



LUND UNIVERSITY

Murverkskonstruktion

Kompendium

Molnár, Miklós; Gustavsson, Tomas

2020

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):
Molnár, M., & Gustavsson, T. (2020). *Murverkskonstruktion: Kompendium*. Lund University.

Total number of authors:
2

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00



MURVERKSKONSTRUKTION

Kompendium

Miklós Molnár

Tomas Gustavsson



LUNDS TEKNISKA
HÖGSKOLA
Lunds universitet

Omslagsbilder

Övre raden, från vänster till höger (källa i parentes):

- Äldre bärande tegelmurverk, Göteborg (Murma)
- Återbrukat tegel i nutida skalmur (Brukspecialisten)
- Puts på bärande murverk, Lunds universitet (M. Molnár)

Mellersta raden, från vänster till höger:

- Murverksarmering/bistål (Murma/Brictec)
- Stombyggnation med lättbetongblock (H+H Sverige)
- Ännu ej putsat ytterskal av lättklinkerblock (Weber Saint-Gobain)

Nedre raden, från vänster till höger:

- Tegelskalmur, Eskilstuna (Combimix)
- Puts på isolering och tegelskalmur, Lund (M. Molnár)
- Tegelskalmur, Trelleborg (Tegelmäster)

ISBN 978-91-7895-721-7 (tryck)

ISBN 978-91-7895-722-4 (pdf)

Lunds tekniska högskola

Avdelningen för konstruktionsteknik

Box 118

221 00 Lund

2020

Förord

Kompendiet är framtaget för att användas som lärobok i murverkskonstruktion på grundnivå på civil- och högskoleingenjörsutbildningar. Kompendiet behandlar dimensionering och konstruktiv utformning av murverkskonstruktioner i enlighet med Eurokod 6 samt den svenska nationella bilagan EKS 11 och kan därmed även användas av yrkesverksamma konstruktörer. För en mer uttömmande hantering av konstruktionsfrågeställningar kopplat till murverkskonstruktion hänvisas till handboken Utformning av murverkskonstruktioner enligt Eurokod 6, av M. Molnár och T. Gustavsson.

Kompendiets struktur speglar kapitelindelningen i läroboken Byggkonstruktion, av T. Isaksson, A. Mårtensson och S. Thelandersson, alla verksamma vid Lunds tekniska högskola (LTH), Avdelningen för konstruktionsteknik.

Kompendiet är framtaget med ekonomiskt stöd från Föreningen tungt murat och putsat byggande (www.tmpb.se/) och Byggrådet, Föreningen för samverkan mellan företag, universitet och högskolor verksamma inom samhällsbyggnadssektorn (www.byggradet.se/).

Författare är Miklós Molnár, universitetslektor vid LTH Konstruktionsteknik samt Tomas Gustavsson, forskare och konstruktör med lång erfarenhet av murverkskonstruktion.



Miklós Molnár



Tomas Gustavsson

Lund, december 2020

Friskrivning

Författarna lämnar ingen garanti för resultat som baseras på nyttjande av information som finns i kompendiet *Murverkskonstruktion*. All användning av information i kompendiet *Murverkskonstruktion* sker på eget ansvar.

Innehåll

1	Historik	8
1.1	Den tidiga fasen	8
1.2	Murat byggande i Romarriket	9
1.3	Europeisk medeltid	10
1.4	Murat byggande i Sverige under modern tid	12
2	Murverkets material	15
2.1	Tegel	15
2.2	Lättbetong	16
2.3	Lättklinkerbetong (Leca)	17
2.4	Block/mursten av övriga material enligt EK6	18
2.5	Indelning av mursten och murblock enligt EK6	19
2.6	Murbruk	20
2.7	Indelning av murbruk enligt EK6	21
3	Murverket som element i den bärande stommen	22
3.1	Inledning	22
3.2	Vertikala murade element	22
4	Murverk som stomstabiliserande väggar	28
4.1	Inledning	28
4.2	Överföring av horisontella laster genom murade väggar	28
4.2.1	Plattverkan	28
4.2.2	Skivverkan	29
5	Murverk som konstruktionsmaterial	33
5.1	Vanligt förekommande murverkstyper	33
5.2	Beteende vid tryck- och dragbelastning	34
5.2.1	Tryck	34
5.2.2	Drag	34
5.2.3	Krypning	35
5.3	Beteende vid böjbelastning	35
5.4	Beteende under belastning med tvärkraft	36
5.5	Temperatur- och fuktrelaterade rörelser	36
5.5.1	Termiska rörelser	37
5.5.2	Krympning	37
5.5.3	Permanent svällning	37
5.6	Dimensionerande materialvärden enligt Eurokod 6	37
5.6.1	Tillverkning och utförande	37

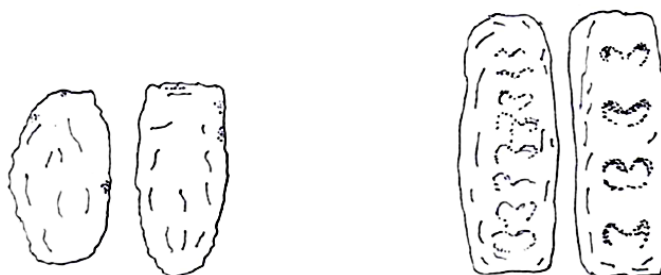
5.6.2	Dimensioneringsvärden i brottgränstillståndet	38
5.6.3	Murverks deformationsegenskaper	41
6	Böjning av armerat murverk	43
6.1	Generellt	43
6.2	Dimensionering av böjbelastade balkar i brottgränstillståndet	43
6.2.1	Dimensionerande moment	43
6.2.2	Dimensioneringsförutsättningar	44
6.2.3	Dimensioneringsgång med hjälp av jämviktsekvationer	44
6.2.4	Exempel – momentkapacitet hos tegelbalk	45
6.3	Raka oarmerade valv	47
7	Tvärkraftsbelastat murverk	48
7.1	Generellt	48
7.2	Dimensionering av tvärkraftsbelastade balkar i brottgränstillståndet	49
7.2.1	Dimensionerande tvärkraft	49
7.2.2	Dimensioneringsförutsättningar	49
7.2.3	Murade balkars tvärkraftskapacitet	49
7.2.4	Exempel – tvärkraftskapacitet hos lättklinkerbalk	51
7.3	Dimensionering av murade väggar utsatta för tvärkraft	52
8	Transversalbelastat murverk	54
8.1	Generellt	54
8.2	Dimensionering av väggar utan betydande öppningar	54
8.2.1	Dimensioneringsförutsättningar	54
8.2.2	Dimensionering enligt tabellmetod baserad på brottlinjeanalogi	54
8.2.3	Exempel	56
8.3	Dimensionering av väggar med betydande öppningar	59
9	Murade oarmerade väggar belastade av normalkraft och moment	60
9.1	Inledning	60
9.2	Bärförmåga hos oarmerad vägg – lokalt brott vid upplag	61
9.2.1	Effektiv vägghöjd h_{ef}	63
9.2.2	Exempel	64
9.3	Bärförmåga hos oarmerad vägg – knäckning	67
9.3.1	Effektiv väggjocklek t_{ef}	67
9.3.2	Slankhetstal λ_c	67
9.3.3	Excentricitet e_m	68
9.3.4	Bärförmåga med avseende på knäckning	69
9.3.5	Exempel	70

10	Bruksgränstillstånd	73
10.1	Generellt	73
10.2	Oarmerat murverk	73
10.3	Armerat murverk	75
11	Konstruktionsutformning – detaljlösningar	76
11.1	Krav på murverk med avseende på konstruktiv lastupptagning	76
11.2	Exempel – konstruktionslösningar	79
11.3	Krav på murverk avseende byggnadsfysikalisk funktion	81
11.3.1	Väggtyper	81
11.3.2	Värmeisolering	82
11.3.3	Regngennomslag i tegelskalmurar	83
11.3.4	Vattenupptagning i putsade enskiktsväggar	85
11.3.5	Lufttäthet	85
11.4	Exempel – byggnadstekniska detaljlösningar	86
11.4.1	Takdetaljer	86
11.4.2	Fönsterdetaljer	87
11.4.3	Grunddetaljer	89
11.5	Rörelsefogar	91
11.6	Lästips	94
12	Brandbeständighet	95
12.1	Generellt	95
12.2	Dimensioneringsmetoder	95
12.2.1	Bestämning av brandmotståndet genom användning av tabellerade data	96
12.3	Exempel	96
	Referenser	99

1 Historik

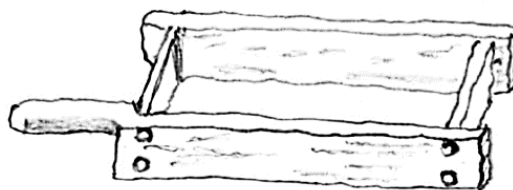
1.1 Den tidiga fasen

Användning av murverk i byggnadssammanhang har mycket gamla anor. De äldsta lämningarna av murade konstruktioner som man funnit härrör från ca 8000 f Kr. Dessa har hittats i Mellanöstern, i de nuvarande staterna Jordanien, Syrien, Irak och Iran. Det är trakter där tillgången till trä och natursten är mycket begränsad. Men det finns rikligt med lera som kunde användas för byggändamål, och de första murstenarna tillverkades av fuktig lerjord. Leran formades för hand till en limpliknande form, ”Adobe”, och torkades i solen. Man utnyttjade det faktum att när lera torkar ökar dess hållfasthet betydligt. Det soltorkade lerteglet murades sedan ihop med murbruk av fuktig lera.



Figur 1.1, t.v, och 1.2, t.h, visar handformade tegel, Adobe-format, från 8300-7600, Figur 1.1, respektive 6000 f Kr, Figur 1.2.

Cirka 2500 år senare, 5900-5300 f Kr, har man börjat forma teglet med hjälp av träformar, man har slagit teglet. Tegelslagningen medförde rationellare tillverkning och betydligt större precision i tillverkningsformat. De första träformarna för tegelslagning tillverkades före järnåldern, det vill säga med stenyxor.



Figur 1.3. Form av trä för tegelslagning, Egypten. Utrymmet mellan ramdelarna fylldes med lera, varefter leran ovan ramen togs bort med ett träverktyg och formen lyftes av.

En nackdel med soltorkat lertegel och lerbruk är att beständigheten blir relativt begränsad. Torkad lera löses efterhand upp vid upprepad nedfuktning och uttorkning.

Ungefär 3500 f Kr började man bränna tegel för byggnadsändamål i Mesopotamien (i trakterna av nuvarande Iran och Irak). Tekniken att man kunde få ökad hållfasthet genom att heta upp lergods var känd sedan tidigare; den hade tidigare använts vid tillverkning av keramiska krukor och kärl. Men den hade inte använts för byggnadsändamål. Orsaken till att man började bränna tegel torde hänga samman

med samhällsförändringar; behov uppstod av byggnader med större beständighet, exempelvis i form av försvarsanläggningar.

En viktig egenskap för murverk är möjligheterna att överbrygga öppningar via valvverkan. Senare i världshistorien utvecklades detta framförallt i Romarriket, varvid man innan valven byggdes satte upp en temporär träform, som kunde rivas när valvmurningen var komplett. Men de allra första valven utfördes i Mellanöstern utan att man byggt temporära träformar, vilket hänger samman med bristen på trävirke i dessa trakter.

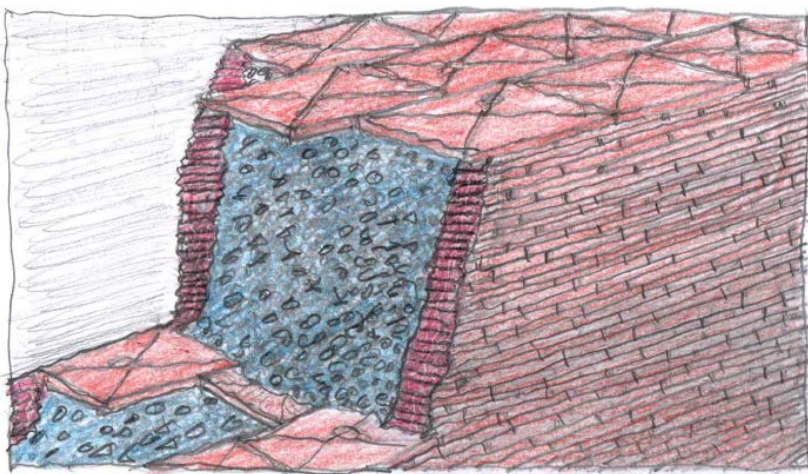
1.2 Murat byggande i Romarriket

Det var således framförallt i Romarriket som tegel- och murningstekniken utvecklades, bland annat genom byggande av akvedukter, broar samt såväl stora som små byggnader för både profana och religiösa ändamål.

Mest känt idag är kanske att man i Romarriket utvecklade valvbyggande i stor skala. Genom att bygga valv kunde man bland annat överbrygga stora öppningar och bygga broar över raviner. Ett annat kännetecken för den romerska användningen av tegel var att man normalt byggde två skal av tegel, mellan vilka en från början flytande gjutmassa fylldes på. Gjutmassan benämndes på latin *concretum*. Gjutmassan stelnade efterhand till. Tegelstenar som stack in i gjutmassan medförde att man fick statisk samverkan mellan tegelskalen och gjutmassan, vilket var viktigt för den konstruktiva bärförmågan. Man kan säga att tegelmurarna i romarnas tillämpning användes som en kvarsittande form, som blev en del av en massiv, stenbaserad konstruktion.

I Romarriket använde man sig också av tillsatser till kalkbruk som medförde hydraulisk bindning, det vill säga att bruket hårdnade genom reaktioner med vatten. Man benämner den sortens bruk för hydrauliskt kalkbruk, till skillnad från luftkalkbruk, som hårdnar genom reaktioner med koldioxid i luft.

Hydrauliskt kalkbruk hårdnar snabbare, får högre hållfasthet och är mer beständigt än luftkalkbruk. Romarna använde bland annat vulkanisk aska från staden Pozzuoli i Neapelbukten för att få fram hydrauliska egenskaper. Det innebär att deras *concretum* var en föregångare till portlandcement och betong, som utvecklades från 1700-talets slut i England.



Figur 1.4. Sprängskiss av en antik, romersk mur. Två tegelskal utgör kvarsittande form för en gjuten kärna, skalmurens flesta tegel är triangelformade med basen utåt och spetsen inåt. Med vissa mellanrum murades rektangulära tegelplattor genomgående, från kant till kant.



Bild 1.1, t.v. och 1.2, ovan, Colosseum, amfiteater, Rom, 70-80 f Kr.

1.3 Europeisk medeltid

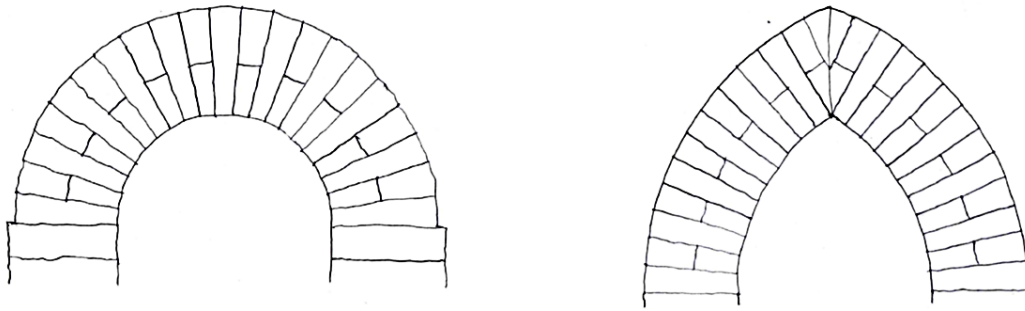
Tegel- och murningshantverket spreds sedan vidare till Romarrikets olika delar. I Europa blev framförallt kyrkans byggande, sedan kristendomen erkänts som statsreligion i det romerska riket, viktigt för den fortsatta spridningen av murverksbyggandet. Inte minst viktigt i sammanhanget var byggandet av katedraler och kloster; arbetslag av olika slags hantverkare flyttade från plats till plats, från region till region, medförande kunskaper om material och metod.

Till nuvarande Sverige kom tegelbyggnadstekniken i slutet av 1100-talet; Gumlösa kyrka i norra Skåne invigdes 1192, några decennier senare byggdes Mariakyrkan i Sigtuna.

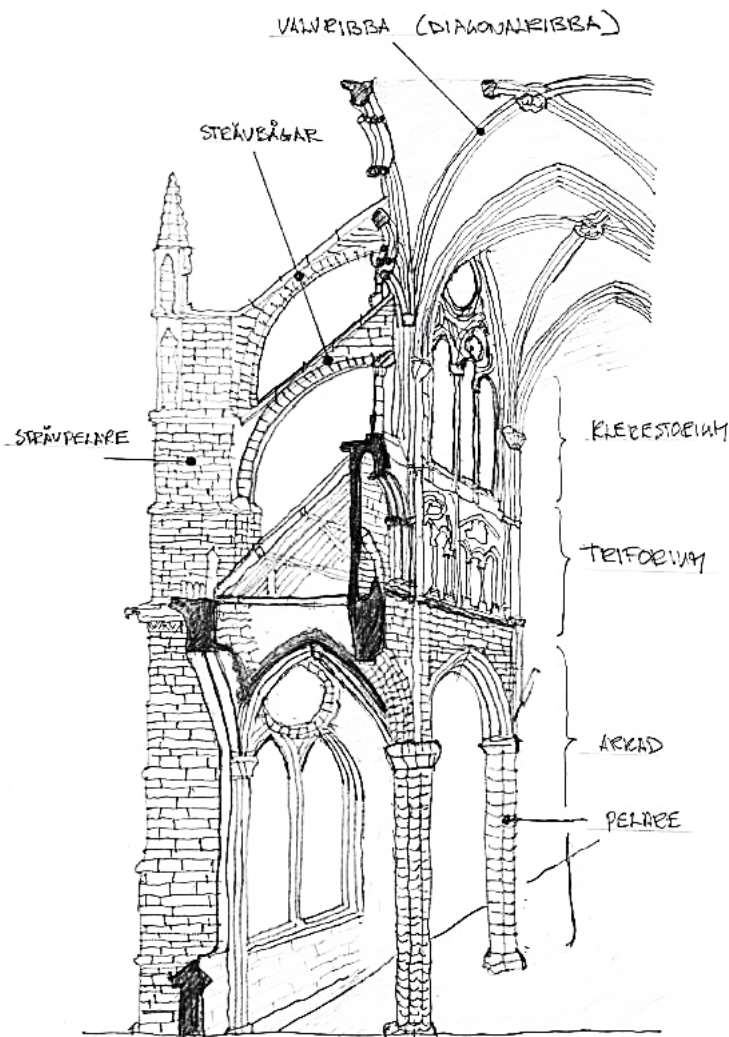
I Romarrikets murverksbyggande var byggnaderna relativt låga och breda, med halvcirkulära valv. De murverksdelar på ömse sidor om valven som tog upp lasten var kraftiga konstruktioner. Dessa konstruktiva och arkitektoniska kännetecken präglade också det tidiga kyrkobyggandet, den romanska byggnadsstilen.

Ur det romanska kyrkobyggandet utvecklades så småningom gotiken, från 1100-talet i Frankrike, varifrån stilen spreds vidare i västra och nordvästra Europa. I det sistnämnda byggandet utfördes valv med spetsbågeform, vilket är en betydligt gynnsammare form för att överbrygga öppningar än de romanska valven.

I gotiska katedraler eftersträvades att bygga på höjden, med stora fönsteröppningar och slanka pelare. I möteslinjerna mellan olika valvdelar utfördes valvribbor, vars former kunde löpa vidare ned i bärande kolonner/pelare. För att kunna bygga högt utfördes stödkonstruktioner, stråvpelare och stråvbågar, som stabiliserade mot vindlaster och minskade knäcklängder i de vertikala bärverken.



Figur 1.5, t.v, romansk valvbåge och Figur 1.6, t.h, gotisk valvbåge.

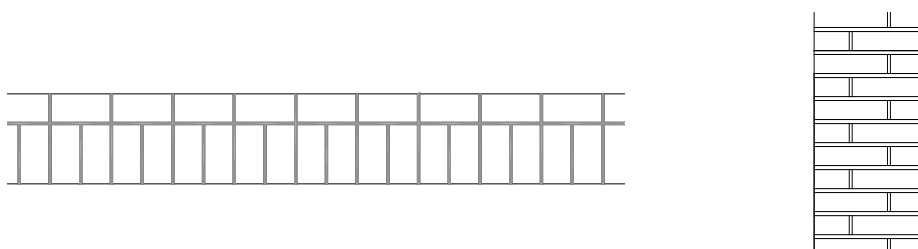


Figur 1.7. Sprängkiss av gotisk katedral. För att kunna bygga mittdelen högre byggdes stödjande konstruktioner (strävbågar och strävpelare) i sidorna. Undersida av valven delas upp i olika fält av valvribbor, som för lasterna till pelarna.

1.4 Murat byggande i Sverige under modern tid

När tegel först kom till användning i Sverige under tidig medeltid utfördes tjocka ytterväggar med en inre vägghel av kalkbruk och inlagd sten, för att spara på tegel, som var ett förhållandevis dyrt material.

Efterhand som tegelproduktionen utvecklades blev det så småningom mest rationellt att mura hela väggvärsnitt med fullmurar, det vill säga med tegel och murbruk i hela väggens djup, utan gjutning av kalkbruk och sten, se Figur 1.8 och 1.9. Det finns exempel på byggnader med fullmurar i Sverige redan från stormaktstiden, men det var framförallt under 1800-talet som denna byggnadsteknik blev vanlig i vårt land. Då hade ångmaskiner införts i tegelproduktionen och man hade börjat bygga effektivare tegelugnar. Vidare hade järnvägsnätet byggts ut, vilket gjorde att man kunde effektivt transportera teglet till olika delar av landet. Samtidigt hade stadsbränder i en rad städer, där byggnadsbeståndet dominerades av trähus med bristande brandskydd, lett till att efterfrågan på tegel för byggproduktion hade ökat. Detta ledde till att byggandet med tegel ökade kraftigt och tegelindustrin hade en storhetsperiod fram till cirka 1930.



Figur 1.8, t.v. och 1.9, t.h. Fullmur i $1\frac{1}{2}$ stens tjocklek, horisontal- respektive vertikaldetalj.

En bidragande orsak till de gynnsamma tiderna för tegelindustrin i slutet av 1800-talet och 1900-talets inledande decennier var utvecklingen inom arkitekturen. Från 1890 dominerade jugendstil, med organiska former, normalt med inslag av burspråk och frontespiser (del av yttervägg fortsätter upp förbi takfot vid byggnadslångsida). Ofta utfördes murades dessa som fullmurar och slätputsades. Men de kunde också byggas med oputsat tegel, och då företrädesvis med förbländertegel. Detta var ett särskilt hårt bränt tegel som murades med enbart kortändar ("kopytor") i fasad och med minimala fogar, se exempel i Bild 1.3.

Några år in på 1900-talet slog så nationalromantiken igenom inom arkitekturen. Nu blev istället hårdbränt, mörkt rött tegel med stor formvariation, det vill säga gärna handslaget, på modet. Socklar, ibland hela bottenvåningen, utfördes i natursten, liksom ofta konsoler och balkonger m.m. Tegel blev favoriserat även i denna arkitekturstil, Bild 1.4.

Från omkring 1930 minskade användningen av tegel i fullmurar. År 1930 hade lättbetong introducerats på den svenska marknaden. Lättbetongen, som uppfanns av svensken Axel Eriksson, murades med större block, vilket gav en snabbare process, och hade lägre värmekonduktivitet, den gav därför bättre värmeisolering. Lättbetongindustrin blev nu snabbt en framgångsrik konkurrent till tegelbruken. Strömningarna inom arkitekturen bidrog också starkt till att byggandet av oputsade tegelhus minskade från 1930. Stockholmsutställningen 1930, som dominerades av den framflytande modernistiska arkitekturen (i Skandinavien ofta benämnd funktionalism), inledde en utveckling där det fullmurade, oputsade tegelbyggandet minskade till förmån för slätputsade fasader.



Bild 1.3. Burspråk och frontespiser med organisk form är vanliga inslag i jugendarkitektur. Denna byggnad har fasader av förbländertegel. Typiskt för förbländertegel är att det är hårt bränt och murades med enbart koppytor och smala fogar.



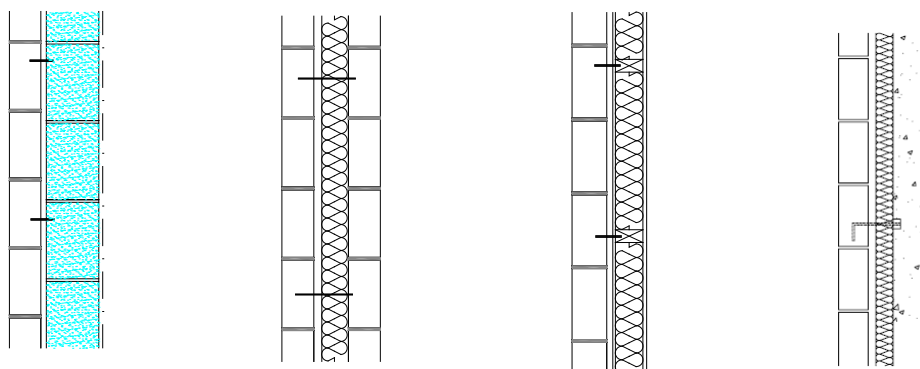
Bild 1.4. I nationalromantisk arkitektur valdes gärna hård-bränt, mörkt rött tegel som fasadmateriäl, ofta med natursten i sockel- och bottenvåning, balkonger och konsoler.

Tegel konkurrerades dock inte ut som fasadmateriäl, och de följande årtiondena ökade åter inslaget av tegelfasader i nyproduktionen. Men inslaget av fullmurat byggande minskade successivt, för att i stort sett helt försvinna under 1950-talet. Lunds tekniska högskola och övriga delar av Lunds universitet som byggdes på 1960-talet utgör undantag i detta avseende – byggda under 1960-talet med massiva tegelkonstruktioner, utan isolering och hålrum.

Från 1930 ökade istället användningen av halvstens skalmurar av tegel, utanpå väggstommar av andra materiäl. Fram till 1960-talets mitt dominerade fortfarande murade stommar med block av lättbetong innanför skalmurar av tegel. Även murblock av betong förekom som bakomliggande stomme, och småningom även av lättklinkerbetong ("Leca"), svensk tillverkning av lättklinkerbetong startades på 1960-talet.

Robusta fasader med lågt behov av underhåll och goda åldringsegenskaper var egenskaper som fortfarande efterfrågades och som förknippades med murverk. Tegelmurverk blev genom utvecklingen under tiden från i stort sett 1950 ett renodlat fasadmateriäl, som via kramlor av stål förankrades till den bakomliggande stommen. Parallellt med övergången till skalmurar gick man i nyproduktionen över till

att använda murbruk med en blandning av cement och kalk som bindemedel, KC-bruk. Man började även armera liggfogarna. Tyvärr användes inte armering och stål med tillräckligt rostskydd, vilket idag medför att det finns ett stort underhållsbehov av efterkrigstidens skalmurar.



Figur 1.10, t.v. - 1.13, t.h. Från i stort sett 1930 minskade användningen av fullmurar. Istället kom fasadtegel att användas som skalmurar utanpå bakmur av lättbetong (Figur 1.10), halvstens tegel (Figur 1.11), träregelstomme (Figur 1.12) respektive gjuten betong (Figur 1.13).

I detta förlopp ersattes alltså efterhand murade vertikala bärverk med gjuten betong eller trä i byggnadstyper där murverk tidigare varit ett naturligt val. Tegelfasader blev ett relativt tunt skal som inte alls längre betydde att den innanför liggande byggnaden var en tegelstruktur, eller ens var murad med stenblock. Den kunde lika gärna huvudsakligen vara utförd med träbaserad lättbyggnadsteknik.

Putsade fasader kunde fortfarande åstadkommas med puts på murverk, men i stort sett vid millennieskiftet 2000 kom puts allt oftare att utföras på cellplast eller mineralull, s.k. enstegstätning.

Sedan omfattande fukt- och mögelproblem konstaterades i enstegstätade regelfasader med så kallad organisk tunnputs på cellplast och träregelstommar, från 2007 och några år därefter, har intresset för murverk åter ökat i landet. Inte enbart som skalmur i fasad, inslagen av murverk som bärande bakmur har också ökat.

För putsade fasader har det också varit en ökning för puts på blockmurverk av till exempel lättbetong, lättklinker eller tegelmurblock.

Under årtusendenas lopp har således murverksmaterialen, det vill säga mursten och bruk, förändrats. Tillverkningsmetoderna har ändrats, nya material har tillkommit och det färdiga murverkets egenskaper har utvecklats. Men i grunden kvarstår det faktum att murverk utförs genom att mursten eller murblock sätts samman med ett från början löst bruk som efterhand stelnar till och får högre hållfasthet, genom ett mänskligt hantverk. Och så här i den första delen av 2000-talet är murverk som byggmetod i hög grad aktuell i det samtida byggandet.

2 Murverkets material

2.1 Tegel

Den huvudsakliga råvaran vid tegeltillverkning är lera. För de flesta tegelsorter använder man leror från den senaste nedisningen, det vill säga 10 000 – 15 000 år gamla. För att få kontroll på hur mycket det formade materialet, råteget, krymper under torkningen, innan teglet bränns, magras leran. Detta innebär att man tillsätter sand, ibland också chamotte (tidigare bränd lera, som krossats ned). Andra förekommande tillsatser är mangandioxid och kalkstensmjöl som påverkar färgen samt sågspån, som brinner upp i ugnen och medför högre porositet i det färdiga teglet.

Det finns tre olika förekommande sätt att forma teglet; maskinslagning, strängpressning och den äldre formen handslagning.



Bild 2.1. Handslagning



Bild 2.2. Maskinslagning

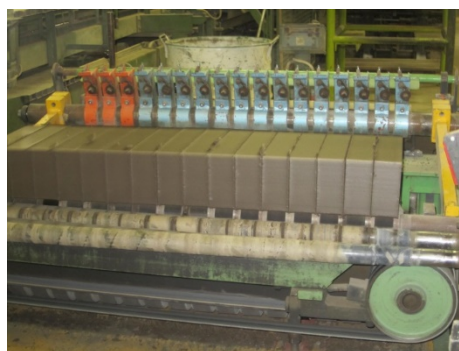


Bild 2.3, t.v. och 2.4, t.h., strängpressning, lersträngen trycks ut ur ett munstycke, t.h. skärs teglet av vid avskärningsbordet.

När råteget torkat till lämplig fukthalt bränns det i en ugn med maximal temperatur ca 1000°. Vid bränningen, som sker upp till en temperatur som ligger nära teglets sintringsgräns (den temperatur då det smälter), omvandlas leran till keramiskt material. I denna process ökar hållfastheten, högre bränningsgrad medför högre hållfasthet och större densitet i tegelgodset.

Man skiljer mellan fasadtegel och murtegel. Fasadtegel har bränts hårdare, så hårt att det ska klara av att stå ytterst i fasaden, utan att skyddas av puts. Murtegel är inte så hårt bränt, det är avsett för användning i innerväggar, bakmurar eller i fasader som putsas med ca 10-15 mm mineralisk puts.

Främst är det innehållet av kalk respektive järnoxid i leran som avgör vilken färg teglet får, man talar om gulbrännande respektive rödbrännande leror. Om det är hög halt kalk blir teglet gult, om det är mycket järnoxid blir det rött. Tillsats av mangandioxid medför att rödbrännande leror går över i en brun eller svartbrun färg. Man kan också påverka kulören genom att variera syrehalten i ugnen, och det finns en del andra metoder som används för att påverka teglets utseende.

Förutom tegel i normalformat (svenskt 120x250x62, danskt 108x228x54) finns på marknaden tegelmurblock, som putsas in- och utvändigt eller används som bärande bakmurar respektive bärande innerväggar. Normalformat muras vanligen med 13 mm fog, murblock med 1-2 mm cementbaserat tunnfogslim.

2.2 Lättbetong

Råvarorna vid tillverkning av lättbetong är bränd kalk eller cement (som bindemedel), ballast av sand eller sandsten samt vatten. När dessa komponenter blandats och fyllts i en form tillsätts aluminiumpulver. Aluminiumet reagerar med kalken, varvid det bildas vätgasbubblor, massan jäser nästan som en deg, porositeten ökar.

När gjutmassan stelnat skärs den till lämplig blockform. Därefter härddas den i autoklaver, med mättad vattenånga och högt tryck. I denna process sker en kemisk reaktion, varvid kalciumhydrosilikat bildas, som medför att materialet får bestående hållfasthet och volymbeständighet.

Lättbetong tillverkas som:

- Block för tunnfogsmurning
- Armerade balkar, upp till 3,6 m
- U-block för igjutning/armering på byggplats
- Thermoblock, det vill säga kompositblock med kärna av isolering

Lättbetongblock muras normalt med 1-2 mm cementbaserat tunnfogslim, som är särskilt anpassat till lättbetongens vattensugning och pH-värde.



Bild 2.5, t.v. tunnfogslimning av homogena lättbetongblock och Bild 2.6, t.h., kompositblock med två skikt lättbetong och mellanliggande isolering.



Bild 2.7. Yttervägg av lättbetong med inlagd prefab balk över fönsteröppning.

Lättbetong har ett pH-värde i intervallet 9-10. Det innebär att det inte skyddar armering mot korrosion, varför armering i balkar rostskyddas med rostskyddsfärg.

Lättbetongblock tillverkas i densitet mellan $275\text{-}650\text{ kg/m}^3$ (uttorkat). Högre densitet medför högre hållfasthet och högre värmekonduktivitet. Block med densitet 275 kg/m^3 har värmekonduktiviteten $0.08\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ och hållfasthetsklass 2,0 MPa. Motsvarande värden för block med densitet 535 kg/m^3 är $0.15\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ och 4,5 MPa.

2.3 Lättklinkerbetong (Leca)

Lättklinkerbetong kallas ofta Leca (förkortning för Light Expanded Clay Aggregate), som från början är ett fabriksnamn, men som ofta används även av övriga tillverkare. I EK6 tillhör Lättklinkerbetong samma kategori som block av betong. Råvarorna vid tillverkning av betongblock är cement, ballast (sand, grus) och vatten. Det specifika med ”Leca” är att det tillhör undergruppen lättballastbetong, det vill säga man använder huvudsakligen en ballast med lägre densitet än grus och sand. I blocken används ballast av lättklinkerkulor.

Råvara vid tillverkning av lättklinkerkulor är finkornig, kalkfattig lera. Efter fördelning till lämplig storlek behandlas lerkulor i en roterande ugn vid $1100\text{-}1200^\circ$, varvid kemiskt bundet vatten i leran förångas. När vattnet i leran förångas expanderar det och lerkulorna förändras mekaniskt, de expanderar



Bild 2.8. Lättklinkerkulor tillverkas av lera i roterande ugn.

och ”poppar up”. I nästa fas avdunstar vattnet, den mekanisk förändrade strukturen består, kulorna har fått högre porositet och lägre densitet än före upphettningen.

