



**AALBORG UNIVERSITY**  
DENMARK

**Aalborg Universitet**

## **Murværkskonstruktioner**

*materialer, udførelse og dimensionering*

Olesen, Frits Bolonius

*Publication date:*  
2001

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*  
Olesen, F. B., (2001). *Murværkskonstruktioner: materialer, udførelse og dimensionering*, 13 s.

### **General rights**

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.

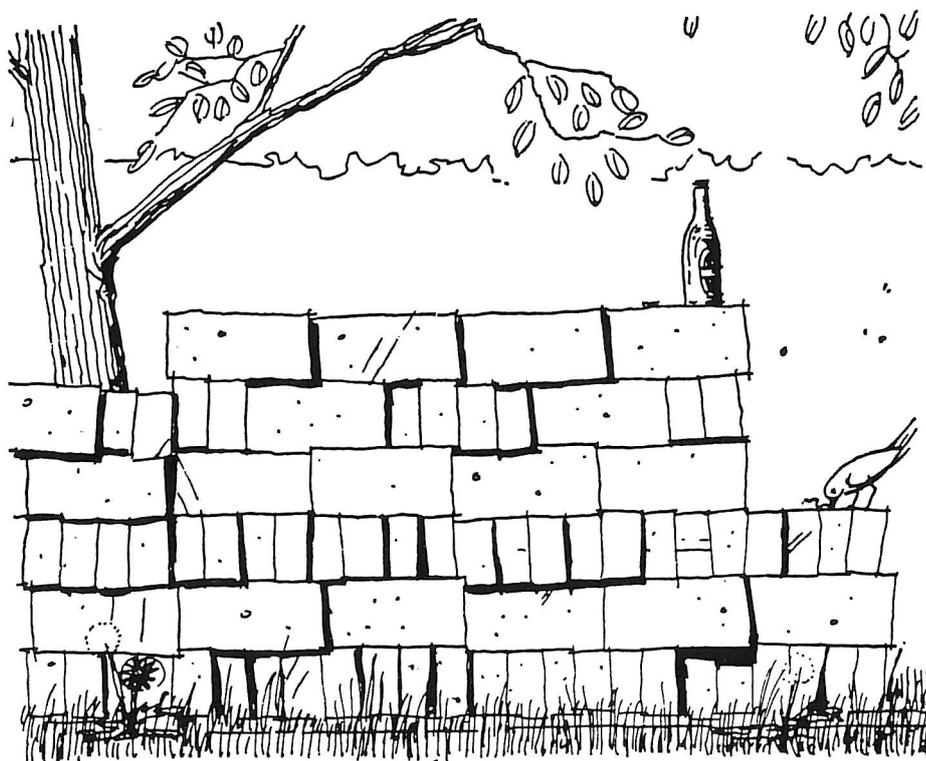
- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in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

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

## MURVÆRKS KONSTRUKTIONER

### Materialer, udførelse og dimensionering



1730 11-25

010501

## INDHOLD

### A. MURVÆRKS KONSTRUKTIONER (NOTAT)

- \* Mursten og blokke
- \* Mørtel
- \* Muring

### B. BEREGNINGSEKSEMPLER

- MU 1: Bæreevnebestemmelse. Vertikalt belastet teglstensmurværk
- MU 2: Bæreevneeftervisning. Vertikalt belastet blokmurværk
- MU 3: Bæreevneeftervisning. Vertikalt og horisontalt belastet murstensmurværk

## SUPPLERENDE LITTERATUR

### Dansk Standard:

Norm for murværkskonstruktioner DS 414, 1998

### MURO Murerfagets Oplysningsråd:

Teglpjecer:	Nr. 1:	Teglfremstilling
	Nr. 3:	Murmål
	Nr. 10:	Tegls egenskaber
	Nr. 15:	Erhvervsbygninger i tegl
	Nr. 18:	Overfladebehandling af murværk
	Nr. 21:	Det murede hus
	Nr. 22:	Mursten og mørtel
	Nr. 24:	Nye styrker for murværk
	Nr. 26:	Tegl og akustik
	Nr. 27:	Skalmure - åbningers form og teknik
	Nr. 28:	Fuger i murværket
	Nr. 31:	Armeret murværk i praksis m/cd-rom

### By og Byg (Statens Byggeforskningsinstitut):

- \* Skalmure ved udvendig efterisolering, SBI-anvisning 156, 1988
- \* Trådbindere til forankring af skalmure og hule mure, SBI-anvisning 157, 1989

### Murværkscentret (DTI):

- \* Murværksprojektering (beregningsprogram, version 3.0), 1999
- \* Mur- og tagdetaljer (600 tegninger på Auto-CAD, cd-rom version 2.0), 1999
- \* Mur- og tagprodukter (cd-rom, version 1.1), 2001

# MURVÆRKS KONSTRUKTIONER

Anvendelsen af natursten og tegl til murværk har været kendt i over 3000 år. I vore dage er tegl stadig det mest anvendte materiale til mursten, men også mursten af beton, letbeton og kalksandsten bruges nu i stigende grad.

Normgrundlaget for projektering og udførelse af murværkskonstruktioner er herhjemme Dansk Ingeniørforenings "Norm for murværkskonstruktioner", Dansk Standard 414 (5. udgave 1998). Normen omfatter konstruktioner, der opføres som murværk af mursten eller blokke fremstillet af uorganiske materialer.

Ved mursten forstås byggesten, hvis højdemål i indbygget tilstand er mindre end 185 mm. Ved blokke forstås byggesten, hvis højdemål i indbygget tilstand er mindst 185 mm.

I det følgende skal gives en oversigt over de forskellige forhold (mursten, mørtel, muring etc.), der spiller en rolle for det færdige murværks egenskaber.

## Mursten og blokke

Mursten og blokke karakteriseres ved at angive type, klasse og format samt oplysninger om udseende, frostbestandighed, densitet etc. Det sker ved en varedeklaration, der udfærdiges på grundlag af en typeprøvning og løbende driftskontrol. En sådan fuldstændig varedeklaration omfatter

- produktionssted og eventuelt kodenøgle
- stentype/bloktype
- stenklasse/blokklasse
- format
- anvendelsesområde og udseende
- fysiske egenskaber

### STENTYPER OG BLOKTYPER

DS 414 omfatter sten og blokke fremstillet af tegl, beton (kun sten), kalksandsten, letbeton og moler. Sten og blokke fremstillet af andre materialer er ikke omfattet af normen, men tillades anvendt, når egnetheden er eftervist ved murværksforsøg.

