbalk med cirkulärt tvärsnitt. (Brick Brace Ltd)

Fråga: Hur gör man vid fasadhörn?

Svar: De horisontella krafter som uppstår vid en frilagd fog måste tas omhand. Dessa krafter bör kunna tas upp av de kramlor som satts i murverket runt hörnet. Den frilagda fogens längd närmast hörn bör dock minskas och inte överskrida en meter. Kramlor ska inte sättas för nära hörn, eftersom de då kan förhindra fukt- och temperaturrelser i muren på andra sidan hörnet. Handboken Rätt murat och putsat anger att kramlor inte ska sättas närmare hörn än en meter, för att undvika sprickbildning.

Fråga: Vilka typer av hjälpmedel finns för att avlägsna murbruket i fogarna.

Svar: Det finns en del specialanpassade maskiner och verktyg på marknaden att tillgå, se bild 4.4–4.8.



Bild 4.4a. Vinkelslip kombinerad med anordning för anslutning till dammsugare. (Sunrise Tools & Equipment, C-Tec)



Bild 4.4b. Diamantbelagd, bred klinga. (Sunrise Tools & Equipment)



Bild 4.5a. Vinkelslip försedd med fogfräs. Finns med eller utan styrning, i detta fall utan.



Bild 4.5b. Fogfräs i olika längder. (Premier Diamond Products Ltd, Evorake)



Bild 4.6a. Borrhammare eller bilningshammare med olika mejslar.



Bild 4.6b. Specialutformad mejsel anpassad för murverk. (Screwfix Direct Ltd, Armeg)



Bild 4.6c. Mejsel i standardutförande.



Bild 4.7a. Specialmaskin anpassad för borttagning av fog. (Arbortech Tools, AS170)



Bild 4.7b. Sågblad anpassat för liggfog.



Bild 4.7c. Sågblad anpassat för stötfog.



Bild 4.8a. Tigersåg med blad anpassat för borttagning av fog. (Thorpe Industries Ltd, Cutlas saw blade)



Bild 4.8b. Sågblad anpassat för liggfog.



Bild 4.8c. Sågblad anpassat för stöt-fog.

Fråga: Hur ska man undvika att rester av fogen hamnar i luftspalten?

Svar: Det är svårt att undvika att bruksrester ramlar ned i luftspalten. En del kommer att avlägsnas utåt genom maskinens rörelser. Man kan också använda dammsugare eller tryckluft, men troligtvis hamnar en del i luftspalten. För att minimera mängden fogrester i luftspalten rekommenderas att man strävar efter att behålla den ursprungliga fogen bakom det inre armeringsjärnet, vilket dock kan vara svårt.

Fråga: Hur sker återfogning?

Svar: Fogen rensas från fogrester och damm med dammsugare eller tryckluft. Vid arbete med tryckluft bör aktsamhet iakttas så att inte smutsen trycks ner i luftspalten. Tegelytorna bör förvattnas med fint spridarmunstycke innan fogningen påbörjas. Återfogning bör sedan utföras antingen för hand, med slev och fogplatta, eller med någon typ av fogspruta. Beroende på vilken typ av fogspruta som används måste murbruket blandas tämligen löst, och detta kan påverka egenskaperna på den härdade produkten negativt samtidigt som risken för nedsmutsning ökar. Om fogspruta ska användas bör den kunna hantera samma konsistens på murbruket som vid fogning för hand. Dock bör observeras att bruket, oavsett om fogning sker för hand eller med fogspruta, måste packas (flerstegspackning) med en traditionell fogslev för att vidhäftningen ska bli bra. Vid delar där all fog har avlägsnats bör en botteningslist användas för att undvika att bruket rinner ner i luftspalten. Det är fördelaktigt att använda bruk som är utvecklat för pumpning. Bilderna 4.9–4.12 visar olika sätt att återfoga. Observera att det finns snarlika varianter av de olika hjälpmedlen/verktygen/maskinerna.



Bild 4.9a. Traditionell fogning/omfogning med fogplatta och fogslev



Bild 4.9b. Fogplatta



Bild 4.9c. Fogslev



Bild 4.10a. Fogspruta, pumpas med handkraft.



Bild 4.10b. Fogspruta med olika munstycken. (Point Master Uk Ltd, Point Master alternativt Finja Bemix AB)



Bild 4.11a. Fogspruta, driven av bormaskin.



Bild 4.11b. Fogsprutan i sin helhet. (Sunrise Tools & Equipment, Quikpoint)



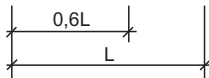
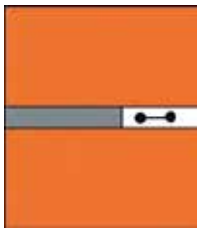
Bild 4.12a. Fogspruta, driven av extern pump.



Bild 4.12b. Fogsprutan i sin helhet. (Adda-TA Pte Ltd, Umiblok Magic Plus P/80-BS)

Fråga: Hur åstadkommer man en kontinuerlig armering, då denna är längre än den frilagda fogen?

Svar: I de fall där ny armering krävs på större längder än vad man kan rensa fogarna i ett moment, kan man fylla fogen till cirka 60 %, se figur 4.1, låta bruket härda, gå vidare och avlägsna nästa fogparti och så vidare. Detta upprepas tills erforderlig längd erhållits, därefter placeras armeringen och kringmuras samt fogas. Armeringen kan bestå av kamstänger, bistål alternativt en skruvformad variant enligt bild 4.13. Armeringen som används ska vara av rostfritt stål. En alternativ metod är att bara använda den skruvformade varianten, vilken är böjbar (levereras på rulle). Detta innebär att hela fogens tjocklek inklusive armeringen kan återfyllas till 100 %. Det som krävs är att den sista delen av den frilagda fogen inte återfylls för att låta armeringen sticka ut från fasaden, för att sedan vinklas in i nästa del av frilagd fog.



Figur 4.1. Cirka 60 % fyllnadsgrad med inlagt bistål före kringmurning och fogning.