Lättklinkern siktas därefter i fraktioner. Block tillverkas genom gjutning med cementbruk och lättklinkerkulor i fraktion 0-12 mm. Blocken härdras och är sedan klara för leverans.



Bild 2.9, t.v., lättklinkerkulor och 2.10, t.h., murblock av lättklinkerbetong

Lättklinkerprodukter tillverkas som

- Block för fullfogsmurning
- Block för tunnfogning
- Kompositblock, Isoblock, med två skal lättklinkerbetong och mellanliggande isolering
- U-block för igjutning/armering på byggplats
- Prefab armerade balkar, normalt 1200-3600 mm

Vid tillverkning av balkar gjuts armering av kamstänger, som rostskyddas genom doppning i rostskyddsfärg, in. Vid fullfogsmurning muras med 10 mm fog, brukskvalitet M2,5, vid tunnfogslimning 3 mm cementbaserat bruk.

Murytor av lättklinkerbetongprodukter ska putsas, eller tunnputsas, för att bli lufttäta. Blocken tillverkas i densitetsklasser 650 och 900 kg/m³, och hållfasthetsklasser 2, 3 och 5 MPa. Värmeledningsförmågan vid murning med fullfog är ca 0,20 W/(m·K), utan fog ca 0,15 W/(m·K).

2.4 Block/mursten av övriga material enligt EK6

Kalksandsten

Osläckt kalk (CaO), kvartsrik natursand eller krossad sandsten bringas att reagera till kalciumhydrosilikat. Vatten tillsätts (kalken släcks) varefter materialet ånghärdas i autoklav vid 200-220°.

Fabrikstillverkad sten

Mursten/murblock av stenmaterial som tillverkas genom gjutning eller pressning och inte tillhör övriga grupper.

Natursten

Sten/block som brutits i naturen och tillpassats för murning.

Murstenar/block ska uppfylla olika delar av SS-EN 771

SS-EN 771-1 gäller för tegel

SS-EN 771-2 gäller för kalksandsten

SS-EN 771-3 gäller för betong och lättballastbetong (leca)

SS-EN 771-4 gäller för autoklaverad lättbetong

SS-EN 771-5 gäller för övrig fabriksstillverkad sten

SS-EN 771-6 gäller för natursten

I SS-EN 771-serien specificeras:

- Karakteristika och funktionskrav för respektive materialslag
- Måttoleranser, hållfasthetskrav, densitet, termiska egenskaper, beständighet, vattenabsorption m.m.
- Tillverkningskontroll
- Vilka testmetoder som ska användas anges, genom hänvisning till standarder.

2.5 Indelning av mursten och murblock enligt EK6

Hållfasthetsklass:

Normaliserad tryckhållfasthet, omräknat till 100x100 mm provkropp, deklarerar av tillverkare. När hållfasthetsklass anges på ritning avses normaliserad tryckhållfasthet

Efter kategori:

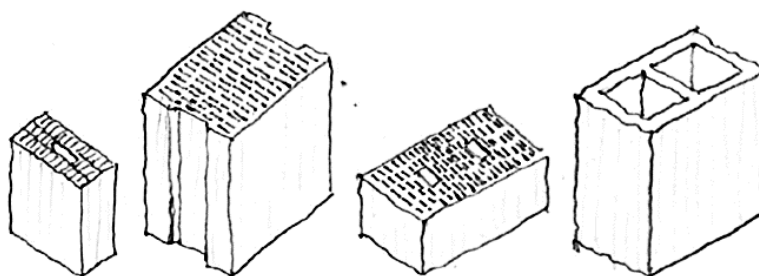
Kategori I - tryckhållfasthet bestäms så att max 5 % av proverna har lägre hållfasthet

Kategori II - murstenar/block som inte uppfyller detta krav

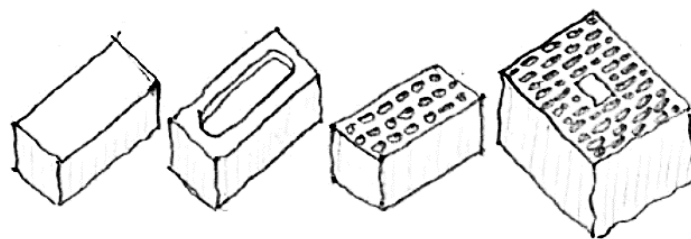
Efter densitet:

LD low density max densitet 1000 kg/m³, avsett för putsat murverk, bakmur eller innervägg

HD high density mer än 1000 kg/m³, vanligt normalformat, avsett för fasadmur.



Figur 2.1. Low densityblock av tegel har tunna tegelgods och stor andel hål, som kan vara fyllda med luft eller lätt isolering.



Figur 2.2. Tegel i normalformat (t.ex. 120x250x62 och 108x228x54), såväl massivtegel som håltegel, är exempel på high density produkter.

Efter andel hål av total yta:

Grupp 1	max 25 %
Grupp 2	mellan 25 % och 55 %
Grupp 3	mellan 55 och 70 %
Grupp 4	horisontella hål

De allra flesta murstenar och block som finns på marknaden i Sverige tillhör grupp 1. Undantaget är tegelmurblock, som tillhör grupp 3.

2.6 Murbruk

Murbruk sätts samman av ballast, bindemedel, vatten och tillsatsmedel. Bindemedel kan vara hydrauliska eller icke hydrauliska. Hydrauliska, som cement, hårdnar genom reaktioner med vatten, icke hydrauliska, som luftkalk, genom reaktion med luftens koldioxid. Hydraulisk kalk innehåller både komponenter som hårdnar genom reaktion med vatten och komponenter som hårdnar genom reaktion med luftens koldioxid.

Cementbruk och bruk som innehåller både cement och luftkalk (kalkcement- eller KC-bruk) hårdnar snabbare, får högre hållfasthet och blir mer beständigt än luftkalk. I gengäld är de förstnämnda mindre elastiska och därmed mer sprickbenägna; ju högre halt cement i bindemedlet desto mer markant blir dessa skillnader.

Hydraulisk kalk ger bruk som har egenskaper mellan cement/KC-bruk och luftkalk. De kan få hållfasthet motsvarande svagare KC-bruk, men det tar längre tid för murverket att uppnå detta. Sistnämnda faktor behöver inte vara en nackdel, om murverket har varit med om en stor del av sin årsrörelse innan brukets hållfasthet uppnåtts torde sprickrisken vara mindre.

2.7 Indelning av murbruk enligt EK6

Tabell 2.1. Blandningsproportioner för murbruk, i enlighet med EKS 11, tabell H-2 och H-3.

Specialmurbruk beteckning enligt EK6	Bindemedel	Viktdelar (äldre beteckning)	Volymdelar	Receptmurbruk beteckning enligt EK6
M10	Cement	C 100/450	C 1:4	M10-1:0:4C
	Kalk, Cement	KC 20/80/400	KC 1:3:15	M10-3:1:15CK
	Kalk, Cement	KC 10/90/350	KC 1:4:15	M10-4:1:15CK
	Murcement	M 100/350	M 1:3	M10-1:3M
M2,5	Kalk, Cement	KC 35/65/550	KC 1:1:8	M2,5-1:1:8CK
	Murcement	M 100/600	M 1:5	M2,5-1:5M
M1	Kalk, Cement	KC 50/50/650	KC 2:1:12	M1-1:2:12CK
	Murcement	M 100/900	M 1:7	M1-1:7M
M0,5	Kalk, Cement	KC 50/50/950	KC 2:1:18	M0,5 -1:2:18CK
	Hydraulisk kalk	Kh 100/850	Kh 1:5	M0,5-1:5Kh

Specialmurbruk

Tillverkningen styrs av funktionskrav; tillverkaren deklarerar tryckhållfastheten i enheten MPa. Bruket betecknas med M följt av siffror som anger tryckhållfastheten, till exempel M2,5.

Receptmurbruk

Tillverkningen styrs av deskriptivt krav, det vill säga hur bruket sätts samman av de olika komponenterna. Bruket betecknas med M följt av siffra som anger tryckhållfastheten, till exempel M2,5. Därefter anges blandningsproportioner som volymdelar cement: kalk:sand, t.ex. M2,5 - 1:1:8.

Tunnfogsbruk är avsett för fog mellan 0,5 och 3 mm.

Fabriksblandade bruk, tillverkas på fabrik och levereras färdigt för användning till byggsplats.

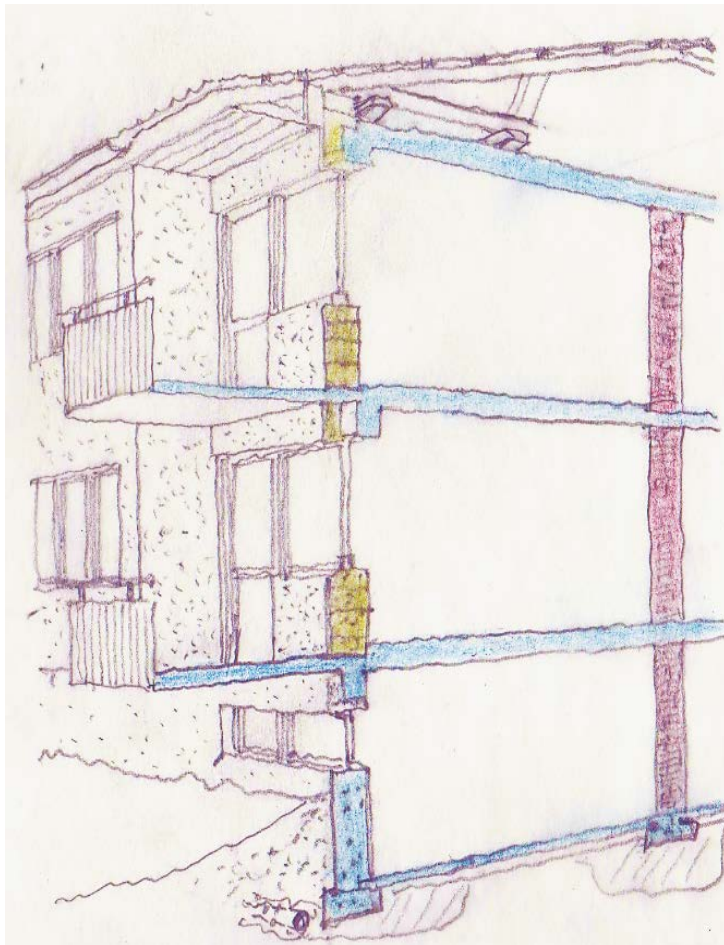
Platsblandade bruk, bereds på byggsplats.

Torrbruk, dvs bruk i säck som på byggsplats blandas med vatten, betraktas i EK6 som fabriksblandade bruk.

3 Murverket som element i den bärande stommen

3.1 Inledning

De krafter som påverkar en byggnad ska tas upp av det bärande systemet, byggnadsstommen. Komponenterna i det bärande systemet kan delas in i olika kategorier, med hänsyn till exempelvis om de är vertikalt eller horisontellt orienterade eller hur de belastas. Förutom horisontell och vertikal orientering tillkommer för murverks del även mellanformer, som olika valv- och skalkonstruktioner.



Figur 3.1. I denna byggnad består det bärande systemet, förutom tak och grundläggning, av betongplattor, som utgör horisontella bärverk, och murade väggar, vilka utgör vertikala bärverk. En längsgående mur i byggnadens mitt ("hjärtmur") och ytterväggarna på långsidorna är bärande. Betongplattan kragar ut genom ytterväggen och bildar den platta som utgör balkongernas golv.

Lasterna förs via byggnadsstommen och grundläggningen till de underliggande marklagren, undergrunden.

Betongplattor är antingen enkelspända (konstruktivt verksam armering i en riktning) eller dubbelspända (konstruktivt verksam armering i två, vanligen, vinkelräta riktningar). Om betongplattorna i detta exempel är dubbelspända finns det tvärgående bärande väggar, som ofta också är lägenhetsskiljande.

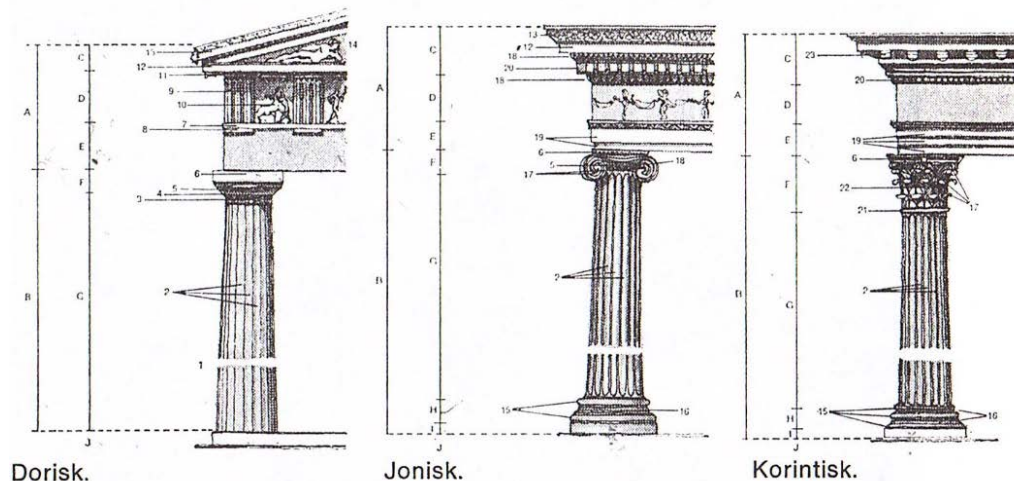
Förekommande vertikallaster, som normalt främst utgörs av byggnadsdelars egentyngd och nyttig last, förs via horisontellt orienterade bärverk, som balkar och/eller bjälklagsplattor, till vertikala bärverk.

3.2 Vertikala murade element

Vertikala bärverk utgörs av väggar och pelare. Korta väggar förekommer också som benämning på mellanformer. Gränserna är inte distinkta, förhållandet mellan bredd och tjocklek har viss betydelse för vad som kallas pelare respektive vägg. Men en murad konstruktion med bredd upp till ca 400-500 mm brukar normalt kallas pelare och för konstruktioner med mer än 2000 mm bredd är det rimligt att använda beteckningen vägg. Medan bärverk med bredd ca 500-2000 mm kan betecknas som korta väggar.

Kolonn är ett begrepp inom arkitekturen för ett fristående vertikalt bärverk som består av kapital (anslutningen i ovankanten mot ett horisontellt bärverk) och skaft (som utgör större delen av kolonnen). Emellanåt, i vissa typer av kolonner, är dess understa del utformad med ett annorlunda tvärsnitt; den har en bas som utgör kopplingen till underliggande bärverk. Konstruktionstekniskt är kolonner en sorts pelare, när man räknar på en kolonnns lastkapacitet kan man betrakta den som en vanlig pelare. I och för sig innebär ett kapital respektive en bas att slankheten blir mindre, det torde dock vara ovanligt att hänsyn tas till det vid en kapacitetsberäkning. Men det finns metoder för att ta hänsyn till dessa effekter.

Grekiska ordningar:



Figur 3.2. Antika, grekiska kolonnordningar. I det antika Grekland användes inom arkitekturen tre sorters kolonner, kolonnordningar. Källa: Arkitekturtermer, J T Ahlstrand, Studentlitteratur, 1969/1976.

Ibland förekommer i äldre fullmurade byggnader förstävningar i väggar, som kallas pilastrar eller väggpelare. Dessa skjuter ut en bit utanför muren, till exempel på ett djup av 120 mm (1/2-sten) eller 250 mm (en sten). Den förstävning av en vägg som dessa är en del av kan man ta hänsyn till vid beräkning av lastkapaciteten genom användning av Steiners sats. Den utsträckning i sidled som förstävningen får beaktas finns reglerat i EK6, SS-EN1996-1-1.

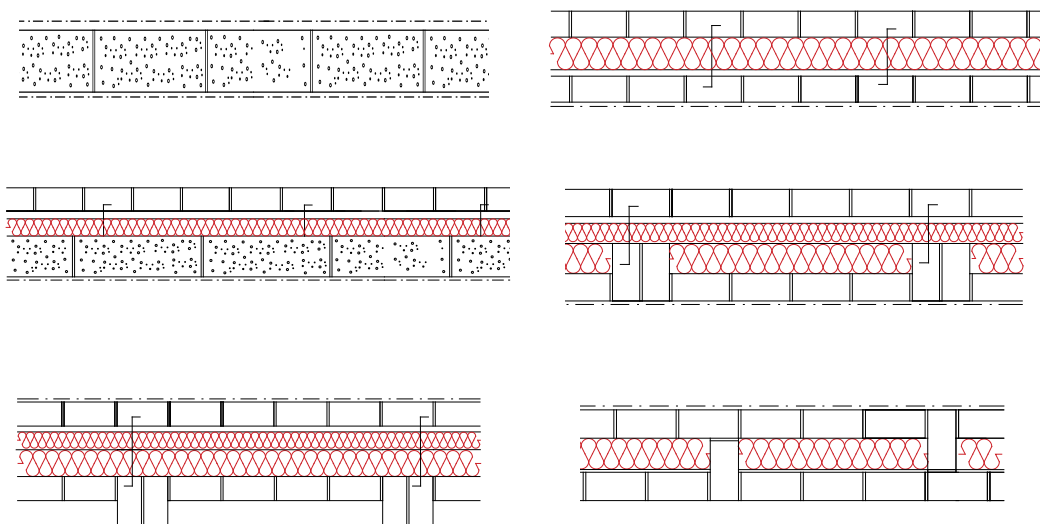
I nutida ytterväggar avgör ofta kravet på värmeisolering vilka väggtyper som kommer till användning, se exempel i Figur 3.3-3.8. Konstruktivt enklast murade ytterväggar består av homogena blockmurverk.

Väggtyper med 1/2-stens tegel i fasad och bakmur utförs ofta med isolertjocklekar i storleksordning 180-250 mm. Isoleringen utgörs normalt av mineralull (stenull respektive glasull, ”skalmurskivor”), men även perlit som lösisolering förekommer. Perlit tillverkas av en vulkanisk sand, och är i likhet med stenull och glasull ett icke-organiskt material. Organiskt baserade isoleringsmaterial bör undvikas i kanalmurar, eftersom det periodvis kan bli fuktiga förhållanden i utrymmet mellan de båda murdelarna.

Om väggar med homogena blockmurverk utförs i tjocklek av 350-400 mm, vilket ofta minst krävs med tanke på värmeisoleringen, får väggen relativt stor lastkapacitet för såväl horisontella som vertikala laster, och klarar sig normalt i byggnader med upp till 4-5 våningar. För kompositblock, med isolerande

kärna och två murskal blir den konstruktiva kapaciteten mer begränsad, men kan ändå ofta vara tillräcklig i småskalig bebyggelse.

För kanalmurar med $\frac{1}{2}$ -stens skalmurverk av tegel i både i fasad och bakmur, Figur 3.4 blir den konstruktiva lastkapaciteten relativt begränsad, och användning av denna väggkonstruktion torde idag vara begränsad till byggnader i 1- och $1\frac{1}{2}$ – plan, möjligen med gynnsam geometri 2-planshus. För att öka lastkapaciteten kan man till exempel använda bakmur av murblock, med ca 200 mm tjocklek, Figur 3.5, vilket medför betydligt större lastkapacitet. En annan metod är att utföra fasad- eller bakmur med förstyvningar, antingen inåt i isolerskiktet, Figur 3.6, vilket dock leder till högre U-värde, eller synligt i fasad, Figur 3.7, en väggtyp som kallas fenvägg.



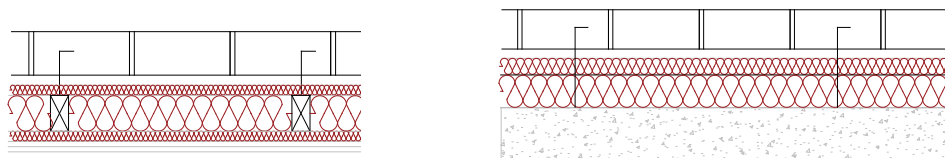
Figur 3.3, överst t.v., homogen blockmur, Figur 3.4, överst t.h., $\frac{1}{2}$ -stens tegel i fasad, isolering och $\frac{1}{2}$ -stens tegel i bakmur. Figur 3.5, mitten t.v., $\frac{1}{2}$ -stens tegel i fasad, isolering och bakmur av murblock, Figur 3.6, mitten, t.h., $\frac{1}{2}$ -stens tegel i fasad, isolering och $\frac{1}{2}$ -stens bakmur med inmurade strävpelare. Figur 3.7, nederst, t.v., $\frac{1}{2}$ -stens tegel i fasad med synliga förstyvningar (fenmur), isolering och $\frac{1}{2}$ -stens bakmur, Figur 3.8, t.h., $\frac{1}{2}$ -stens tegel i fasad och bakmur av $\frac{1}{2}$ -stens tegel, utförd som diafragmamur. Förbandsmurningen mellan fasadmur och bakmur i sistnämnda väggtyp gör att vindlasten fördelas mellan fasad- och bakmur. I de övriga väggtyperna med fasadtegel sätts stålkramlor, som fördelar vindlasten mellan de båda murdelarna.

Ytterligare ett alternativ visas i Figur 3.8, diafragmavägg. I denna muras fasadens $\frac{1}{2}$ -stens tegelmurverk i förband med bakmuren, som också utförs som $\frac{1}{2}$ -stens skalmur. Ihopmurningen ger stor ökning av lastkapaciteten, nackdelen är naturligtvis ökat värmefflöde genom väggen.

Kraven på låga U-värden gäller framförallt i bostäder. I en del byggnadstyper, till exempel för lantbruk, industriändamål, byggnader som inte värms upp eller inrymmer verksamhet som generar värmeöverskott kan det vara befogat att använda väggtyper som har högre U-värde än kraven i bostäder.

De flesta tegelfasader i svenskt byggande utförs dock inte med murverk som inre väggdel. Istället används tegel normalt i kombination med innanför uppbyggd regelstomme (trä- eller stålreglar) eller gjuten betong. Reglarna utförs idag normalt med så stor tjocklek, på grund av isoleringskraven, att de

ensamma kan ta hand om vindlasten. Samma sak gäller i ännu högre grad om man har en gjuten, armerad betong innanför isolerskiktet. I dessa fall, se Figur 3.9 och 3.10, förankras vindlasten i innanför belägen konstruktion, som för den vidare till övrig byggnadsstomme. Det innebär att det bara mycket marginellt uppstår dragspänningar i tegelmurverket; när vindlasten förs till de lägen där det finns kramlor som för lasten vidare till regelstommen respektive bakomliggande betongkonstruktion.



Figur 3.9, t.v., skalmur med regelstomme och 3.10, t.h., skalmur med gjuten betongstomme

I EK6 används beteckningen skalmur för ½-stens tegelfasader i kombination med regelstomme och beteckningen kanalmur för väggar med ½-stens tegelfasad, luftspalt med isolering och bakmur. Bakmur kan i sistnämnda fall utföras till exempel med tegel, tegelmurblock, lättbetong eller lättklinkerbetong.

Fasadmurverk av halvstens tegel kan också kombineras med blockmurverk som i sig innehåller hela isoleringen. Denna typ av väggar kan också, enligt EK6:s terminologi, betecknas som kanalmurar, om det är förbundna med kramlor och inte är ihopmurade i förband på något sätt. Man använder då som bakmur någon sorts kompositblock, till exempel av lättbetong/cellplast ("Thermoblock"), lättklinkerbetong/cellplast ("Isoblock") eller tegelmurblock ("Porotherm", som innehåller isolering av mineralull eller perlit i hållkanaler i blocken). En fördel med denna typ av byggnadsteknik är att man får betydligt enklare detaljer vid fönster- och dörröppningar än i kanalmurar med isolertjocklek i storleksordning 150-250 mm.

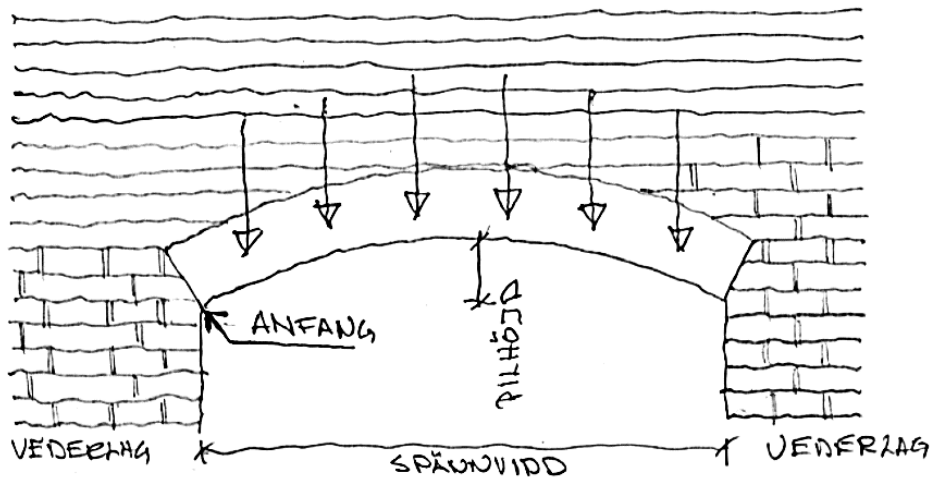
Murade innerväggar utförs emellanåt med blockmurverk av lättklinkerbetong, lättbetong eller tegel, som putsas. Det förekommer även att man använder tegel i normalformat, som antingen putsas med en mycket tunn puts, så att tegelstrukturen framgår i ytan ("säckskurning"), eller inte putsas alls, om man vill ha fram tegelmurverket som ytmaterial.

För lägenhetsskiljande väggar krävs större tjocklek än om man använder betong, eftersom betongens densitet är större än murverksmaterialens. Jämfört med lättbyggnadsteknik är det dock inte säkert att det blir nämnvärd skillnad, för regelkonstruktioner krävs flera skikt och gipsskivor för att komma upp i tillräcklig ljudklass.

För väggar som omsluter våtrum är det ofta fördelaktigt att använda murade konstruktioner med hänsyn till fuktsäkerhetsaspekter. Vid planlösningar som präglas av korta väggar, som inte ligger i långa, enkla rader blir formningsarbetet vid betongjutning komplicerat, och då kan det murade byggandets flexibilitet – formerna skapas när muraren lägger murstenen på plats, utgöra en viktig fördel. Förutom vid våtrum gäller denna situation ofta även för lägenhetsskiljande väggar.

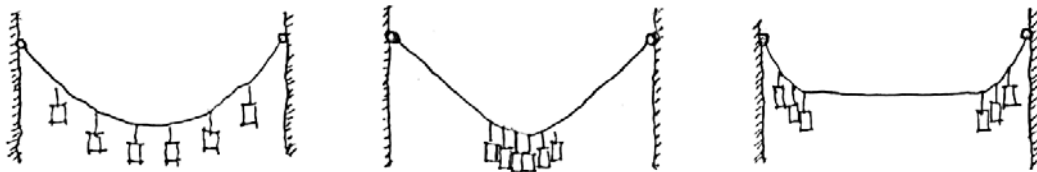
För murverkskonstruktioner finns också möjligheten att via valvverkan överbrygga öppningar, och föra lasterna till ömse sidor, till vederlagen. Vid valvverkan tas lasterna över öppningen upp genom tryck, som murverkskonstruktioner är bra på att ta, och inte genom dragspänningar, som murverk är dåligt på att ta upp. I ett valv bildas då en trycklinje; den del av murverkskonstruktionen som utsätts för

tryckspänning. Förutsättningen för att det ska fungera är att kraftjämvikt uppstår. Detta sker genom att valvet stöts upp med horisontalkrafter i upplagen.



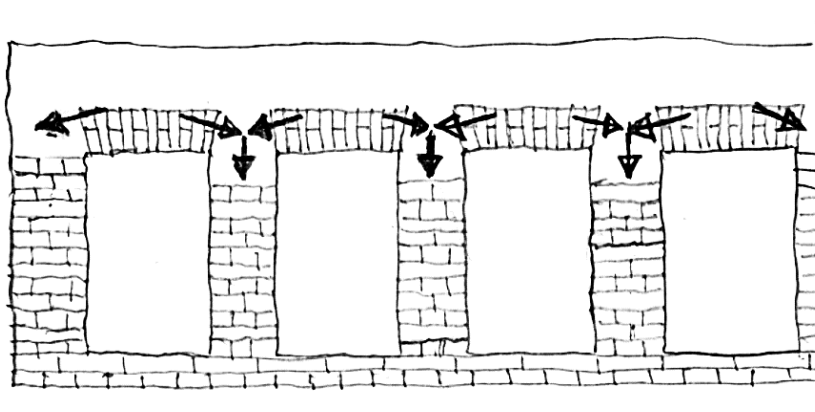
Figur 3.11. Valvbåge, så kallat segmentvalv, med markeringar för spännvidd, pilhöjd, anfang och vederlag.

För att underlätta förståelsen för kraftförloppet vid valvverkan kan använda analogi med linkrafter. Karakteristiskt för en lina är att den endast kan ta upp dragkraft. I varje del i linan är kraften konstant, men den länkas av i lägen där det finns belastning, och kan uttryckas med en vektor i linans eller tangentens riktning. Om man hänger upp last i en lina kommer den form som linan antar att bestämmas av dels var lasterna placeras och dels av vilka horisontalkrafter man för på vid upplagen, se Figur 3.12. Genom att föra på stora horisontalkrafter på ömse sidor kan linan anta en nästan horisontell form.



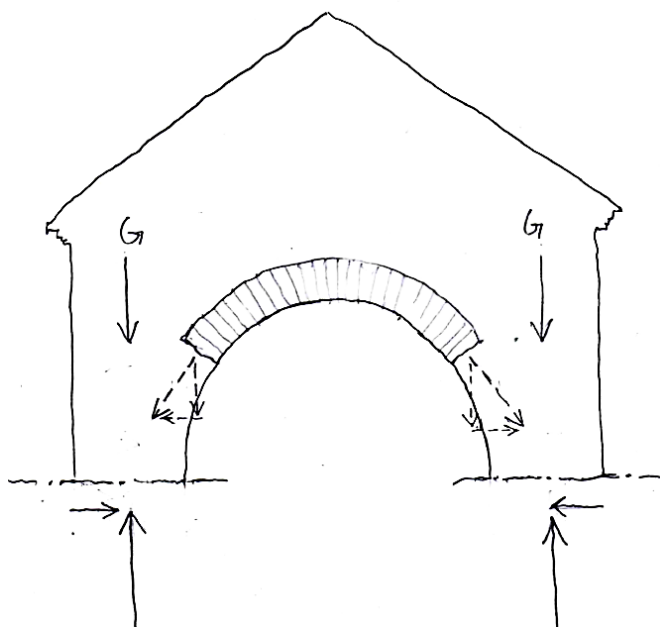
Figur 3.12. En linas form varierar beroende på lasternas placering.

I en valvbåge över en muröppning tas kraften istället framförallt via tryck. Murbruk fyller ut mellanrummen mellan murstenarna och låser på så vis dessa i ett bestämt läge. Beroende på vilken typ av murbruk som använts kan murverket ha en viss förmåga att ta upp drag- och skjuvspänning. Men tryckkapaciteten är mycket större och i stora drag fungerar ett valv analogt med en lina, fast med tryck istället för drag. Valvets spännvidd, form och belastningen avgör vilka vertikala och horisontella upplagsreaktioner som uppstår.



Figur 3.13. Principfigur som visar upplagskrafter på ömse sidor av en rad valv. I denna sorts traditionella tegelbyggnadsteknik har första raden fönster normalt placerats på någon meters avstånd från byggnadens hörn, för att horisontalreaktionen ska kunna tas om hand i hörnläget.

Om det finns en rad valv med samma form och belastning bredvid varandra kommer horisontalreaktionerna från intilliggande valv att motverka varandra, se Figur 3.13. I den yttersta valvöppningen finns dock inte något mothåll, varför horisontalkraften vid hörnet måste tas om hand av murpelaren, vederlaget, i byggnadens hörn. Vertikalbelastning uppifrån av vederlaget bidrar till att öka dess kapacitet att ta upp horisontalkrafter; dels genom ett positivt bidrag till stabiliteten dels genom ökad friktion i liggfogarna. I äldre, traditionella tegelmurverk har man normalt därför sett till att det kommer ned relativt stor last i dessa lägen, framförallt från egentyngd av ovanliggande murverk, se Figur 3.14.



Figur 3.14. Principfigur som visar en medeltida murverkskonstruktion. Kraftiga vederlag, med stor egentyngd från ovanligga murverksdelar, medför stor kapacitet att ta upp de horisontalkrafter som erfordras för jämvikten.

4 Murverk som stomstabiliserande väggar

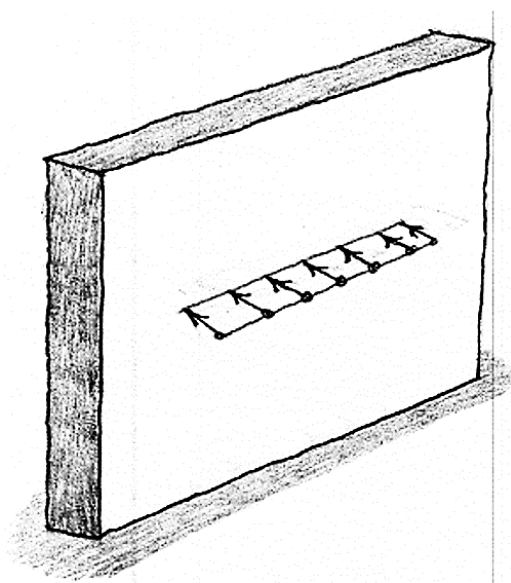
4.1 Inledning

Förutom vertikalbelastning ska det bärande systemet också ta hand om förekommande horisontella laster. Normalt utgörs horisontella laster av vindlast mot ytterväggar och jordtryck mot källarväggar. Horisontallaster uppstår också på grund av snedställning av vertikala bärverk, vilket framförallt kan ha betydelse i höga byggnader.

4.2 Överföring av horisontella laster genom murade väggar

4.2.1 Plattverkan

Horisontella laster på ytterväggar kan via plattverkan (belastning vinkelrätt mot byggnadsdelen, se Figur 4.1) föras till angränsande konstruktioner, som tvärgående väggar och bjälklag. Vid plattverkan utnyttjas dragspänning i fogarna och stenarna när lasten förs vidare i murverket till tvärgående väggar eller bjälklag i över- respektive underkant.

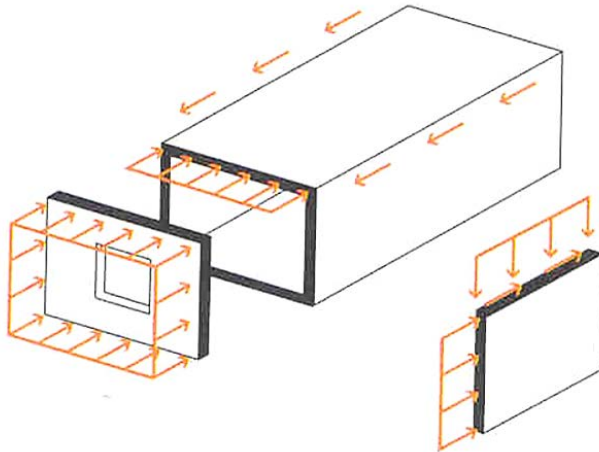


Figur 4.1. Plattverkan innebär att en vägg belastas av en last som verkar vinkelrätt mot väggens eget plan. I detta exempel träffas väggen av en horisontell linjelast, vilket är ovanligt. Vindlast förutsätts normalt belastas som en jämnt utbredd ytlast.