### Teglsten og teglblokke

Teglsten fremstilles i et meget stort antal varianter ved brænding af ler eller lerholdig masse. Farven er hyppigst rød eller gul, der hver især dækker over et bredt spektrum af nuancer; sjældnere anvendes sten med de specielle farver brundæmpet, mocca, blådæmpet etc.

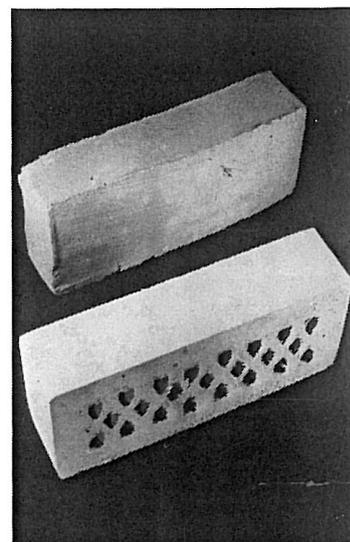
Fremgangsmåden ved formgivningen spiller en stor rolle for stenens overfladekarakter; der skelnes mellem

- håndstrygning
- blødstrygning
- maskinstrygning;

"Murværks-normen" DS 414

Mursten og blokke

Karakteristik af mursten og blokke



Figur 01:

Mursten af dansk normalformat. Øverst håndstrøgen sten, nederst maskinstrøgen sten med huller

De håndstrøgne og blødstrøgne sten anvendes udelukkende til facade-murværk og indvendigt blankt murværk. Hulsten er specielt egnede til bagmuring på grund af deres mindre varmeledningstal.

Håndstrøgne og blødstrøgne sten til blankt murværk

Teglsten fremstilles såvel med som uden huller, teglblokke sædvanligvis med huller.

#### Betonsten

Betonsten er mursten, der fremstilles af grus, cement, vand samt eventuelt tilsætningsstoffer. De anvendes mest i kælderkonstruktioner og landbrugsbyggeri, men bruges iøvrigt herhjemme ikke i særlig stor udstrækning.

#### Kalksandsten

Kalksandsten er et produkt fremstillet ved formpresning og påfølgende autoklavering af en mørtel af brændt kalk, kvartssand og vand, eventuelt med tilsætningsstoffer. Mursten af kalksandsten er hvide eller hvidgrå og udføres i samme formater og henmures på helt tilsvarende måde som normal-teglsten. Densiteten er normalt 1800 - 2000 kg/m<sup>3</sup>, og trykstyrken er almindeligvis 15 - 25 MPa. Stenenes trækstyrke- og stivhedsforhold er endnu til dels uafklarede, men der synes i visse tilfælde at være en større tendens til revnedannelser ved murefelter af kalksandsten end ved tilsvarende teglmurværk. Iøvrigt udmærker stenene sig ved stor målfasthed, der bl.a. gør det muligt at udføre 1/2- og 3/4-stens murværk med to blanke sider.

Mursten af kalksandsten fremstilles såvel med som uden huller, kalksandstensblokke sædvanligvis med huller.

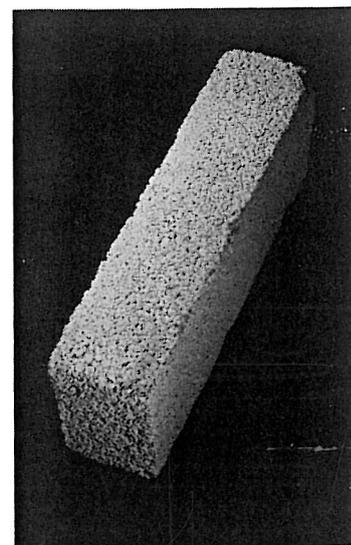
#### Letbetonsten og letbetonblokke

Murværk af letbeton har gennem de sidste 30 - 40 år fundet stadig stigende anvendelse herhjemme, dels på grund af de udmærkede varmeisoleringssegenskaber, dels på grund af bekvem arbejdsteknik. Endelig skal det nævnes, at visse letbetonprodukters særprægede overfladekarakter på værdifuld måde har bibragt det murede byggeri en række nye arkitektoniske muligheder.

Letklinkerbeton (exlerbeton) er beton med tilslagsmaterialer af specielle betonklinker, fremstillet af plastisk ler ved opbløring under høj temperatur. Densiteten er normalt 600 - 800 kg/m<sup>3</sup>. Der fremstilles mursten i samme formater som normalsten af tegl og beregnet til sammenmuring med disse, såvel som blokke ligeledes beregnet til kombinationsmuring med bl.a. tegl, samt skillevægsgblokke i forskellig tykkelse, beregnet til opmuring af indervægge.

Porøse tilslag til letbetonsten og -blokke er defineret i DS 406.

Porebeton er letbeton uden porøse tilslag. Porebetonsten og -blokke fremstilles ved autoklavering af uorganiske bindemidler, finkornet, kiselholdigt materiale og vand, eventuelt med tilsætningsstoffer. Den lave densitet, normalt 700 kg/m<sup>3</sup>, gør porebeton specielt egnet til fremstilling af blokke, beregnet til specielt porebetonmurværk eller til kombinationsmurværk med andre mursten. Desuden fremstilles blokke i særlige dimensioner, beregnet til limet murværk, hvortil netop porebetonens store målfasthed gør den særlig velegnet. Begge typer af porebetonblokke egner sig fortrinligt til blankt murværk.



Figur 02:

Klinkerbeton-blok. Blokken vejer det samme som 3 normal-teglsten

Ved murværk af spånbetonblokke, der ikke er omfattet af DS 414, er det væsentligst materialets varmeisolerende og akustiske egenskaber, der udnyttes. Spånbetonblokke udføres som hulblokke, der efter opsætningen udstøbes med beton. De egner sig udmærket til at kombineres med andre materialer, fx skalmuring af tegl og pudsning.

Spånbetonblokke

Trældbeton anvendes til opmuring af lette indervægge på tilsvarende måde som letklinkerbetonblokke. Ved anvendelserne må man være opmærksom på, at materialet er ret påvirkeligt af fugtvariationer. Materialet er velegnet til pudsning.

Trældbetonblokke

Murværk af slaggebetonblokke anvendes til indervægge på tilsvarende måde som klinkerbetonblokke.

Slaggebetonblokke

Murværk af spånbeton, trældbeton og slaggebeton anvendtes hyppigt i byggeriet herhjemme i årene efter 2. verdenskrig, men anvendes nu så godt som aldrig. Om letbetonmurværk gælder generelt, at det til ydervægge sjældent udføres som homogent murværk, men oftest kombineres med mere effektive varmeisoleringsmaterialer.