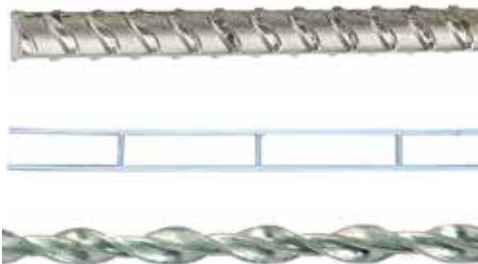


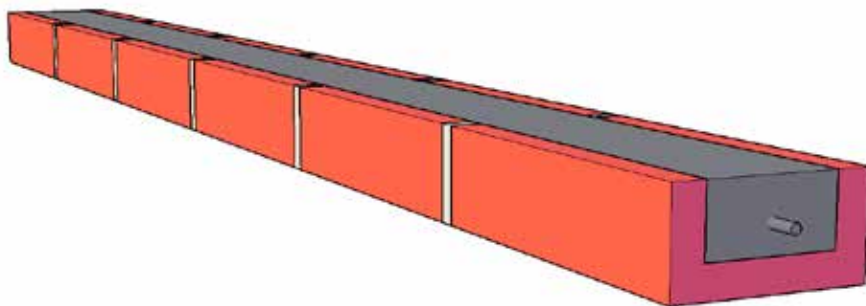
Bild 4.13. Kamstål, bistål och skruvformad armering (Twistfix, Helical Bar) av rostfritt stål.

4.2 Korrosionsskadad armering i fasadpartier över öppningar

Principiellt finns det tre olika reparationsmetoder. Den första är att ersätta första eller flera skift ovan öppningen med ett förtillverkat armerat tegelskift och eventuellt efterföljande murning. Den andra metoden kräver oftast att några skift ovan öppningen tas bort och en kvarsittande plattform monteras med efterföljande murning. Den tredje metoden handlar om att ta bort rostande armering, fixera befintliga stenar och återfoga. Arbetsgången består i att avlägsna 3–4 skift, stämpera, mura upp på traditionellt vis och komplettera med rostfri armering (om så krävs), se avsnitt 1.7.2.

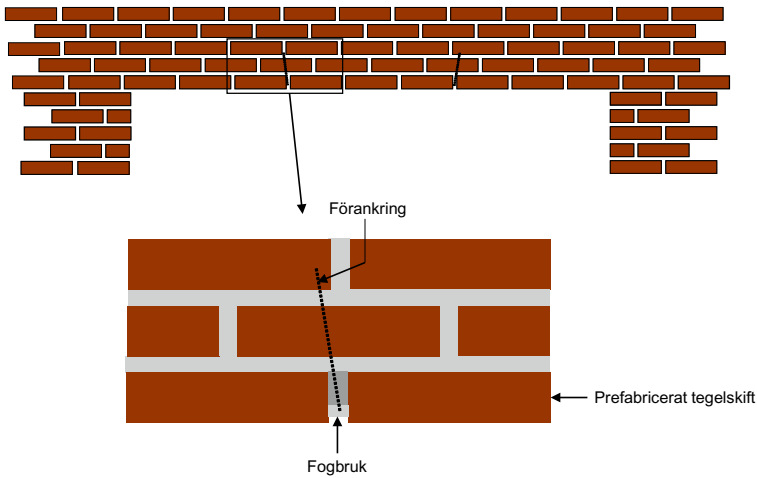
Förtillverkat armerat tegelskift:

En vanligt förekommande reparationsmetod innebär att det första eller flera skift ovan öppningen ersätts med ett förtillverkat armerat tegelskift, se figur 4.2. Skiftet består av tegel som är spårat på ena sidan, där spåret fylls med betong och armeras med spännarmering alternativt kamstänger. Det är viktigt att tänka på att tegelskiftet inte fungerar som en balk. Det krävs att det armerade skiftet muras ihop med ett antal ovanliggande skift för att tvärsnittet ska fungera som balk. Därför är det viktigt att vidhäftningen mot det befintliga murverket blir bra, vilket kräver provisorisk stämning, under 2–4 veckor beroende på årstid. Ju längre öppningen är desto känsligare är den för stämptiden. För att öka vidhäftningen mellan framförallt betongen och murbruket kan en slamning/tunnputsning med cementrikt bruk vara en lösning. Det är fördelaktigt om ytan är ojämn och knottrig – en trattspruta ger en struktur som är önskvärd.



Figur 4.2. Förtillverkat armerat tegelskift med en kärna av armerad betong.

I de fall då det inte är möjligt att stämpla, eller man vill minska stämptiden, kan man fästa en skruv genom stötfogen snett upp i murverket, se figur 4.3. Skruvhuvudet döljs sedan av fogbruk. Genom att låta skruven sitta kvar byggs en säkerhet in mot att skiftet i framtiden lossnar från övrigt murverk.



Figur 4.3. Principskiss vid förankring av förtillverkat armerat tegelskift.

Kvarsittande plåtform:

En förekommande reparationsmetod består i applicering av kvarsittande plåtform, en så kallad valvbågsform. I detta fall kan vanligtvis befintligt tegel återanvändas men det medför en synlig plåtkant efter reparationen. Plåtformen finns i många varianter, vissa har integrerad isolering som dock kräver att det finns utrymme bakom skalmuren. Vissa plåtformar kan bara bära skalmurens egentyngd alternativt båda murarna i en kanalmur och vissa integrerar vattenutledning från luft/dräneringsspalten i en $\frac{1}{2}$ -stens fasad. Nedan visas två varianter, se figur 4.4 och 4.5.



Figur 4.4. Kvarsittande isolerande plåtform, anpassad för kanalmur (IG (Lintels) Ltd)



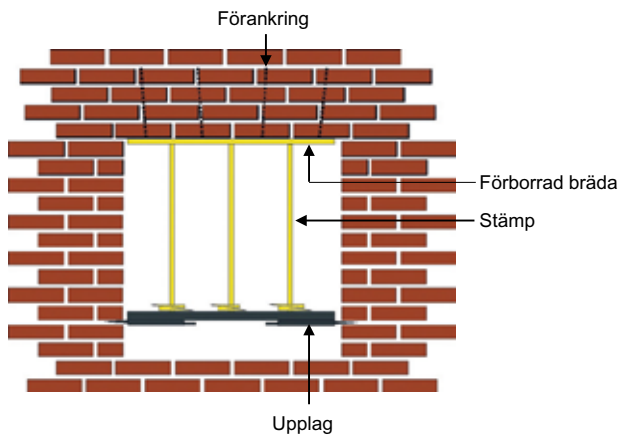
Figur 4.5. Kvarsittande form, anpassad för 1/2-stens fasad (IG (Lintels) Ltd).