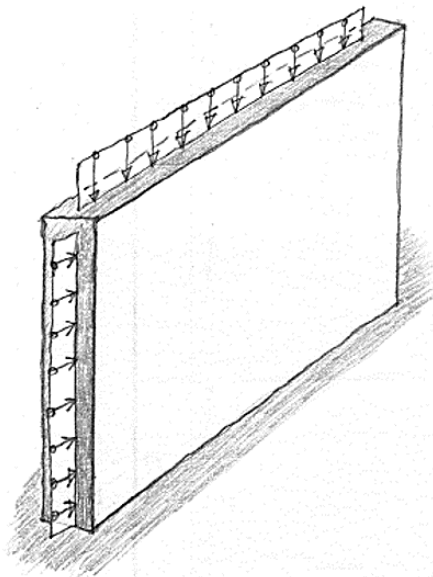
Kapaciteten att ta upp vindlast via plattverkan påverkas framförallt av murverkets tjocklek. Därför blir vindlast oftast inte något problem i väggar med homogena block i tjocklek ca 400 mm, om man inte har mycket stora avstånd (i storleksordning 8-10 m eller mer för homogena block, för kompositblock dock mindre) mellan tvärgående väggar. Vid väggar med fasadtegel och bakmur bestäms ofta vindlastkapaciteten av vilken tjocklek som väljs för bakmuren. Förstävningar i form av inmurade stråvpelare samt väggar med fen- respektive diafragmamurning, kan också i viss mån öka kapaciteten att ta upp vindlast. Men de sistnämnda har framförallt betydelse genom att de minskar murverkets slankhet, vilket medför ökad kapacitet att ta upp vertikalast. Bakmuren är normalt bärande, men genom ihopkoppling med fasadmuren kommer förstävningar i sistnämnda vägghel även att medföra ökad lastkapacitet vertikalt också för bakmuren.

4.2.2 Skivverkan

Murade väggar kan också ta upp laster via skivverkan, vilket innebär att de utsätts för belastning av krafter som verkar i murverksdelens eget plan, se Figurerna 4.2 och 4.3. Detta sker i horisontalstabiliserande väggar (skjuvväggar), det vill säga väggar som är riktade vinkelrät mot de horisontalbelastade. Last som tas upp i bjälklagen förs via skivverkan i dessa till tvärgående väggar. I den mån de tvärgående väggarna når fram till ytterväggarna kan horisontalkraft tas direkt mellan yttervägg och tvärgående vägg.

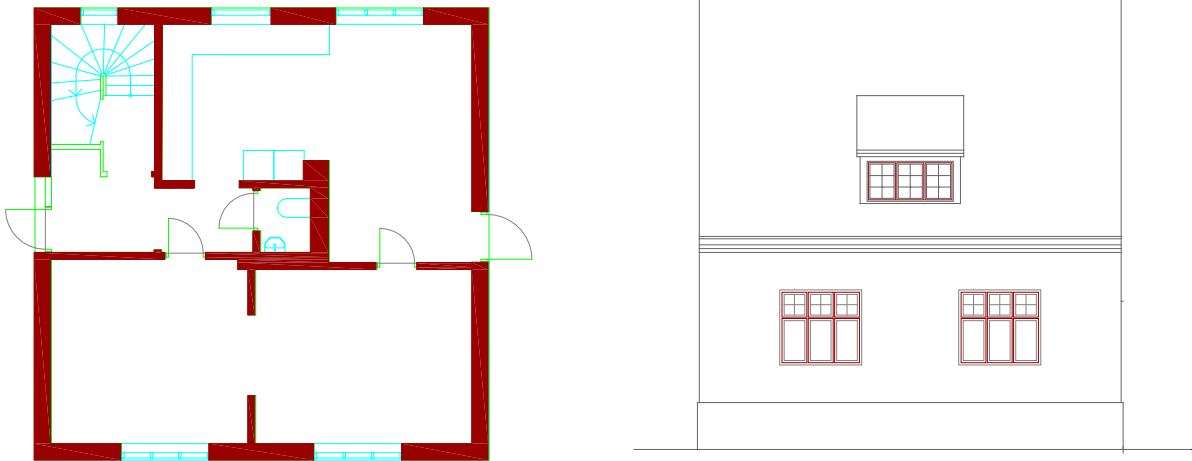


Figur 4.2. Den vindlast som träffar ytterväggen tas i detta exempel via plattverkan i väggen till tvärgående väggar samt bjälklag i väggens ovan- respektive underkant. Den last som tas upp av bjälklagen förs vidare till tvärgående väggar, som kommer att bli belastade i sitt eget plan, via skivverkan.



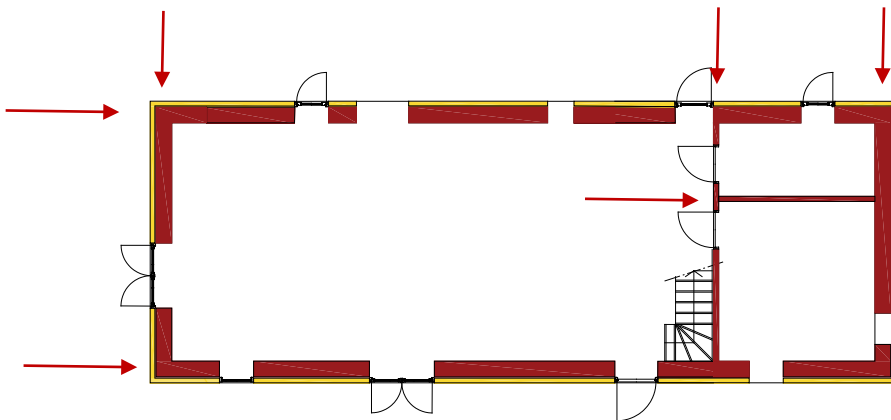
Figur 4.3. Vägg som belastas av krafter i sitt eget plan, dels som vertikalbelastning i ovankant och dels som horisontallast längs ena sidan.

I äldre, fullmurade hus med många korsställda väggar är horisontalstabiliteten normalt betryggande, se Figur 4.4 och 4.5. Men det finns en del exempel på att man gjort ombyggnader som resulterat i att horisontalstabiliteten äventyrats genom att man slagit ihop rum och då tagit bort väggar som varit viktiga.

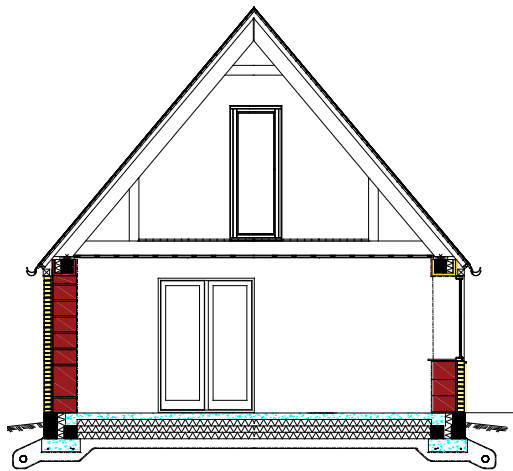


Figur 4.4, t.v och 4.5, t.h, exempel på äldre, fullmurat småhus, där horisontalstabiliteten erfarenhetsmässigt är betryggande. Ytterväggarna utgörs av $1\frac{1}{2}$ -stens tegelmurverk medan innerväggarna murats i $\frac{1}{2}$ -stens tjocklek. I detta exempel är det maximalt ca 4-5 m avstånd mellan de tvärgående väggar som kan förutsättas stabiliserande för vindlaster mot respektive fasad.

Exempel i Figur 4.6 och 4.7 visar ett ej uppfört småhus, där horisontalstabiliteten kan vara problematisk.

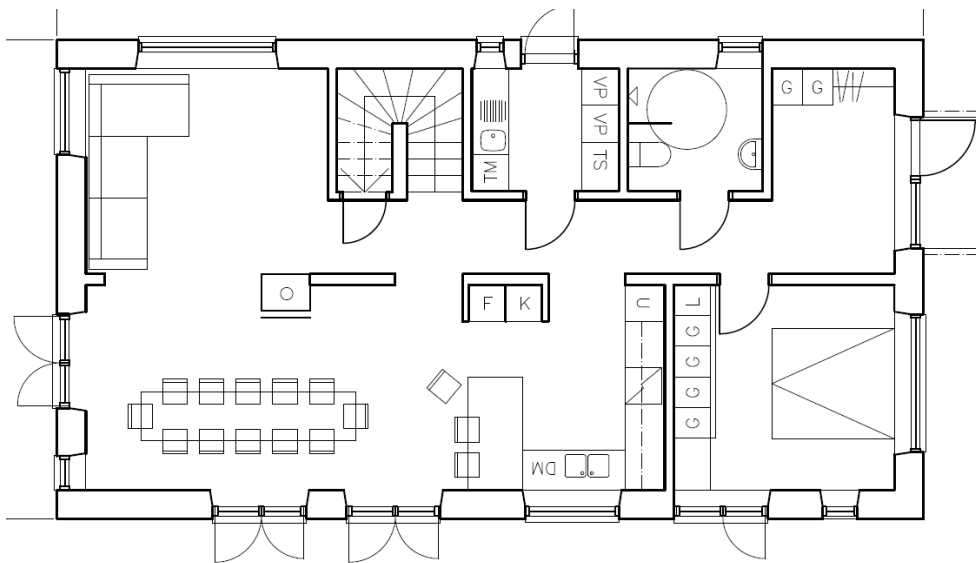


Figur 4.6 Exempel på (ej utfört) småhus med murad stomme, där horisontalstabiliteten kan utgöra ett problem. Ytterväggar: $\frac{1}{2}$ -sten tegelskalmur, luftspalt, 365 tegel murblock, puts. Innerväggar 115 mm tegelmurblock. Avståndet mellan ena gavelväggen och närmaste tvärgående vägg är ca 13 m. Stabiliteten för vindlaster vinkelrätt mot långsidan kan vara kritisk och bör beräknas, eventuellt kan fler tvärgående väggar eller annan kompletterande avstyvning erfordras.



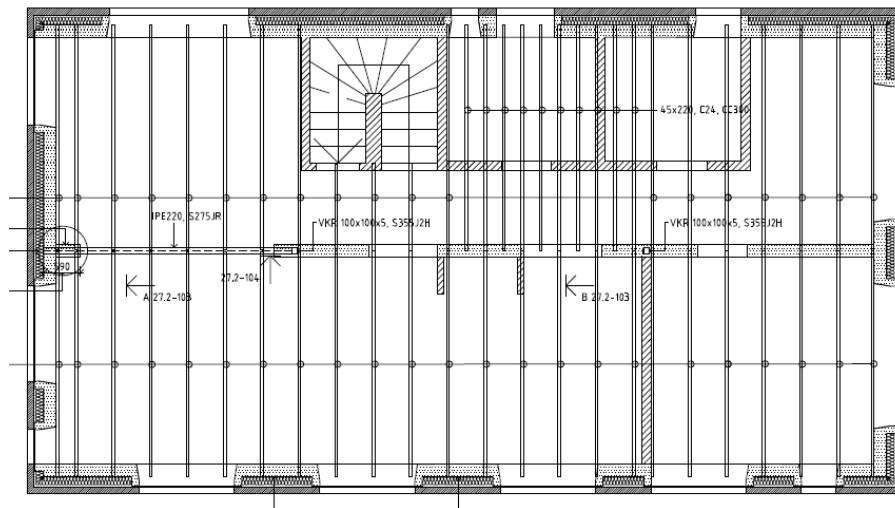
Figur 4.7. Vertikal sektion genom hus som visas i Figur 4.6.

Figurerna 4.8 – 4.10 nedan visar ett småhus byggt 2013, där stomstabiliteten bedömts som oproblematiskt.

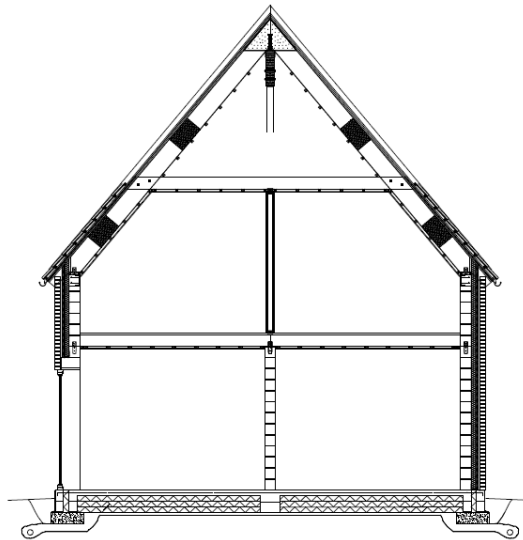


Figur 4.8. A-ritning. Ytterväggar: 1/2-sten tegelskalmur, luftspalt, stenull, 200 lättbetong, puts. Vertikalt bärande och stomstabiliserande innerväggar: puts, 200 lättklinkerbetong, puts.





Figur 4.9. Konstruktionsritning som visar bjälklag över bottenplan, med träbalkar inritade. Vidare har vertikalt bärande och stomstabiliserande väggar ritats in. Väggar som åstadkommer horisontalstabilitet har markerats med röda pilar. Maximalt avstånd mellan dessa är cirka 4,0 m, vilket betyder att stabiliteten bedömts vara god.



Figur 4.10. Ritning som visar tvärsnitt med teknisk uppbyggnad genom huset i Figur 4.8 och 4.9.

5 Murverk som konstruktionsmaterial

5.1 Vanligt förekommande murverkstyper

Internationellt sett är variationen mycket stor när det gäller olika murverksmaterial för konstruktiva ändamål. I dagens byggande i Sverige används huvudsakligen murverk av tegel, lättbetong och lättklinkerbetong. Andra, mindre vanligt förekommande murverksmaterial, är murverk av betongsten, kalksandsten och natursten.

Tegel, betongsten, kalksandsten och natursten förekommer både i form av murstenar (svenskt normalformat är längd · bredd · höjd 252 · 120 · 62 mm) och murblock. Murblock är större än murstenar – ett typiskt mått på murblock är längd · bredd · höjd 600 · 350 · 200 mm. Lättbetong och lättklinkerbetong används nästan uteslutande som murblock. Både murstenar och murblock förekommer som massiva, det vill säga homogena kroppar, och hålkroppar. Avsikten från början med att skapa hålrum i murstenar och murblock var att minska värmetransmissionen genom väggarna. Hålrum ger dessutom lägre skrymdensitet, vilket är en fördel ur både ergonomisk och logistisk synpunkt.

Murbruk används för att binda samman murstenar eller murblock till murverk och för att ge murverk önskade hållfasthetsegenskaper. Murbruks hållfasthetsegenskaper påverkas i huvudsak av mängden och typen av ingående bindemedel, efter principen ju mer bindemedel, och speciellt cement, desto högre hållfasthet. Ökning av murverks hållfasthet sker ofta på bekostnad av dess deformationskapacitet.

Murade konstruktioners bärförmåga kan ökas genom armering som i vanliga fall läggs in i liggfogarna. För att uppnå bättre samverkan mellan murbruk och armering, placeras armeringen i horisontella eller vertikala hålrum eller i efterhand uppsågade spår, så kallade slitsar. Verkningsgraden hos murverksarmering begränsas ofta av möjligheten att uppnå fullgod vidhäftning mellan murbruk och armering. Den vanligaste typen av murverksarmering är så kallat bistål.

En tegelprodukt som är vanligt förekommande i dagens murade byggande är förtillverkade spännarmerade murstensskift, om ofta kallas ”tegelbalkar”. Fördelarna med den här typen av balkar är att ilagd armering får bättre verkningsgrad jämfört med armering som placeras i liggfogar. Balkarna tillverkas på fabrik, genom uppfräsning av spår i tegelstenarna med efterföljande inplacering av en förspänd stålvarer samt kringgjutning med betong. Man bör dock vara observant på att en sådan här tegelbalk inte är en hel balk utan en del av en balk. Armeringen i tegelbalken tar upp de dragspänningar som uppstår i undersidan av murverkets tvärsnitt, medan de skift som muras ovanpå det prefabricerade murstensskiftet medför den murade balkens kapacitet att ta upp tryckspänning och tvärkraft.

I murverk av lättbetong och lättklinkerbetong används över öppningar prefabricerade, armerade balkar. För dessa balkar deklarerar tillverkarna lastkapacitet utan påmurning.

Även torrstaplat murverk förekommer, vilket innebär att murverket sätts ihop av murblock som staplas i förband utan murbruk. Murverkets sammanhållning säkras genom armering som läggs i putsen. Putsarmering består oftast av för ändamålet framtagna nät av stål, glasfiber eller kolfiber. Trådarna i armeringsnät för puts är typiskt 1 – 4 mm tjocka medan maskvidden varierar mellan 20 – 40 mm.

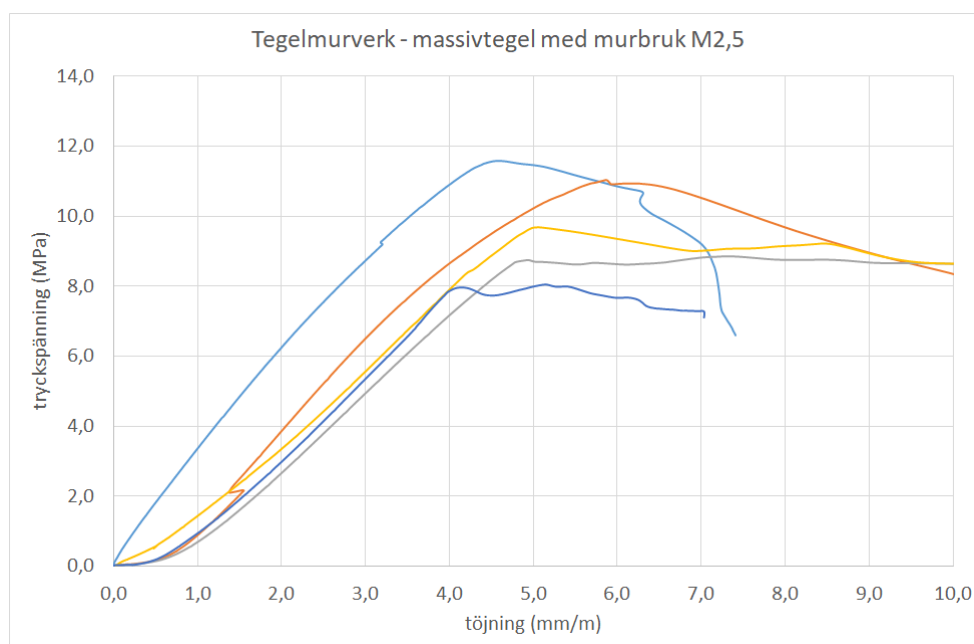
5.2 Beteende vid tryck- och dragbelastning

5.2.1 Tryck

Kunskap om murverks tryckhållfasthet och elasticitetsmodul behövs för att bestämma bärförmågan hos vertikallastade väggar.

Typisk arbetskurva för tryckbelastat murverk visas i Figur 5.1. Med stöd i arbetskurvan kan murverks tryckhållfasthet, elasticitetsmodul och gränstuckning bestämmas. Tryckhållfastheten bestäms genom att dividera uppnådd maximal last med provkroppens area. Elasticitetsmodulen bestäms som sekantmodulen vid korttidslast, vid en spänningsnivå motsvarande en tredjedel av den maximala lasten.

Arbetskurvan för tryckbelastat murverk bestäms på provkroppar bestående av tre-till fem skift genom provtryckning till dess att provkroppen inte kan ta mer last. Lasten appliceras i vanliga fall vinkelrätt liggfogarna, vilket ger en uppfattning om hur murverket i en vertikallastad vägg eller pelare fungerar. Tryckbeteendet vid belastning parallellt liggfogarna bestäms på motsvarande sätt men i de flesta fall brukar man nöja sig med att testa tryckbeteendet vinkelrätt liggfogarna och uppskatta hållfasthets-egenskaperna parallellt liggfogarna genom empiriska samband. Provningsen genomförs på provkroppar av en ålder av 28 dygn i form av korttidsbelastning.



Figur 5.1. Arbetskurvor från tryckförsök på murverksprovkroppar tillverkade med murbruk av kvalitet M2,5 (medelstarkt murbruk). Resultat från forskningsprojekt vid LTH 2018 - 2021.

Murverk framställs genom hantverksmässiga metoder på en byggarbetsplats med varierande väderförhållanden. Detta medför att murverk uppvisar större spridning avseende mekaniska egenskaper än stål, trä eller armerad betong.

5.2.2 Drag

Murverks draghållfasthet är bara cirka 10 % av tryckhållfastheten och brottet är uttalat sprött. Av den här anledningen tar man inte hänsyn till draghållfastheten vid utformning av bärande murverks-

konstruktioner. I detta avseende följer man samma filosofi som i fallet med konstruktioner av armerad betong – dragkrafter, om de förekommer, bör tas om hand genom armering. Murverk gör sig bäst i tryckbelastade konstruktionselement som väggar, pelare och bågar, i vilka fall armeringen ofta kan utelämnas.

5.2.3 Krypning

I likhet med trä och betong, uppstår i tryck- och dragbelastat murverk långtidsdeformationer, murverk kryper. Krypning hos murverk påverkas av materialegenskaperna, speciellt murbrukets sammansättning. Murverk med svaga, kalkrika murbruk uppvisar större krypning än murverk med starka, cementrika murbruk. Andra viktiga faktorer som påverkar krypdeformationernas storlek är murverkets ålder vid belastning, lastnivån och fuktkvoten.

Slutkryptalet ϕ_∞ för murverk varierar mellan 0,5 och 3. Minst krypning förväntas ske i murverk av tegel och lättbetong (ϕ_∞ mellan 0,5 till 1,5), mest hos lättklinkerbetong (ϕ_∞ mellan 1 till 3).

Beräkningsmässigt beaktas effekten av krypning genom en så kallad långtidsmodul E_{longterm} , som beräknas på samma sätt som den effektiva elasticitetsmodulen hos betong.

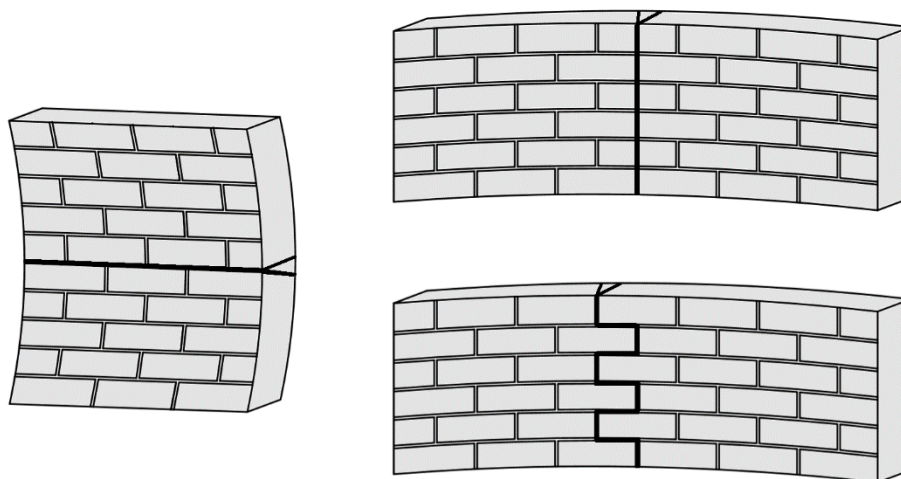
5.3 Beteende vid böjbelastning

Murverks böjhållfasthet behövs för att erbjuda tillräcklig bärförmåga i väggar belastade med transversella laster, som till exempel vind.

Murverk har olika böjhållfasthet i olika riktningar. Böjhållfastheten som motverkar uppkomst av brottplan parallellt med liggfogarna betecknas med f_{xk1} och har ett karakteristiskt värde på mellan 0,05 – 0,30 MPa. Denna böjhållfasthet påverkas främst av vidhäftningen mellan murbruk och sten/block. Stenar/block med genomgående hål ger generellt högre böjhållfasthet f_{xk1} än massiva stenar/block. Centrisk vertikallast motverkar uppkomsten av brottplan parallellt med liggfogarna, varför en förhöjd, skenbar böjhållfasthet $f_{x1,app}$, kan användas i beräkningarna.

Vid böjning som ger upphov till brottplan vinkelrätt mot liggfogarna, uppstår motståndet i murverk som en kombination av vidhäftningen mellan murbruket och stenarna/blocken, inlåsningseffekter mellan stenar/block och friktion i brottplanet. Böjhållfasthet i samband med brott vinkelrätt mot liggfogarna betecknas med f_{xk2} och har ett karakteristiskt värde på mellan 0,10 – 1,10 MPa.

Murverks bärförmåga vid böjbelastning kan ökas genom armering. För att motverka brott parallellt med liggfogarna används vertikalarmering. Armeringen kan placeras i uppsågade, vertikala spår som fylls med cementrikt murbruk eller betong. Ett annat alternativ är att placera armeringen i vertikala, genomgående hål, vilket dock kräver användning av stenar/block som ger genomgående hål, med tillräcklig diameter i murverket. Armeringen placeras i det vertikala hålet och kringgjøtes med betong. För att motverka brott vinkelrätt mot liggfogarna, kan murverket armeras genom iläggning av armering i liggfogarna.



Figur 5.2. Brottyta för murverk i böjning, t.v. brottyta parallellt med liggfogar, och t.h. brottyta vinkelrätt mot liggfogar (Källa: SS-EN 1996-1-1, 3.6.4).

Möjlighet finns även att placera armering i uppsågade slitsar eller i putsen som appliceras på väggarna, i vilket fall en förhållandevis cementrik puts (M2,5 – M10) och stål- eller glas/kolfibernet nät bör användas.

I likhet med utformning av böjbelastade betongbalkar, säkras böjbelastade murade balkars bärförmåga genom iläggning av armering i murverkets fogar.

5.4 Beteende under belastning med tvärkraft

Väggar i en bärande stomme belastas ofta av horisontallaster i väggens plan. Ett typiskt fall är laster från vind som först träffar en byggnads fasader och som sedan förs vidare genom bjälklag och tvärställda väggar mot grunden. De tvärställda väggarna blir belastade med tvärkraft som motverkas genom murverkets skjuvhållfasthet f_{vk} .

Murverks skjuvhållfasthet är i likhet med böjhållfastheten beroende av vidhäftningen mellan murbruk och stenar/block samt av eventuell vertikallast som verkar vinkelrätt mot liggfogarna. Vid beräkning av tvärkraftsbelastade väggars bärförmåga tillgodoräknas enbart väggdelar där det råder tryck vinkelrätt mot liggfogarna, vilket är en försiktighetsåtgärd som beaktar att drag vinkelrätt mot liggfogarna ofta ger sprött brott. Murverks initiella skjuvhållfasthet, f_{vk0} , det vill säga skjuvhållfastheten utan inverkan av någon vertikal last, har typiskt ett karakteristiskt värde på mellan 0,10 – 0,30 MPa.

Andra byggnadselement där murverks skjuvhållfasthet har betydelse är murade balkar, transversalbelastade väggar och murade valv.

5.5 Temperatur- och fuktrelaterade rörelser

Temperatur- och fuktrelaterade rörelser i murverk kan ge upphov till tvångskrafter och sprickbildning och bör därför beaktas.

5.5.1 Termiska rörelser

Murverks värmeutvidgningskoefficient ligger mellan $(6 - 12) \cdot 10^{-6}$ 1/K. Lägst värmeutvidgningskoefficient har tegelmurverk, högst murverk av lättklinkerbetong.

5.5.2 Krympning

Nyproducerat murverk har ett förhöjt innehåll av vatten. Vatten tillförs vid blandning av murbruket och murstenar/murblock av lättbetong, lättklinkerbetong och betong innehåller i vanliga fall fukt som härstammar från tillverkningen. När det är varmt, kan tegelstenar/block behöva förvattnas för att minska vattensugningen och därmed uppnå bra vidhäftning i murverket.

I likhet med betong, krymper murverk under den kombinerade effekten av murbrukets härdning och murverkets uttorkning. Störst krympning inträffar i murverk där stenar och block har tillverkats av cementhaltiga material, såsom lättklinkerbetong och betongsten. Minst krympning sker i tegelmurverk.

5.5.3 Permanent svällning

Brända lergods, såsom tegel, innehåller kemiska föreningar som reagerar med fukt. Reaktionen leder i många fall till en permanent volymökning i det brända lergodset. Den sammantagna effekten av tegels permanenta svällning och murbrukets krympning kan leda till att murverk utvidgas, sväller. Även det motsatta kan naturligtvis inträffa.

5.6 Dimensionerande materialvärden enligt Eurokod 6

Dimensionerande materialvärden bestäms enligt partialkoefficientmetodens principer. Murverks materialegenskaper bör bestämmas genom provning. Alternativt kan materialegenskaperna uppskattas med hjälp av tabellerade värden baserade på provning.

5.6.1 Tillverkning och utförande

Tillverkning av stenar/block och murbruk sker idag i stor utsträckning i kvalitetskontrollerade processer i fabriksmiljö. Beroende på vilken tillverkningskontroll som används, indelas murstenar och murblock i kategori I respektive II. Murstenar och murblock som tillhör kategori I har lägre spridning i hållfasthet än kategori II.

Murbruk tillverkas idag i vanliga fall på fabrik. Ballast, bindemedel och eventuella tillsatser blandas i torrt tillstånd och levereras i säckar eller silon. På byggarbetsplatsen tillsätts vatten och eventuellt tillsatser, så att murbruket får rätt konsistens.

Murbruk indelas i specialmurbruk respektive receptmurbruk. Specialmurbruk tillverkas för att uppnå specifika egenskaper, till exempel god vidhäftning i kombination med en specifik mursten. Receptmurbruk är murbruk som blandas i föreskrivna proportioner och därigenom förutsätts uppnå avsedda egenskaper.

En annan indelningsgrund för murbruk är huruvida de ska användas i normaltjocka fogar (10-15 mm) eller tunna fogar (0,5-3 mm). Murverk där alla fogar är fyllda och har normal tjocklek, kallas även fullfogsmurat murverk.

Utförandet, murning, är ett hantverk som utförs på byggarbetsplatser utsatta för väder och vind. Murverk kännetecknas därför av större variation i material- och hållfasthetsegenskaper än stål, trä och betong. Vid dimensionering av murade konstruktioner beaktar man denna osäkerhet genom högre partialkoefficienter på materialparametrarna.

De flesta murverkskonstruktioner i Sverige ska utföras i klass I, vilket innebär att arbetena ska ledas och övervakas av person med särskild utbildning och erfarenhet av murverkskonstruktioners uppförande. I övriga fall hänförs konstruktionen till utförandeklass II.

5.6.2 Dimensioneringsvärden i brottgränstillståndet

Dimensionerande hållfasthetsvärden bestäms genom att dividera karakteristiskt hållfasthetsvärde med relevant partialkoefficient γ_M . I vissa fall kan medelvärden med tillhörande partialkoefficienter användas. Partialkoefficienter γ_M i brottgränstillstånd visas i Tabell 5.1.

Tabell 5.1. Partialkoefficienter γ_M i brottgränstillstånd
(Källa: Boverkets föreskrifter BFS 2015:6, EKS 11).

Murverk utfört med:	Utförandeklass (medelvärde)	
	I	II
Stenar/block kategori I, specialmurbruk	1,9	2,1
Stenar/block kategori I, receptmurbruk	2,1	2,5
Stenar/block kategori II, valfritt murbruk	2,6	3,0
	Utförandeklass (karakteristiskt värde)	
	I	II
Stenar/block kategori I, specialmurbruk	1,8	2,0
Stenar/block kategori I, receptmurbruk	2,0	2,3
Stenar/block kategori II, valfritt murbruk	2,3	2,7
	Utförandeklass	
	I	II
Armeringsförankring	2,0	2,0
Armeringshållfasthet	1,3	1,3
Murkramlors förankring	2,5	2,5
Murkramlors hållfasthet	1,5	1,5

Det sammansatta murverkets hållfasthetsegenskaper bestäms av komponenternas hållfasthetsegenskaper. Hållfasthetsvärden kan bestämmas genom provning eller användning av materialvärden i kvalitetssäkrade databaser i till exempel Eurokod 6.

Murverks karakteristiska tryckhållfasthet f_k

Värden på murverks karakteristiska tryckhållfasthet för några i Sverige normalt förekommande murverksmaterial visas i Tabell 5.2.

Tabell 5.2. Murverks karaktäristiska tryckhållfasthet f_k
(Källa: Boverkets föreskrifter BFS 2015:6, EKS 11, Tabell H-4).

Murstenar/murblock	Hållfasthetsklass murstenar/ murblock	Hållfasthetsklass för murbruk				Tunnfogsbruk
		M10	M2,5	M1	M0,5	
Tegelblock	6	-	4,1	-	-	2,0
	8					2,5
	10					2,8
	12					3,3
Tegelsten	12	5,2	3,6	2,7	1,0	-
	15	5,8	4,2	3,2	1,3	-
	25	7,5	6,0	4,5	1,8	-
	35	8,9	7,5	5,7	2,3	-
	45	10,0	9,0	6,8	2,3	-
	55	11,1	10,3	7,8	2,3	-
	65	12,1	11,6	8,8	2,3	-
Kalksandsten	25	-	6,0	4,5	-	12,3
Betongsten	25	7,5	6,0	-	-	-
Lättbetongblock	2	-	1,2	0,9	-	1,4
	3	-	1,6	1,2	-	2,0
	4	-	1,9	1,5	-	2,6
	5	-	2,2	1,7	-	3,1
Lättklinkerblock	2	-	1,8	1,2	0,8	1,4
	3	-	2,4	1,6	1,0	2,0
	5	-	3,4	2,2	1,2	3,1
	10	-	4,3	3,4	1,2	5,7

Karaktäristisk tryckhållfasthet för fullfogsmurat murverk kan bestämmas även genom följande empiriska formel (Ekv. 5.1)

$$f_k = K f_b^\alpha f_m^\beta \quad \text{Ekv. 5.1}$$

där K är en konstant, α och β är konstanter, f_b är murstenarnas eller murblockens normaliserade medeltryckhållfasthet i MPa, f_m är murbrukets tryckhållfasthet i MPa. Mer information finns i SS-EN 1996-1-1, 3.6.1.2. Ekv. 5.1 ger möjlighet att bestämma murverks tryckhållfasthet för andra materialkombinationer än de som visas i Tabell 5.2.

Murverks tryckhållfasthet vid belastning parallellt med liggfogarna är något lägre än vid belastning vinkelrätt liggfogarna. Vid användning av massivtegel eller tegel med låg hålvolum (grupp 1 enligt avsnitt 2.65 i detta kompendium) kan dock samma tryckhållfasthet användas, oavsett riktning på belastningen. För murstenar och murblock i grupp 2 och 3, minskas tryckhållfastheten vid belastning parallellt med liggfogarna med 50 procent.