#### Molersten og molerblokke

Molersten er mursten fremstillet ved brænding af moler eller molerholdig masse, eventuelt med egnede tilsætningsstoffer. De udmærker sig ved meget lav densitet (ca.  $800 \text{ kg/m}^3$ ) og deraf følgende lavt varmeledningstal (ca.  $0,30 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ). De anvendes kun til formål, hvor man kan gøre brug af deres varmeisoleringssevne.

Molersten

#### STENKLASSER OG BLOKKLASSER

Skønt brud i normalt belastet murværk almindeligvis er spaltningsbrud, og det således egentlig er stenens eller blokkens trækstyrke, der er bestemmende for murværkets styrke, benyttes sædvanligvis trykbrudstyrken til at karakterisere stenmaterialets styrkeegenskaber. DS 414 indeler mursten i 8 stenklasser: 4, 7, 10, 15, 22, 30, 37 og 45, hvor tallene er stenens klassebetegnelse  $f_c$ , der er afledt fra stenens trykstyrke i MPa. DS 438.11 angiver detaillerede retningslinier for udtagning og prøvning af stenene.

Trykbrudstyrken karakteriserer stenklassen eller blokklassen

Teglsten til murværk er almindeligvis af stenklasse 15 (helbrændte sten) eller 22 (hårdtbrændte sten). Teglsten af lavere klasser kan ikke regnes vejrbestandige. Til specielle formål anvendes teglsten af stenklasse 30 eller 37 (klinkbrændte sten), og specielt til muret højhusbyggeri anvendes sten af klasse 45 (højhussten).

Betonsten og kalksandsten er ligeledes normalt af klasse 15 eller 22.

Letbetonstenene (letklinkerbeton og porebeton) er sædvanligvis af de lavere klasser (4-7), medens molersten normalt er af klasse 15.

Blokke inddeles i blokklasser, hvor klassebetegnelsen  $f_c$  deklarerer højst lig med den nedre karakteristiske værdi af blokkens styrke. De deklarerede værdier angives med spring på 0,5 MPa indtil 5,0 MPa og derefter med spring på 1,0 MPa til 10,0 MPa. For større trykstyrker benyttes spring på 2,5 MPa.

DS 438.11 angiver detaillerede retningslinier for udtagning og prøvning af blokke.

## FORMATER

Mursten i dansk normalformat (4"-sten) har basismålene

$$h \cdot b \cdot l = 55 \cdot 108 \cdot 228 \text{ mm}$$

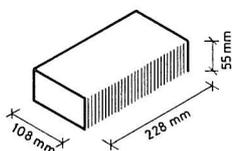
Dansk normalformat

Bredsten (der tidligere svarede til 6"-sten) har basismålene

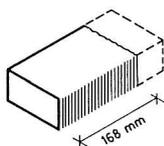
$$h \cdot b \cdot l = 55 \cdot 168 \cdot 228 \text{ mm}$$

Dansk bredstensformat

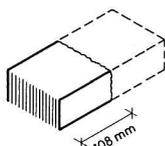
Af normalsten tilhugges efter behov delformaterne trekvarter, halv, kvarter (petring) og mesterpetring (1/1 sten flækket på langs), jvf. figur 03.



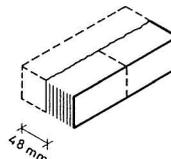
Normalsten :  
1/1 sten



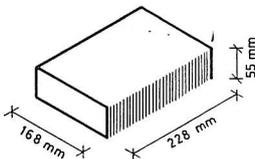
Tilhugninger af normalsten :  
3/4 sten



1/2 sten - knækket kop



1/4 sten - petring



Special - sten :  
Bredsten - trekvarter

Basismålene kan selvfølgelig ikke overholdes uden målafvigelse. DS 414 angiver detaljerede tolerancekrav, og forskrifter for prøveudtagning og prøvemåling er angivet i DS 438.12.

Disse stenformater er de eneste, der umiddelbart kan anvendes som mursten i det af DS 414 omfattede murværk. Andre stenformater kan dog anvendes, når deres egnethed er eftervist ved murværksforsøg.

Herudover anvendes herhjemme i sjældnere tilfælde flensborgsten (h = 40 - 45 mm) og munkesten eller specielle sten som radialsten, silosten, længdehulsten, kanalsten, buersten m.m.

Blokke fremstilles fortrinsvis af letbeton (letklinkerbeton og porebeton) i større enheder, der målmæssigt passer med murstens normalformat, jvf. figur 04. Blokkenes dimensioner angives ved basismål for længde, bredde og højde med tilhørende målafvigelse. Blokkens minimumsbasismål er  $h \cdot b \cdot l = 188 \cdot 90 \cdot 290 \text{ mm}$ .

Porebeton fremstilles desuden i et særligt format, modulblokke, beregnet til limet murværk.

DS 414 angiver detaljerede tolerancekrav til blokke, og forskrifter for prøveudtagning og prøvemåling er angivet i DS 438.1.

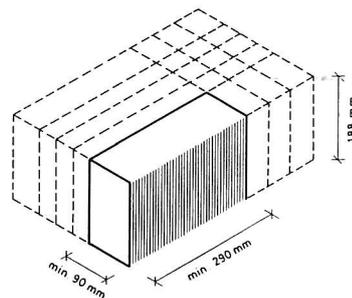
Det bemærkes, at der ikke findes nogen international standardisering af formaterne - og ej heller en nordisk standardisering.

Figur 03:

Murstensformater. Danske normalsten (4"-sten) og bredsten

Specielle stenformater

Blokformater



Figur 04:

Danske blokformater

## ANVENDELSESOMRÅDE OG UDSEENDE

For mursten omfatter deklarationen tillige en angivelse af egnetheden til konstruktioner i aggressivt og moderat miljø (vedrørende miljøklasser for murværkskonstruktioner henvises til DS 414, kapitel 2) samt farve og overfladestruktur. Frostfaste sten betegnes ved et "F" i deklarationen.

Miljøklasser, farve, overfladestruktur og frostfasthed

## FYSISKE EGENSKABER

Endelig omfatter deklarationen en angivelse af alle relevante fysiske egenskaber, der har stenenes eller blokkenes egnethed til det aktuelle formål.

For mursten angives bruttodensitet (stenens masse divideret med totalrumfanget uden fradrag af eventuelle huller, men med fradrag af udsparinger), stenmassens densitet samt vandoptagelse og minutsugning. Prøvningsmetoder for disse egenskaber er indeholdt i DS 438.13.

Densitet, vandoptagelse, minutsugning og bygningsvind

For blokke angives densitet (jvf. DS 438.1) og bygningsvind, der for kalksandstensblokke og porebetonblokke bestemmes efter DS 433.6 og for letklinkerbetonblokke efter DS DS 434.6. Såfremt svindet ikke kontrolleres regelmæssigt, deklarerer bygningsvindet lig 1,0 promille.