Återförankring av befintligt tegel:

I figur 4.6 redovisas en metod för att åtgärda armeringskorrosion i lägen över muröppningar. Denna bygger på att armering och fog avlägsnas och det befintliga teglet förankras mekaniskt till ovanliggande murverk. Fördelen med denna metod är att ingreppet leder till minimal förändring av fasaden, det vill säga textur, färg och förbandsmönster bevaras. Metoden är utprovad i praktiken inom ramen för ett examensarbete vid LTH, se Kruglyak & Olsson (2007). Förutsättningar för att man ska kunna använda metoden

är att öppningen är maximalt 2 meter, murverkets höjd minst är 25 % av öppningsmåttet och att horisontalreaktionen som uppstår kan tas upp i intilliggande murverk, se kapitel 2.

För att inte fönsterblecket ska skadas bör upplaget för stämpan fästas i fönstersmygen, lämpligen i fogar. Den översta brädan förborras i lägen där man avser sätta förankringar. Efter stämpning monteras skruven i ett förborrat hål (lutande, framförallt viktigt i håltegel) med måttligt klämtryck mot stenen, i detta läge ska skruven endast fixera tegelstenen. Observera att hålet i det understa tegelskiftet ska vara så stort att skruven löper fritt, vilket ger justeringsmöjlighet av stenen i höjddled. Fogen rensas därefter och armeringen tas bort. Det innersta järnet måste kapas till mindre bitar för att det ska gå att ta bort, vilket lämpligen utförs i stötfog. Understa skiftet justeras i höjddled med stämp och skruv. I de fall bottningslist krävs ska denna monteras innan omfogning utförs. Stämpan monteras ner och försänkningen vid skruvskallen fogas med murbruk.



Figur 4.6. Principskiss vid förankring av första skiftet ovan öppning.

Den använda skruven (figur 4.7) bör uppfylla följande krav:

1. Den ska vara tillräckligt lång, 300–350 mm.
2. Den ska vara utförd av rostfritt, syrafast stål.
3. Den ska vara gängpressande.
4. Baksidan på skruvskallen ska vara rak och monterad med en gummibricka, se figur 4.7, för att inte tegelstenen ska sprängas sönder. Om baksidan inte är rak, finns möjligheten att montera några brickor istället.

5. Cirka 70 mm av skruvens hals närmast skruvskallen ska vara fri från gängning för att möjliggöra justering av det understa skiftet.

För att undvika ras då de understa skiften ska tas bort finns, förutom de som är visade i bild 4.1 och 4.2, ytterligare ett hjälpmedel. I bild 4.14 visas en provisorisk balk vilken monteras i liggfogen och som möjliggör att trycket mot murverket längs med liggfogen kan justeras.



Figur 4.7. Principskiss på skruv.

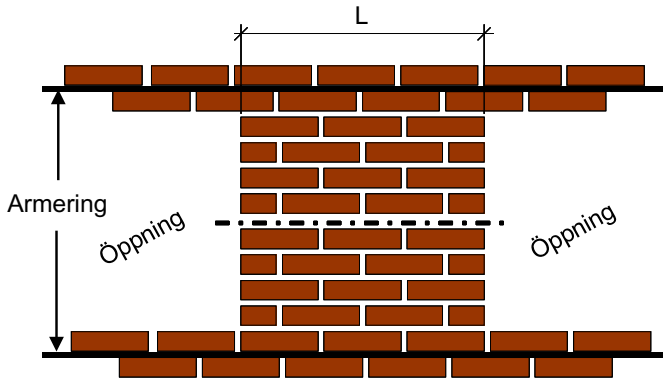


Bild 4.14. Ett hjälpmedel för att undvika ras vid håltagning eller då det första skiftet/skiftena tas bort och ersätts (Diversity Products Ltd, No More Props).

4.3 Korrosionsskadad armering i murpelare mellan muröppningar

Murpelare mellan två öppningar, se figur 4.8, har klart större belastning än fasadpartier utan muröppningar. Det faktum att större laster är närvarande och att pelaren är slank kräver försiktighet och god planering då armeringen ska avlägsnas. Särskilt komplicerade blir arbetena för dessa delar i höga hus och smala murpelare mellan fönster- och dörröppningar.

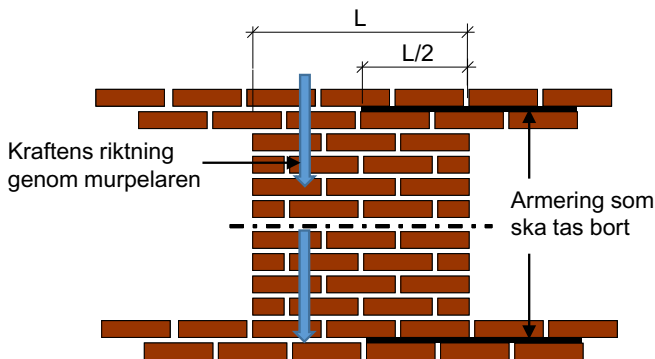
När man väljer arbetsmetod, till exempel enligt nedanstående alternativ 1 eller 2, måste konstruktiv dimensionskontroll genomföras, så att man vet att bärförmågan är tillräcklig i den del av murpelaren som ska ta lasten under reparationsarbetet.



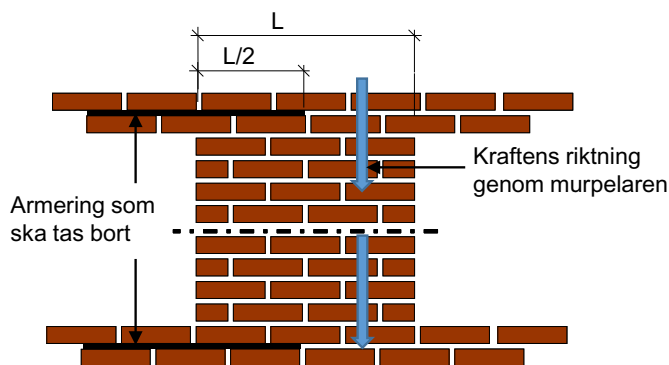
Figur 4.8. Murpelare mellan öppningar och förekommande placering av längsarmering.

Arbetsmetod alternativ 1 (smal murpelare)

I arbetsmetod alternativ 1 delas rensningen av armering upp i två delmoment, se figur 4.9 och 4.10. Armeringen längs halva murpelarens bredd tas bort i respektive moment. Rensning i ovankant av murpelaren kan lämpligen ske genom att man sätter ett förtillverkat tegelskift över intilliggande öppning med övermått. Efter omfogning bör bruket härda tillräckligt för att kunna belastas av ovanliggande murverk. Här krävs en ingenjörsmässig bedömning för att få en uppfattning av vilken spänning som påverkar fogen samt hur murverket ovan öppningen påverkas av att spännvidden ökar. Eftersom aktuell belastning samt temperatur och relativ fuktighet påverkar erforderlig härdningstid, kan inte en generell tid anges. En viss vägledning får man genom att jämföra med betongens styrketillväxt påverkad av olika klimat, se exempelvis Betonghandboken, Material, kapitel 7:2.