I befintliga konstruktioner saknas ofta uppgifter om murverks materialegenskaper. Genom provtagning kan tryckhållfastheten hos både stenar/block och murbruk bestämmas förhållandevis enkelt, varvid murverks tryckhållfasthet uppskattas med hjälp av Ekv. 5.1. Tillvägagångssättet innebär att murstenar/murblock tas ut från murverket, varpå tryckhållfastheten bestäms genom ett standardiserat förfarande. Murbrukets tryckhållfasthet i det befintliga murverket kan bestämmas genom den så kallade X-borrmetoden. Metoden har utvecklats vid Dansk Teknologisk Institut i början av 2010-talet.

Murverks karakteristiska böjhållfasthet f_{xk1} och f_{xk2}

Vid böjning av en vägg ut ur väggens plan, det vill säga under inverkan av transversella laster, beaktas två olika hållfastheter:

- Böjhållfasthet med brottplanet parallellt med liggfogarna, f_{xk1} .
- Böjhållfasthet med brottplanet vinkelrätt mot liggfogarna, f_{xk2} .

Värden på murverks karakteristiska böjhållfasthet för några i Sverige normalt förekommande murverksmaterial visas i Tabell 5.3.

Tabell 5.3. Murverks karakteristiska böjhållfasthet f_{xk1} och f_{xk2}
(Källa: Boverkets föreskrifter BFS 2015:6, EKS 11, Tabell H-6).

Murstenar/murblock	Hållfasthetsklass murstenar/ murblock	f_{xk1}	f_{xk1}	f_{xk1}	f_{xk2}	f_{xk2}	f_{xk2}
		[MPa] M1,0- M2,4	[MPa] M2,5- M10	[MPa] Tunnfogs- bruk	[MPa] M1,0- M2,4	[MPa] M2,5- M10	[MPa] Tunnfogs- bruk
Tegelblock	-	-	-	0,15	-	-	0,15
Hältegel	15–65	0,12	0,3	-	0,90	1,1	-
Massivtegel	15–65	0,12	0,25	-	0,90	1,1	-
Kalksandsten	25	0,05	0,10	0,20	0,70	0,90	0,30
Betongsten	25	0,05	0,2	0,20	0,70	0,90	0,30
Lättbetongblock	2	0,08	0,10	0,15	0,08	0,10	0,30
	3	0,15	0,15	0,20	0,20	0,25	0,30
	4	0,15	0,15	0,20	0,20	0,25	0,30
	5	0,15	0,15	0,20	0,20	0,25	0,30
Lättklinkerblock	2	0,12	0,15	0,20	0,12	0,15	0,30
	3	0,12	0,15	0,20	0,25	0,30	0,30
	5	0,12	0,15	0,20	0,25	0,30	0,30
	10	0,12	0,15	0,20	0,25	0,30	0,30

För murverk av torrstaplade lättklinkerblock med nätarmerad puts används av tillverkaren deklarerade värden på böjhållfastheten, dock högst 0,15 MPa.

Murverks karakteristiska skjuvhållfasthet f_{vk}

Murverks karakteristiska skjuvhållfasthet beräknas som

$$f_{vk} = f_{vko} + 0,4\sigma_d \quad \text{Ekv. 5.2}$$

dock högst $0,065 f_b$ eller f_{vlt} , där f_{vko} är karakteristisk initiell skjuvhållfasthet vid tryckspänningen noll; σ_d är dimensionerande tryckspänning i konstruktionsdelen på betraktad nivå vinkelrätt mot skjuvriktningen, baserad på vertikal medelspänning över den tryckta delen av den vägg som motstår skjuvningen; f_b är murstenarnas/murblockens normaliserade tryckhållfasthet i lastriktningen vinkelrätt mot liggytan; f_{vlt} är ett gränsvärde som sätts till 1 MPa för tegelmurverk, 0,6 MPa för murverk av kalksandsten, betongsten och lättbetongblock, 0,8 MPa för murverk av tunnfogade lättbetongblock och 1,1 MPa för murverk av lättklinkerblock.

Värden på murverks karakteristiska initiella skjuvhållfasthet visas i Tabell 5.4.

Tabell 5.4. Murverks karakteristiska initiella skjuvhållfasthet f_{vk0}
(Källa: Boverkets föreskrifter BFS 2015:6, EKS 11, Tabell H-5).

Murstenar/murblock	f_{vk0} [MPa]		
	Normalt murbruk		Tunnfogsbruk
Tegelblock	-	-	0,30
Tegel	M10-M20	0,30	-
	M2,5-M9	0,20	-
	M1-M2	0,10	-
Kalksandsten	M10-M20	0,20	-
	M2,5-M9	0,15	-
	M1-M2	0,10	-
Betong och lättklinkerblock	M10-M20	0,20	0,30
Lättbetongblock	M2,5-M9	0,15	0,30
	M1-M2	0,15	-
Lättklinkerblock	M2,5-M9	0,20	0,30
	M1-M2	0,15	0,30

Andra samband gäller för specialfall såsom murverk med ej fyllda stötfogar eller strängmurat murverk, se SS-EN 1996-1-1, 3.6.2 för mer information.

Murverksarmering

Murverksarmering får bestå av kolstål eller austenitiskt rostfritt stål. Svetsbart stål får användas, likaså förspänningsstål.

Den karakteristiska draghållfastheten f_{yk} hos bistål uppgår typiskt till mellan 500 – 700 MPa. Bär-förmågan hos spännarmerade skift anges i vanliga fall av tillverkaren.

5.6.3 Murverks deformationsegenskaper

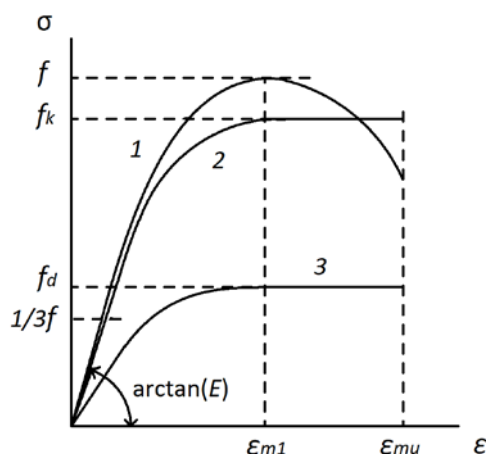
Arbetskurva för tryckt murverk

Spännings-töjningssambandet (arbetskurvan) för tryckt murverk är typiskt icke-linjärt, se kurva 1) i Figur 5.3. Som en rimlig förenkling kan antas att arbetskurvan är parabolisk-rektangulär, se kurva 2) och 3) i Figur 5.3.

Murverks elasticitetsmodul, den så kallade sekantmodulen, bestäms genom provning genom avläsning av arbetskurvans lutning vid en spänningsnivå motsvarande en tredjedel av den maximala lasten. Alternativt kan empiriska samband enligt Ekvation 5.3 användas.

$$E = K_E \cdot f_k \quad \text{Ekv. 5.3}$$

där K_E är en materialberoende koefficient enligt Tabell 5.5 medan f_k är murverkets karakteristiska tryckhållfasthet.



Figur 5.3. Arbetskurva för tryckt murverk. 1) typkurva; 2) idealiserad parabolisk-
rektangulär kurva; 3) dimensioneringskurva (Källa: SS-EN 1996-1-1, 3.7.1)

Murverks brottstukning $\varepsilon_{mu} = 0,0035$, utom för murverk av lättklinkerbetong samt för murverk byggt med stenar och block med hög volymandel vertikala och/eller horisontella hål (stenar och block som tillhör grupp 2-4) då $\varepsilon_{mu} = 0,002$.

Tabell 5.5. Värderna för K_E för olika murverksmaterial
(Källa: Boverkets föreskrifter BFS 2015:6, EKS 11, 3.7.2).

K_E	Murverksmaterial
500	Massiv tegelsten och kalksandsten; håltegel och tunnfogsmurade lättbetongblock
1000	Lättklinkerblock; betongsten, hålblock av betong, massiva betongblock och lättbetongblock

Rekommenderade värden på krympning/långtids fuktutvidgning, slutkryptal samt värmeutvidgningskoefficient redovisas i Tabell 5.6.

Tabell 5.6. Koefficientintervall för krympning, långtids fuktutvidgning,
krypning samt termisk utvidgning (Källa: SS-EN 1996-1-1, 3.7.4).

Typ av mursten eller block	Krympning/långtids fuktutvidgning* [mm/m]	Slutkryptal ϕ_{∞}	Värmeutvidgningskoefficient α_t [$10^{-6}/K$]
Tegel	-0,2 till +1,0	0,5 till 1,5	4 till 8
Kalksandsten	0,4 till -0,1	1,0 till 2,0	7 till 11
Betongsten	-0,6 till -0,1	1,0 till 2,0	6 till 12
Lättbetong	-0,4 till +0,2	0,5 till 1,5	7 till 9
Lättklinkerbetong	-1,0 till -0,2	1,0 till 3,0	6 till 12

*Långtids fuktutvidgning orsakas av permanent svällning, främst hos tegel.

6 Böjning av armerat murverk

6.1 Generellt

För att överbrygga större öppningar i moderna murade byggnader används i många fall murade armerade balkar. De bakomliggande principerna är desamma som vid armerade betongbalkar:

- I balkens tryckta del utnyttjas murverkets förhållandevis höga tryckhållfasthet;
- I balkens dragna del kommer murverket att spricka upp – här anordnas armering som kan ta upp dragkrafterna.

Armeringen bäddas in i murbruk i balkens liggfogar eller i förtillverkade eller uppsågade spår som fylls med betong. Som armering används fristående eller svetsade stegformade stänger, så kallat bistål. En vanligt förekommande armeringslösning i Sverige är så kallade spännarmerade skift av tegel, som förtillverkas på fabrik med tegel av matchande format och utseende. Öppningar i murverk kan överbryggas även med balkar av armerad betong, lättklinkerbetong eller lättbetong.

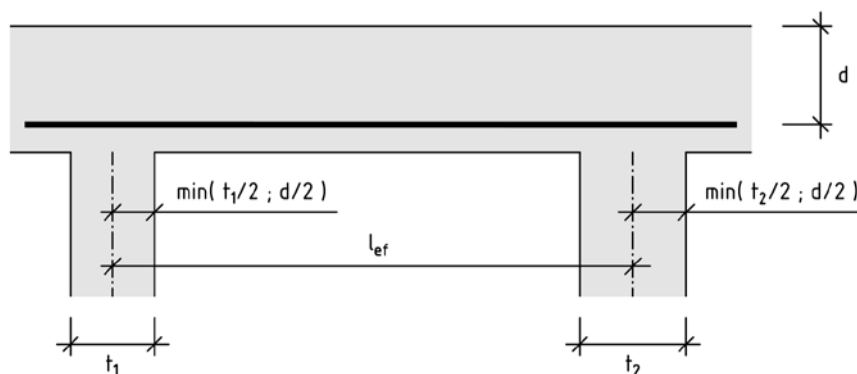
Transversalbelastade väggars bärförmåga kan ökas genom användning av armering. Armeringen kan placeras i liggfogar, vertikala hålrum i tegel och block med ändamålsenliga hålrum och uppsågade slitsar. Armering kan placeras även i putsen.

I nästa avsnitt presenteras dimensionering av böjbelastade armerade murverksbalkar i brottgränstillståndet i enlighet med SS-EN 1996-1-1 Dimensionering av murverkskonstruktioner – Allmänna regler för armerade och oarmerade murverkskonstruktioner. För dimensionering av höga balkar och armerade väggar hänvisas till SS-EN 1996-1-1 eller handboken Utformning av murverkskonstruktioner enligt Eurokod 6, av M. Molnár och T. Gustavsson, 2016.

6.2 Dimensionering av böjbelastade balkar i brottgränstillståndet

6.2.1 Dimensionerande moment

Dimensionerande moment M_{Ed} beräknas med hjälp av vedertagna byggnadsmekaniska modeller, genom att använda balkens effektiva spännvidd l_{ef} . Figur 6.1 ger vägledning för beräkning av den effektiva spännvidden för fritt upplagda och kontinuerliga murverksbalkar.



Figur 6.1. Effektiv spännvidd för fritt upplagda eller kontinuerliga murverksbalkar (Källa: SS-EN 1996-1-1, 5.5.2.2).

6.2.2 Dimensioneringsförutsättningar

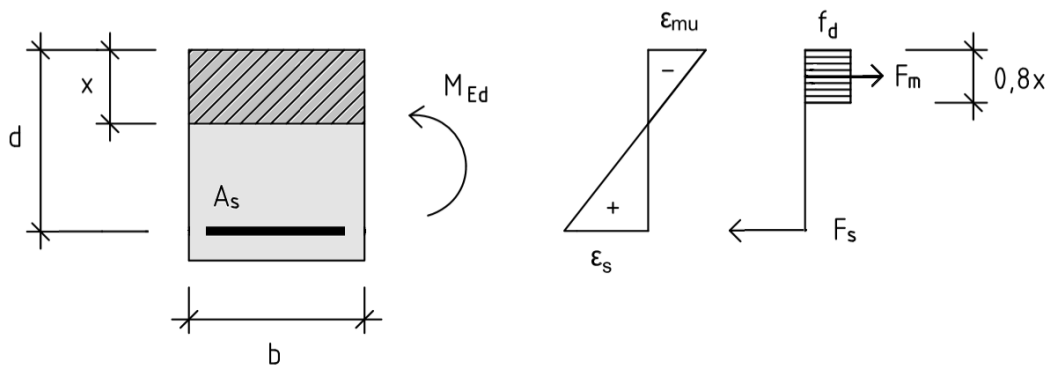
Dimensionering av armerade murverksbalkar utsatta för böjning baseras på följande antaganden:

1. Plana tvärsnitt förblir plana;
2. Draghållfastheten för murverk försummas;
3. Arbetskurvorna för det tryckta murverket och det dragna stålet är kända.

Murverkets arbetskurva kan antas vara idealisk parabolisk-rektangulär, se Figur 5.2 i detta kompendium. Ofta är det dock praktiskt att använda en förenklad, rektangulär spänningsfördelning, se Figur 6.1.

Murverkets töjning i det mest belastade snittet bör begränsas till $e_{mu} \leq 0,0035$ för murstenar och murblock i grupp 1, utom för lättklinkerbetong. För murstenar och block med stor andel hål, det vill säga murstenar och block i grupp 2-4, begränsas $e_{mu} \leq 0,0020$. När ifyllnadsbetong används i spår och håligheter, antas ifyllnadsbetongens deformationsegenskaper vara desamma som för murverket.

Armeringens dragtöjning bör begränsas till $e_s \leq 0,0100$.



Figur 6.2. Töjnings- och spänningsfördelning i armerad murverksbalk vid brott. Förklaringar: b – balkens bredd; d – effektiv höjd; x – läget för neutrallagret; ϵ_{mu} – murverkets brottstukning; ϵ_s – armeringens dragtöjning; $0,8x$ – tryckzonens höjd; f_d – murverkets dimensionerande tryckhållfasthet; F_m – tryckkrafternas resultant; F_s – dragkrafternas resultant (Källa: SS-EN 1996-1-1, 6.6.2).

6.2.3 Dimensioneringsgång med hjälp av jämviktsekvationer

Vid dimensionering används jämviktsekvationer och töjningssamband för att bestämma erforderlig armering eller, när mängden armering är given, momentkapacitet enligt följande

$$\text{Kraftjämvikt (}\leftrightarrow\text{):} \quad F_m = F_s \leftrightarrow 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_d = A_s \cdot f_{yd} \quad \text{Ekv. 6.1}$$

$$\text{Momentjämvikt (runt } A_s\text{):} \quad M_{Ed} = F_m \cdot (d - 0,4 \cdot x) \quad \text{Ekv. 6.2}$$

$$\text{Töjningssamband:} \quad \epsilon_{mu}/x = \epsilon_s/(d - x) \quad \text{Ekv. 6.3}$$

där alla beteckningar är enligt Figur 6.1.

Vid uppställning av Ekv. 6.3 har man utgått från att töjningarna är linjärt fördelade över tvärsnittet, vilket gäller som dimensioneringsförutsättning nummer 1 enligt första stycket i detta avsnitt

När det dimensionerande momentet M_{Ed} är känt, kan läget för neutrallagret x beräknas från Ekv. 6.2. Erforderlig mängd armering A_s beräknas med hjälp av Ekv. 6.2. Det bör eftersträvas att den dragna armeringen uppnår flytspänning, vilket innebär att det tryckta murverket inte överbelastas. En kontroll bör därför göras av att töjningen i armeringen är större än flyttöjningen, det vill säga $\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy}$. Begränsningen avseende armeringens maximala töjning på $\varepsilon_s \leq 0,0100$ enligt avsnitt 6.2.1 i detta kompendium ska beaktas.

När mängden armering är känd, beräknas neutrallagrets läge x från Ekv. 6.1. En kontroll av dragtöjningen i armeringen görs med Ekv. 6.3. Slutligen beräknas tvärsnittets dimensionerande momentkapacitet M_{Rd} med

$$M_{Rd} = F_m \cdot (d - 0,4 \cdot x) = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) \quad \text{Ekv. 6.4}$$

där alla beteckningar är enligt Figur 6.2.

Slutligen ska man kontrollera att tvärsnittets tryckkapacitet inte överskrids. För murstenar och murblock i grupp 1 med undantag för lättballastbetong, se avsnitt 2.5 i detta kompendium, begränsas momentkapaciteten M_{Rd} till

$$M_{Rd} \leq 0,4 \cdot f_d \cdot b \cdot d^2 \quad \text{Ekv. 6.5}$$

där alla beteckningar är enligt Figur 6.2.

Motsvarande kontroll för murstenar och murblock i grupp 2 – 4 samt för grupp 1 vid lättballastbetong ser ut som följer

$$M_{Rd} \leq 0,3 \cdot f_d \cdot b \cdot d^2 \quad \text{Ekv. 6.6}$$

där alla beteckningar är enligt Figur 6.2.

6.2.4 Exempel – momentkapacitet hos tegelbalk

Ex 6.1

En tegelbalk med bredden 120 mm och effektiva höjden 293 mm belastas av ett böjande moment med dimensionerande värde på $M_{Ed} = 9,2$ kNm. Balken är byggd med håltegel (hålvolym < 25%) av hållfasthetsklass 25 och receptmurbruk hållfasthetsklass M2,5, utförande-klass I. Som armering används varmförzinkat bistål av typen Bi 40 fz med karakteristisk draghållfasthet på 695 MPa och elasticitetsmodul 200 GPa. Tvärsnittsarea per bistål är 25 mm².

Bestäm erforderlig mängd böjarmering A_s .

Materialgenskaper

Karakteristisk tryckhållfasthet för murverk av tegel med hållfasthetsklass 35 och murbruk M2,5 $f_k = 7,5$ MPa (Tabell 5.2). Teglet har en hålvolym som är mindre än 25 procent, vilket gör att det tillhör grupp 1. Tryckhållfastheten parallellt med liggfogarna är därmed lika med tryckhållfastheten vinkelrätt mot liggfogarna, det vill säga den ”normala” tryckhållfastheten.

Partialkoefficient för murverk byggt med receptmurbruk och utförande klass I $\gamma_M = 2,0$ (Tabell 5.1). Dimensionerande tryckhållfasthet murverk vinkelrätt liggfogarna

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} = \frac{7,5}{2} = 3,75 \text{ MPa}$$

Partialkoefficient för murverksarmeringens draghållfasthet, utförandeklass I $\gamma_M = 1,3$ (Tabell 5.1). Dimensionerande draghållfasthet murverk

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = \frac{695}{1,3} \cong 535 \text{ MPa}$$

Murverksarmeringens flyttöjning

$$\varepsilon_{sy} = \frac{f_{yd}}{E} = \frac{535}{200000} \cong 0,00268$$

Neutrallagret och töjningar

Det yttre dimensionerande momentet är känt, $M_{Ed} = 9,2$ kNm. Vi använder därför momentjämvikt runt armeringen för att bestämma neutrallagret läge x . Ekvation 6.2 och 6.1 ger

$$M_{Ed} = F_m \cdot (d - 0,4 \cdot x) \leftrightarrow M_{Ed} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_d \cdot (d - 0,4 \cdot x)$$

$$9,2 \cdot 10^3 = 0,8 \cdot x \cdot 0,120 \cdot 3,75 \cdot 10^6 \cdot (0,293 - 0,4 \cdot x)$$

$$x = 0,101 \text{ m}$$

Innan vi går vidare för att beräkna den erforderliga armeringsmängden A_s , beräknar vi töjningarna i det dragna stålet med hjälp av Ekv. 6.3

$$\varepsilon_{mu}/x = \varepsilon_s/(d - x) \leftrightarrow \varepsilon_s = \varepsilon_{mu} \cdot (d - x)/x$$

$$\varepsilon_s = 0,0035 \cdot (0,293 - 0,101)/0,101 = 0,0067$$

$$\varepsilon_{sy} = 0,00268 < \varepsilon_s = 0,0067 < 0,0100$$

vilket betyder att stålet flyter och töjningen är mindre än gränsvärdet 0,0100 enligt avsnitt 6.2.2 i detta kompendium.

Erforderlig armering

Vi använder ekv. 6.1 för att beräkna den erforderliga armeringsmängden A_s

$$0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_d = A_s \cdot f_{yd}$$

$$A_s = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot \frac{f_d}{f_{yd}}$$

$$A_s = 0,8 \cdot 0,101 \cdot 0,120 \cdot \frac{3,75 \cdot 10^6}{535 \cdot 10^6} = 68 \text{ mm}^2$$

Erforderligt antal stänger beräknas som

$$n = \frac{A_s}{25 \text{ mm}^2} / \text{st} = \frac{68 \text{ mm}^2}{25 \text{ mm}^2} / \text{st} = 2,7 \text{ st}$$

Det behövs tre bistål Bi 40 fz för att klara momentet. Två bistål får plats i nedersta murfogen medan den tredje måste placeras i nästkommande fog. Ingen ny beräkning görs med förändrad effektiv höjd.

En kontroll görs av att tryckbelastningen inte överskrider murverkets kapacitet (enligt Ekv. 6.5).

$$M_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = A_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x)$$

$$M_{Rd} = 3 \cdot 25 \cdot 10^{-6} \cdot 535 \cdot 10^6 \cdot (0,293 - 0,4 \cdot 0,101) \cong 10,1 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 10,1 \text{ kNm} \leq 0,40 \cdot f_d \cdot b \cdot d^2 = 0,4 \cdot 3,75 \cdot 10^6 \cdot 0,120 \cdot 0,293^2 \cong 15,5 \text{ kNm} - \text{OK.}$$

Svar: Det erfordras 3 stycken bistål Bi 40 fz.

6.3 Raka oarmerade valv

Bågar och valv har traditionellt använts för att överbygga muröppningar. Fördelen med den här typen av lösningar är att man helt förlitar sig på murverks tryckhållfasthet. Nackdelen är att det krävs en förhållandevis stor fri höjd för att bygga en båge eller ett valv. Vidare, ställs höga krav på hantverkarens skicklighet. I det moderna byggandet har bågar och valv i stor utsträckning ersatts av balkar – främst på grund av begränsade våningshöjder.

Muröppningar kan överbyggas med så kallade raka valv, en konstruktiv lösning som påminner om balkar med stor höjd i förhållande till muröppningen. I de fall då överbyggnadshöjden är mer än 25 % av muröppningen, förs de vertikala lasterna till upplagen på ett sätt som har stora likheter med kraftspelet i riktiga bågar och valv.

Gällande regelverk tillåter därför att muröverbyggnader i skalmurar, det vill säga konstruktioner som bara belastas av egentyngd, utformas som raka valv utan dragarmering om följande villkor är uppfyllda:

- Fria öppningsmåtten är högst 2 meter
- Överbyggnadshöjden är minst 25 % av öppningsmåtten
- Horisontalkraften vid upplagen kan tas upp av murpelarna

I det praktiska byggandet i Sverige utformar man raka valv genom att placera en kvarsittande form över öppningen och därefter mura på med traditionell teknik. Som kvarsittande form kan exempelvis förspända murskift eller plåt användas.

7 Tvärkraftsbelastat murverk

7.1 Generellt

Tvärkraft ger påkänningar i både murade balkar och murade väggar. Effekterna av tvärkraft på murade balkar är jämförbar med den man kan observera hos tvärkraftsbelastade betongbalkar – när den murade balkens tvärkraftskapacitet överskrids, uppstår sneda sprickor. Sprickornas är normalt orienterade vinkelrätt mot huvuddragspänningarna, se Bild 7.1.



Bild 7.1. Murverksbalk med stor spännvidd (vänster); detalj med sned skjvspricka (höger). Kommentar – de urfrästa murfogarna håller på att lagas.

Tvärkrafters fördelning och storlek i murade balkar beräknas med hjälp av elasticitetsteoretiska modeller, likt modeller som används för analys och dimensionering av betong-, stål- och träbalkar. Vid beräkning av dimensionerande tvärkraft i en armerad balk med jämnt utbredd last, får den maximala tvärkraften beräknas uppträda på ett avstånd motsvarande halva effektiva höjden från stödets kant.

I murade väggar kan tvärkraft uppträda som resultat av krafter som verkar dels horisontellt i väggens plan (skivverkan), dels transversellt mot väggen (plattverkan).

När tvärkraften verkar horisontellt i väggens plan pratar man om en skjuvvägg. Skjuvväggar ingår ofta i stommens horisontalstabiliserande system, se även kapitel 4 i detta kompendium. Tvärkrafternas storlek i en skjuvvägg beräknas genom att hänsyn tas till styvheten hos de bjälklag och tak som bidrar till att fördela den horisontella lasten till skjuvväggarna. Om det lastfördelande bjälklaget eller taket kan betraktas som en styv skiva, fördelas horisontallasten som funktion av de samverkande skjuvväggarnas styvhet. Annars fördelas horisontallasten som funktion av de direkt anslutna bjälklags- eller takdelarnas influensarea. För en mer ingående analys av horisontallasters fördelning i murade stommar hänvisas till Konstruktionshandbok – Bärande tegelmurverk, av A. Cajdert med flera, 1997.

I transversalbelastade väggar kan tvärkrafters storlek förenklat beräknas som hos en balk med aktuell fördelning av transversallasten.

Dimensionering av tvärkraftsbelastat, oarmerat murverk sker enligt SS-EN 1996-1-1, avsnitt 6.2 medan dimensionering av armerat murverk enligt SS-EN 1996-1-1, avsnitt 6.7.

7.2 Dimensionering av tvärkraftsbelastade balkar i brottgränstillståndet

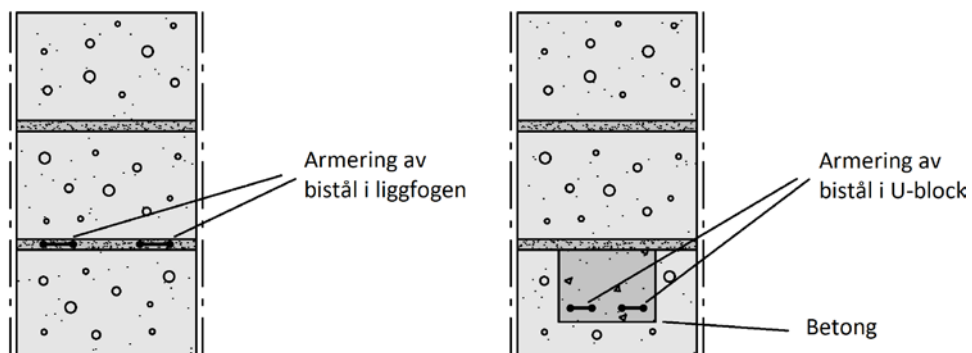
7.2.1 Dimensionerande tvärkraft

Tvärkrafterns fördelning och storlek i murade balkar beräknas med hjälp av elasticitetsteoretiska modeller, liksom modeller som används för analys och dimensionering av betong- stål- och träbalkar. Vid beräkning av dimensionerande tvärkraft i en armerad balk med jämnt utbredd last, får den maximala tvärkraften beräknas uppträda på ett avstånd motsvarande halva effektiva höjden från stödets kant. För dimensionering av höga balkar hänvisas till SS-EN 1996-1-1 eller handboken Utformning av murverkskonstruktioner enligt Eurokod 6, av M. Molnár och T. Gustavsson, 2016.

7.2.2 Dimensioneringsförutsättningar

Vid beräkning av murade balkars tvärkraftskapacitet, förlitar man sig normalt enbart på murverkets skjuvhållfasthet.

För att tillgodoräkna några positiva effekter av horisontalarmering, ska armeringen placeras i kanaler eller fickor igjutna med betong av lägst kvalitet C12. Detta innebär att armering som placeras i murfogar inte ger något beräkningsmässigt tillskott till tvärkraftskapaciteten, se Figur 7.1. För att kunna tillgodoräkna eventuella positiva effekter hos armering, krävs enligt Eurokod 6 en armeringsarea på minst 0,5 promille av den effektiva tvärsnittsarean (produkten av bredd och effektiv höjd).



Figur 7.1. Balktvärsnitt av leca med armering i liggfogen (vänster) respektive i U-block med igjuten betong (höger).

Om murstenar eller murblock med vertikala hålrum används, kan vertikal skjuvarmering användas. I Sverige har dock användning av den här typen av murstenar och murblock varit mycket begränsad.

I förekommande fall beräknas den dimensionerande tvärkraftskapaciteten V_{Rd} enligt additionsprincipen, vilket innebär att man summerar murverkstvännittets tvärkraftskapacitet V_{Rd1} och skjuvarmeringens kapacitet V_{Rd2} .

7.2.3 Murade balkars tvärkraftskapacitet

När bidraget från armering försummas, beräknas murade balkars tvärkraftskapacitet V_{Rd} som

$$V_{Rd} = V_{Rd1} = f_{vd} \cdot b \cdot d \quad \text{Ekv. 7.1}$$

där f_{vd} är den dimensionerande skjuvhållfastheten enligt avsnitt 5.6.2 i detta kompendium;
 b är balkens bredd;
 d är balkens effektiva höjd.

Gynnsam effekt på bärförmågan från koncentrerad last som angriper nära upplag kan beaktas genom att förstora skjuvhållfastheten som används vid beräkning av V_{Rd1} med en faktor $2d/a_v$ enligt Ekv. 7.2

$$1 \leq \frac{2d}{a_v} \leq 4 \quad \text{Ekv. 7.2}$$

där d är balkens effektiva höjd;
 a_v är skjuvspannet, beräknat som förhållandet mellan maximalt moment respektive maximal tvärkraft i den aktuella balkdelen.

Det största värdet av den dimensionerande skjuvhållfastheten f_{vd} beräknad enligt Ekv. 7.2 ska begränsas till 0,3 MPa.

Om horisontalarmeringen (huvadarmingen) placeras i kanaler eller fickor fyllda med betong av kvalitet minst C12 samt om murbrukets karakteristiska tryckhållfasthet är minst 6 MPa, får murverkets skjuvhållfasthet f_{vd} för beräkning av tvärkraftskapaciteten V_{Rd1} beräknas med Ekv. 7.3

$$f_{vd} = \frac{(0,35+17,5\rho)}{\gamma_M} \quad \text{Ekv. 7.3}$$

där ρ är den relativa armeringsarean som beräknas som $A_s / (b \cdot d)$;
 γ_M är partialkoefficienten för murverk.

Skjuvhållfastheten f_{vd} beräknad enligt Ekv. 7.3 ska begränsas till $0,7 / \gamma_M$ [MPa].

När en koncentrerad last angriper nära stöd, får skjuvhållfastheten beräknad enligt Ekv. 7.3 förstöras med en faktor χ som beräknas med Ekv. 7.4

$$\chi = 2,5 - 0,25 \frac{a_v}{d} \quad \text{Ekv. 7.4}$$

där a_v är skjuvspannet, beräknat som förhållandet mellan maximalt moment respektive maximal tvärkraft i den aktuella balkdelen;
 d är balkens effektiva höjd.

Den dimensionerande skjuvhållfastheten enligt Ekv. 7.4 ska begränsas till $1,75 / \gamma_M$ [MPa] där γ_M är partialkoefficienten för murverk.

7.2.4 Exempel – tvärkraftskapacitet hos lättklinkerbalk

Ex 7.1

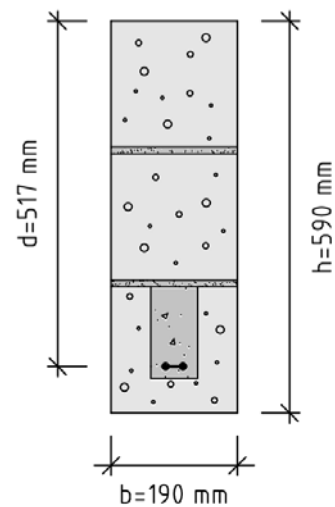
Bestäm erforderlig armering i en balk av lättklinkerbetong (lecabalk) med måtten bredd · höjd · spännvidd 190 · 590 · 2400 mm. Balken är fritt upplagd och belastas av en koncentrerad last $P_{Ed} = 25$ kN, som angriper vid halva spännvidden. Hänsyn bör tas även till lättklinkerbetongens egentyngd. Armeringen kommer att placeras i den framtida balkens nedersta skift, som utformas med hjälp av så kallade U-block. U-block har en längsgående ursparning, vilken möjliggör inplacering av armering samt igjutning med betong.

Förutsättningar och materialegenskaper

Täckskiktet utgörs av U-blockets underfläns, vilket ger ett täckskikt på drygt 70 mm. Som armering används murverksarmering av typen bistål med stångdiameter 5,6 mm och tvärsnittsarea på 49 mm². Detta ger en effektiv höjd på

$$d = 590 - 70 - \frac{5,6}{2} = 517 \text{ mm}$$

För murning används ett murbruk av murbruksklass M10, vilket ger en karakteristisk skjuvhållfasthet på $f_{vk0} = 0,20$ MPa, se Tabell 5-4 i detta kompendium. Murverkets partial-koefficient är $\gamma_M = 2,0$, vilket ger en dimensionerande tvärkraftskapacitet på $f_{vd} = 0,10$ MPa. Lättklinkerbetongens tunghet är 7 kN/m³.



Beräkning av erforderlig armering

Dimensionerande tvärkraft för en balk med koncentrerad last som angriper vid balkmitt är

$$V_{Ed,P} = \frac{P_{Ed}}{2} = \frac{25}{2} = 12,5 \text{ kN}$$

Balkens egentyngd tillför ytterligare belastning, med ett dimensionerande värde på

$$V_{Ed,g} = 1,2 \cdot g_k \cdot \frac{L}{2} = 1,2 \cdot 7 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,19\text{m} \cdot 0,59\text{m} \cdot 2,4\text{m}/2 \cong 1,1 \text{ kN}$$

Total dimensionerande last av punktlast och egentyngd balk

$$V_{Ed} = V_{Ed,P} + V_{Ed,g} = 12,5 + 1,1 = 13,6 \text{ kN}$$

Om man inte tar hänsyn till horisontalarmeringens gynnsamma inverkan, beräknas den murade lättklinkerbalkens tvärkraftskapacitet med hjälp av Ekv. 7.1

$$V_{Rd} = V_{Rd1} = f_{vd} \cdot b \cdot d = 0,1 \cdot 10^3 \cdot 0,190 \cdot 0,517 = 9,8 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 9,8 \text{ kN} < V_{Ed} = 13,6 \text{ kN}$$

Detta betyder att murverkets tvärkraftskapacitet är otillräcklig.