# Mørtel

For murværks styrke og kvalitet iøvrigt er det af afgørende betydning, at der vælges en egnet mørtel, og at denne fremstilles rigtigt. Mørtelens egenskaber, anvendelse og fremstilling rummer et meget stort kompleks af problemer, som falder uden for rammerne for denne gennemgang. Her skal kort gennemgås de grundlæggende begreber. Vedrørende en mere udførlig behandling af emnet henvises til speciallitteraturen.

## MØRTELTYPER

Mørtel til murværkskonstruktioner er en blanding af bindemidler, tilslagsmaterialer og vand, eventuelt med tilslagsstoffer. Som bindemidler anvendes enten kalk (K-mørtel), cement (C-mørtel), en blanding af kalk og cement (KC-mørtel) eller murcement (M-mørtel). Som tilslagsmaterialer anvendes sand fra naturlige aflejringer, sand, der er fremstillet af knuste eller formalede sten, eller andre kornede materialer, som ikke deltager aktivt i mørtelens hærkning.

En mørtel karakteriseres ved en typebetegnelse og angivelse af forholdet mellem 100 kg bindemiddel og den tilhørende masse af tørt sand, eksempelvis

Karakteristik af mørtel

KC 60/40/850

der betyder, at det er en mørtel, der for hver 100 vægtenheder bindemiddel (60 vægtenheder kalk, 40 vægtenheder cement) indeholder 850 vægtenheder sand.

DS 414 omfatter følgende standardmørtler, der benævnes normmørtler:

K 100/1200	KC 60/40/850	KC 50/50/750	KC 20/80/550	C 100/400
M 100/900	M 100/600	M 100/400		

Valg af mørteltype beror på, hvilken styrke der kræves af det færdige murværk. Som hovedregel bør der ikke anvendes stærkere mørtel end højst nødvendigt, dels af hensyn til god bearbejdelighed, der betyder god fugefyldning, dels for at begrænse svindet. Inden for samme etage skal der anvendes samme mørteltype; lokale forstærkninger kan dog udføres med en anden mørtel, og det samme gælder senere opført, ikke-bærende murværk.

Valg af mørteltype

#### K-mørtel

Kalkmørtel (K 100) er efter definitionen en mørtel med kalk som eneste bindemiddel. Den har en moderat trykstyrke, som dog er tilstrækkelig til langt det meste murværk; den er bekvem at arbejde med og er derfor den mest anvendte muremørtel herhjemme. Mørtelens svind sker hovedsageligt i den indledende fase af hærningen, endnu medens den er plastisk, og giver dermed en porøsitet, der fremmer karbonatiseringen og derved hurtigt bibringer murværket en vis styrke.

Kalkmørtel

#### C-mørtel

Cementmørtel (C 100) har efter definitionen cement som eneste bindemiddel. Dets styrke er langt større end K-mørtels, hvad der selvfølgelig gør den egnet til formål med store styrkekrav. Ellers anvendes ren C-mørtel sjældent til murning, dels på grund af den ringe smidighed, dels på grund af den udprægede tendens til svindrevnedannelse.

Cementmørtel

#### KC-mørtel

I kalkcementmørtel (også kaldet bastardmørtel) foregår de to vidt forskellige hærningsprocesser samtidigt; kalkens karbonatisering og cementens hydratisering følges fortrinligt ad. Styrken er stigende med stigende cement-andel, og det samme gælder frostbestandigheden og tætheden; omvendt forholder det sig med bearbejdeligheden. Til de fleste formål vil man kunne finde en egnet KC-mørtel; normalt udgør cementen 50 % eller mere af bindemidlet.

Kalkcementmørtel, bastardmørtel

#### M-mørtel

Murcementmørtel (M 100) har murcement (cement, der er sammenmalet med kalksten eller kvarts og tilsat luftindblandingsmiddel) som eneste bindemiddel. Den har en fortrinlig bearbejdelighed, relativt god styrke, men skal, da hærningen er en hydratiseringsproces, ligesom for C- og KC-mørtler, være opbrugt 3-4 timer efter vandtilsætningen, og skal ligesom disse holdes fugtig et par døgn. Skal styrken øges ud over det normale, kan der tilsættes cement (MC-mørtel).

Murcementmørtel

#### Andre mørtler

Ud over de nævnte mørtler anvendes til særlige mure- og pudseformål en lang række special-mørtler med forskellige egenskaber, eksempelvis

Specielle mørtler

G-mørtel (gipsmørtel)

GK-mørtel

ildfast mørtel

akustisk mørtel

syrefast mørtel

plasticmørtel

#### MØRTELFREMSTILLING

Mørtelens - og dermed murværkets - kvalitet afhænger af mange forhold

delmaterialernes kvalitet og behandling, blandingen, transporten og håndteringen af den færdige mørtel.

Kravene til delmaterialernes kvalitet er specificeret i DS 414. Specielt for bindemidlerne er det vigtigt, at de oplagres på byggepladsen på en sådan måde, at deres egenskaber ikke forringes; men også tilslagsmaterialerne må behandles med omhu.

Udtagning af materialerne er et af de mest kritiske punkter i mørtelfremstillingen. DS 414 giver udførlige forskrifter herfor. Som hovedregel skal materialer til mørtel på byggepladsen udmåles efter masse. For mørtler til bygninger med højde indtil 7 meter over det omgivende terræn underkastet normal kontrol kan materialerne dog udmåles efter rumfang med kontrollerede mål.

Blanding af mørtel til murværk skal ske i tvangsblandemaskine eller tilsvarende ligeså effektiv blander. En særlig effektiv blanding fås i såkaldte aktivatorer, dvs. blandemaskiner med piskningseffekt; aktiveret mørtel er mere ensartet og smidig end almindelig maskinblandet mørtel og giver derfor både en lettere muring og et tættere murværk.

I henhold til DS 414 skal der foretages såvel materialekontrol (modtagekontrol og driftskontrol) som udførelseskontrol. Der arbejdes med to kontrolklasser: normal kontrol og skærpet kontrol. Der gives specificerede retningslinier for kontrollen med mørtelfremstillingen.

# Muring

Ved muring forstås den proces, ved hvilken en murværkskonstruktion opbygges ved at føje sten til sten. I de senere år er der fremstillet "murværk" ved en helt mekaniseret proces, men ved murværk skal her udelukkende forstås håndværksmæssigt udført murværk.