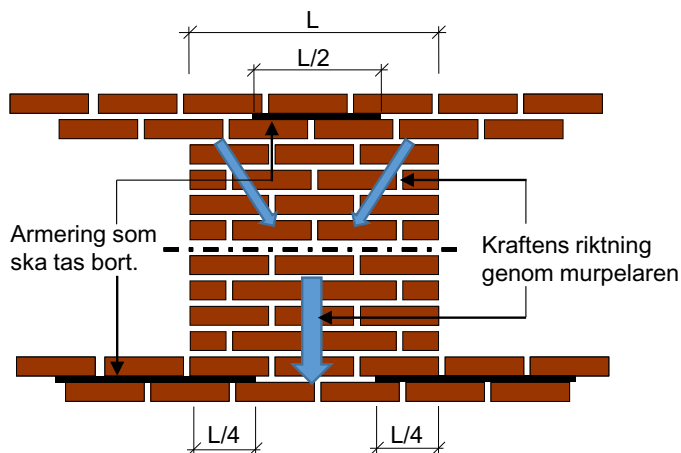
Figur 4.9. Alternativ 1 (smal murpelare), första arbetsmomentet.



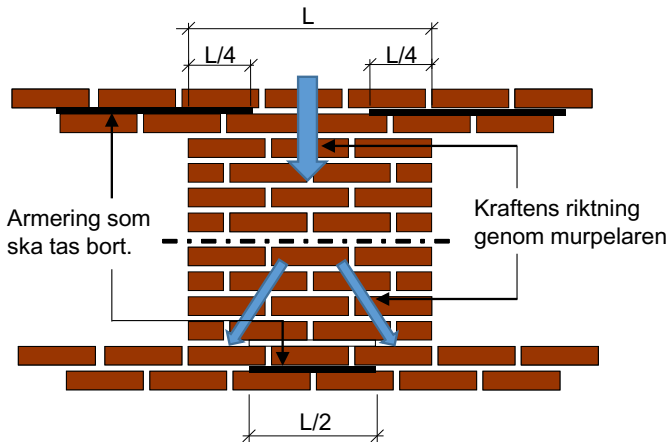
Figur 4.10. Alternativ 1 (smal murpelare), andra arbetsmomentet.

Arbetsmetod alternativ 2 (bred murpelare)

Detta alternativ används för bredare murpelare. Här delas genomförandet också upp i två arbetsmoment, där längderna på urfräst fog är 25 % respektive 50 % av pelarbredden, se figur 4.11–4.12. Borttagning av armering i de yttre fjärdedelarna i ovankant pelare kan med fördel samköras med eventuell inläggning av ett förtillverkat armerat tegelskift. Tid för pålastning av ny fog, jämför ovan. Metoden innebär att man vid rivning av första skift över öppningen endast behöver gå in en relativt kort längd på ömse sidor, varför metoden lämpar sig för större öppningsmått än alternativ 1.



Figur 4.11. Alternativ 2 (bred murpelare), första arbetsmomentet.



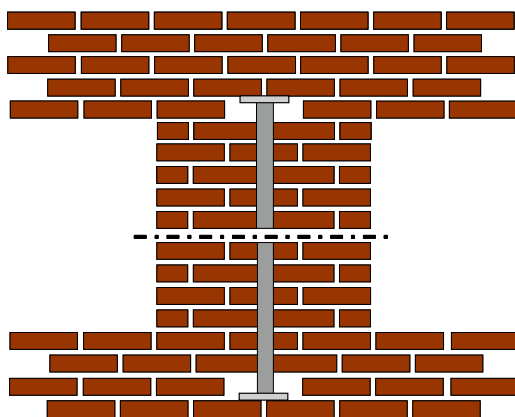
Figur 4.12. Alternativ 2 (bred murpelare), andra arbetsmomentet.

Arbetsmetod alternativ 3

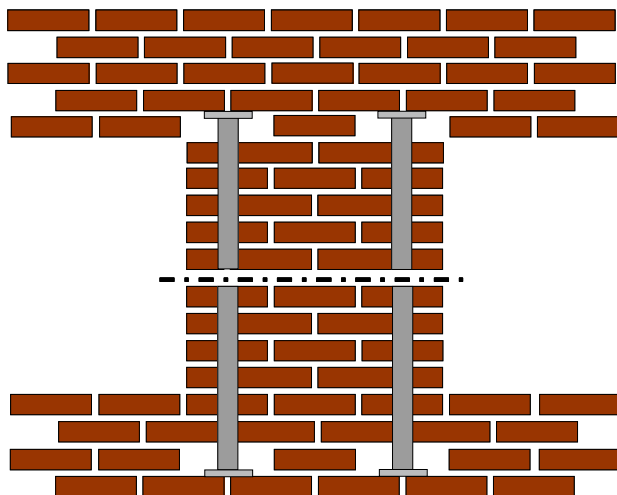
I alternativ 3, bild 4.15, utnyttjas ett specialgjort stämp just för detta projekt, för att avlasta murpelaren. Det finns även kommersiella produkter, se bild 4.1. Genom att avlägsna två eller fyra tegelstenar (beroende på murpelarens bredd) blir det möjligt att föra över krafterna från murpelaren till stämpan varefter armeringen i murpelaren kan avlägsnas. Vid smalare murpelare kan stämpning göras enligt figur 4.13 och vid bredare murpelare enligt figur 4.14.



Bild 4.15. Stämpning av 5.4 m lång muröppning, Parentesen, Lund. Fasaderna målas i efterhand. Murverket ovan öppningarna ges efter renoveringen upplag i sin mittpunkt av stålkonsole, som fästs in i bjälklagskanten. Stämpan tar ned lasten från ovanliggande murverk när första skift över fönstren och ovanliggande armering avlägsnas. Murverket är armerat i första fog över och under fönsteröppningarna. All längsgående armering, även i murpelare mellan öppningarna, tas bort.



Figur 4.13. Alternativ 3, stämpling vid smal murpelare.



Figur 4.14. Alternativ 3, stämpling vid bred murpelare.