För att kunna tillgodoräkna en positiv inverkan från horisontalarmeringen, ska armeringen vara inbäddad i betong. I detta fall kommer armeringen att ligga i nedre delen av U-blocken och vara ingjuten i betong med kvalitet C12. Vidare, det krävs att armeringsmängden når upp till Eurokodens krav på minimiarmering på 0,5 promille av den effektiva tvärsnittsarean. Detta kräver en minsta armeringsmängd på

$$A_{min} \geq b \cdot d \cdot 0,0005 = 190 \cdot 517 \cdot 0,0005 = 49 \text{ mm}^2$$

Denna minsta armeringsmängd motsvarar ett bistål med stångdiameter 5,6 mm.

Murverkets dimensionerande skjuvhållfasthet, när hänsyn tas till horisontalarmeringens gynnsamma inverkan, beräknas med hjälp av Ekv. 7.3.

$$f_{vd} = \frac{(0,35 + 17,5\rho)}{\gamma_M} = \frac{0,35 + 17,5 \cdot 49 \cdot 10^{-6} / (0,190 \cdot 0,517)}{2,0} = 0,18 \text{ MPa}$$

Värdet på murverkets dimensionerande skjuvhållfasthet är lägre än gränsvärdet på 0,3 MPa, vilket gör att balkens dimensionerande tvärkraftskapacitet beräknas till

$$V_{Rd} = V_{Rd1} = f_{vd} \cdot b \cdot d = 0,18 \cdot 10^3 \cdot 0,190 \cdot 0,517 = 17,7 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 17,7 \text{ kN} > V_{Ed} = 13,6 \text{ kN}$$

Svar

Använd ett bistål med $A_s > 49 \text{ mm}^2$ för att erhålla erforderlig tvärkraftskapacitet. Kommentar 1 – i en dimensioneringssituation ska även balkens momentkapacitet kontrolleras. Kommentar 2 – Leverantörer av lättklinkerprodukter kan tillhandahålla förtillverkade lättklinkerbalkar som utgör första skift i den egentliga balken. Bärförmågan hos dessa förtillverkade balkar bestäms genom provning och anges av leverantören.

7.3 Dimensionering av murade väggar utsatta för tvärkraft

En skjuvvägg som ingår i den stabiliserande stommen utsätts för en horisontal last som verkar i väggens eget plan. Skjuvväggars bärförmåga ska kontrolleras med avseende på skjuvbrott i ett horisontellt plan genom väggen.

En annan situation när en väggs tvärkraftskapacitet tas i anspråk är när väggen belastas av transversal last som vind, jordtryck eller vattentryck.

Tvärkraftskapaciteten hos en oarmerad vägg V_{Rd} ges av

$$V_{Rd} = f_{vd} \cdot t \cdot l_c \tag{Ekv. 7.5}$$

där f_{vd} är den dimensionerande skjuvhållfastheten enligt avsnitt 5.6.2 i detta kompendium;

t är vägg tjockleken;

l_c är den längd av väggen som inte påverkas av dragspänningar.

Vid analys av en tvärkraftsbelastad väggs bärförmåga får antas att skjuvspänningen längs den tryckta delen av väggen är jämnt fördelad. Vid beräkning av skjuvhållfastheten, får tryckande normalspänningars positiva inverkan tillgodoräknas, se SS-EN 1996-1-1, avsnitt 3.6.2.

När en tvärkraftsbelastad vägg är sammanmurad med en annan, tvärgående vägg, får delar av denna tvärgående vägg anses fungera som en fläns till den tvärkraftsbelastade väggen. Fler detaljer kring beräkning av flänsförsedda, tvärkraftsbelastade väggars bärförmåga presenteras i SS-EN 1996-1-1, avsnitt 5.5.3.

Risk för glidning vid väggars upplag ska beaktas, varvid den mothållande friktionskraften kan för en traditionell murfog beräknas med en friktionskoefficient som högst sätts till 0,5.

8 Transversalbelastat murverk

8.1 Generellt

I transversalbelastade murade väggar bör effekterna av tvärkraft och böjmoment beaktas. Effekterna av tvärkraft beaktas genom att kontrollera väggens tvärkraftskapacitet enligt avsnitt 7.3 i detta kompendium.

Transversalbelastade väggar dimensioneras enligt SS-EN 1996-1-1, avsnitt 5.5.5 och 6.3-6.4. När effekterna av böjmoment hanteras, brukar beräkningsmetod väljas beroende på om väggen kan anses vara belastad av enbart transversal last eller en kombination av transversal och vertikal last. I Sverige anses effekterna av vertikal last kunna försummas om denna högst uppgår till tio procent av väggens bärförmåga med avseende på knäckning vid en tänkt relativ excentricitet på fem procent.

Väggar belastade med samtidigt verkande transversal och icke försumbar vertikal last dimensioneras med avseende på knäckning enligt metod presenterad i kapitel 9 i detta kompendium. Effekten av transversal last beaktas genom införande av en excentricitet som har negativ inverkan på väggens vertikala bärförmåga. Ytterligare metoder för att hantera dimensionering av väggar med samtidig transversal och vertikal last presenteras i SS-EN 1996-1-1, avsnitt 6.4.

Transversalbelastade väggar får dimensioneras enligt metoder baserade på plattverkan. I samband med dimensionering enligt plattverkan utnyttjas murverks böjhållfasthet. En viktig begränsning i sammanhanget är att murverks böjhållfasthet vid brott parallellt med liggfogarna, f_{x1} , inte får utnyttjas till dimensionering av väggar utsatta för transversallast av jord. Vid otillräcklig bärförmåga kan armering behöva användas, som i förekommande fall placeras i liggfogar eller vertikala urfrästa spår. En teknik som håller på att utvecklas är ytförstärkning, vilket innebär att armering eller nät bäddas in i puts nära murverkets yta.

Vid dimensionering av murade väggar med avseende på transversal last kan även metod baserad på valvverkan användas, varvid man använder murverks tryckhållfasthet samt, beroende på förutsättningarna, stöd från grundplatta, bjälklag och tvärgående väggar. Metoden används mer sällan i Sverige.

8.2 Dimensionering av väggar utan betydande öppningar

8.2.1 Dimensioneringsförutsättningar

Eurokoden ger inte några entydiga definitioner av betydande öppningar, varför Eurokodens krav på öppningar i avstyvande väggar används som vägledning. En betydande öppning kan följaktligen anses vara en öppning vars bredd respektive höjd är mindre än en fjärdedel av väggens längd respektive höjd. Eventuella öppningar bör inte stå närmare väggande än en femtedel av väggens fria höjd.

8.2.2 Dimensionering enligt tabellmetod baserad på brottlinjeanalogi

Väggar som har transversalt stöd längs tre eller fyra kanter, får dimensioneras enligt metod baserad på brottlinjeanalogi, även kallad tabellmetod. Det påförda dimensionerande momentet M_{Ed} får beräknas enligt

$$M_{Ed1} = \alpha_1 \cdot w_{Ed} \cdot l^2 \quad \text{Ekv. 8.1}$$

och

$$M_{Ed2} = \alpha_2 \cdot w_{Ed} \cdot l^2 \quad \text{Ekv. 8.2}$$

- där M_{Ed1} är det dimensionerande momentet när brottplanet är parallellt med liggfogarna, motsvarande f_{xk1} – riktningen enligt avsnitt 5.3 i detta kompendium;
- M_{Ed2} är det dimensionerande momentet när brottplanet är vinkelrätt med liggfogarna, motsvarande f_{xk2} – riktningen enligt avsnitt 5.3 i detta kompendium;
- α_1, α_2 är böjmomentkoefficienter vilka beaktar väggens randvillkor vid väggupplag, förhållandet mellan väggens höjd och längd samt förhållandet mellan murverks böjhållfasthet i de två huvudriktningarna. Böjmomentkoefficienterna α_1 och α_2 tas från Eurokoden för murverkskonstruktioner, SS-EN 1996-1-1, bilaga E. Böjmomentkoefficienterna gäller för enskiktsväggar med en tjocklek på högst 250 mm;
- w_{Ed} är dimensionerande, jämnt utbredd transversal last per ytenhet;
- l är väggens längd.

Om väggen har endast två stöd, beräknas det påförda dimensionerande momentet som för en balk.

En transversalbelastad väggs bärförmåga med avseende på transversal last per längdenhet, M_{Rd} , ges av

$$M_{Rd} = f_{xd} \cdot Z \quad \text{Ekv. 8.3}$$

- där f_{xd} är murverkets dimensionerande böjhållfasthet, vilken för brottplan parallellt med liggfogarna betecknas f_{xd1} medan för brottplan vinkelrätt mot liggfogarna f_{xd2} , se avsnitt 5.6.2 och Tabell 5.3 i detta kompendium;
- Z är murtvärsnittets elastiska böjmotstånd per höjd- respektive längdenhet.

För kanalmurar kan den transversala lasten w_{Ed} fördelas till den yttre och inre muren – fördelningen kan göras i förhållande till murarnas styvhet. Ett alternativt tillvägagångssätt är att beräkna ett ekvivalent elastiskt böjmotstånd med hjälp av en effektiv väggjocklek t_{eff} , se avsnitt 9.3.1 i detta kompendium för mer detaljer.

En centrisk vertikal last motverkar brott som slår upp parallellt med liggfogarna. Den gynnsamma effekten av en vertikal last som uppkommer på grund av permanent last, kan tillgodoräknas genom att räkna med en skenbar böjhållfasthet $f_{xd1,app}$, som ges av

$$f_{xd1,app} = f_{xd1} + \sigma_d \quad \text{Ekv. 8.4}$$

- där f_{xd1} är murverkets böjhållfasthet för brottplan parallellt med liggfogarna;
- σ_d är den dimensionerande tryckspänningen av permanent vertikal last. σ_d begränsas till femton procent av N_{Rd}/A , där N_{Rd} är väggens vertikala bärförmåga beräknad enligt kapitel 9 i detta kompendium.

Murade väggars bärförmåga med avseende på transversal last kan ökas genom förstärkning med armering eller nät som placeras i fogar, hålrum, urfrästa spår eller i puts nära murverkets yta.

Förstärkningen används för att ta upp böjdragspänningar som annars leder till brott. Bärförmågan M_{Rd} beräknas som

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \quad \text{Ekv. 8.5}$$

där A_s är förstärkningsmaterialets tvärsnittsarea;

f_{yd} är förstärkningsmaterialets dimensionerande draghållfasthet;

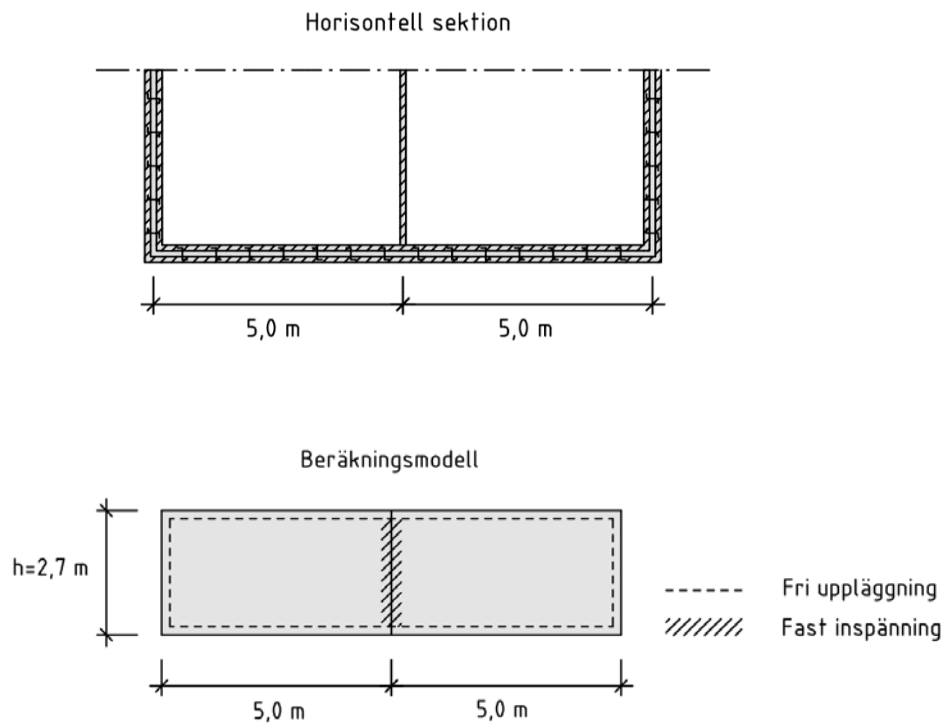
z är den inre hävarmen som motstår det yttre momentet. Den inre hävarmen z kan sättas till 0,9 gånger tvärsnittets effektiva höjd.

I samband med användning av förstärkt murverk, ska en kontroll göras även av momentkapaciteten med avseende på sprött brott i den tryckta delen av murverket, se avsnitt 6.2.3 i detta kompendium.

8.2.3 Exempel

Ex 8.1

Beräkna den dimensionerande bärförmågan i brottgränstillståndet med avseende på vindlast hos en 2,7 meter hög och 6 meter lång kanalmur med förutsättningar enligt nedan.



Förutsättningar

En kanalmur består av en inre och en yttre mur som binds samman med kramlor som kan överföra förekommande transversala laster och deformationer. Kanalmuren i detta exempel uppförs med massivtegel av hållfasthetsklass 25 med tjockleken 108 mm. Murning sker med receptmurbruk M 2,5.

Muren har i vårt fall en total längd på 10 meter och består av två symmetriska väggdelar med längden 5 meter vardera. Det är alltså tillräckligt att bestämma bärförmågan för en delvägg. Nertill och upp till är kanalmuren fritt upplagd på betongplattor. Vid ändarna är kanalmuren sammanmurad med tvärgående väggar. Med tanke på risken för sprickbildning vid sammanmurade hörn, kan denna väggkant antas vara fritt upplagd mot den tvärgående ytterväggen. Uppsprickning vid den tvärgående innerväggen är mindre sannolik, vid denna kant kan därför fast inspänning förutsättas. Vertikallasten antas vara försumbar, vilket är ett antagande på säkra sidan.

Materialegenskaper

Karakteristisk böjhållfasthet enligt Tabell 5.3 i detta kompendium:

$$f_{xk1} = 0,25 \text{ MPa};$$

$$f_{xk2} = 1,1 \text{ MPa};$$

Murningen utförs under arbetsledning som har särskild utbildning och erfarenhet av murade konstruktioner, vilket gör att materialpartialkoefficienten enligt Tabell 5.1 i detta kompendium sätts till $\gamma_M = 2,0$ MPa. Dimensionerande böjhållfastheter beräknas till

$$f_{xd1} = \frac{f_{xk1}}{\gamma_M} = \frac{0,25}{2} = 0,125 \text{ MPa};$$

$$f_{xd2} = \frac{f_{xk2}}{\gamma_M} = \frac{1,1}{2} = 0,55 \text{ MPa};$$

Laster

Vinden ger upphov till böjmoment. Kanalmuren saknar öppningar, vilket gör att resulterande böjmoment får beräknas enligt tabellmetod presenterad i avsnitt 8.2.2. För att beräkna böjmomenten som ger brottplan parallellt med liggfogar respektive vinkelrätt mot liggfogar används Ekv. 8.1 respektive 8.2 enligt

$$M_{Ed1} = \alpha_1 \cdot w_{Ed} \cdot l^2$$

$$M_{Ed2} = \alpha_2 \cdot w_{Ed} \cdot l^2$$

där böjmomentkoefficienterna α_1 och α_2 beräknas med hjälp av SS-EN 1996-1-1, Bilaga E.

För att bestämma böjmomentkoefficienten α_2 , måste följande tre parametrar bestämmas:

1. Identifiera rätt upplagsfall. Kanalmuren i vårt fall är firsidigt upplagd, med ledade stöd i under- och ovankant och fast inspänning längs de vertikala stöden vid väggändarna. Dessa upplagsförhållanden pekar på upplagsfall F.

- Förhållandet mellan murverkets böjhållfastheter, definierat som $\mu = f_{xd1}/f_{xd2} = 0,125/0,55 = 0,227$.
- Förhållandet mellan murens höjd och längd $h/l = 2,7/5 = 0,54$.

Genom interpolering fås att $\alpha_2 \cong 0,037$. Böjmomentkoefficienten α_1 beräknas som

$$\alpha_1 = \mu \cdot \alpha_2 = 0,227 \cdot 0,037 \cong 0,0084$$

Böjmomenten per längd- respektive höjdenhet vägg [kNm/m] kan nu skrivas som

$$M_{Ed1} = \alpha_1 \cdot w_{Ed} \cdot l^2 = 0,0084 \cdot w_{Ed} \cdot 5^2 = 0,21 \cdot w_{Ed}$$

$$M_{Ed2} = \alpha_2 \cdot w_{Ed} \cdot l^2 = 0,037 \cdot w_{Ed} \cdot 5^2 = 0,925 \cdot w_{Ed}$$

Yttre och inre mur har samma tjocklek och muras med samma material, vilket gör att deras böjstyvheter är lika stora. Eftersom de två murarna är sammankopplade med kramlor som kan genomföra förekommande horisontala krafter och deformationer, kan vindlasten fördelas lika mellan murarna.

Bärförmåga

Murarnas elastiska böjmotstånd per längd- eller höjdmeter vägg beräknas som

$$Z = \frac{t^2}{6} = \frac{0,108^2}{6} = 0,001944 \text{ m}^3/\text{m}$$

Murarnas bärförmåga med avseende på transversal last beräknas med hjälp av Ekv. 8.5

$$M_{Rd1} = f_{xd1} \cdot Z = 0,125 \cdot 10^6 \cdot 0,001944 = 0,243 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Rd2} = f_{xd1} \cdot Z = 0,55 \cdot 10^6 \cdot 0,001944 = 1,069 \text{ kNm/m}$$

Dimensionerande vindlast beräknas från villkoret att lasten ska vara mindre än eller lika med bärförmågan, det vill säga

$$M_{Ed1} \leq M_{Rd1}$$

$$0,5 \cdot 0,21 \cdot w_{Ed} \leq 0,243$$

$$w_{Ed} \leq 2,31 \text{ kN/m}^2$$

Samma resultat fås när man tillämpar motsvarande villkor då brottplanet uppkommer vinkelrätt mot liggfogarna.

Svar

Den dimensionerande vindlasten får högst uppgå till 2,31 kN/m².

8.3 Dimensionering av väggar med betydande öppningar

Om en transversalbelastad vägg innehåller betydande öppningar, får inte metoden presenterad i avsnitt 8.2 i detta kompendium användas.

Bärförmågan med avseende på transversallast kan istället beräknas med hjälp av brottlinjemetoden. För en presentation av brottlinjemetoden hänvisas till litteratur om armerade betongkonstruktioner eller handboken Utformning av murverkskonstruktioner enligt Eurokod 6, av M. Molnár och T. Gustavsson, 2016.

Finit elementmodellering är ytterligare en metod som används för att beräkna påkänningar i transversalbelastade murade väggar.

9 Murade oarmerade väggar belastade av normalkraft och moment

9.1 Inledning

I traditionella murade stommar belastas väggarna till övervägande del av centriska, vertikala laster, vilket är en fördel med tanke på murverks förhållandevis goda tryckhållfasthet. Samtidigt blir den här typen av väggar i praktiken belastade även av moment, eftersom laster sällan kan centreras, väggar inte är perfekt raka och transversella laster kan uppstå på grund av vind. Frågeställningen liknar i mångt och mycket den vi är bekanta med från dimensionering av betongpelare.

Några viktiga skillnader jämfört med dimensionering av stål-, trä- och betongelement belastade av samtidigt verkande normalkraft och moment är att för murade väggar och pelare:

1. Beräknas enbart en enda lasteffekt, i form av den dimensionerande normalkraften N_{Ed} .
2. Effekterna av slankhet, upplagsvillkor och böjande moment, bland annat på grund av excentrisk normalkraft, beaktas vid beräkning av den dimensionerande bärförmågan N_{Rd} .
3. Av punkterna 1 och 2 ovan följer att dimensioneringsvillkoret skrivs på formen $N_{Ed} \leq N_{Rd}$.

Bärförmågan hos murade väggar med övervägande vertikal- och viss horisontallast, så som lastfallet omnämns i SS-EN 1996-1-1, begränsas av:

1. Murtvärsnittets kapacitet med avseende på höga tryckspänningar som kan leda till lokalt brott. Denna brottmod blir begränsande för väggar som inte är att betrakta som slanka – för svenska förhållanden huvudsakligen aktuellt för blockmurverk av lättbetong, lättklinkerbetong eller hålblock av tegel.
2. Knäckning, en brottmod som är aktuell för slanka väggar. Knäckning av vertikalt oarmerade väggar, vilket är normalfallet för svenska förhållanden, leder till kollaps.

De två brottmoderna lokalt brott (tvärsnittsbrott) respektive knäckning (elementbrott) visas i Bild 9.1.



Bild 9.1. Vänster – lokalt brott i excentriskt belastad vägg; höger – knäckning av tegelvägg (Källor – M. Molnár respektive J. Jönsson, LTH Konstruktionsteknik).

För båda fallen beräknas den dimensionerande bärförmågan per längdenhet vägg N_{Rd} [kN/m] genom

$$N_{Rd} = \phi t f_d$$

Ekv. 9.1

där ϕ är en reduktionsfaktor som för lokalt brott betecknas som ϕ_i medan för knäckning ϕ_m ;

t är väggens tjocklek;

f_d är murverkets dimensionerande tryckhållfasthet.

Beräkning av reduktionsfaktorerna ϕ_i och ϕ_m presenteras i avsnitt 9.2 respektive 9.3 i detta kompendium. Den minsta av bärförmågan med avseende på lokalt brott respektive knäckning väljs som dimensionerande bärförmåga.

9.2 Bärförmåga hos oarmerad vägg – lokalt brott vid upplag

Tryckpåkänningar vid en väggs upplag är ofta ojämnt fördelade, exempelvis på grund av att laster från ovanpåliggande väggar och bjälklag förs in med viss avsiktlig excentricitet och nedböjningar hos bjälklag omfördelar upplagstrycket. Till denna lastexcentricitet bör man lägga till en excentricitet som tar hänsyn till utförandetoleranser – en så kallad initialexcentricitet e_{init} .

För beräkning av reduktionsfaktorn ϕ_i utgår man från excentriciteten e_i beräknat enligt

$$e_i = e_{N,upplag} + e_{init} + e_{he}$$

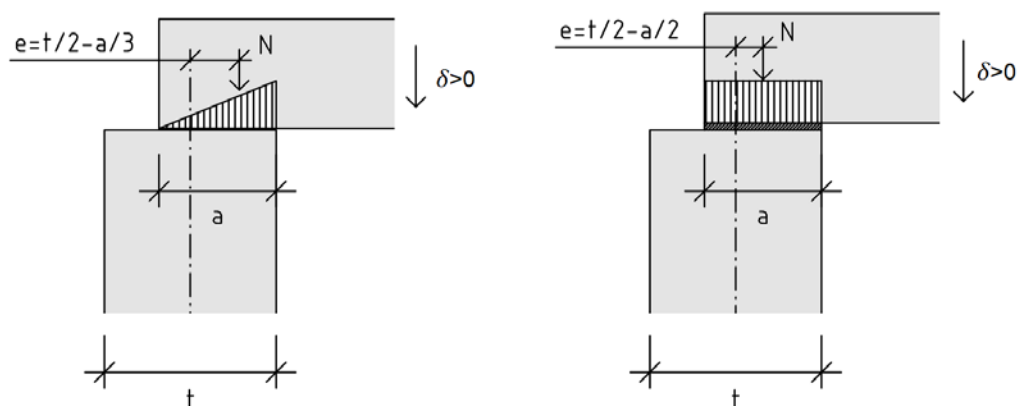
Ekv. 9.2

där $e_{N,upplag}$ betecknar excentricitet av last/upplag och kan bestämmas med hjälp av Figurerna 9.1 – 9.3;

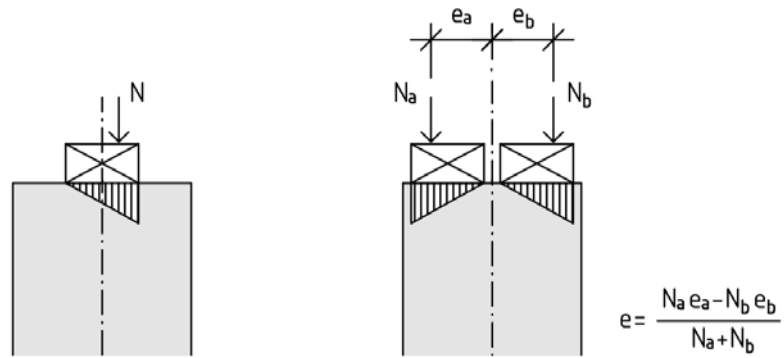
e_{init} är initialexcentricitet som får antas vara $h_{ef}/450$, där h_{ef} är väggens effektiva höjd beräknad enligt 9.2.1;

e_{he} är excentricitet av horisontella laster. För väggar med stöd både i över- och underkant kan e_{he} sättas till noll.

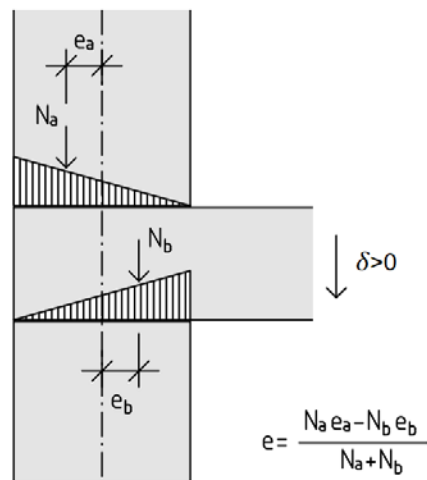
Den beräknade excentriciteten e_i bör vara större än $0,05t$, där t är väggens tjocklek.



Figur 9.1. Beräkning av upplagsexcentricitet vid betongbjälklag:
a) platsgjuten platta; b) förtillverkat element med lastfördelning mellanlägg.

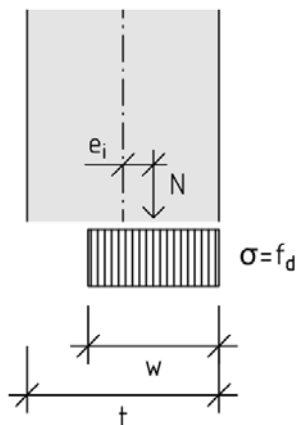


Figur 9.2. Beräkning av upplagsexcentricitet vid träbjälklag.



Figur 9.3. Beräkning av upplagsexcentricitet vid mellanbjälklag av platsgjuten betong.

Vid beräkning av reduktionsfaktorn ϕ_i antar man att tryckspänningarna av yttre excentrisk last N_{Ed} över en fiktiv bredd w av väggvärsnittet har uppnått murverkets tryckhållfasthet f_d , se Figur 9.4.



Figur 9.4. Antagen spänningsfördelning vid beräkning av reduktionsfaktorn ϕ_i .

$$N_{Ed} - w \cdot 1 \cdot f_d = 0 \quad \text{Ekv. 9.3}$$

$$N_{Ed} \cdot e_i - w \cdot 1 \cdot f_d \cdot \left(\frac{t}{2} - \frac{w}{2}\right) = 0 \quad \text{Ekv. 9.4}$$

Ur kraft- och momentjämvikt enligt Ekv. 9.3 och 9.4 erhålls, genom eliminering av den fiktiva bredden w och antagandet att $N_{Ed} \leq N_{Rd}$, att

$$N_{Rd} = \left(1 - \frac{2e_i}{t}\right) t f_d \quad \text{Ekv. 9.5}$$

där

$$1 - \frac{2e_i}{t} = \phi_i \quad \text{Ekv. 9.6}$$

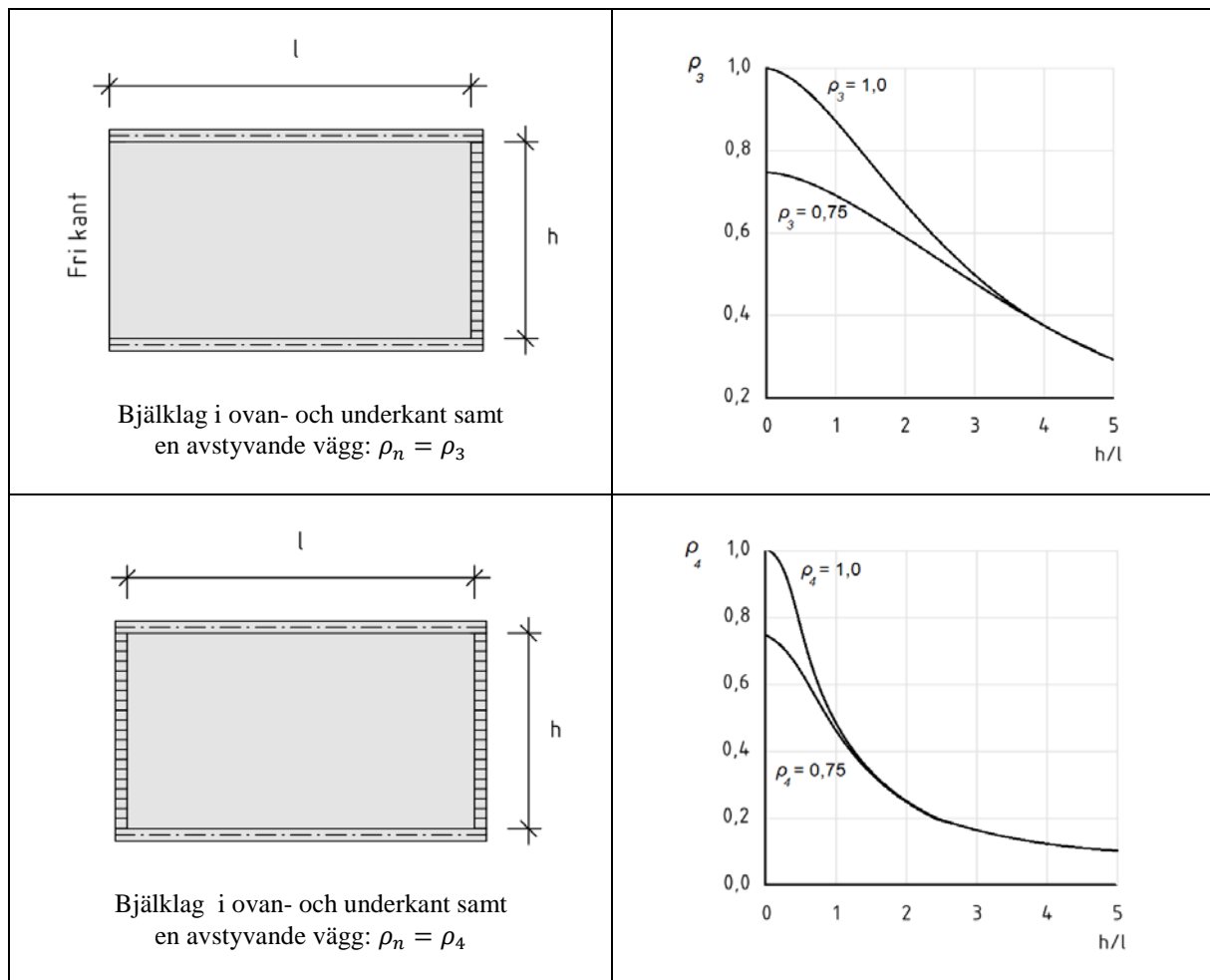
9.2.1 Effektiv vägghöjd h_{ef}

Den effektiva höjden används vid bestämning av vertikalbelastade väggars slankhet, se avsnitt 9.3.2 i detta kompendium.

Den effektiva vägghöjden h_{ef} tolkas som avståndet mellan inflexionspunkterna för givna inspänningsförhållanden. För väggar som avstyvas av träbjälklag i ovan- och underkant kan den effektiva höjden h_{ef} på säkra sidan sättas lika med väggens verkliga höjd. När avstyvningarna i väggens ovan- och underkant utgörs av betongplattor eller när väggen avstyvas av tvärgående väggar, finns möjlighet att reducera vägghöjden med en reduktionsfaktor ρ_n , se vägledning i Tabell 9.1.

Tabell 9.1. Reduktionsfaktorer för beräkning av väggars effektiva höjd (Källa: SS-EN 1996-1-1, Bilaga D)

Avstyvning	Reduktionsfaktor ρ_n
<p>Bjälklag i ovan- och underkant: $\rho_n = \rho_2$</p>	<p>Betongbjälklag: $\rho_2 = 0,75$ Träbjälklag: $\rho_2 = 1,0$</p>



9.2.2 Exempel

Ex 9.1

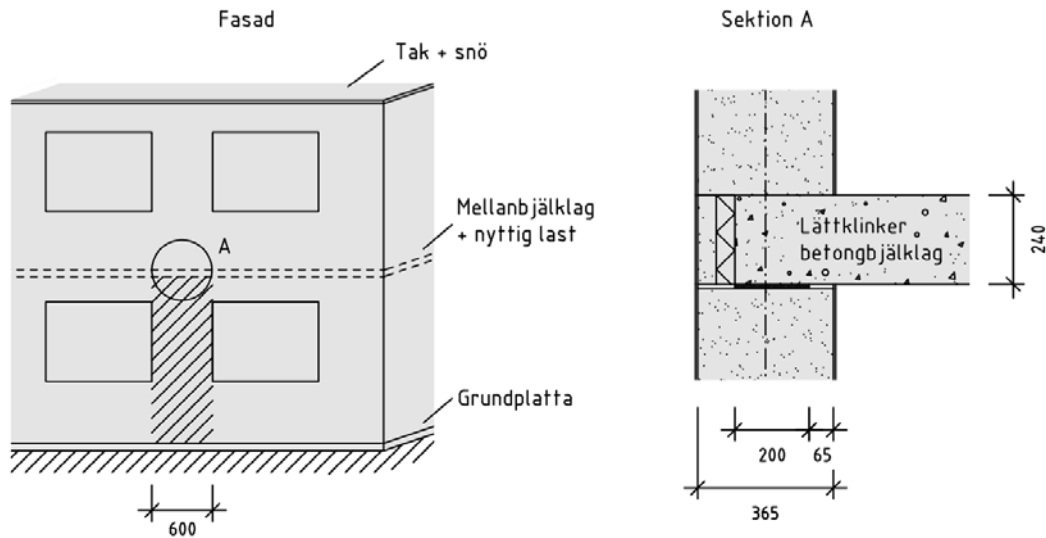
Kontrollera om murpelaren med bredden 0,6 meter mellan fönsteröppningarna på bottenplan har erforderlig bärförmåga med avseende på lokalt tryck i murpelarens övre kant, dvs. där laster förs ner från konstruktioner på övre plan samt mellanbjälklaget.