## MÅLFORHOLD

Grundlaget for projektering og udførelse af murværk er normalstenens mål, der giver et vandret byggemål, der herhjemme er fastsat til 60 mm (= 1/4·normalstens længde 228 mm plus en normal fugebredde 12 mm). Dette mål, planlægningsmodulen for murværk, er den vandrette grundenhed i målsætningen af alt murværk. Desværre er det ikke identisk med den siden 1965 gældende byggemodul (M = 100 mm), men de to enheder lader sig i praksis udmærket forene. I den henseende er visse andre lande væsentlig ringere stillet.

Med 60 mm som enhed for vandrette mål fås murtykkelserne som angivet på figur 05. Hertil kommer nogle varianter, nemlig 3/4-stens muren, der er 3/4·240 - 12 = 168 mm; sådanne sten (ifølge DS 414 benævnt bredsten) fremstilles herhjemme endnu kun i begrænset udstrækning, men derimod stadigvæk oftere 6"-stenen (ca. 150 mm), der hidtil har været betegnelsen for 3/4-sten (bredsten). Endelig anvendtes tidligere i stor udstrækning 5/4-stens mure (5/4·240 - 12 = 288 mm) til hulmure med og uden isolering.

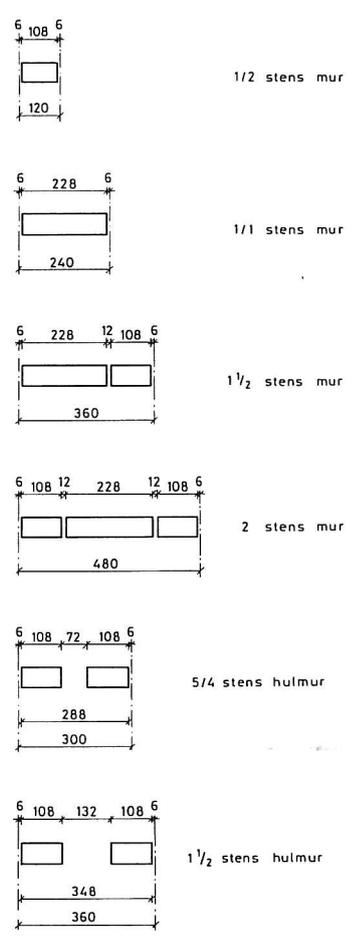
Målenheden i murens længderetning afhænger af forbandtet (jvf. neden-

## Materialekrav

## Udtagning af materialer

## Blanding

## Kontrol



Figur 05: Murtykkelser, dansk normalmurværk, 1:20

for); for 1/4-stens forbandter (dvs. fugerne i naboskifter er forskudt 1/4 sten = 60 mm i forhold til hinanden) er enheden 60 mm. Dette indebærer, at ethvert murfelt får en bredde, der er et multiplum heraf minus to halve fugeandele, medens åbninger tilsvarende bliver et multiplum af 60 mm plus to halve fugeandele, altså

$$\begin{aligned} \text{murfelter:} \quad & \text{bredde} = n \cdot 60 - 12 \text{ mm} \\ \text{åbninger:} \quad & \text{bredde} = n \cdot 60 + 12 \text{ mm} \end{aligned}$$

I specielle tilfælde, hvor der mures i halvstensforbandt, fås tilsvarende:

$$\begin{aligned} \text{murfelter:} \quad & \text{bredde} = n \cdot 120 - 12 \text{ mm} \\ \text{åbninger:} \quad & \text{bredde} = n \cdot 120 + 12 \text{ mm} \end{aligned}$$

Hvad angår de lodrette mål, giver normalmurstensens højde, 55 mm, med en fugehøjde på 12 mm, at der går 3 skifter på 200 mm (1 skifte er 1 lag mursten), hvilket netop er den standardiserede planlægningsmodul for lodrette mål (2M).

### FUGER

Mørtelfugerne mellem skifterne benævnes liggefuger, lejefuger eller langfuger. Tykkelsen afpasses efter stenenes tykkelse, således at der går 3 skifter på 200 mm.

De lodrette fuger benævnes stødfuger eller studsfiger; med en stenslængde og bredde på henholdsvis 228 og 108 mm bliver fugebredden 12 mm, men afpasses iøvrigt, så murværket svarer til byggemodulen 60 mm.

For både lejefuger og studsfiger gælder, at god håndværksmæssig udførelse er ensbetydende med fyldte fuger, både af styrkemæssige årsager og - for ydermures vedkommende - af hensyn til vandtæthed.

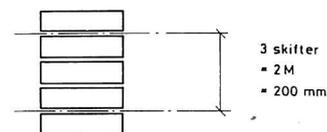
For blank murværk spiller den synlige afslutning af fugerne en stor rolle for murens karakter. De mest almindelige typer er vist på figur 07.

### FORBANDT

For at bibringe murværket fornøden styrke er det nødvendigt at henmure stenene med en vis overlappning, så de tilsammen udgør et "fletværk". Det mønster, hvorefter henmuringen sker, aftegner sig i murens overflade og benævnes forbandtet, karakteriseret ved forbandtkoden.

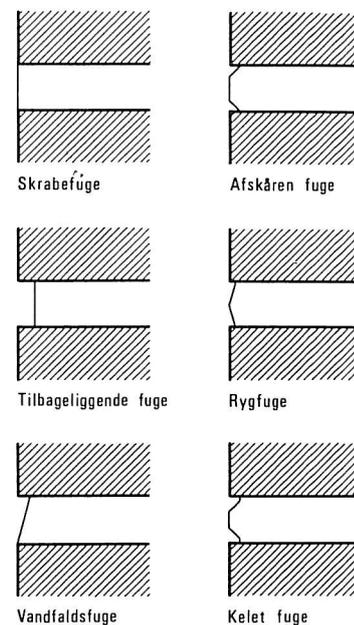
Medens lejefugerne er gennemgående i hele murens tykkelse og længde, ja, hele bygningen rundt, er det karakteristisk, at studsfigerne aldrig er mere end eet skifte høje, bortset fra helt specielle fuger som dilatationsfuger. En sten, der fremtræder i facaden med hele sin lange side (1/1-sten) benævnes en løber, medens en kop fremtræder med den korte side (1/2-sten). Udføres koppen af en hel normalsten, benævnes den også en binder.

Et skifte, der består af lutter løbere eller lutter kopper, benævnes løberskifte, henholdsvis kopskifte eller binderskifte. Ofte begrænses en mur foroven eller forneden af et særligt skifte, der fremtræder som kopper eller løbere på højkant; sådanne skifter benævnes rulskifte, henholdsvis standerskifte.