4.4 Förstärkning av förankringen av fasadmuren genom tilläggskramling

Det finns ett antal särskilt framtagna renoveringskramlor på marknaden. De flesta av dessa är avsedda för montage igenom teglet, vilket dock normalt är en tveksam lösning, eftersom fasaderna påverkas på ett onödigt sätt. Istället bör man eftersträva montage i fogar, vilket innebär att ingreppet inte behöver synas alls. För kramlor som fäster in i mur genom expanderverkan eller friktion kan dock infästning i stötfog vara ett tveksamt alternativ, efter-

som stötfogar vid bristfällig murning inte är tillräckligt fyllda med bruk.

Kramlor i utvändiga skalmurar ska alltid utföras av rostfritt, syrafast stål. Temperatur- och fuktrörelser i skalmuren beaktas vid val av kramlingsmetod. I skalmurar från perioden 1940–1970 kan det finnas exempel på att avståndet mellan skalmur och bakomliggande stomme är så litet att kramlorna kan påverkas av utmattning. Detta kontrolleras genom metod beskriven i MUR90, häfte 4B, avsnitt 7.6, alternativt dimensioneras kramlan som en stång utsatt för både böjning och normalkraft.

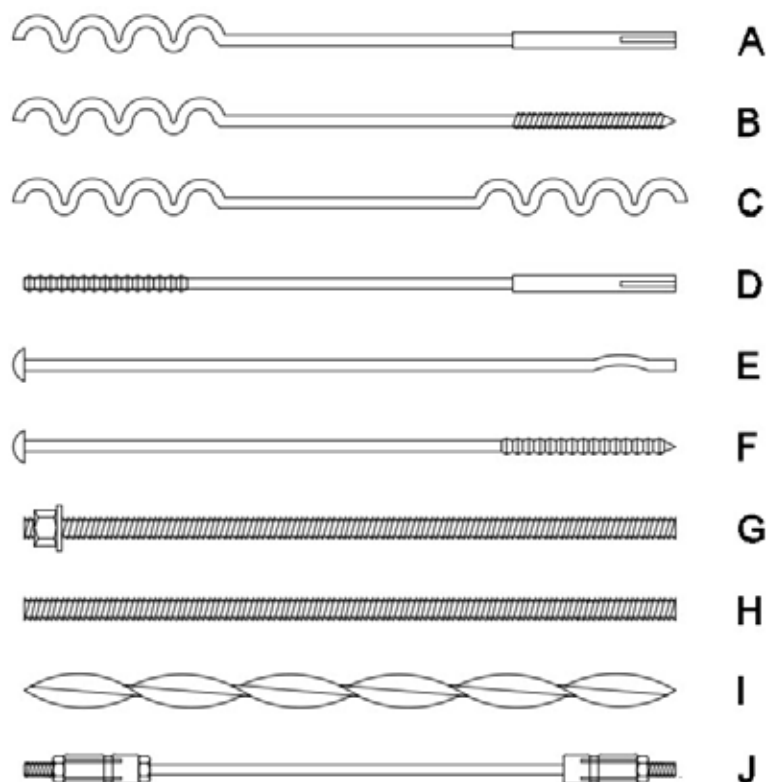
Kramlor kan delas upp i olika kategorier beroende på hur infästningen utförs, dels i den bakomliggande byggnadsstommen och dels i skalmuren. Kategorierna är mekanisk infästning (gängning, expander, slagexpander med flera), kemiskt ankare respektive ingjutning med murbruk. I figur 4.15 visas exempel på produkter för renoveringskramling av skalmur. Infästningsdonen i figur 4.15 har hämtats från kommersiellt tillgängligt material som tillhandahålls av leverantörer i Sverige, Danmark, Norge och England – se litteraturförteckningen för adresser till företag som tillverkar renoveringskramlor.

Förankring görs i betong, lättbetong, lättklinker, tegel, stål eller trä. För fallet bakomliggande utfackningsvägg av trä torde det dock i normalfallet vara vanskligt att fästa nya kramlor i de befintliga reglarna.

Förankringen i den stabiliserande stommen är av typ slagexpander/expander (A, D, J), plugg (B, F), kemiskt ankare/bruk (C, G, H), direkt gängning/indrivning (B, F) eller friktion (E, I), se figur 4.15.

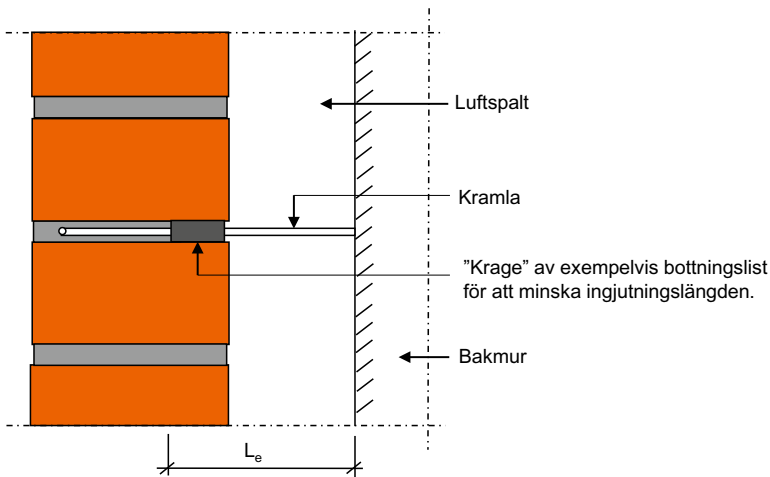
Förankringen i den yttre muren kan ske genom kemiskt ankare/bruk (A, B, C, D, E, F, H), friktion (I) och mekanisk infästning (E, F, G, I). I de fall mekanisk infästning används kan endast dragkrafter upptas såvida de inte är inmurade, undantaget är (J).

I fall med litet avstånd mellan skalmur och bakomliggande stomme kan det erfordras att man ser till att en del av kramlans stång inte kringbäddas med bruk, för att inte kramlan ska påverkas av utmattning. Detta kan åstadkommas genom att man förser kramlans stång med en krage av exempelvis bottningslist (egentligen avsedd för drevning av fönster och dörr), se figur 4.16. Samtidigt måste man naturligtvis vara observant på att tillräcklig förankring erhålls i skalmuren. I vissa fall kan den fria längden även ökas i bakhmuren.



Figur 4.15. Exempel på renoveringskramlor. I litteraturförteckningen finns en kompletterande lista på adresser till företag vilka tillverkar renoveringskramlor.