Förutsättningar

Grundläggning:	Betongplatta på mark
Ytterväggar:	Murverk av tunnfogade lättbetongblock hållfasthetsklass 3, vägg tjocklek 365 mm
Mellanbjälklag:	Förtillverkade element av lättklinkerbetong upplagda på lastfördelande och tätande mellanlägg med bredden 200 mm enligt sektionssritning
Last från övre plan:	Dimensionerande värde $N_{a,d} = 45 \text{ kN}$ (egentyngder och snö)

Last från mellanbjälklag: Dimensionerande värde $N_{b,d} = 70$ kN (egentyngd och nyttig last)

Vindlast: Har försumbar effekt.



Materialegenskaper

Karakteristisk tryckhållfasthet för tunnfogat murverk med lättbetongblock hållfasthetsklass 3 är $f_k = 2,0$ MPa (Tabell 5.2). Stenar och block kategori I + specialmurbruk + utförandeklass I ger $\gamma_M = 1,8$ (Tabell 5.1). Dimensionerande tryckhållfasthet blir

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} = \frac{2,0}{1,8} = 1,11 \text{ MPa}$$

Excentriciteter

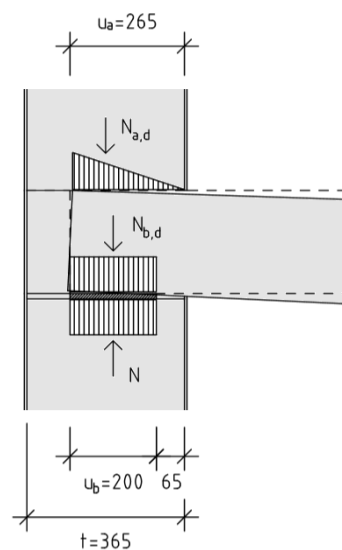
Resultande excentricitet vid upplaget i väggens ovkant $e_{N,upplag}$ beräknas genom att beakta varje relevant last med tillhörande excentricitet. Med hänsyn till bjälklagets förväntade nedböjning antas följande excentriciteter uppstå:

Excentriciteten e_a mellan murpelare på övre plan och mellanbjälklaget beräknas som

$$\begin{aligned} e_a &= t/2 - u_a \cdot 2/3 = \\ &= 365 \text{ mm}/2 - 265 \text{ mm} \cdot 2/3 \cong 6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Excentriciteten e_b vid mellanbjälklagets underkant beräknas som

$$e_b = t/2 - 65 - u_b/2 = 365 \text{ mm}/2 - 65 \text{ mm} - 200 \text{ mm}/2 \cong 18 \text{ mm}$$



Den resulterande excentriciteten vid murpelarens övre kant $e_{N,upplag}$ beräknas ur momentjämvikt runt murpelarens symmetrilinje

$$N_{Ed} \cdot e_{N,upplag} - N_{a,d} \cdot e_a - N_{b,d} \cdot e_b = 0$$
$$e_{N,upplag} = \frac{N_{a,d} \cdot e_a + N_{b,d} \cdot e_b}{N_{Ed}} = \frac{N_{a,d} \cdot e_a + N_{b,d} \cdot e_b}{N_{a,d} + N_{b,d}}$$
$$e_{N,upplag} = \frac{45 \text{ kN} \cdot 6 \text{ mm} + 70 \text{ kN} \cdot 18 \text{ mm}}{45 \text{ kN} + 70 \text{ kN}} \cong 13 \text{ mm}$$

För beräkning av initialexcentriciteten e_{init} behövs murpelarens effektiva höjd h_{ef} . Murpelaren stöds av betongbjälklag vid båda upplagen medan i sidled är den omgiven av fria kanter (fönster ger låg inspänningseffekt). Med hjälp av vägledning i Tabell 9.1 beräknas effektiva höjden som

$$h_{ef} = \rho_2 \cdot h = 0,75 \cdot 2400 \text{ mm} = 1800 \text{ mm}$$

Initialexcentriciteten blir

$$e_{init} = h_{ef}/450 = 1800 \text{ mm}/450 = 4 \text{ mm}$$

Vinden ger inte någon kännbar effekt på excentriciteten vid murpelarens övre kant och försummas. Excentriciteten e_i beräknas med hjälp av Ekv. 9.2

$$e_i = e_{N,upplag} + e_{init} + e_{he} = 13 \text{ mm} + 4 \text{ mm} + 0 \text{ mm} = 17 \text{ mm}$$

Minsta excentricitet bör väljas så att $e_i \geq 0,05t = 0,05 \cdot 365 \text{ mm} \cong 18 \text{ mm}$

Bärförmåga

Reduktionsfaktorn ϕ_i med avseende på lokalt brott (tvärsnittskapacitet) beräknas med hjälp av Ekv. 9.6

$$\phi_i = 1 - \frac{2e_i}{t} = 1 - \frac{2 \cdot 18}{365} \cong 0,90$$

Murpelarens bärförmåga med avseende på lokalt brott beräknas med hjälp av Ekv. 9.1

$$N_{Rd} = \phi_i \cdot t \cdot f_d = 0,90 \cdot 0,365 \text{ m} \cdot 1,11 \cdot \text{MPa} \cong 365 \text{ kN/m}$$

Slutligen, med beaktande av den aktuella bredden på murpelaren på 0,6 m blir bärförmågan

$$N_{Rd} = 0,6 \text{ m} \cdot 365 \text{ kN/m} \cong 219 \text{ kN}$$

Kontroll

$$N_{Rd} = 219 \text{ kN} > N_{Ed} = 115 \text{ kN}$$

Svar

Murpelarens bärförmåga med avseende på lokalt tryck är tillräcklig.

9.3 Bärförmåga hos oarmerad vägg – knäckning

Bärförmågan med avseende på knäckning av excentriskt belastade murade väggar påverkas av samma faktorer och fenomen som hos betongpelare belastade av normalkraft och moment. En avgörande skillnad är att murade väggar i vanliga fall inte är armerade. De viktigaste faktorerna som påverkar knäckning av murade väggar är således:

- Vertikallastens storlek och excentricitet samt eventuella effekter av transversallast;
- Väggens slankhet, inklusive inspänningseffekter;
- Murverkets tryckhållfasthet och elasticitetsmodul;
- Krypeffekter, som dock kan försummas om slankhetstalet λ_c enligt avsnitt 9.3.2 i detta kompendium är mindre än 15.

De inverkanseffektornas effekt på bärförmågan beaktas genom beräkning av en reduktionsfaktor ϕ_m med hjälp av ett *empiriskt samband* som bygger på provningsresultat på fullskaleväggar. I följande avsnitt visas hur dessa faktorer ska uppskattas så att beräkningarna kan genomföras enligt SS-EN 1996-1-1.

9.3.1 Effektiv vägg tjocklek t_{ef}

Den effektiva tjockleken t_{ef} används vid bestämning av väggars slankhet. Den effektiva tjockleken för en enskiktsvägg är lika med vägg tjockleken. För väggar med förstärkningar, till exempel i form av stöd- eller stråvpelare, bestäms den effektiva tjockleken som för en jämntjock vägg med samma böjstyvhet EI som den förstärkta väggens. Steiners sats används för beräkningen.

Den effektiva tjockleken för kanalmurar, där de två skalerna är förankrade i varandra med kramlor som kan överföra transversella krafter och deformationer, beräknas enligt

$$t_{ef} = \sqrt[3]{k_{tef} \cdot t_1^3 + t_2^3} \quad \text{Ekv. 9.7}$$

där t_1, t_2 är tjockleken för det yttre, icke-bärande skalet (t_1) respektive det inre, bärande skalet (t_2). Vid beräkning bör $t_1 < t_2$;

k_{tef} är förhållandet mellan elasticitetsmodulerna $E_1/E_2 \leq 2$.

9.3.2 Slankhetstal λ_c

Slankhetstalet λ_c för en murad vägg bestäms enligt

$$\lambda_c = h_{ef}/t_{ef} \quad \text{Ekv. 9.8}$$

där h_{ef} är väggens effektiva höjd bestämd enligt avsnitt 9.2.1 i detta kompendium;

t_{ef} är väggens effektiva tjocklek bestämd enligt avsnitt 9.3.1 i detta kompendium.

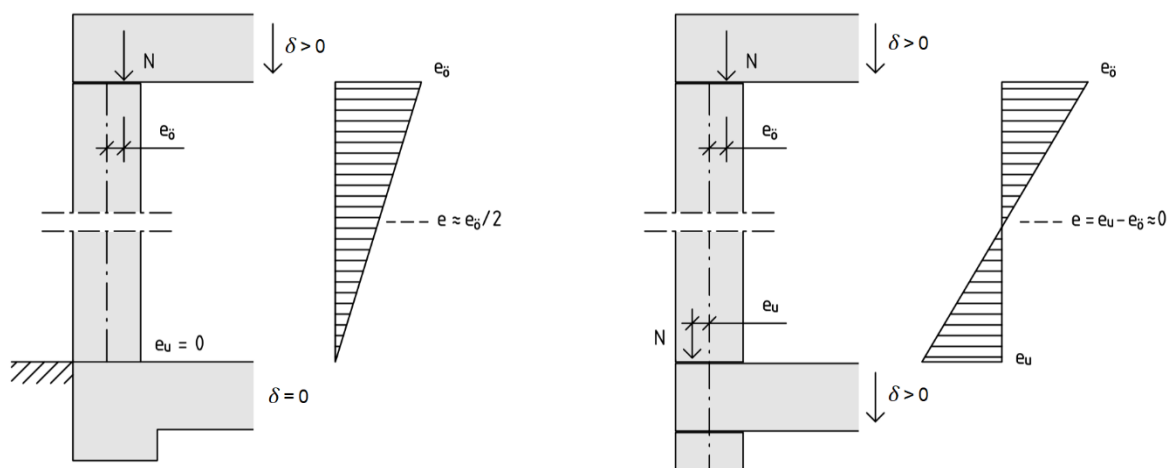
Slankhetstalet λ_c hos en oarmerad vägg bör inte överstiga 27.

9.3.3 Excentricitet e_m

Vid beräkning av reduktionsfaktorn med avseende på knäckning, ϕ_m , ska lastexcentriciteten vid väggens mitthöjd e_m användas. Effekter som måste beaktas är:

- Lastexcentricitet vid väggens över- och underkant av aktuella laster, se även avsnitt 9.2;
- Utböjning av transversallast e_{hm} , vilken beräknas enklast som utböjning av en elastisk balk med bredden en meter under inverkan av den aktuella transversallasten (vind). Utböjningen antas öka den totala excentriciteten. Vid vägghöjder lägre än 3 meter har denna utböjning en försumbar effekt på den resulterande excentriciteten. Observera att vid låg vertikal last ska väggen kontrolleras för tillräcklig bärförmåga med avseende på transversal last;
- initialexcentricitet som tar hänsyn till krokighet och oavsiktliga avvikelser och som antas öka den totala excentriciteten. Initialexcentriciteten beräknas som $e_{init} = h_{ef}/450$;

Excentriciteten vid väggens mitthöjd e_m kan beräknas med hjälp av Figur 9.5.



Figur 9.5. Beräkning av lastexcentriciteten vid väggens mitthöjd:
a) undre stöd av grundplatta; b) undre stöd av mellanbjälklag.

För väggar som har en grundplatta som undre stöd, se Figur 9.5a, kan på säkra sidan antas att lastexcentriciteten vid upplaget mot grundplattan e_{uk} är lika med noll, vilket ger

$$e_m = e_{ök}/2 + e_{hm} + e_{init} \quad \text{Ekv. 9.9}$$

där e_m är lastens excentricitet vid mitthöjd;

$e_{ök}$ är lastens excentricitet vid överkant;

e_{init} är initialexcentricitet som får antas vara $h_{ef}/450$, där h_{ef} är väggens effektiva höjd beräknad enligt 9.2.1.

Observera att vid användning av så kallade L-element av typen EPS, expanderat polystyren eller liknande, kan sättningar och därmed förknippad sprickbildning medföra att grundplattan får en utåtriktad vinkeländring. Denna vinkeländring förstärker lastens excentricitet, varför det är på säkra sidan att sätta $e_{uk} \cong e_{ök}$. Lastens excentricitet vid mitthöjd beräknas som

$$e_m = e_{\delta k}/2 + e_{uk}/2 + e_{hm} + e_{init} \quad \text{Ekv. 9.10}$$

För en vägg där upplagen utgörs av mellanbjälklag som ansluter från samma sida, se Figur 9.5b, är den resulterande excentriciteten vid väggens mitthöjd på grund av upplagsexcentriciteter $(e_{uk} - e_{\delta k})/2 \cong 0$, vilket ger

$$e_m = (e_{uk} - e_{\delta k})/2 + e_{hm} + e_{init} \approx e_{hm} + e_{init} \quad \text{Ekv. 9.11}$$

Den beräknade excentriciteten vid väggens mitthöjd e_m bör vara större än $0,05t$, där t är väggens tjocklek.

9.3.4 Bärförmåga med avseende på knäckning

En murad väggs bärförmåga N_{Rd} [kN/m] med avseende på knäckning beräknas som

$$N_{Rd} = \phi_m \cdot t \cdot f_d \quad \text{Ekv. 9.12}$$

där ϕ_m är en empirisk, dimensionslös reduktionsfaktor som bestäms enligt Ekv. 9.13;

t är väggens tjocklek [m];

f_d är murverkets dimensionerande tryckhållfasthet [MPa].

Kapacitetsreduktionsfaktorn ϕ_m bestäms med hjälp av

$$\phi_m = (1 - 2 e_m/t) \cdot e^{-0,5 \left[\frac{(h_{ef}/t_{ef} \cdot \sqrt{f_k/E} - 0,063)}{(0,73 - 1,17 e_m/t)} \right]^2} \quad \text{Ekv. 9.13}$$

där e_m är väggens excentricitet vid mitthöjd beräknad enligt avsnitt 9.3.3 i detta kompendium;

e är basen för naturliga logaritmen, approximativt lika med 2,718;

t är väggens tjocklek;

h_{ef} är väggens effektiva höjd bestämd enligt avsnitt 9.2.1 i detta kompendium;

t_{ef} är väggens effektiva tjocklek bestämd enligt avsnitt 9.3.1 i detta kompendium;

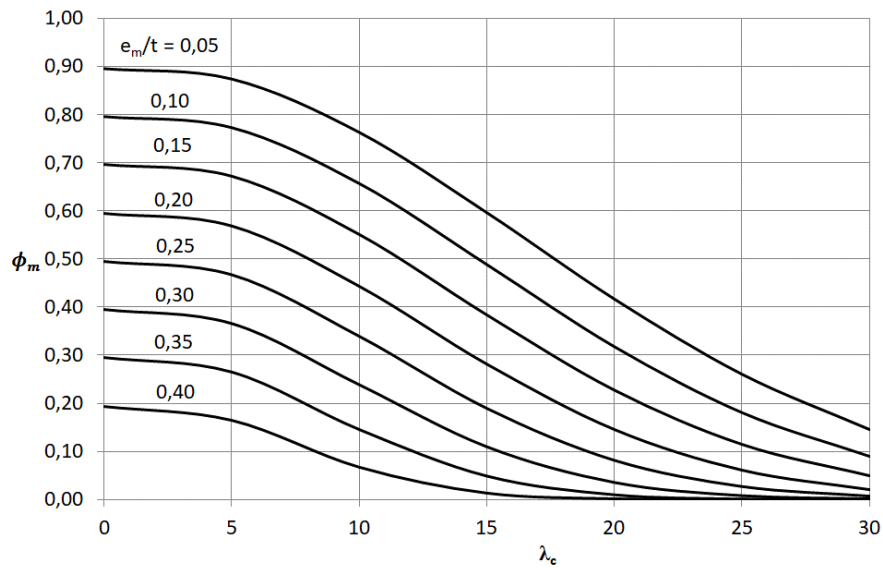
f_k är murverkets karakteristiska tryckhållfasthet;

E är murverkets elasticitetsmodul.

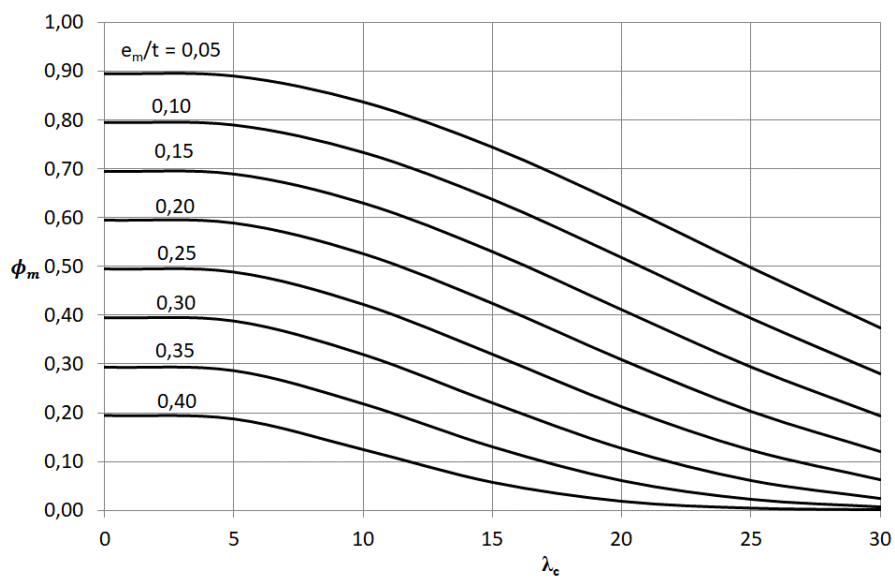
När murverkets elasticitetsmodul inte är känd, kan den uppskattas enligt följande

- $E = 500 f_k$ för murverk av massiv tegelsten och kalksandsten, håltegel och tunnfogsmurade lättbetongblock;
- $E = 1000 f_k$ för murverk av lättklinkerblock, betongsten, betonghållblock, massiva betongblock och lättbetongblock.

Ekvation 9.13 är komplicerad, varför man i vanliga fall använder diagram på formen som visas i Figur 9.7 och 9.8.



Figur 9.7. Reduktionsfaktorn ϕ_m för oarmerade murade väggar med $E = 500f_k$ (Källa: SS-EN 1996-1-1, Bilaga G).



Figur 9.8 Reduktionsfaktorn ϕ_m för oarmerade murade väggar med $E = 1000f_k$ (Källa: SS-EN 1996-1-1, Bilaga G).

9.3.5 Exempel

Ex 9.2

Bestäm bärförmågan med avseende på knäckning hos murpelaren i Exempel 9.1 – förutsättningarna är oförändrade.

Materialgenskaper

Dimensionerande tryckhållfasthet är $f_d = 1,11$ MPa, se Exempel 9.1. Murverkets elasticitetsmodul är inte känd, varför uppskattning enligt Ekv. 5.3 och Tabell 5.4 eller avsnitt 9.3.4 i detta kompendium används (för tunnfogsmurade lättbetongblock)

$$E = 500 f_k = 500 \cdot 2,0 \text{ MPa} = 1000 \text{ MPa}$$

Effektiv tjocklek

Den effektiva tjockleken för en enskiktsvägg är lika med väggens faktiska tjocklek, $t_{ef} = t = 365$ mm, se avsnitt 9.3.1.

Effektiv höjd

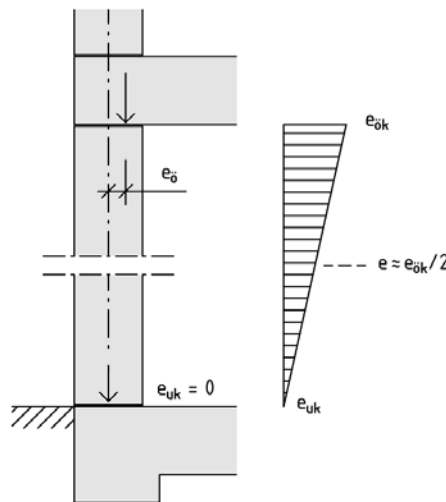
Den effektiva höjden är enligt Exempel 9.1 $h_{ef} = 1800$ mm, se även avsnitt 9.2.1.

Slankhetstalet

Slankhetstalet är kvoten av den effektiva höjden och den effektiva tjockleken, det vill säga $\lambda_c = h_{ef}/t_{ef} = 1800/365 \cong 5,0$ (Ekv. 9.8).

Excentriciteter

Excentriciteter vid murpelarens övre respektive undre kant visas i skiss nedan.



Excentriciteten vid murpelarens övre kant beräknades i Exempel 9.1, $e_{\bar{o}k} = e_{N,upplag} = 13$ mm. Excentriciteten vid murpelarens undre kant kan på säkra sidan sättas $e_{uk} = 0$. Excentriciteten på grund av vind kan försummas, $e_{hm} = 0$.

Initialexcentriciteten beräknades i Exempel 9.1, $e_{init} = 4$ mm. Excentriciteten vid murpelarens mitthöjd beräknas med hjälp av Ekv. 9.9

$$e_m = \frac{e_{\bar{o}k}}{2} + e_{hm} + e_{init} = 13/2 \text{ mm} + 0 \text{ mm} + 4 \text{ mm} \cong 11 \text{ mm}$$

Minsta excentricitet bör väljas så att $e_m \geq 0,05t = 0,05 \cdot 365 \text{ mm} \cong 18 \text{ mm}$.

Bärförmåga

Reduktionsfaktorn ϕ_m med avseende på knäckning kan snabbast bestämmas genom avläsning från diagram för murverk där kvoten mellan murverkets elasticitetsmodul och dess karakteristiska tryckhållfasthet är lika med 500 (Figur 9.7). Följande ingångsparametrar används:

$$\begin{cases} \frac{e_m}{t} = \frac{18 \text{ mm}}{365 \text{ mm}} \cong 0,05 \\ \lambda_c = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} = 5,0 \end{cases}$$

Från Figur 9.7 avläses $\phi_m = 0,88$. Alternativt, beräknas ϕ_m med hjälp av Ekv. 9.13

$$\phi_m = (1 - 2 e_m/t) \cdot e^{-0,5 \left[\frac{(h_{ef}/t_{ef} \cdot \sqrt{f_k/E} - 0,063)}{(0,73 - 1,17 e_m/t)} \right]^2}$$
$$\phi_m = (1 - 2 \cdot 0,05) \cdot e^{-0,5 \left[\frac{(5 \cdot \sqrt{1/500} - 0,063)}{(0,73 - 1,17 \cdot 0,05)} \right]^2} \cong 0,87$$

Bärförmågan med avseende på knäckning för en 1 meter lång vägg beräknas enligt Ekv. 9.12

$$N_{Rd} = \phi_m \cdot t \cdot f_d = 0,87 \cdot 0,365 \text{ m} \cdot 1,11 \text{ MPa} \cong 353 \text{ kN}$$

Motsvarande bärförmåga för en vägg med längden 0,6 meter är $N_{Rd} = 0,6 \cdot 353 = 212 \text{ kN}$.

Kontroll

Bärförmåga $N_{Rd} = 212 \text{ kN} > \text{lasten } N_{Ed} = 115 \text{ kN}$.

Svar

Murpelarens bärförmåga med avseende på knäckning är tillräcklig.

10 Bruksgränstillstånd

10.1 Generellt

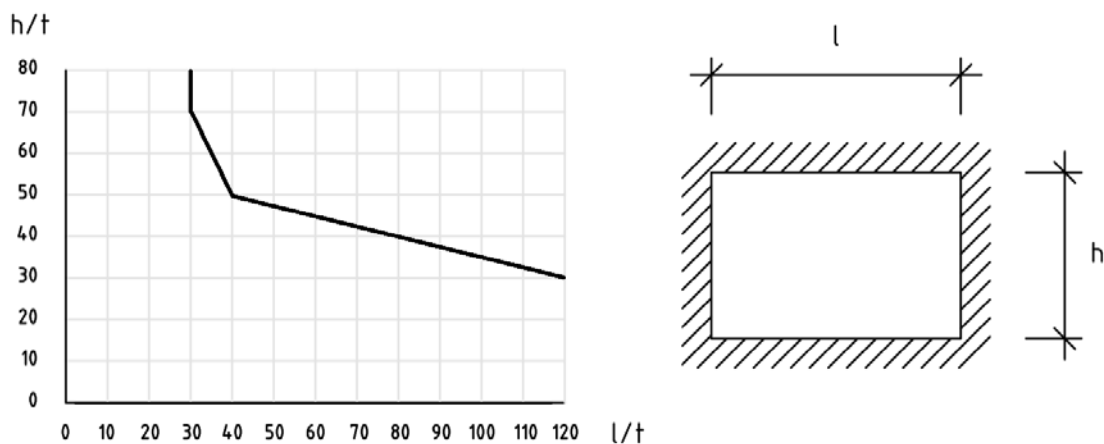
Dimensionering och kontroll av murade konstruktioner i bruksgränstillståndet syftar till att begränsa deformationer, nedböjningar och rörelser mellan byggnadsdelar som kan medföra skador. Sprickbildning bör begränsas, likaså störande, betydliga nedböjningar.

Dimensionering av murade konstruktioner i bruksgränstillståndet görs enligt SS-EN 1996-1-1, kapitel 7. Viktiga aspekter som påverkar beteendet i brottgränstillståndet finns dock i flertalet andra avsnitt i SS-EN 1996-1-1 samt i SS-EN 1996-2 Dimensioneringsförutsättningar, materialval och utförande. Nationellt valda parametrar finns redovisade i EKS 11, Avdelning H – Murverkskonstruktioner.

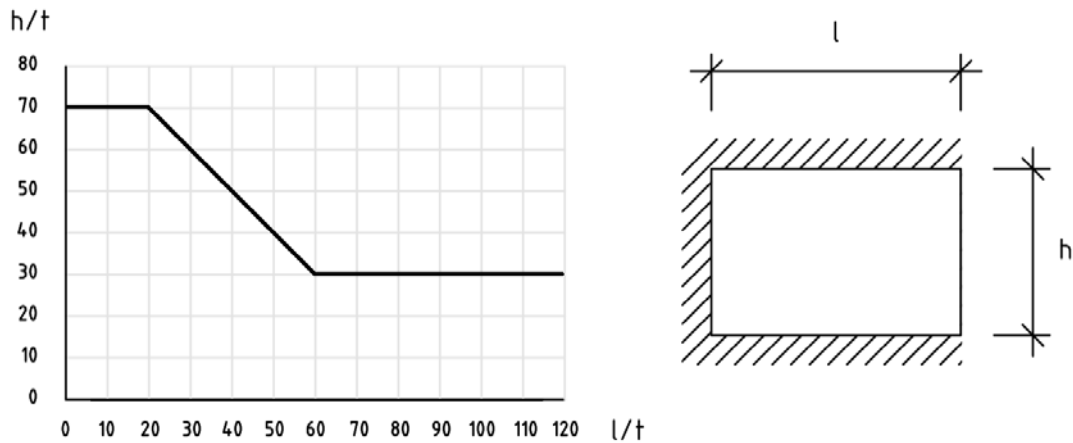
10.2 Oarmerat murverk

Bruksgränstillståndet för uppsprickning och nedböjning kan, enligt SS-EN 1996-1-1, anses vara uppfyllt om kraven i brottgränstillståndet är uppfyllda. Specifikt, för transversalbelastade väggar gäller begränsningar avseende förhållandet mellan väggens höjd och tjocklek respektive längd och tjocklek. Begränsningarna återges i Figurerna 10.1 till 10.3 nedan.

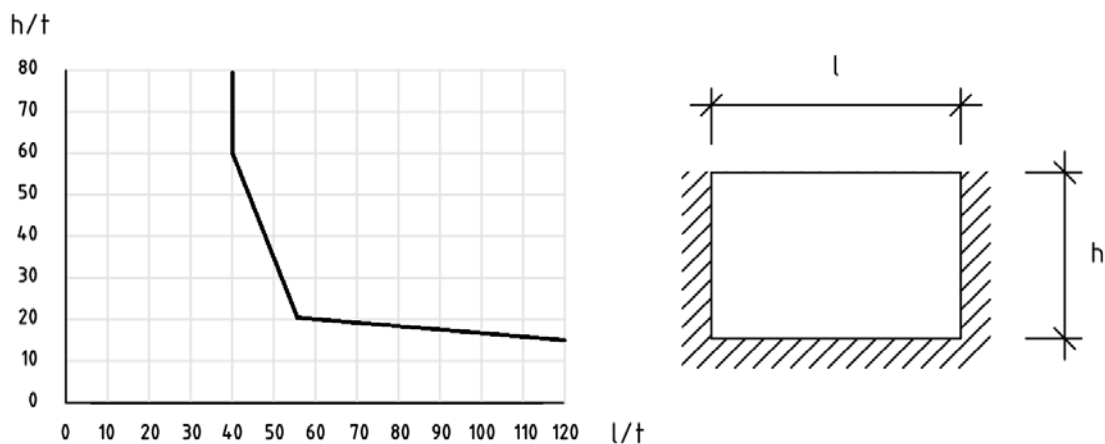
För att begränsa risken för sprickbildning på grund av förhindrade tvångsrörelser orsakade av temperatur- och fuktvariationer, kan skalmurar komma behöva förses med rörelsefogar och glidskikt.



Figur 10.1. Maximalt förhållande höjd/tjocklek och längd/tjocklek för firsidigt upplagda väggar (Källa: SS-EN 1996-1-1, Bilaga F).



Figur 10.2. Maximalt förhållande höjd/tjocklek och längd/tjocklek för väggar, avstyvade nedtill, upptill och vid en vertikal (Källa: SS-EN 1996-1-1, Bilaga F).



Figur 10.3. Maximalt förhållande höjd/tjocklek och längd/tjocklek för väggar avstyvade vid underkant och vid ändarna, men inte vid överkant (Källa: SS-EN 1996-1-1, Bilaga F).

Skillnader i vertikal rörelse mellan skalmur och bakomliggande stomme ställer krav på att skalmurens förankring mot den bakomliggande stommen, den så kallade kramlingen, klarar aktuella rörelser. I samband med en analys av skillnader i rörelser mellan skalmur och stomme bör hänsyn tas även till krympning, krypning och temperaturskillnader. Specifikt för tegelskalmurar, bör hänsyn tas till eventuell permanent svällning i tegel, se avsnitt 5.6.3 i detta kompendium. Vid beräkning av deformationer orsakade av långtidslast, bör elasticitetsmodulen E_{longterm} användas.

Vid vertikala rörelseskillnader som överstiger skalmursförankringars rörelsekapacitet, anordnas horisontella rörelsefogar. Anordning av horisontella rörelsefogar sker vanligtvis genom konsoler som fästs till bjälklagskanten. Behovet av att anordna horisontella rörelsefogar uppstår normalt vid skalmurar som är högre än sex våningar.

Vertikala rörelsefogar anordnas för att minska risken för tvångssprickor som kan uppstå vid väggupplag. Tvång vid upplag kan minskas även genom anordning av glidskikt. EKS 11 rekommenderar att avståndet mellan vertikala rörelsefogar för tegelskalmurar, när även glidskikt anordnas, bör begränsas till maximalt fem gånger skalmurens höjd. För att minska risken för sprickbildning vid sammanmurade hörn, bör avståndet mellan rörelsefogarna vara högst 24 meter.

Se även Kapitel 11, Detaljutformning, i detta kompendium för en mer ingående presentation av åtgärder som begränsar risken för förekomst av sprickor i murade konstruktioner.

10.3 Armerat murverk

Sidoutböjning hos armerade väggar och nedböjning i armerade balkar anses av SS-EN 1996-1-1 bli acceptabla om spännvidder för väggar och balkar begränsas enligt Tabell 10.1. Begränsningarna presenterade i Tabell 10.1 anses även ge rimlig säkerhet med avseende på uppsprickning vid böjning.

Tabell 10.1. Måttbegränsningar för armerade väggar och balkar utsatta för böjning (Källa: SS-EN 1996-1-1, 5.5.2.5). För definition av effektiv höjd respektive effektiv spännvidd, se kapitel 9 respektive kapitel 6 i detta kompendium.

	Vägg – böjning ut ur väggen plan Effektiv höjd / effektiv tjocklek	Balk Effektiv spännvidd / effektiv tjocklek
Fritt upplagd	35	20
Kontinuerlig	45	26
Konsol	18	7

För fristående väggar främst belastade av vindlast, får kvoterna i Tabell 10.1 utökas med 30 procent.

11 Konstruktionsutformning – detaljlösningar

Anslutningar mellan olika byggnadsdelar redovisas byggnadstekniskt i detaljlösningar, ofta i någon av skalorna 1:10 eller 1:20. Mer sällsynt förekommer även ritningsdetaljer i skala 1:5, om det är små mått och/eller många ingående komponenter som redovisas.

Beteckningen detaljlösningar ska inte tolkas som att utformningen av dessa är av underordnad betydelse; detalj står i detta sammanhang för skalan, att utsträckningen är relativt liten, till exempel i förhållande till redovisningen av planritningar. Utformningen av detaljer är tvärtom ofta helt avgörande för både den konstruktiva och den byggnadsfysikaliska funktionen, liksom för helhetsupplevelsen av den färdiga byggnaden. Men också för det byggnadsekonomiska utfallet; om man ska få en rationell byggproduktion är det av största betydelse att detaljlösningarna präglas av enkelhet samt få ingående materialslag och komponenter.

11.1 Krav på murverk med avseende på konstruktiv lastupptagning

På den konstruktiva sidan handlar de tekniska kraven om att ta upp förekommande vertikala och horisontella laster, i brottstadium, bruksstadium samt i brand- och olyckslastfall. Särskild uppmärksamhet kan ur konstruktiv synpunkt vara motiverad i följande detaljlösningar:

- Hur last från bjälklag och balkar förs på murade vertikala bärverk; det kan finnas behov av att centrera lastöverföringen – så att inte all last läggs på den yttersta kanten av murverkstvärsnittet
- Kontroll av maximal tryckspänning när last från pelare och balkar förs på murverkskonstruktioner; man kan behöva sprida ut lasten i ett gjutet upplag
- Kontroll av excentricitet i lastöverföringen i sockel
- Spännvidd på murverksbalkar
- Kapacitet att ta upp tvärkraft i murverksbalkar
- Förankring av takkonstruktion till väggar med hänsyn till lyftkrafter
- Förankring av bjälklag till väggar
- Förankring av väggar till andra väggar

Föreskrifter avseende tjocklekar på murverkskonstruktioner återfinns i EKS 11, se Tabell 11.1.

Tabell 11.1. Minsta vägg tjocklekar för murverk, enligt EKS 11.

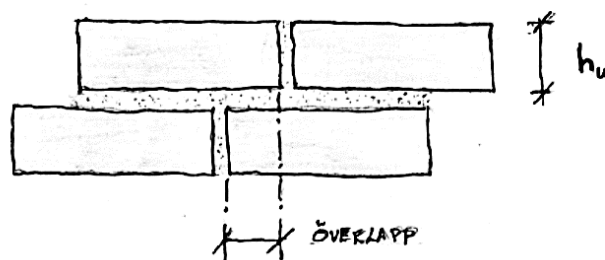
	Minsta nominella vägg tjocklek [mm]	
	Bärande vägg	Skalmur
Högst 2 våningar, max 6 m	85	55
Högre än 2 våningar, > 6 m	Ca 100	85

Värdena på tjocklekar i EKS 11 är minimivärden. I det enskilda fallet bör göras en konstruktiv bedömning av erforderlig tjocklek, väggar med minimitjocklek enligt tabellen kan inte göras hur höga som helst.