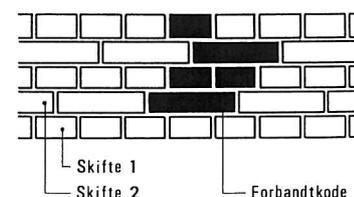
Figur 06:

Skifteenheder, dansk normalmurværk, 1:20

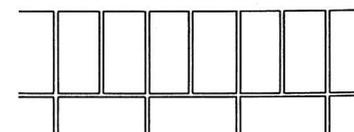


Figur 07:

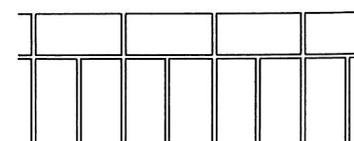
Fugetyper i murværk, 1:2



Krydsforbandt



Skifte 2: Løberskifte



Skifte 1: Binderskifte

Figur 08:

Krydsforbandt, 1:20

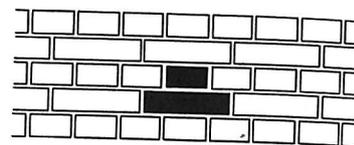
Der arbejdes i praksis med et anseligt antal forskellige forbandter. Her skal kort omtales nogle af de hyppigst anvendte. Figur 08 viser i opstalt og snit en  $1\frac{1}{2}$ -stens massiv mur opmuret i krydsforbandt, der er et  $1/4$ -stens forbandt. Hvert andet skifte er et binderskifte, hvert andet løberskifte; løberskifterne er indbyrdes forskudt en halv sten. Et skifte, der fremtræder som binderskifte på den ene side, fremtræder som løberskifte på den anden side af muren. Forbandtkoden er fire skifter høj.

Et beslægtet  $1/4$ -stens forbandt er blokforbandtet, figur 09, der kun adskiller sig fra krydsforbandtet ved, at også løbere er i lod. Forbandtkoden er således to skifter høj.

Figur 10 viser et forbandt, der er særligt egnet til opmuring af kanalvægge med faste bindere, i dette tilfælde en  $1\frac{1}{2}$ -stens hulmur med 20 % udmuring. Hvert andet skifte består af 2 løbere og 1 kop i lod, de øvrige er løberskifter, indbyrdes forsat en halv sten. Herved fås ud for kopperne gennemgående binderkolonner med 2 stens afstand. Forbandtkoden er fire skifter høj.

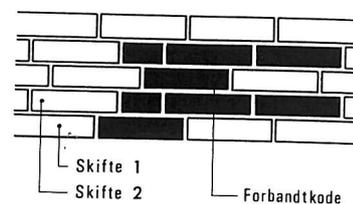
Et beslægtet forbandt er munkestensforbandtet, der - anvendt på tilsvarende måde - giver 40 % udmuring. Forbandtkoden er to skifter høj, figur 11.

Figur 12 viser et eksempel på et løberforbandt; samtlige skifter er løberskifter, indbyrdes forsat som vist på forbandtkoden, der er fire skifter høj. Forbandtet egner sig udmærket til skalmuring og til opmuring af hulmure; i sådanne mure sammenholdes formur og bagmur af ståltrådsbindere (fx galvaniseret R5) eller plasticbindere, normalt ca. 10 stk. pr.  $m^2$ .

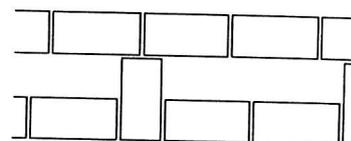


Figur 09:

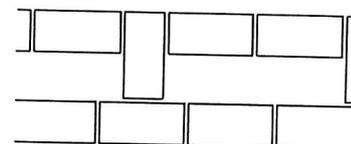
Blokforbandt, 1:20



Hulmur med faste bindere



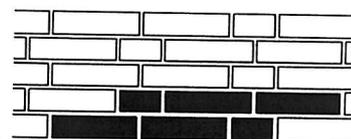
Skifte 2



Skifte 1

Figur 10:

Hulmur med faste bindere,  
1:20



Figur 11:

Munkestensforbandt, 1:20



Figur 12:

Løberforbandt, 1:20

Kursus: Murværkskonstruktioner

EKSEMPEL

**Eksempel MU 1: Bæreevnebestemmelse. Vertikalt belastet teglstensmurværk**

Bestemmelse af bæreevnen for 2-sidet understøttet, massivt murfelt med excentrisk virkende vertikal last. Murfeltet undersøges i snit I inden for den midterste trediedel (jvf. 6.4(4) i DS 414).

**Forudsætninger:**

Understøtning langs øvre og nedre vandrette kant.

Geometri: Højde:  $h = 2600$  mm (39 normalskifter)  
 Tykkelse:  $t_d = 168$  mm (3/4 sten m/fugedybde < 3mm)  
 Længde:  $l_d = 1188$  mm (5/1 sten)  
 Excentricitet  $\perp$  murfeltets plan:  $e_i = 20$  mm (i snit I)  
 Excentricitet i murfeltets plan:  $e_l = 200$  mm (i snit I)

Materialer: Massive teglmursten, trykstyrke  $f_b = 25$  MPa  
 Mørteltype: Funktionsmørtel M10

Normal sikkerhedsklasse ( $\gamma_0 = 1,0$ ), normal kontrolklasse ( $\gamma_5 = 1,0$ )

**Bæreevnebestemmelse:**

Effektivt tværsnit: (DS 414, 6.5.1.2(2))  $l_{eff} = l_d - 2 \cdot e_l = 1188 - 2 \cdot 200 = 788$  mm  
 (DS 414, 6.4(4))  $t_{eff} = t_d - 2 \cdot e_i = 168 - 2 \cdot 20 = 128$  mm  
 $A_c = l_{eff} \cdot t_{eff} = 788 \cdot 168 = 101 \cdot 10^3$  mm<sup>2</sup>

Basistrykstyrke: (DS 414, tabel G.3b)  $f_{cnk} = 8,1$  MPa  
 Elasticitetsmodul: (DS 414, tabel G.2b)  $E_{Ok} = 3000$  MPa  
 Partialkoefficient: (DS 414, 5.2.2(2)P)  $\gamma_m = 1,84 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,84$   
 Regningsmæssig trykstyrke:  $f_{cnd} = f_{cnk} / \gamma_m = 8,1 / 1,84 \rightarrow$   $f_{cnd} = 4,4$  MPa  
 Ritterkonstant  $k_r$ : (DS 414, 6.4(4))  $k_r = E_{Ok} / f_{cnk} = 3000 / 8,1 = 370$   
 Tykkelseskonstant  $k_t$ : (DS 414, 6.4(4)) for  $t > 90$  mm  $k_t = 0,9$   
 Søjlelængde  $h_s$ : (DS 414, 6.4(8))  $h_s = h = 2600$  mm  
 Slankhedsforhold  $h_s / i_c$ : (DS 414, 6.4(4))  $h_s / i_c = 2600 / (t_{eff} / \sqrt{12}) = 70,3$   
 Søjlefaktor  $k_s$ : (DS 414, 6.4(4))  $k_s = 1 / [1 + 70,3^2 / (\pi^2 \cdot 370)] = 0,42$