Tilläggskramling med kramla typ A har använts i en del projekt under de senaste åren, bland annat vid bostadsområden i Lund. Vid dessa arbeten har man fräst ur några centimeter fog, borrar ett maximalt 40 millimeter djupt hål i bakomliggande betongstomme och fäst renoveringskramlans expanderande del, som utgörs av en slagexpander. Därefter har man kringgjutit den sinusprofilerade delen med bruk, som applicerats med fogspruta. Sinusformen lämpar sig väl för denna tillämpning i kombination med användning av fogspruta. Ingreppen i fasaderna blir minimala, monteringen är relativt enkel och de praktiska erfarenheterna av metoden är goda.



Figur 4.16. Exempel på kramling då luftspaltens bredd är liten. Le betecknar erforderligt avstånd med avseende på utmattning av stålet, se Mur 90, häfte 4B avsnitt 7.6

4.5 Bristfälliga ingrepp vid reparation av skalmurar

Avlägsnande och lagning av skadat täcksikt samt borttagning av yttre armeringsjärn med efterföljande lagning av fogen förekommer ofta men är icke desto mindre bristfälliga ingrepp. Lagning av skadat täcksikt har naturligtvis den fördelen att det kostar minst, men ingreppet är rent kosmetiskt och innebär att man inte gör något för att lösa de underliggande problemen. Nya sprickor kommer att uppstå relativt snart efter åtgärden.

Om förloppet tillåts fortsätta kan yttre delar av tegelstenarna komma att spjälkas av på grund av rostsprängning. Problem uppstår ofta på grund av stommens förkortning, ett fenomen som ibland kan förvärras av skalmurens höjdförändring (förlängning). Detta kan ge sprickor och skador där rörelsen förhindras. Vidare kan påfrestningarna bli värre för kramlorna i de övre delarna av murverket. Efterhand som förloppet framskrider finns ökad risk för frostsador i teglet samt fukt- och mögelskador i innanförliggande byggnadsdelar, om det finns material med organiskt innehåll, som trä och skivmaterial.

Borttagning av endast det yttre armeringsjärnet med efterföljande lagning av fogen kostar naturligtvis också jämförelsevis lite, vilket gör att ingreppet enligt detta alternativ för stunden kan fö-



Bild 4.16. I skalmuren har yttre järnet tagits bort och ersatts av rostfri stång, medan det inre lämnats kvar. Nya sprickor har utvecklats, några år efter åtgärden.



Bild 4.17. Bilden visar det yttre armeringsjärnet som är utbytt till ett rostfritt.

refalla attraktivt. De observationer som gjorts i flera bostadsområden och skadefall inom ramen för projekten visar att risken är stor för att nya skador kommer att uppträda inom loppet av ett fåtal år, se till exempel bild 4.16 och 4.17. Murfogarna i de aktuella fasaderna torde idag undantagslöst vara genomkarbonatiserade, varför pH-värdena i allmänhet är tillräckligt låga för att korrosion ska ske. Korrosionshastigheten bestäms därefter av temperatur och fuktförhållanden. En ytterligare risk med att endast avlägsna det yttre järnet, i fasader där det finns många armerade fogar, är att det fortsatta korrosionsförloppet i det kvarvarande järnet kan ge upphov till geometriska imperfektioner, se avsnitt 2.3.

Med detta ingrepp åtgärdas således endast en del av orsakerna till armeringskorrosionen. Nya sprickor och skador kan uppkomma inom en relativt snar framtid. Problemet med spjälkning av teglet finns förstås inte i synliga delar av murverket, men tegel kan skjuvas av på skalmurens insida. Vid fortsatt korrosion av det inre järnet kan murverket komma att deformeras på ogynnsamt sätt, så att kramlorna efterhand utsätts för större belastningar, samtidigt som deras tekniska kondition försämras.

5. Skadefall

5.1 Nedrasad skalmur, flerbostadshus i Tenhult

I samband med stormen ”Per” den 28 januari 2007 rasade en del av en gavelvägg i västerläge på ett trevånings bostadshus i Tenhult, söder om Jönköping. Det berörda huset ingår i en gruppbebyggelse, byggd under 1960-talet. Gavlarna består av en inre bärande, plattsgjuten betongvägg, ca 100 mm mineralull, luftspalt och 120 tegel. Raset omfattade i stort sett hela skalmuren på en gavelsida, d.v.s. en yta av cirka 5,5x9,5 m², totalt cirka 50 m².

När vi besökte platsen den 8 februari 2007 pågick återuppmurning av väggen, varvid man hunnit mura upp cirka 35–40% av väggen. I den del som man inte hunnit mura upp undersökte vi hur väggen varit förankrad i byggnadsstommen.

I den översta delen av väggen, ovan betongstommen, hade kramlingen varit synnerligen bristfällig. Förutom en kramla i hörnet mellan långsidan och gavelvägg fanns fyra kramlor i väggens mitt, som samtliga murats in i tvärgående tegelväggar. Vid anslut-



Bild 5.1. Skalmuren t.h. om burspråksdelen rasade vid stormen. Delen ovan betongstommen har täckts provisoriskt med skivor.



Bild 5.2. Vajer som varit infäst i skalmuren.

ningen mellan gavel och långsida hade en vajer för kabel-tv varit infäst i fasadteglet. Enligt uppgifter från de boende hade kabeln svängt kraftigt i en cirklande rörelse innan raset, vilket kan ha bidragit till att det utlöstes.