Minsta tvärsnittsarea för bärande murverk enligt SS-EN 1996-1-1 är 0.04 m².

En grundläggande regel för murverk är att stötfogar i intilliggande skift ska vara förskjutna. Detta hänger samman med att fogarna i ett traditionellt murverk utgör den svaga länken i kedjan. Genom att fördela svagheterna i murverket geometriskt ökar bärförmågan. Men även i murverk med starka bruk krävs förskjutna stötfogar, för att hålla nere sprickrisken. I SS-EN 1996-1-1 anges följande villkor:

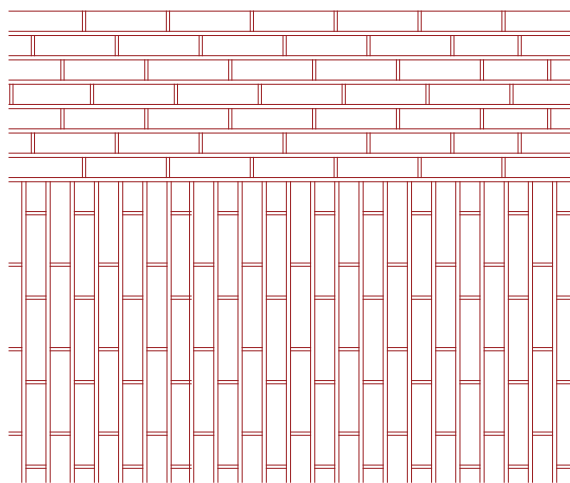
- Vid sten/blockhöjd mindre än eller lika med 250 mm ska överlappet mellan sten/block i intilliggande skift vara det största av 40 mm eller $0,4h_u$
- Vid sten/blockhöjd större än 250 mm ska överlappet mellan sten/block i intilliggande skift vara det största av $0,2h_u$ eller 100 mm.



Figur 11.1. Krav på överlapp i murverk anges i SS-EN 1996-1-1.

Om kraven på överlapp inte är uppfyllt kan man kompensera för det genom att lägga in armering i fogarna motsvarande den skjuvkapacitet som skulle erhållits i de överlappande ytorna (i över- och underkant tegel). Erfarenhetsmässigt erfordras relativt mycket armering för detta.

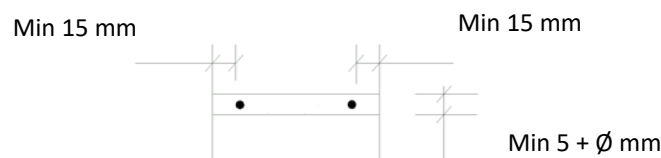
Vid rullskift, det vill säga ett skift med tegel på högkant, kan armering läggas in i liggfogarna ovan och under. Vid tvärställd murning, där murning av en fasaddel utförs på högkant och förskjutning i vertikalled, se Figur 11.2, är det mer komplext att få in den armering som ersätter överlapp; vid denna typ av murning måste man såga slitsar i tegel i minst vartannat skift för att kunna lägga erforderlig armering.



Figur 11.2. Vid tvärställd murning, den undre delen av figuren, erfordras att man sågar slitsar i tegelstenarna för att man ska kunna få in den armering som krävs. I praktiken är det vanskligt att mura så att armeringen blir väl omsluten av murbruk i de sågade slitsarna.

Armering i utvändiga skalmurar och i blockmurverks kalla utsida ska utföras med rostfritt stål. Murverk som armeras i liggfogar med stegformad armering (bistål) på grund av att det behövs konstruktivt för lastupptagning bör utföras med murbruk M2,5 eller starkare. Murverk som utförs med konstruktivt verksam vertikalarmering bör utföras med bruk M4 eller starkare.

Kramlor ska utföras av rostfritt, syrafast stål.

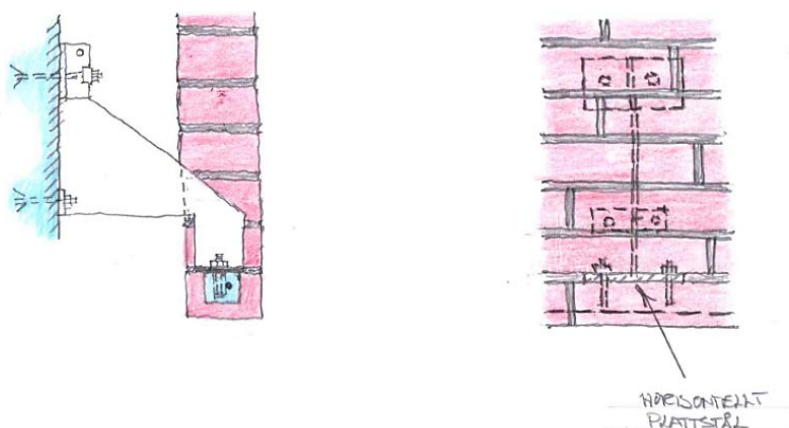


Figur 11.3. Armering i liggfogar ska ha diameter max 5 mm mindre än fogtjockleken. Horisontellt tätskikt ska vara minst 15 mm, under vissa förutsättningar gäller större tätskikt med hänsyn till krav på korrosionsskydd.

Vid normalt murbruk bör fogar enligt SS-EN 1996-1-1 vara mellan 6 och 15 mm tjocka. Vid tunnfogsbruk bör fogar vara mellan 0,5 och 3 mm tjocka. Större fogtjocklekar bör kunna väljas om man inte har stora påkänningar; i de tidigare gällande svenska byggreglerna BKR stod att i genomsnitt upp till 30 mm tjocka fogar (enstaka max 35 mm) accepterades om man reducerade dimensionerande tryckspänning.

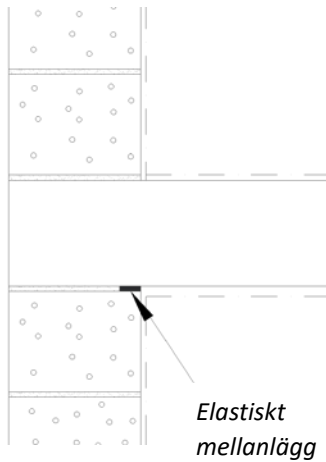
Vid fönsterband och långa balkar, kan upphängning av skalmurverk med konsoler av stål användas, se Figur 11.4. Även i höga fasader kan konsolupphängning vara aktuellt. En nackdel med konsoler är att murverket låses mot stommen, vilket medför större problem med att klara temperatur- och fuktrörelser, vilket i sin tur leder till fler rörelsefogar. Vidare är konsolerna, som ska utföras av rostfritt, syrafast stål kostsamma komponenter i en skalmursfasad.

Vid upphängning av skalmurar med konsoler är det viktigt att huvudkonstruktören i ett tidigt skede sett till att lasten från konsolerna kan tas upp av byggnadsstommen.

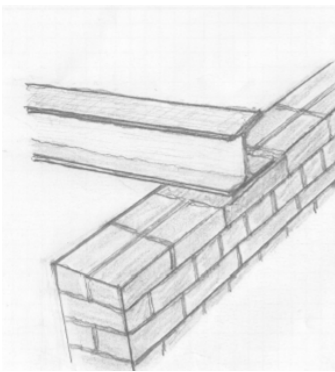


Figur 11.4. Stålkonsol för upphängning av armerat prefab murstensskift. I betongdelen av det prefabricerade skiftet har gjutits in hylsor i vilka bultar sätts som drar ihop skiftet med konsolen. Därefter muras ovanliggande skift så att upplagsreaktionen (från murverkets egentyngd) förs på konsolen via det horisontella plattstålets ovansida.

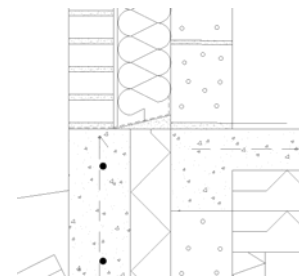
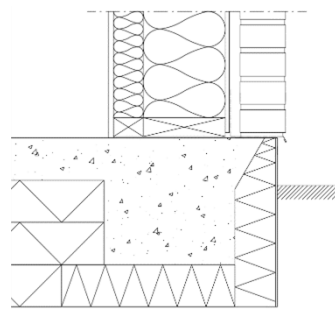
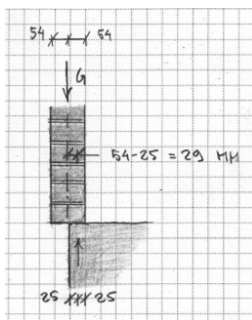
11.2 Exempel – konstruktionslösningar



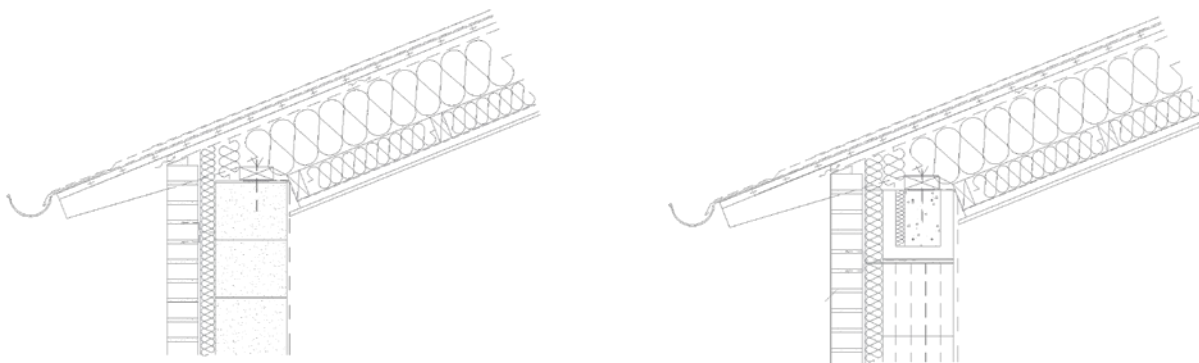
Figur 11.5. Centrering av lasten som ska föras på en murad vägg kan utföras genom att man lägger ett elastiskt mellanlägg (till exempel mineralullsboard) under bjälklaget vid murens kant.



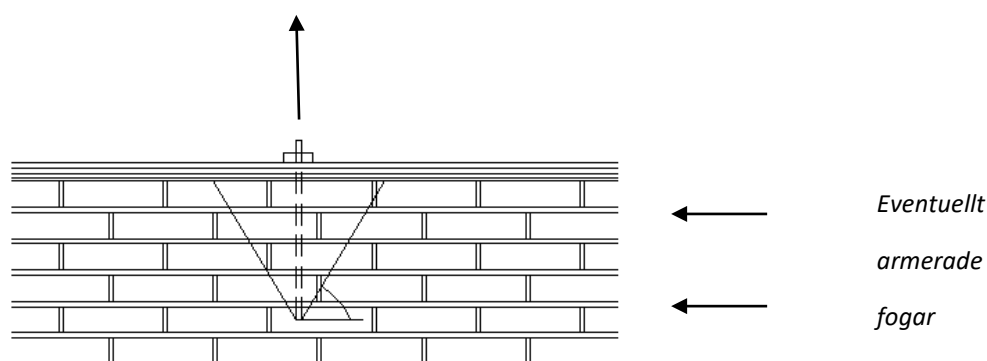
Figur 11.6. Under upplag för balkar (som i detta exempel, men motsvarande förekommer också för pelare) kan det erfordras att man sprider ut lasten genom att gjuta upp ett upplag av betong eller starkt murbruk, för att inte tryckspänningen ska bli för hög lokalt under upplaget.



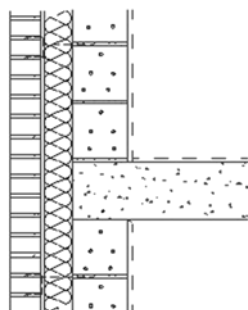
Figur 11.7, t.v., 11.8, mitten och 11.9, t.h. För att undvika excentricitet i lastöverföringen, som kan leda till sprickbildning och i värsta fall orsaka instabilitet, ska hela skalmuren vila på ett horisontellt upplag. Detta uppfylls inte av exemplen i Figur 11.7 och 11.8 men däremot av exemplet i Figur 11.9.



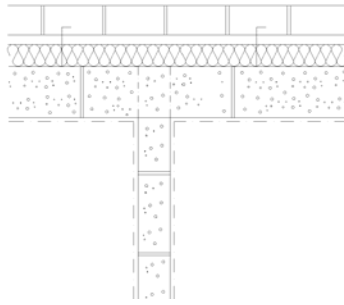
Figur 11.10, t.v. och 11.11, t.h. Vid ingen eller ringa lyftkraft från taket kan förankring ske i murkrön i block, om blocktypen har erforderlig hållfasthet, Figur 11.10. Vid risk för större, men fortfarande måttliga, lyftkrafter kan förankring av taket ske via hammarband ned i U-block med gjuten kärna, vilket muras som översta skift i väggen, Figur 11.11.



Figur 11.12. Stora lyftkrafter från takkonstruktion bör förankras en bit ned i vägg. Inläggning av armering medför att större mothållande tyngd kan tillgodoräknas. Istället för att borra ned förankringsdon kan man gå ned med till exempel hålbånd av stål och fästa in med expander eller ankarmassa i murens utsida.



Figur 11.13. Vertikaldetalj. För tunga bjälklag (betong, lättklinkerbetong, lättbetong) räcker normalt friktionen till för att förankra ihop platsgjutna bjälklag och väggar. För träbjälklag erfordras normalt förankringar av bockat stål, som fästs med expander eller ankarmassa i murverket.



Figur 11.14. Horisontaldetalj. Tvärgående väggar ska förankras ihop, så att stabilitet erhålls. I figuren visas att den anslutande innerväggen murats i förband med bakmuren; vartannat block muras in i bakmuren, vartannat slutar vid bakmurens kant. Förankring mellan bakmuren och innerväggen kan alternativt ske med inmurade ståldetaljer, som kramlor, förankringsskenor eller liknande.

11.3 Krav på murverk avseende byggnadsfysikalisk funktion

När det gäller byggnadsfysikalisk funktion kan man säga att de viktigaste aspekterna för ytterväggar utgörs av:

- Värmeisolering
- Fuktskydd
- Lufttätethet

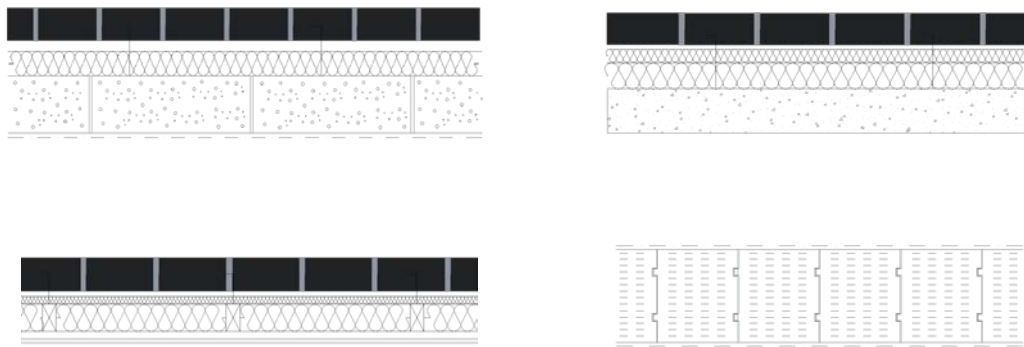
För lägenhetsskiljande väggar tillkommer normalt krav på ljudisolering.

11.3.1 Väggtyper

Murverk förekommer i olika alternativa utföranden i nutida byggproduktion. Detaljlösningarna kommer att variera i viss mån beroende på den tekniska uppbyggnaden, även om de tekniska krav som ska uppfyllas är desamma.

Nedan i text och figurer behandlas detaljlösningar för murade väggar med följande principiella uppbyggnad:

- Skalmur med luftspalt, isoleringsskikt och bakmur av murverk eller gjuten betong
- Skalmur med luftspalt, isolering och regelvägg (trä- respektive stålreglar) med mellanliggande isolering
- Blockmurverk med puts på såväl in- som utsida



Figur 11.15-11.18. I text och figurer nedan behandlade väggtyper; Figur 11.15, överst t.v., $\frac{1}{2}$ -stens fasadtegel med luftspalt, isoleringsskikt och bakmur, Figur 11.16, överst t.h. $\frac{1}{2}$ -stens fasadtegel, luftspalt, isoleringsskikt och bakmur av gjuten betong, Figur 11.17, nederst t.v. $\frac{1}{2}$ -stens fasadtegel, luftspalt, yttre isoleringsskikt, inre isoleringsskikt/reglar (trä i detta fall, kan även vara stål), plastfolie, skivbeklädning och Figur 11.18, nederst t.h., puts, blockmurverk, puts. Sistnämnda väggtyp förekommer även med block som innehåller ett särskilt isolerskikt ("Isoblock", "Thermoblock"), med en yttre putsbärande blockdel och en inre, som ofta är bärande.

11.3.2 Värmeisolering

U-värdet i väggar med fasadtegel och bakmur beror framförallt på värmekonduktiviteten i isolerskiktet och dess tjocklek. Bakmur av lättbetong, tegelmurblock och lättklinker ger visst bidrag till värmemotståndet, men i stort sett är det framförallt isoleringsskiktet som är avgörande för vilket U-värde som erhålls.

För väggar som utförs med murblock bestäms U-värdet av värmekonduktiviteten i blockens material och tjockleken. I en del blocktyper har man ett skikt av isolering, av till exempel cellplast eller polyuretan, som omges av aktuellt stenmaterial på ömse sidor, varigenom vägg-tjockleken kan hållas ned. Exempel på detta är Thermoblock (lättbetong) och Isoblock (lättklinkerbetong). I andra kan man vid beräkning av U-värde förutsätta samma värmekonduktivitet i blockens hela tjocklek, till exempel homogena lättbetongblock. Till sistnämnda grupp kan även Porotherm tegelmurblock räknas, i dessa finns hålskanaler som är fyllda med isoleringsmaterial.

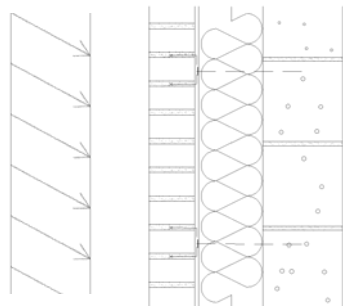


Bild 11.1, t.v., Isoblock (lättklinkerbetong), Bild 11.2, mitten, Thermoblock (lättbetong) och Bild 11.3, t.h., Porotherm (tegelmurblock).

11.3.3 Regngenomslag i tegelskalmurar

Tegel och murverk är porösa material, det vill säga de innehåller ett system av luftporer. När murverk träffas av regn kommer vatten att sugas upp i teglets respektive murbrukets luftporer. Om regnet är ihållande kommer så småningom alla luftporer som kan innehålla vatten att bli fyllda; man säger då att murverket är mättat på vatten. Om det fortsätter regna kommer det att bildas en film av rinnande vatten på murverkets yta. Om det samtidigt blåser mot fasaden kan vatten komma att tryckas igenom murverket, så att det börja sippra vatten på dess sida mot isolering/luftspalt. Detta fenomen kallas regngenomslag. Vid regngenomslag trycks således vatten igenom tegelmurverket och rinner nedåt på dess insida.

För väggtypen med utvändig skalmur måste man därför räkna med att regngenomslag kan ske, vid ogynnsamma klimatbetingelser. Uttorkning sker dock förhållandevis fort i tegelmurverk



Figur 11.19. Regngenomslag i skalmurar innebär att vatten trycks igenom murverket och börjar rinna på dess insida.

Det finns två olika mekanismer som kan förstärka risken för regngenomslag i skalmurar. Båda orsakas av brister i murverket. Den ena är att läckage sker genom dåligt utfyllda stötfogar (de vertikala fogarna). Om muraren inte fyller hela kopytan med bruk innan teglet sätts på plats, utan bara sätter en klick på kanten mot utsidan, ökar risken för regngenomslag.

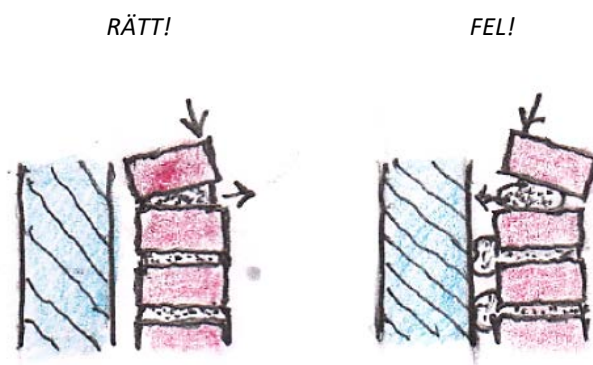


Figur 11.20. Bruk ska läggas på hela kopytan, inte bara på delen närmast utsidan, för att minimera risken för regngenomslag.

Den andra mekanismen som ökar risken för regngennomslag är att man inte fått vidhäftning mellan murbruk och tegel. När man sätter ihop tegel och bruk sugts vätska från bruket in i teglet. Detta startar en reaktion, som medför att hållfastheten växer till, och att bruket limmas fast mot teglet; bruket häftar vid teglet. Reaktionen startar tämligen momentant, det handlar om sekunder som muraren har på sig för att rätta till tegelstenens läge efter att den lagts. Om stenen rubbas därefter bryts den vidhäftning som byggts upp, och den kommer inte tillbaka i den fortsatta processen. Man säger därför att murning ska ske enligt principen ”lagd sten ligger”. Om det inte finns vidhäftning mellan tegel och bruk kan murverket se tätt ut, men i praktiken finns det en mikrospricka mellan fogbruk och tegel. Genom denna mikrospricka kan vatten pressas igenom murverket, i samband med att murverket är vattenmättat samtidigt som det regnar och blåser.

Även om det förutsätter relativt sällan förekommande väderbetingelser bör man räkna med att regngennomslag kan ske i fasader med skalmurar, och se till att det finns vattenutledning, det vill säga att byggtekniska detaljer utformas så att inläckande vatten leds ut igen.

Risk för regngennomslag motiverar också att murning bör ske så att bruk vid murning inte trycks in i luftspalten. Om muraren lägger teglet så att utsidan trycks ned före insidan kommer murbruk att tryckas ut i luftspalten, ”brukstuggor”. Vid regngennomslag finns då risk att vatten letar sig vidare in i bakomliggande materialskikt genom att det rinner på brukstuggorna. Detta undviks om teglet istället läggs så att insidan trycks ned först.



Figur 11.21. Om teglet läggs med insidan först nedåt och utsidan trycks nedåt därefter undviks brukstuggor i luftspalten.

Luftspalten i väggar med fasadtegel har olika funktioner beroende på sammansättningen på innanför liggande materialskikt. I väggar med icke organisk isolering (till exempel stenum och glasull) och bakmur av stenmaterial (murblock eller gjuten betong) finns egentligen inget behov av ventilerad luftspalt, eftersom det inte finns något organiskt innehåll i väggen. I sistnämnda väggtypen utgör luftspalten en fingerspalt som behövs för muraren när teglet läggs (muraren greppar teglet med ”enhandsfattning”, till skillnad från vid blockmurning, då båda händerna används). Spalten utgör också en dräneringskanal, som ska se till att vatten leds ut igen vid regngennomslag. Men avsaknaden av organiska komponenter i väggen innebär att luftspalten inte nödvändigtvis behöver vara ventilerad. I väggar med innanför liggande väggdel med regler däremot behövs en väl ventilerad luftspalt, för att ge möjlighet åt träreglarna att torka ut, till exempel på grund av byggfukt och inifrån eller utifrån kommande fukt.

11.3.4 Vattenupptagning i putsade enskiktsväggar

Moderna, välisolerade enskiktsväggar uppförs ofta med block av lättbetong, lättklinkerbetong eller håltegel. Ytan putsas både ut- och invändigt, normalt med tjockputs, det vill säga puts med tjocklek av cirka 8-10 mm. Vattenupptagning i den här typen av väggar sker genom den utvändiga putsen samt den yttre delen av blockmurverket. Upptaget vatten buffras av murverket och avges, beroende på murverksmaterialet, förhållandevis fort genom främst uttorkning mot utsidan. Regngenomslag är mycket sällsynt.

I såväl puts som murverksmaterial ökar vattenupptagningen genom sprickor med vidden större än 0,2 mm. I putsade enskiktsväggar utsatta för slagregn är det därför viktigt att se till att sprickbildning inte förekommer och att, i förekommande fall, underhålla putsen så att den håller tätt för regn.

11.3.5 Lufttätethet

Lufttätethet i klimatskalet innebär att luft hindras från att strömma igenom byggnadsdelen. Luftströmmar orsakas av tryckskillnader mellan de olika sidorna, det kan således handla såväl om att kall luft kommer in i huset och orsakar drag som att varm luft passerar ut igenom klimatskalet.

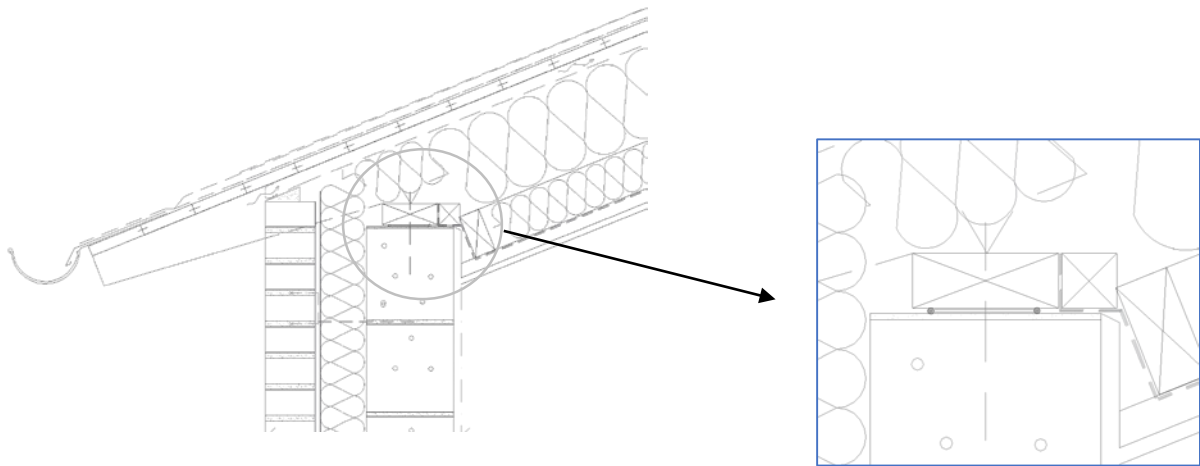
Under senare år har vikten av lufttätethet betonats allt mer av energiskäl. Det tjänar inte mycket till att bygga välisolerat om värmeförluster sker genom läckage vid otätheter. Men lufttätethet är också viktig med tanke på komfort och -inte minst- risk för fuktkonvektion; om varm inneluft trycks igenom byggnadsdelar under vintertid kommer luften att kylas ned under passagen och kondens bildas. Fuktkonvektion kan snabbt leda till att relativt stor mängd kondens kan bildas, till skillnad från kondens på grund av diffusion.

Diffusion är en långsam process och kondens som orsakas av denna mekanism vållar normalt inte problem i ytterväggar. Den plastfolie som sätts på den varma sidan i ytterväggar med fasadtegel, luftspalt och regelstomme har framförallt till uppgift att skapa lufttätethet.

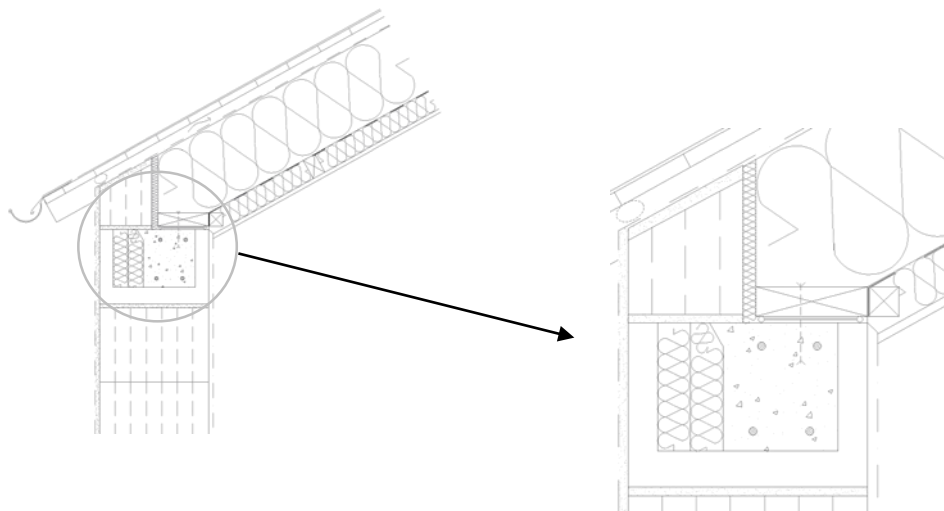
I de övriga här behandlade väggtyperna skapas lufttätethet av att den invändiga murverksytan putsas och någon plastfolie eller annat ångtätt skikt erfordras inte i väggalternativen med bakmur av stenmaterial och i putsade blockmurverk. Tvärtom är det fördelaktigt om insidan är ånggenomsläpplig, eftersom murverket då kan torka inåt. Lufttätningen sker normalt, som nämnts ovan, av den invändigt putsade murverksytan. Men det kan även vara exempelvis bakmurens utsida, vilket i så fall kräver att anslutningsdetaljerna, som i exemplen avsnitt 11.4 nedan, anpassas till det.

11.4 Exempel – byggnadstekniska detaljlösningar

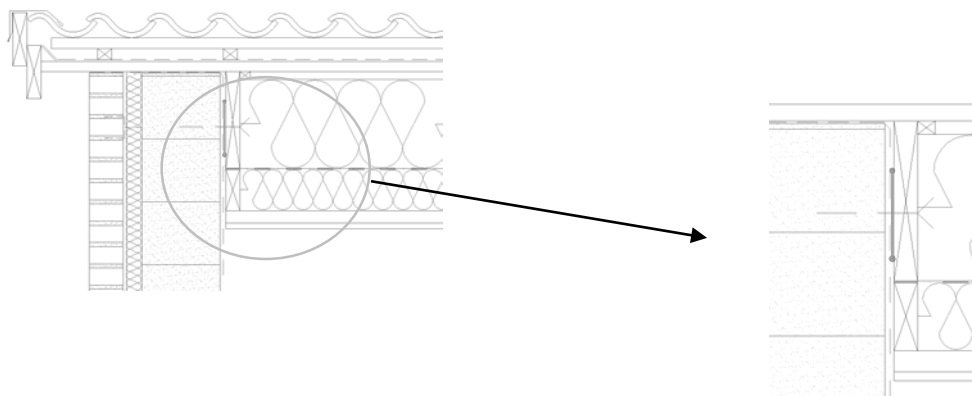
11.4.1 Takdetaljer



Figur 11.22. Lufttätningen i en murad vägg, med fasadtegel, isolering och bakmur (liksom i blockmurverk utan fasadtegel) sker normalt i den invändiga putsen. Det är viktigt att denna ansluts till lufttätning/plastfolie i taket. I detta exempel läggs ett hammarband på bakkurens ovansida, på undersidan hammarband sätts en tätande gummilist och hammarbandet dras fast i murkrönet så att gummilisten tätar mot luftströmning. Plastfolien (som utgör lufttätning i takkonstruktionen) kläms mellan hammarbandet och en längsgående läkt. Putsen på insida bakkur dras upp på hela murkrönet. Särskilt i fallet med bakkur av lättklinkerbetong är det viktigt att murkrönet täcks av puts, lättklinkerbetongen är inte lufttät innan den putsats.

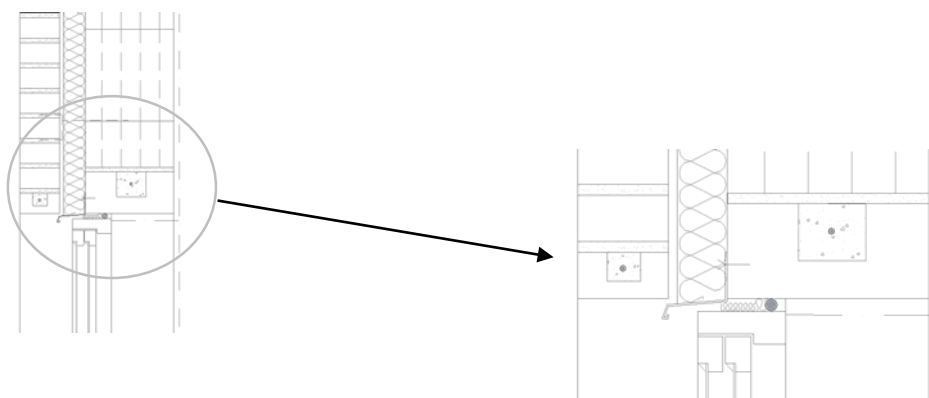


Figur 11.23. Anslutning långsida vägg och tak. Väggar med tegelmurblock, liksom även Isoblock, avslutas med ett skift U-block, som isoleras utvändigt och fylls i den inre delen med armerad betong. Lufttätning sker i detta exempel dels med tätande gummilist mellan betongkärnan och hammarbandet och dels genom att takets plastfolie kläms mellan hammarbandet och en längsgående läkt. Den ventilerade luftspalten i taket, ovan isoleringen, avslutas i exemplet med ett murblock som skurits snett och tätats med ett 15 mm putsskikt i ovansida.

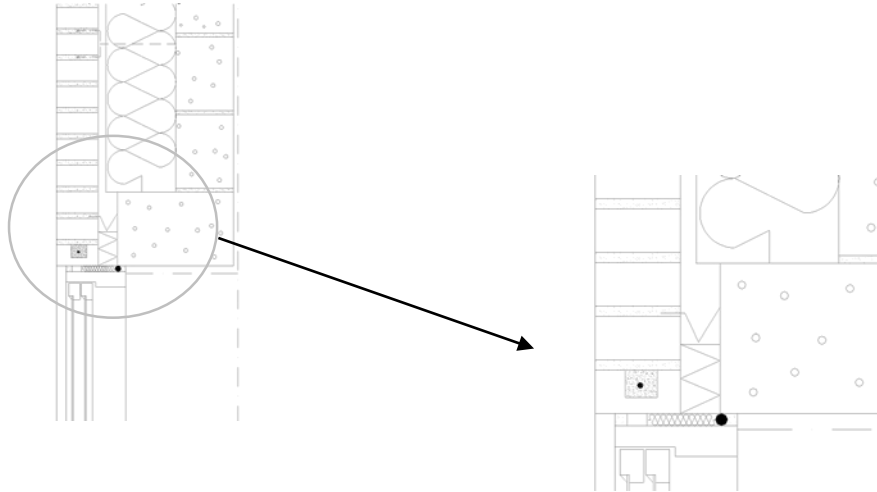


Figur 11.24. Anslutning mellan gavelvägg och tak. Lufttätningen sker i detta exempel genom att man sätter en tätande gummilist på högbenet närmast gavelväggen och fäster in detta tätt samt att plastfolien kläms mellan högbenet och en underliggande regel. Murverkssytan bakom högbenet måste vara så jämn att gummilisten fyller ut helt, det kan erfordras att man jämnar av ytan något med putsbruk. Lösningen innebär att gavelväggen och takkonstruktionen förankras ihop, vilket är positivt med tanke på stabilitetsaspekter. Vid långa sammanhängande tak kan det erfordras att man utför taket med rörelsefogar, eftersom träpanelens fuktrörelse kan bli relativt stor. Framförallt kan rörelser i takkonstruktionen vålla problem i putsade fasader.