Bæreevne:  $R_{sd} = k_s \cdot k_t \cdot f_{cnd} \cdot A_c = 0,42 \cdot 0,9 \cdot 4,4 \cdot 101 = \underline{178 \text{ kN}}$

Kursus: Murværkskonstruktioner

EKSEMPEL

**Eksempel MU 2: Bæreevneeftervisning. Vertikalt belastet blokmurværk**

Eftervisning af bæreevnen for 4-sidet understøttet rektangulært blokmurværksfelt med excentrisk virkende vertikal last. Murefeltet undersøges i snit I inden for den midterste trediedel (jvf. 6.4(4) i DS 414).

**Forudsætninger:**

Understøtning langs øvre og nedre vandrette kant samt de to lodrette kanter.

Geometri: Højde:  $h = 3000$  mm (15 blokskifter á 200 mm)  
 Tykkelse:  $t_d = 290$  mm (fugedybde < 3mm)  
 Længde:  $l_d = 6000$  mm (20 blokke á 300 mm)  
 Excentricitet  $\perp$  murefeltets plan:  $e_i = 25$  mm (i snit I)  
 Excentricitet i murefeltets plan:  $e_i \sim 0$  mm (i snit I)

Laster: Vertikale laster: Permanent last:  $G_k = 800$  kN  
 1 variabel last (nyttelast):  $Q_{k,max} = 200$  kN  
 Øvrige variable laster:  $Q_{k,ovr.} = 500$  kN ( $\psi = 0,5$ )

Materialer: Letklinkerbetonblokke, trykstyrke  $f_b = 3,0$  MPa  
 Mørteltype: Receptmørtel KC20/80/550

Normal sikkerhedsklasse ( $\gamma_0 = 1,0$ ), normal kontrolklasse ( $\gamma_s = 1,0$ )

**Bæreevneeftervisning:**

Effektivt tværsnit: (DS 414, 6.5.1.2(2))  $l_{eff} = l_d - 2 \cdot e_i = 6000 - 0 = 6000$  mm  
 (DS 414, 6.4(4))  $t_{eff} = t_d - 2 \cdot e_i = 290 - 2 \cdot 25 = 240$  mm  
 $A_c = l_{eff} \cdot t_{eff} = 6000 \cdot 240 = 1440 \cdot 10^3$  mm<sup>2</sup>

Mørtelstyrke: (DS 414, tabel D.1)  $f_{mor,c} = 9,0$  MPa  
 Basistrykstyrke: (DS 414, tabel G.3d)  $f_{cnk} = 2,5$  MPa  
 Elasticitetsmodul: (DS 414, tabel G.2c)  $E_{ok} = 2190$  MPa  
 Partialkoefficient: (DS 414, 5.2.2(2)P)  $\gamma_m = 1,84 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,84$   
 Regningsmæssig trykstyrke:  $f_{cnd} = f_{cnk} / \gamma_m = 2,5 / 1,84 \rightarrow$   $f_{cnd} = 1,36$  MPa  
 Ritterkonstant  $k_r$ : (DS 414, 6.4(4))  $k_r = E_{ok} / f_{cnk} = 2190 / 2,5 = 876$   
 Tykkelseskonstant  $k_t$ : (DS 414, 6.4(4)) for  $t > 90$  mm  $k_t = 0,9$   
 Søjlelængde  $h_s$ : (DS 414, 6.4(8))  $h_s = h_{4s} = 3000 / [1 + (3000/6000)^2] = 2400$  mm  
 Slankhedsforhold  $h_s / i_c$ : (DS 414, 6.4(4))  $h_s / i_c = 2400 / (t_{eff} / \sqrt{12}) = 34,6$   
 Søjlefaktor  $k_s$ : (DS 414, 6.4(4))  $k_s = 1 / [1 + 34,6^2 / (\pi^2 \cdot 876)] = 0,88$

Bæreevne:  $R_{sd} = k_s \cdot k_t \cdot f_{cnd} \cdot A_c = 0,88 \cdot 0,9 \cdot 1,36 \cdot 1.440.000 \cdot 10^{-3} = \underline{1.548}$  kN

Lastvirkning:  $N_d = 800 \cdot 1,0 + 200 \cdot 1,3 + 500 \cdot 0,5 = \underline{1.310}$  kN <  $R_{sd} \rightarrow$  OK

Kursus: Murværkskonstruktioner

EKSEMPEL

**Eksempel MU 3: Bæreevnebestemmelse. Vertikalt og horisontalt belastet murværk**

Eftervisning af bæreevnen for 2-sidet understøttet, massivt kalksandstensmurfelt med excentrisk virkende vertikal last og horisontal last i murfeltets plan. Murfeltet undersøges i murfeltets øverste trediedelspunkt (snit I) og nederste trediedelspunkt (snit II), jvf. DS 414, 6.4(4).

**Forudsætninger:**

Understøtning langs øvre og nedre vandrette kant.

Geometri: Højde:  $h = 3000$  mm (45 normalskifter)  
 Tykkelse:  $t_d = 228$  mm (1/1 sten m/fugedybde < 3mm)  
 Længde:  $l_d = 2388$  mm (10/1 sten)  
 Excentriciteter  $\perp$  murfeltets plan:  $e_{0,top} = 15$  mm  
 $e_5 = 10$  mm (krumningspilhøjde)  
 Excentricitet i murfeltets plan:  $e_l \sim 0$  mm

Laster: Regningsmæssige laster i LK 2.1, (benævnelser jvf. DS 414, figur A.4):  
 $\sum N = N_d = 300$  kN (i murfeltets top)  
 $G = G_d = 30$  kN (i murfeltets tyngdepunkt)  
 $\sum W = V_d = 100$  kN (i murfeltets top)

Materialer: Kalksandstensmursten, trykstyrke  $f_b = 20$  MPa  
 Mørteltype: Funktionsmørtel M10

Normal sikkerhedsklasse ( $\gamma_0 = 1,0$ ), normal kontrolklasse ( $\gamma_5 = 1,0$ )