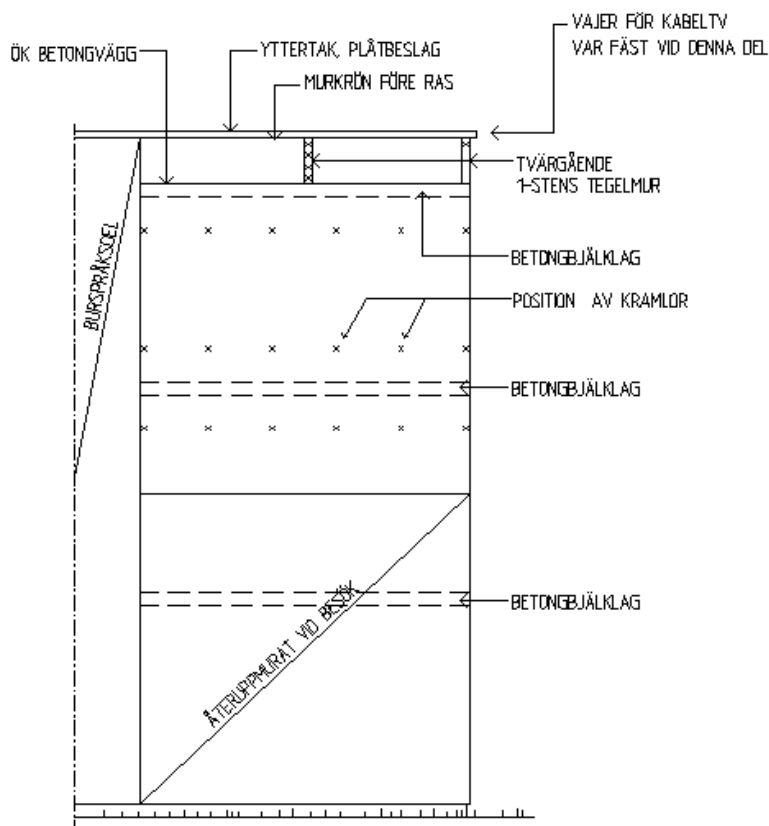
Första horisontella rad av kramlor satt ca 1800 mm från murkrönet. I denna rad hade det suttit 4 st kramlor, med inbördes avstånd av ca 3000, 1000 respektive 1000 mm. Denna följdes av en rad om 6 kramlor 1550 mm längre ner, med cc-avstånd horisontellt av mellan 900 och 1200. Ytterligare en rad kramlor, 5 st, hade suttit ca 1400 mm ytterligare neråt. Översiktlig skiss på kramlingen i väggens övre del visas i figur 5.1.

Kramlingen hade utförts med rostfri stång, 4 mm diameter. Inmurningslängden hade varit 20–30 mm, d.v.s. betydligt mindre än de 40 mm som föreskrivs i nu gällande BKR.

Sannolikt har den bristande kramlingen i murens övre del orsakat raset i kombination med påfrestning i skalmurens hörn p.g.a. den kraft som påfördes muren genom vajerinfästningen.

5.2 Skadad skalmur, Högevallsbadet, Lund

Högevallsbadet i Lund byggdes 1979–1980. Ytterväggarna består enligt K-ritning av inifrån räknat oputsad halvtens bakmur, 150/170 mineralull och halvtens fasadtegel, som slammats på sidan mot isoleringen. Stommen består av prefabricerade betongpelare, med centrumavstånd mellan 6000 och 7000 mm, på vil-

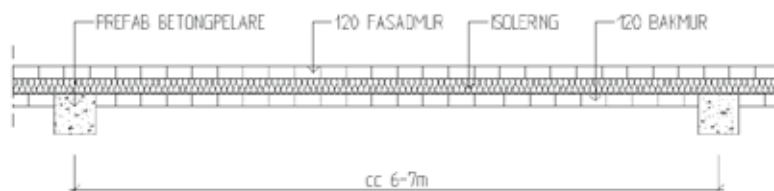


Figur 5.1. Elevationsskiss som visar hur väggen ursprungligen varit kramlad.

ka fackverksbalkar av stål är upplagda. Taket består av bärande korrugerad plåt, mineralull och bandtäckning. Fasadmuren går obruten förbi betongpelarna, medan pelarna kragar in ca 240 mm innanför bakmurens innerliv, se figur 5.2.

Enligt konstruktionsritningarna har de båda murdelarna kramlats ihop med rostfria Z-kramlor, Ø5, 3 st/m², medan bakmuren dymlats med kamstänger Ø8 c 450 till pelarna. Fasadmuren har enligt handlingarna fästs med rostfria ingjutningbeslag till betongpelarna. På ritningarna anges också att fasadmuren armerats med 2 st Ø8 kamstänger i vart sjätte skift. Inget konstruktivt rostskydd anges på armeringen. Vilka fogar som armerats framgår klart i fasaden p.g.a. att dessa utförts med slät fog, medan övriga fogar gjorts med ca 15 mm urkratsad fog.

Enligt samtal med byggnadsingenjören, som deltog i slutbesiktningen, förklaras den släta fogen med att man skulle klara kra-



Figur 5.2. Planskiss yttervägg.

vet på täcksikt för armeringen. Vid besiktningen uppdagades att täcksiktet inte var tillräckligt med urkratsad fog, varför man fogade de armerade skiften med slät fog. Kanalmurens höjd varierar mellan badhusets olika delar. Som mest är väggarna ca 14 m höga.

Man har från förvaltarens sida (Lundafastigheter, Lunds kommun) under en längre tid konstaterat att det förekommer rostsprängningar i fasadmuren. I lägen där det varit synliga sprickbildningar har man för ett antal år sedan tagit bort det yttersta armeringsjärnet, lagt dit ett rostfritt kamjärn med samma dimension och fogat om.

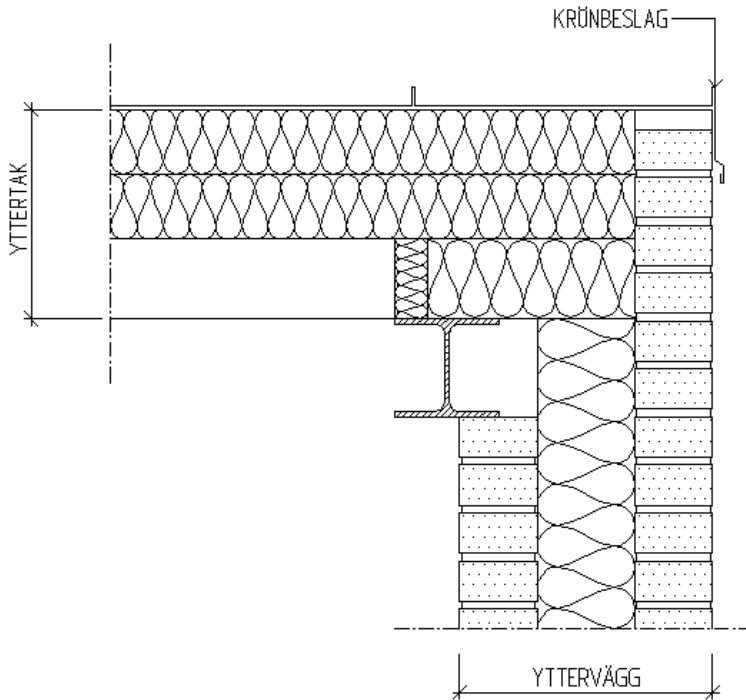
Några dagar efter stormen "Per", som drabbade södra och västra Sverige den 28 januari 2007, upptäcktes att en plåt ovan ett fönsterparti högst upp i fasad mot väster lossnat. Vid närmare kontroll upptäcktes då att fasadmuren visade stora deformationer i de övre delarna i väst- och söderfasaderna.