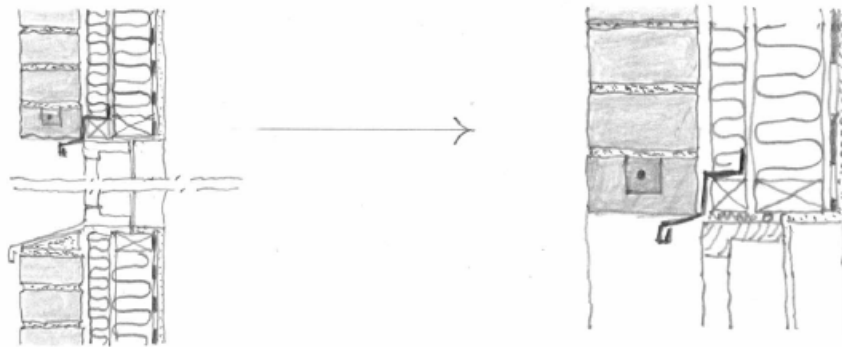
11.4.2 Fönsterdetaljer



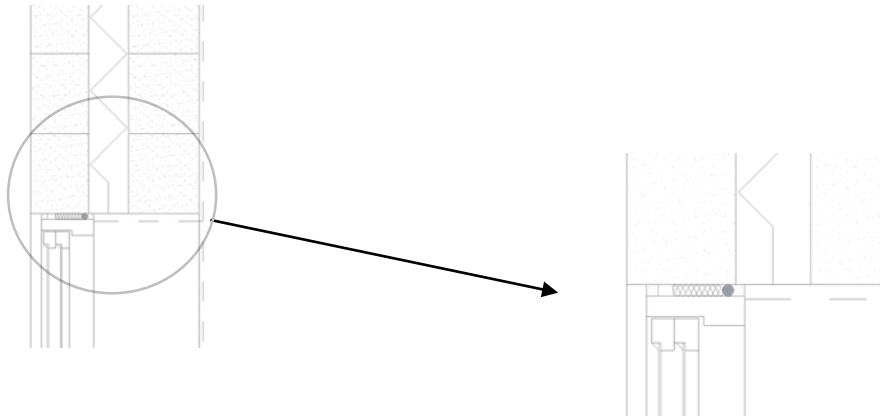
Figur 11.25. Ett säkert sätt att ta hand om vatten som rinner på teglets insida över fönsteröppningar vid regngenomslag är att fästa fönstret i bakkuren och sätta en vattenutledande plåt över karmen. Lösningen förutsätter att luftspalt och yttre isolering i de vertikala anslutningarna täcks av med en plåtvinkel, som ofta utgör ett utseendemässigt problem. Invändig puts dras fram i insida fönstersmyg och ansluts mot karmens insida, så att den täcker några mm över karmen. Utanför putsen sätts mellan karm och murverk drevning, bottningslist och elastisk fogmassa.



Figur 11.26. Fönster med utdragen placering. För att avleda vatten vid regngenslag sätts ränna av rostfri plåt som muras in i liggfog ovan fönstret. Rännan går ut en bit utanför fönstret på ömse sidor och släpper där vatten i spalten mellan fasadtegel och isolering. Utvändigt kan tätas med bruk eller elastisk fogmassa. Invändigt lufttätas med bottningslist och elastisk fogmassa samt genom att den invändiga putsen dras fram i smygen och överlappar karmen några mm. Utanför bottningslisten, bakom karmen, drevas med mineralull. I de vertikala anslutningarna kan tätas på motsvarande sätt, in- och utvändigt. För att minska risk för vatteninträngning kan man överväga att sätta en sekundär tätning under den rostfria rännan, exempelvis av ytpapp.

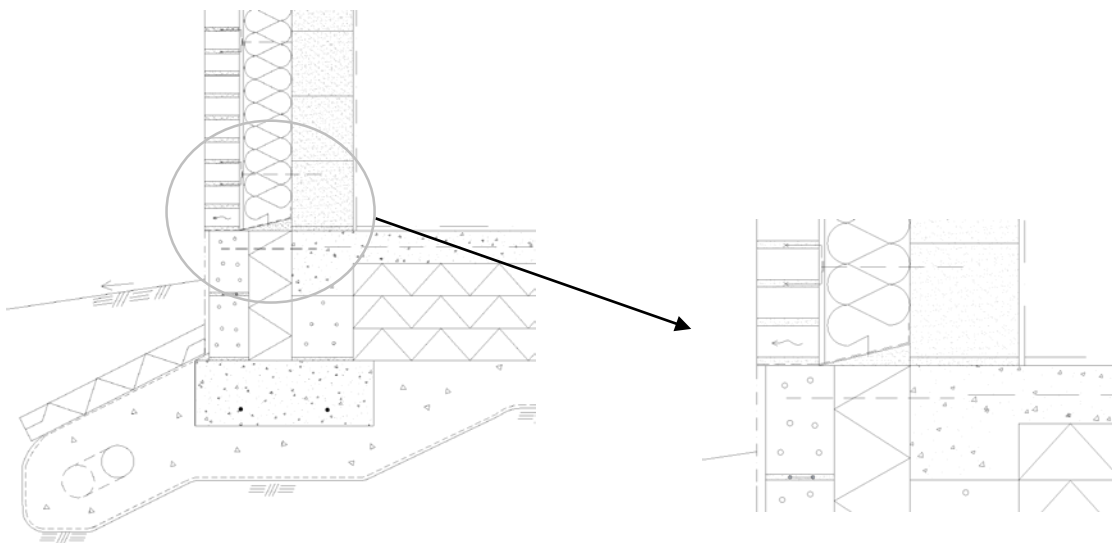


Figur 11.27. Vid skalmur med innanför liggande regelvägg bör fönster vara indragna, så att vatten vid regngenslag kan ledas ut med plåtbleck i ovankant fönster. Lufttätning på insidan utförs med elastisk fogmassa mellan karm och regelstomme. Utanför fogmassan, bakom karmen sätts bottningslist och mineralullsdrev. I de vertikala anslutningarna täcks luftspalt och yttre isolering av plåtbleck.

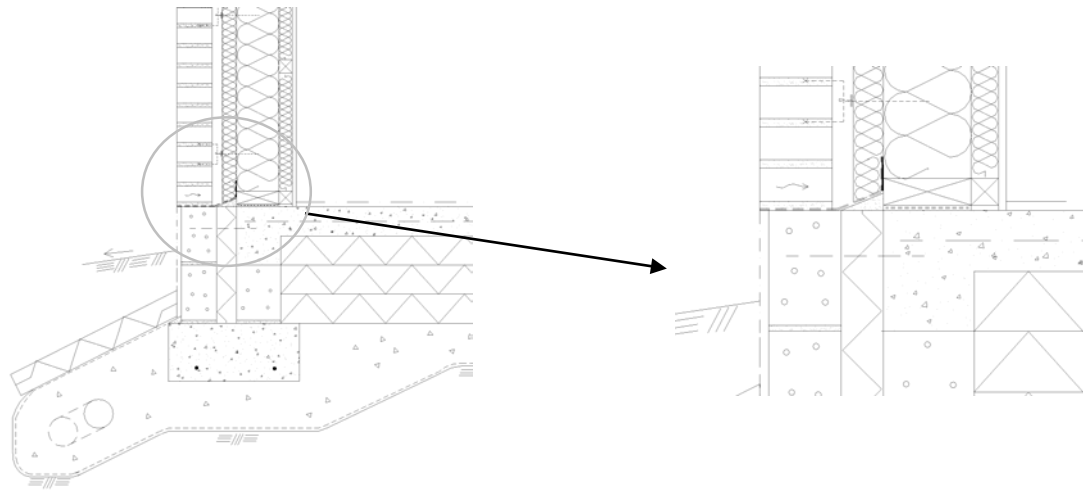


Figur 11.28. Fönsterdetalj vid blockmurverk av kompositblock, "Thermoblock", "Isoblock" m. fl. Bakom karm kan tätas med bruk eller elastisk fogmassa utvändigt. Invändig puts dras fram och täcker karmen några mm. Innanför putsen sätts elastisk fogmassa, bottningslist och mineralullsdrävning.

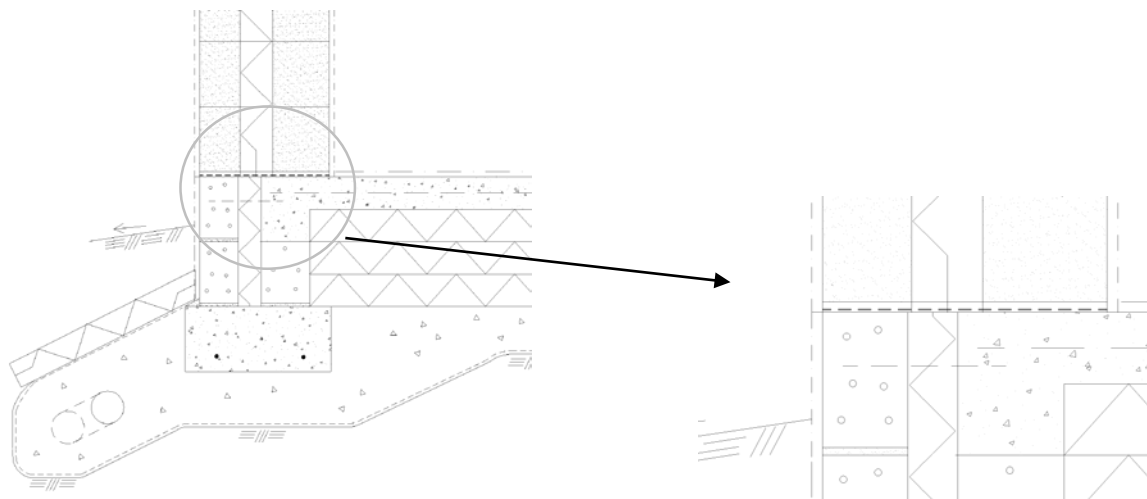
11.4.3 Grunddetaljer



Figur 11.29. Sockelanslutning vid 1/2-stens fasadtegel, isolering och bakmur av blockmurverk. Isoleringsskiktet avslutas i detta exempel mot en brukssträng med lutning. Ovanpå bruksträngen sätts en vattenutledande membran av EPDM, som dras upp och klistras mot bakmurens utsida. Membranet dras fram och avslutas utåt i liv med tegelmurverkets utsida. Ovan EPDM-membranet läggs ytterligare en våd EPDM under skalmuren, med bredd lika skalmurens tjocklek. Var 3:e eller var 4:e stöfög lämnas ofylld, för att säkerställa att vatten leds ut vid regngenomslag. Invändig puts ansluts mot betongplattan för att skapa lufttätning. Observera att skalmuren muras på ett horisontellt underlag, brukssträngens lutning börjar innanför skalmurens innerliv. Första raden kramlor sätts i någon av de understa liggfogarna.



Figur 11.30. Exempel på sockelanslutning vid 1/2-stens fasadtegel med bakomliggande träregelvägg. Luftspalten ska vara minst 30 mm och innanför den finns ett skikt med mineralull, utan papplager. Innanför detta skikt kommer regelstommen med mellanliggande mineralullsisolering. Under det yttre isoleringsskiktet och i luftspalten ligger en brukssträng i lutning. Observera att skalmuren muras på ett horisontellt underlag, brukssträngens lutning börjar innanför skalmurens innerliv. Ovanpå brukssträngen sätts en vattenutledande membran av EPDM, som dras upp och klistras mot en 200 mm hög fibercementskiva eller liknande, som fästs på utsida regelverk. Membranet dras fram och avslutas utåt i liv med tegelmurverkets utsida. Ovan EPDM-membranet läggs ytterligare en våd under skalmuren, med bredd lika skalmurens tjocklek. Var 3:e eller var 4:e stötfog lämnas ofylld, för att säkerställa att vatten leds ut vid reggenomslag. Invändig lufttätning utgörs av plastfolie, som kläms mot syllen insida. Lufttätningen kompletteras genom att man sätter en lufttätande gummilist eller liknande på syllens undersida och drar fast syllen mot betongplattan. Första raden kramlor sätts i någon av de understa liggfogarna.



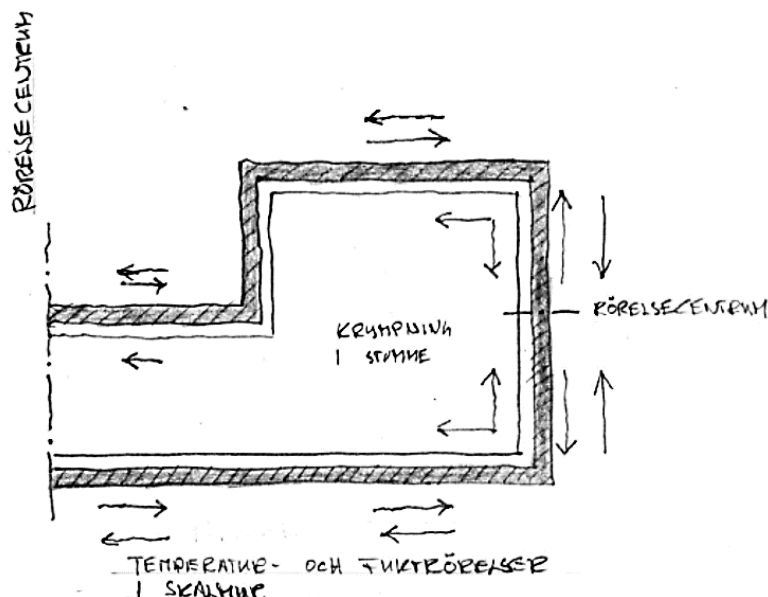
Figur 11.31. Exempel på sockelanslutning vid putsade blockmurverk, Thermoblock, Isoblock m. fl. Under blockmurverket läggs glidlager av EPDM. Armering i sockelputs och armering i fasadputs ska inte vara genomgående. Invändig puts ansluts mot betongplattan för att skapa lufttätning.

11.5 Rörelsefogar

Moderna murverk är mer sprickbenägna än traditionella, fullmurade tegel- och murverkskonstruktioner. Detta hänger samman med ett flertal faktorer:

- I fullmurar murades det yttersta skiktet i förband med en inre kärna av väggen som inte utsattes alls lika mycket för temperatur- och fuktvariationer. Förbandsmurningen medförde att rörelserna fördelades ut bättre
- Man använde i äldre murverk normalt svagare murbruk, vilket i sin tur möjliggjordes av fullmurstekniken; på grund av de tjocka väggarna erhöles normalt ett övermått av bärförmåga ändå
- Ytterväggar utfördes utan ett värmeisolerande skikt. I dagens byggnadsteknik med skalmurar medför isoleringsskikten att murverket utsätts för större temperaturskiftningar

För att minska sprickrisken på grund av fukt- och temperaturrörelser läggs idag i modern byggnadsteknik in vertikala rörelsefogar. Genom att dela upp skalmurverket i mindre sektioner begränsas den sammanlagda rörelsen och därmed reduceras sprickrisken.

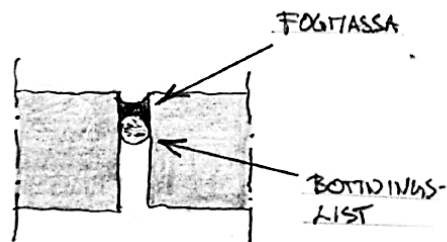


Figur 11.32. Rörelserna i en skalmur sker från ett rörelsecentrum, i stort sett dess geometriska mitt. Under sommaren utvidgas muren, under vintern drar den ihop sig, i sitt eget plan. I hörn och lägen där skalmurens rörelser hindras uppstår risk för sprickbildning.

De rörelser som normalt sker i skalmurar anges i *Rätt murat och putsat* (SPEF/Svensk Byggtjänst, 2011) till:

Material i skalmur	Dygnsrörelse i skalmur (mm/m)	Årsrörelse i skalmur (mm/m)	Årsrörelseskillnad skalmur /betongstomme (mm/m)
Tillämpas för	Kramlor	fogbredd rörelsefog	rörelsearm
Tegel	0,25	0,40	0,30
Kalksandsten	0,30	0,50	0,40
Lättklinkerblock	0,25	0,25	0,15
Lättbetongblock	-	-	-
Betong	0,40	0,45	0,35

Rörelsefogar, ofta också benämnda dilatationsfogar, utförs med bottningslist och elastisk fogmassa, se Figur 11.33.



Figur 11.33. Utformning av rörelsefog.

Enligt ett allmänt råd i EKS 11 bör det maximala avståndet mellan rörelsefogar vara fem gånger skalmurens höjd, under förutsättning att den utförs med glidlager i anslutning mot underliggande konstruktion. Vid sammanmurade hörn bör dock avståndet mellan rörelsefogar vara maximalt 24 m.

Rörelsefogar har den tekniska fördelen att de minskar sprickrisken, men de bryter samtidigt visuellt mot den grundläggande murverksregeln att vertikala fogar inte ska linjera i intilliggande skift, se bild 11.4. Fogmassan har inte åldringsegenskaper i paritet med mursten och bruk; de mister också sin elasticitet efterhand, spricker ofta efter något eller några decennier, och utgör ett utseendemässigt problem i moderna skalmursfasader.

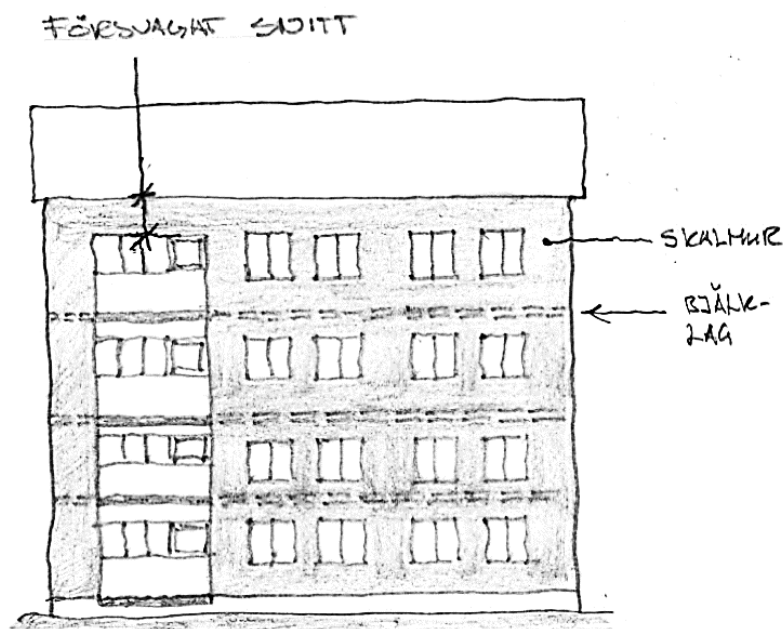


Bild 11.4. Rörelsefog.

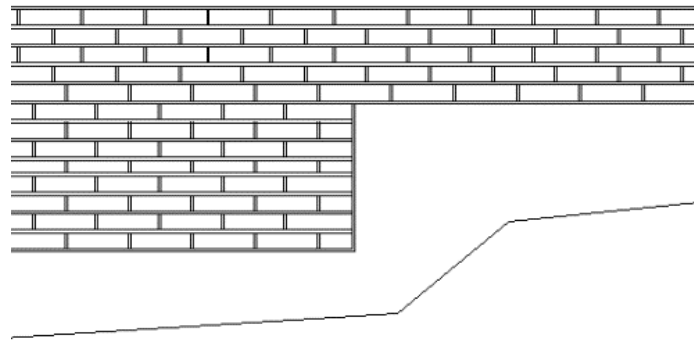
Faktorer som minskar behovet av rörelsefogar:

- Effektivt glidlager mot underliggande konstruktion, till exempel dubbla lager EPDM. Genom dubbla lager spelar det ingen roll om bruket vidhäftar mot det övre laget, de båda membranerna kommer att glida sinsemellan
- Första raden kramlor vid hörn utan rörelsefog sätts med minst 1000 mm avstånd från hörnet
- Minimerad låsning mot andra byggnadsdelar, som exempelvis balkonger samt andra betong- och stålkonstruktioner som går igenom murverket
- Undvik om möjligt starka murbruk; hellre bruksklass M1 än M2,5. Det kan dock finnas konstruktiva skäl för att välja M2,5. Förutom lägre sprickrisk vid M1 tenderar sprickbildning i murverk murat med M1 att ske längs fogar, och inte rakt igenom tegel, som kan förekomma vid murning med M2,5
- Undvik om möjligt upphängning av murverk i konsoler, eftersom det låser fast murverket i bakomliggande konstruktioner
- Att man reducerar krympningen i anslutande betongkonstruktioner
- Inläggning av armering i försvagade murverksdelar

För att göra rörelsefogar mindre störande kan de placeras i inåtgående hörn eller bakom stuprör. De kan också göras så att de följer murningsmönstret, vilket ju dock bör vara förenligt med den förbandsmurning som ska ske. Andra åtgärder som vidtagits för att få rörelsefogar att avvika mindre är att blåstra in sand eller torrbruk i ytan respektive att helt enkelt dra in fogmassan någon cm innanför tegellivet.



Figur 11.34. Fasad där skalmuren bryts i läge för balkonger, men muras kontinuerligt i låg höjd i översta del. Murverket ovan balkongerna utgör ett försvagat snitt. Armering av liggfogarna i denna del kan minska sprickrisken, och reducera sprickvidd om sprickor ändå uppkommer.



Figur 11.35. I en trappad sockel, där murverket står på en gjuten betongkonstruktion, kan låsningen mot betongen minskas genom att man lägger en mineralullsboard eller liknande i den vertikala anslutningen, och fogar med elastisk fogmassa.

11.6 Lästips

Detaljlösningarna är avgörande för teknisk funktion, och ofta också för mjukare värden, hur vi upplever byggnader och byggnadsdelar. Det är viktigt som projektör att tänka igenom vilka påfrestningar som en byggnadsdel utsätts för, och att samtidigt också beakta skalan "väl proportionerat - klumpigt". Misstag kan uppkomma i båda ändarna av denna. För fördjupad diskussion i detta avseende hänvisas här till boken "Moderna tegeldetaljer", T. Gustavsson.

12 Brandbeständighet

12.1 Generellt

Förhöjda temperaturer har ringa påverkan på hållfastheten hos murverksmaterial, vilket gör att byggnader med murad stomme uppvisar mycket god motståndskraft mot brand. Denna förmåga hos murverk, i synnerhet tegelmurverk, har varit känt länge, vilket förklarar att byggnadsdelar där brandfaran bedömdes som stor, såsom ugnar, rökkanaler och skorstenar, ofta byggdes med tegel eller stenmaterial även i traditionella trähus. Stora svenska stadsbränder under 1800-talet ledde till att byggnadsreglerna föreskrev användning av obrännbara material i ytterväggar i städernas tätbebyggda områden, vilket gav en fördel för det murade byggandet på bekostnad av träbyggandet. Denna regelskrivning förklarar förekomsten av många murade byggnader i de äldre, centrala delarna av våra större städer.

Förhöjda temperaturer vid brand ger upphov till deformationer som, speciellt vid ensidig brandpåverkan, ger upphov till en tillägsexcentricitet. Med ökande excentricitet minskar väggars bärförmåga med avseende på vertikal last.

Frågor som rör brandsäkerhet i byggnader hanteras i Boverkets byggregler, BBR. Kortfattat, bygger systemet för hantering av brandsäkerhet på följande steg:

- a) Byggnader delas in i tre klasser, Br 0 – Br 3, beroende på antal våningar, verksamhetstyp, mängd brännbart material samt byggnadens inre uppdelning. Kraven är högst på en byggnad som hamnar i byggnadsklass Br 0.
- b) Enskilda byggnadsdelar, till exempel väggar och pelare, delas in i säkerhetsklasser, beroende på byggnadsdelens betydelse för hela byggnadens säkerhet. Det finns fem brandsäkerhetsklasser betecknade 1 – 5, där brandsäkerhetsklass 1 tillämpas då byggnadsdelens kollaps medför ringa risk för personskada.
- c) Beroende på brandsäkerhetsklass, ställs krav på brandmotstånd hos byggnadsdelar. Krav kan ställas med avseende på bärförmåga (R), integritet (E) och isolerande funktion (I). De två senaste kraven avser rumsavskiljande prestanda. Kraven ställs i form av brandteknisk klass och uttrycks i antal minuter byggnadsdelen ska erbjuda motstånd vid en så kallad standardbrand. Till exempel betyder kravet REI60 att en vägg ska behålla sin bärförmåga och sina rumsavskiljande egenskaper i minst 60 minuter.

För en något mer ingående presentation av frågor som rör brandsäkerhet hänvisas till läroboken Byggkonstruktion av Isaksson med flera 2019.

12.2 Dimensioneringsmetoder

Brandmotståndet hos murade väggar kan bestämmas genom provning, användning av tabellerade data baserade på provning samt beräkning. Metod baserad på tabellerade data är vanligast, eftersom den är snabb och kostnadseffektiv. Tabellerade data för bestämning av murade väggars brandmotstånd för de vanligaste murverksmaterialen presenteras i SS-EN 1996-1-2, Bilaga B. I samma Eurokod presenteras även beräkningsmetoder och råd till utformning av brandsäkra byggnadsdetaljer.

12.2.1 Bestämning av brandmotståndet genom användning av tabellerade data

Vid val av brandteknisk klass, och i förlängningen, lämplig väggutformning, tas hänsyn till en rad faktorer såsom murverksmaterialets mekaniska egenskaper, typ av sten eller block med avseende på innehåll av håligheter, väggkonstruktionens funktion och geometri samt aktuella lastförutsättningar. Tabellerna i SS-EN 1996-1-2 är strukturerade utifrån nämnda parametrar.

Tillvägagångssättet för brandteknisk dimensionering av en bärande enskiktsvägg med avskiljande funktion (REI), där ett preliminärt värde på väggens tjocklek har erhållits genom tidigare dimensionering av bärförmågan med avseende på vertikal last i brottgränstillståndet, kan se ut som följer:

- Bestäm dimensionerande last vid brand, $N_{Ed,fi}$, genom lastkombination 6.11 a/b. Förenklat, kan dimensionerande last vid brand beräknas genom att multiplicera dimensionerande last i brottgränstillståndet med faktorn 0,65.
- Beräkna väggens dimensionerande bärförmåga vid brand genom $N_{Rd,fi} = \phi f_k t / \gamma_{Glo}$, där ϕ är kapacitetsreduktionsfaktorn för vertikalbelastad vägg beräknad enligt kapitel 9 i detta kompendium; f_k är murverkets karakteristiska tryckhållfasthet; t är väggens tjocklek; γ_{Glo} är säkerhetsfaktorn att använda för brandutsatt murverk. Värdena på γ_{Glo} sätts till mellan 3 och 5.
- Beräkna utnyttjandegraden vid brand genom $\alpha = N_{Ed,fi} / N_{Rd,fi}$.
- För att uppskatta vilken brandteknisk klass den aktuella väggen hamnar i, välj relevant fall – i första steg från Tabell B.1 – B.6 och sedan i Tabell N.B.1 – N.B.5.

Observera att Tabell N.B.1 – N.B.5 i vissa fall presenterar lämpliga värden för minsta vägg tjocklek eller vägg längd på två rader. Översta raden avser oputsad vägg – normalt används dessa värden. Nedre raden, där värden presenteras i parentes, avser väggar putsade med brandskyddande puts, såsom gipsputs eller liknande. Puts med bindemedel av cement anses inte ge någon skyddande effekt.

12.3 Exempel

Ex 12.1

Bestäm brandteknisk klass REI för den avskiljande bärande lättbetongväggen i Exempel [9.1] och [9.2] i detta kompendium. Med en avskiljande vägg avses en vägg som exponeras för ensidig brand (icke avskiljande vägg – lastbärande vägg exponerad för brand på två eller fler sidor).

Väggen putsas med cementbaserad puts.

Förutsättningar

Lättbetongblock: Karakteristisk tryckhållfasthet $f_b = 3,0$ MPa (Tab. 5.2);
 Bruttodensitet $\rho = 400$ kg/m³ (leverantörsinformation);
 Hålvoly < 25 % (leverantörsinformation) – produkten indelas i
 grupp 1, se även SS-EN 1996-1-1, 3.1.1.

Murverk av lättbetong: Karakteristisk tryckhållfasthet, vid murning med tunnfofsbruk,
 $f_k = 2,0 \text{ MPa}$ (Tab 5.2);
 Väggtjocklek utan puts $t = 365 \text{ mm}$.
 Vägglängd 600 mm.

Resultat från Exempel 9.1 och 9.2

Kapacitetsreduktionsfaktorn ϕ för vertikal last beräknades till 0,90 med avseende på lokalt tryck respektive till 0,87 med avseende på knäckning. Reduktion med avseende på knäckning är dimensionerande, varför $\phi = 0,87$.

Dimensionerande last i brottgränstillståndet är $N_{Ed} = 45 + 70 = 115 \text{ kN}$.

Analys av brandmotståndet

Väggen (murplearen) i fråga exponeras för ensidig brand från insidan. Väggen byggs i ett skikt av lättbetongblock. Enligt SS-EN 1996-1-2, Bilaga B, Tabell B.2, ska väggen ha en minsta tjocklek på t_F för att uppfylla en av de brandtekniska klasserna REI15 till REI360.

I samma Eurokod, Bilaga B, Tabell N.B.4.2 presenteras minsta väggtjocklek för avskiljande bärande enskiktsväggar som uppfyller någon av de brandtekniska klasserna REI30 till REI240. Tabell N.B.4.2 återges nedan.

Rad-nummer	Materialegenskaper: lättbetongens hållfasthet f_b [N/m^2]; bruttodensitet ρ [kg/m^3].	Minsta väggtjocklek [mm] $t_{F,d}$ för brandteknisk klass REI [minuter]						
		30	35	60	90	120	180	240
1	Murstenar och murblock i grupp 1 och S1							
1.1	Murbruk: normalt, tunnfofsbruk $2 \leq f_b \leq 4$ $350 \leq \rho \leq 500$							
1.1.1 1.1.2	$\alpha \leq 1,0$	90/115 (90/115)	90/115 (90/115)	90/140 (90/115)	90/200 (90/200)	90/225 (90/225)	140/300 (140/240)	150/300 (150/300)
1.1.3 1.1.4	$\alpha \leq 0,6$	90/115 (90/115)	90/115 (90/115)	90/115 (90/115)	90/150 (90/115)	90/175 (90/150)	140/200 (140/200)	150/200 (150/200)
1.2	Murbruk: normalt, tunnfofsbruk $4 \leq f_b \leq 8$ $500 \leq \rho \leq 1000$							
1.2.1 1.2.2	$\alpha \leq 1,0$	90/100 (90/100)	90/100 (90/100)	90/150 (90/100)	90/170 (90/150)	90/200 (90/170)	125/240 (100/200)	150/300 (100/240)
1.2.3 1.2.4	$\alpha \leq 0,6$	90/100 (90/100)	90/100 (90/100)	90/100 (90/100)	90/150 (90/100)	90/170 (90/125)	125/140 (125/140)	150/240 (150/200)

Vi följer förenklad dimensioneringsgång presenterad i avsnitt 12.2.1 i detta kompendium.

- a) Dimensionerande last i brandfallet beräknas genom

$$N_{Ed,fi} = 0,65 \cdot N_{Ed} = 0,65 \cdot 115 \cong 75 \text{ kN.}$$

- b) För beräkning av den dimensionerande bärförmågan vid brand, bör brandsäkerhetsfaktorn γ_{Glo} väljas till mellan 3 och 5. Vi väljer, på säkra sidan, $\gamma_{Glo} = 5$. Den dimensionerande bärförmågan vid brand beräknas som

$$N_{Rd,fi} = \phi f_k t / \gamma_{Glo} = 0,87 \cdot 2,0 \cdot 10^6 \cdot 0,365 / 5 \cong 127 \text{ kN/m.}$$

- c) Vi beräknar utnyttjandegraden vid brand

$$\alpha = N_{Ed,fi} / N_{Rd,fi} = 75 / 127 = 0,59.$$

- d) Vi går in i Tabell N.B.4.2 med lättbetongens hållfasthet $f_b = 3,0$ MPa; bruttodensitet $\rho = 400$ kg/m³; utnyttjandegraden $\alpha \leq 0,6$; brandtekniskt icke skyddande puts – se gråmarkerad text. Rad 1.1.3 och en vägg tjocklek på mellan 150 – 200 mm ger en brandteknisk klass REI240. Aktuell vägg har tjockleken 365 mm, vilket är med bred marginal mer än vad som krävs för brandteknisk klass REI240.

Svar

Den aktuella väggen uppfyller brandteknisk klass REI240. Detta höga brandmotstånd kan jämföras med ett krav på REI30 som gäller för ett enfamiljshus.

Referenser

A. Cajdert med flera - *Bärande tegelmurverk : en konstruktionshandbok för beräkning av bärande tegelmurverk*. Svenskt Tegel, 1997, ISBN 91-630-5368-3.

Boverket – *Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd, BBR*. Boverket, 2020.

Boverket - *Boverkets konstruktionsregler, EKS 11*. Boverket, 2019, ISBN tryck: 978-91-7563-648-1
ISBN pdf: 978-91-7563-649-8.

J. T. Ahlstrand – *Arkitekturtermer*. Studentlitteratur, 1969, ISBN 978-91-44-02852-1.

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

SIS Svenska Institutet för Standarder - *SS-EN 1996-1-1:2005+A1:2012 – Eurokod 6 – Dimensionering av murverkskonstruktioner – Del 1-1: Allmänna regler för armerade och oarmerade murverkskonstruktioner*.

SIS Svenska Institutet för Standarder - *SS-EN 1996-1-2:2005+AC:2010 - Eurokod 6: Dimensionering av murverkskonstruktioner - Del 1-2: Allmänna regler - Brandteknisk dimensionering*.

SIS Svenska Institutet för Standarder - *SS-EN 1996-2:2006/AC:2009 - Eurokod 6: Dimensionering av murverkskonstruktioner - Del 2: Dimensioneringsförutsättningar, materialval och utförande*.

Svensk Tegelinstriförening – *Murverkshandboken MUR 90*. Helsingborg, 1990.

T. Isaksson, A. Mårtensson och S. Thelandersson – *Byggkonstruktion, Fjärde upplagan*. Studentlitteratur, 2020, ISBN 978-91-44-13855-8.

T. Gustavsson - *Moderna tegeldetaljer, utgåva 2*. Arkus förlag, 2012, ISBN 978-91-978957-4-3.