**Tværsnitsbestemmelse:** (DS 414, Annex A):

Excentriciteter: Snit I:  $e_l = (V_d \cdot h/3)/(N_d + G_d/3) = (100 \cdot 3000/3)/(300 + 30/3) = 323$  mm  
 $e_l = e_{0,top} \cdot 2/3 + e_5 \cdot 8/9 = 15 \cdot 2/3 + 10 \cdot 8/9 = 19$  mm

Snit II:  $e_l = (V_d \cdot h \cdot 2/3)/(N_d + G_d \cdot 2/3) = (100 \cdot 2000)/(300 + 20) = 625$  mm  
 $e_l = e_{0,top} \cdot 1/3 + e_5 \cdot 8/9 = 15 \cdot 1/3 + 10 \cdot 8/9 = 14$  mm

Effektive tværsnit: Snit I:  
 (DS 414, 6.5.1.2(2))  $l_{eff} = l_d - 2 \cdot e_l = 2388 - 2 \cdot 323 = 1742$  mm  
 (DS 414, 6.4(4))  $t_{eff} = t_d - 2 \cdot e_l = 228 - 2 \cdot 19 = 190$  mm  
 $A_c = l_{eff} \cdot t_{eff} = 1742 \cdot 190 = 331 \cdot 10^3$  mm<sup>2</sup>

Snit II:  
 (DS 414, 6.5.1.2(2))  $l_{eff} = l_d - 2 \cdot e_l = 2388 - 2 \cdot 625 = 1138$  mm  
 (DS 414, 6.4(4))  $t_{eff} = t_d - 2 \cdot e_l = 228 - 2 \cdot 14 = 200$  mm  
 $A_c = l_{eff} \cdot t_{eff} = 1138 \cdot 200 = 228 \cdot 10^3$  mm<sup>2</sup>

**Bæreevneeftersvisning, tryk med søjlevirkning (DS 414, 6.4):**

Basistrykstyrke:	(DS 414, tabel G.3a)	$f_{cnk} = 6,7 \text{ MPa}$
Elasticitetsmodul:	(DS 414, tabel G.2a)	$E_{ok} = 2280 \text{ MPa}$
Partialkoefficient:	(DS 414, 5.2.2(2)P)	$\gamma_m = 1,84 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,84$
Regningsmæssig trykstyrke:	$f_{cnd} = f_{cnk} / \gamma_m = 6,7 / 1,84 \rightarrow$	$f_{cnd} = 3,64 \text{ MPa}$
Ritterkonstant $k_r$ :	(DS 414, 6.4(4))	$k_r = E_{ok} / f_{cnk} = 2280 / 6,7 = 340$
Tykkelseskonstant $k_t$ :	(DS 414, 6.4(4)) for $t > 90 \text{ mm}$	$k_t = 0,9$
Søjlelængde $h_s$ :	(DS 414, 6.4(8))	$h_s = h = 3000 \text{ mm}$
Inertiradius $i_c$ :	(DS 414, 6.4(4)) $i_c = i_{c,min}$ (snit I)	$i_c = t_{eff,min} / \sqrt{12} = 190 / \sqrt{12}$
Slankhedsforhold $h_s / i_c$ :	(DS 414, 6.4(4))	$h_s / i_c = 3000 / (190 / \sqrt{12}) = 55$
Søjlefaktor $k_s$ :	(DS 414, 6.4(4))	$k_s = 1 / [1 + 55^2 / (\pi^2 \cdot 340)] = 0,53$

Bæreevne: Snit I:	$R_{sd} = k_s \cdot k_t \cdot f_{cnd} \cdot A_c = 0,53 \cdot 0,9 \cdot 3,64 \cdot 331 = 575 \text{ kN} < V_d = 310 \text{ kN}$
Snit II:	$R_{sd} = k_s \cdot k_t \cdot f_{cnd} \cdot A_c = 0,53 \cdot 0,9 \cdot 3,64 \cdot 228 = 396 \text{ kN} < V_d = 320 \text{ kN}$

**Bæreevneeftersvisning, forskydningspåvirkning (DS 414, 6.7):**

Friktionskoefficient:	(DS 414, tabel G.5)	$\mu_k = 0,6$
Vedhæftningsstyrke:	(DS 414, tabel G.4b)	$f_{mor,ilk} = 0,25 \text{ MPa}$
Bøjningstrækstyrke:	(DS 414, tabel G.4c)	$f_{ilk} = 0,23 \text{ MPa}$
Kohæsion:	(DS 414, tabel G.5)	$c_k = f_{ilk} = 0,23 \text{ MPa}$
Partialkoefficienter:	(DS 414, 5.2.2(2)P) Friktion ( $\mu$ )	$\gamma_m = 1,22 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,22$
	Kohæsion ( $c$ )	$\gamma_m = 2,00 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,00$
Regningsmæssige parametre:	Friktionskoefficient:	$\mu_d = 0,6 / 1,22 = 0,49$
	Kohæsion:	$c_d = 0,23 / 2,00 = 0,12 \text{ MPa}$

Forskydningsbæreevne:	(DS 414, 6.7(2)):	$R_{vd} = \mu_d \cdot N_d + c_d \cdot A_c$
		$R_{vd,max} = (0,6 \text{ MPa}) \cdot A_c$
Snit I:	$R_{vd} = 0,49 \cdot 310 + 0,12 \cdot 331 = 192 \text{ kN} > V_d = 100 \text{ kN}$	$R_{vd,max} = 0,6 \cdot 331 = 199 \text{ kN} > V_d = 100 \text{ kN}$
Snit II:	$R_{vd} = 0,49 \cdot 320 + 0,12 \cdot 228 = 184 \text{ kN} > V_d = 100 \text{ kN}$	$R_{vd,max} = 0,6 \cdot 228 = 137 \text{ kN} > V_d = 100 \text{ kN}$

**Konklusion:**

I de undersøgte snit (I og II) har murfeltet tilstrækkelig bæreevne, både med hensyn til tryk med søjlevirkning og med hensyn til forskydningspåvirkning. Derimod har murfeltet utilstrækkelig forskydningsbæreevne ved den nedre kant:

Excentriciteter:	$e_l = (V_d \cdot h) / (N_d + G_d) = (100 \cdot 3000) / (300 + 30) = 909 \text{ mm}$	$e_t = 0 \text{ mm}$
Effektivt tværsnit:	$l_{eff} = l_d - 2 \cdot e_l = 2388 - 2 \cdot 909 = 570 \text{ mm}$	
	$t_{eff} = t_d - 2 \cdot e_t = 228 - 0 = 228 \text{ mm}$	

Forskydningsbæreevne:  $R_{vd,max} = 0,6 \cdot A_c = 0,6 \cdot 570 \cdot 228 \cdot 10^{-3} = 78 \text{ kN} < V_d = 100 \text{ kN}$