Vid den efterföljande undersökningen konstaterades att rostsprängning av den horisontala längsarmeringen i fasadmuren medfört att denna förlängts med ca 60 mm högst upp. I den övre väggdelen hölls rörelsen emot av en krönplåt som fästs in i takkonstruktionen och teglets utsida. Infästningen av krönplåten i fasadmuren hade också fått till följd att den övre delen av fasadmuren hållits kvar och inte rasat ned. Den förhindrade rörelsen hade resulterat i att fasadmuren vikit sig, ca 1–2 m under murkrönet (beroende av var man mätte p.g.a. takets lutning). Från denna linje lutade muren utåt upp mot krönet, se bild 5.2.

Vid undersökningen konstaterades att det fanns 28 st armerade liggfogar i högdelens väggdel.

De övre 1.3–1.8 meterna av fasadmuren revs efter den första okulära undersökningen. De allra översta skiften var relativt lätt rivna, medan man för de övriga delarna fick bila bort del för del. Åtgärderna vidtogs med största försiktighet från mobilkran, för det fall att ett ras skulle utlösas.

Vid rivningen konstaterades att de uppgifter som angetts på konstruktionsritningarna överensstämde väl med det faktiska ut-



Figur 5.3. Taksnitt



Bild 5.2. I anslutningen mot taket hade fasadmuren vikt sig utåt.

förändret. Z-kramlorna var rostfria, av angiven dimension, väl förankrade i murarna och genomgående i god kondition. Antalet kramlor var i ett uppmätt läge något under det föreskrivna (cc 750 horisontalt respektive 500 vertikalt, d.v.s. ca 2.7 st/m²), men detta



Bild 5.3. Murkrönet av den ca 14 m höga kanalmuren hade förlängts ca 60 mm. Den hölls tillbaka av en krönplåt.

bedömdes sakna praktisk betydelse.

I de översta ca 500 mm höjd av fasadmuren saknades kramling till bakmuren, se fig 5.3. Detta överensstämde med ritningsdetaljer och var en följd av att bakmuren avslutats under det anslutande plåttaket medan fasadmuren fortsatte på takets utsida. Det faktum att den övre delen av fasadmuren inte varit förankrad bakåt samtidigt som muren förlängts ca 60 mm utgjorde med stor sannolikhet orsaken till skadan. Vindbelastningen vid stormtillfället medförde troligen att murverket i sin övre del snedställdes.

I murverket nedanför de rivna partierna bedömdes kramlingen vara intakt och väl förankrad i de båda murdelarna.

Tidigare, under sommaren 2006, hade infästningarna mellan fasadmuren respektive bakmuren och pelarna undersökts i några punkter. Därvid konstaterades att dessa utförts enligt handlingarna i de undersökta punkterna. Dymlingen mellan bakmur och pelare var utförd med icke rostfria armeringsjärn, men hade inte angripits av rost. I samband med rivningen 2007 kontrollerades RF i inomhusluften i högdelen. RF-värdena uppmättes därvid till storleksordningen 40–50%, beroende på mätpunkternas höjd (högre RF i de lägre delarna av hopptornet, lägre värde i de högre). Det faktum att korrosionsförloppet avstannar vid ca 65% RF kan förklara att det inte syns några tecken på rostsprängningar från de dymlingar som förankrar bakmuren till pelarna.

Vid okulär besiktning från golvnivå noterades överhuvudtaget inte några tecken på skador i bakmuren.

Litteratur

AB Svensk Byggtjänst och Cementa AB, *Betonghandbok – Material*. ISBN 91-7332-060-9, Stockholm, 1980.

AB Svensk Byggtjänst, *Konstruktionshandbok – bärande tegelmurverk*. ISBN 91-630-5368-3, Stockholm, 1997.

AB Svensk Byggtjänst, *Mur90*. Stockholm, 1990.

AB Svensk Byggtjänst, *Rätt murat och putsat*. ISBN 91-7333-476-1, Stockholm, 2011.

Bergkvist, K. *Betydelsen av materialval och hantverksmetoder – reparationer i korrosionsskadade murade fasader*. Magisteruppsats 2006:23, Göteborgs universitet, 2006.

Bjarnadóttir Madsen, I., *Visualisering av materialval vid reparation av korrosionsskadade fönsterbalkar*. Examensarbete TVBK-5164, Lunds tekniska högskola, 2008.

CEB, Thomas Telford, *Fastening to concrete and masonry structures, state of the art report*. ISBN 0-7277-1937-8, London, 1994.

FoU Syd, *Undvik misstag i murat och putsat byggande*. Malmö, 2016.

Gustavsson, T., *Moderna murverk*. Licentiatrapport TVBK-1023, Lunds tekniska högskola, 2002.

Klaas, H., Schulz, E., *Schäden an Aussenwänden aus Ziegel- und Kalksandstein-Verblendmauerwerk*. Fraunhofer IRB Verlag, ISBN 3-8167-6114-3, Stuttgart, 2002.

Kruglyak, I., Olsson, M., *Restaurering av korrosionsskadade murverksbalkar genom återförankring*. Examensarbete TVBK-5147, Lunds tekniska högskola, 2007.

Kvande, T, Lisö, K.M., Waldum, A.M., *Rehabilitering av tak og tegelfasader*. Norsk byggeforskningsinstitutt, Rapport 116, ISBN 82-536-0816-0, Oslo, 2003.

Larsson, O., Molnár, M., *Hur länge håller armerade murverkskonstruktioner?* Husbyggaren, nummer 3, 2014, sidorna 26-29.

Larsson, O., Molnár, M., *Modelling time-to-cracking in brick masonry with corroding bed joint reinforcement. Proceeding of the 9th International Masonry Conference*, Guimaraes, Portugal, 2014.

Molnár, M., Gustavsson, T., *Utformning av murverkskonstruktioner enligt Eurokod 6*, Svensk Byggtjänst, ISBN 978-91-7333-794-6, Stockholm, 2016.

Molnár, M., *Permanent svällning i brända lergods*. Bygg & teknik, nummer 2, 2010, sidorna 55-56.

Molnár, M., Larsson, O., *Renovering av armerade murverkskonstruktioner - lärdomar från fältstudier och laboratorieundersökning*. Bygg & teknik, nummer 2, 2016, sidorna 39-43.

Tägil, T., Gustavsson, T., Bergkvist, K. och Magnusson Staaf, B. *Modernismens tegelfasader*, Arkus, skrift nr 65, ISBN 978-91-978957-3-6, 2011.