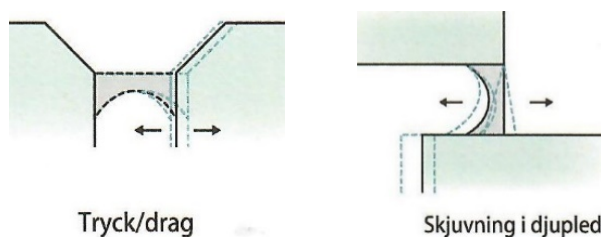




Dimensionering av rörelsefogar

1. Allmänt

Rörelser i fogar uppstår av flera olika orsaker. Ett exempel på fogar med rörelsemönster som kan vara komplicerade finns i ytterväggar av betongelement. På dessa ställs flera olika funktionskrav: De skall t.ex. vara täta mot slagregn och ge invändig täthet, de skall ha god värme-, ljud- och brandisolering. På rörelsefogarna i ytterväggar ställs naturligtvis samma krav. I en fog tillkommer dessutom toleranskrav och krav på rörelseupptagning (se Figur 1) där rörelserna framför allt orsakas av variationer i temperatur och fuktinnehåll. Det innebär att de påkänningar som verkar på en fasad blir extra stora i och kring rörelsefogarna.



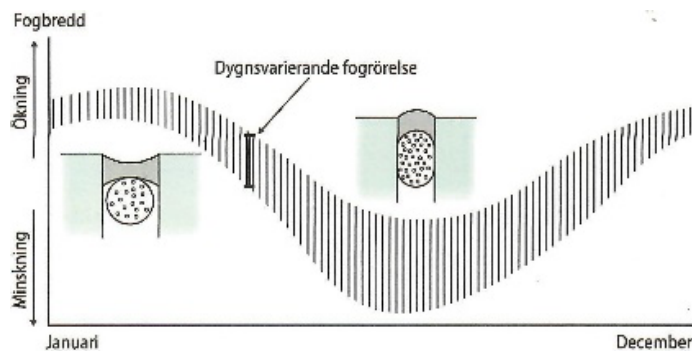
Figur 1. Rörelser i olika typer av fogar. Fogen till vänster kallas parallellfog och är den vanligaste fogtypen. Rörelserna skapar tryck- och dragspänningar i fogmassan [3].

I Fog- & Brandskyddsföretagens Metodanvisningar Nr 1 och 3 (*Fogning mellan fasadelement av betong* respektive *Fogar mellan träfönster och yttervägg*) finns generella anvisningar för utformning av olika fogkonstruktioner (se [1] och [2]).

I Nr 1 finns även en tumregel, som kan användas för överslagsberäkningar vid en fogdimensionering. I många fall är det dock viktigt att kunna göra en mer exakt dimensionering med utgångspunkt från de förutsättningar som gäller i ett specifikt fall. Bakgrund och principer för en sådan dimensionering beskrivs nedan.

2. Fogrörelser

Fogar i ytterväggar har under ett år ett rörelsemönster i princip enligt Figur 2.



Figur 2. Schematisk bild av årtids- och dygnsvarierande fogrörelser under ett år i en yttervägg. På vintern ökar fogbredden och på sommaren minskar den [3].

Rörelserna orsakas av variationer i temperatur och fukttinnehåll i materialen över året. På sommaren ökar temperaturen och på vintern sjunker den. Fukttinnehållet minskar på sommaren och ökar på vintern. De rörelser (längdändringar) som uppstår är *reversibla*, dvs. materialens längd ökar och minskar i relation till klimatvariationerna.

Temperaturbetingade rörelser

Alla material ändrar sin längd vid temperaturändringar. Högre temperatur medför att längden ökar. Den linjära utvidgningen vid temperaturändringar skrivs

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

där

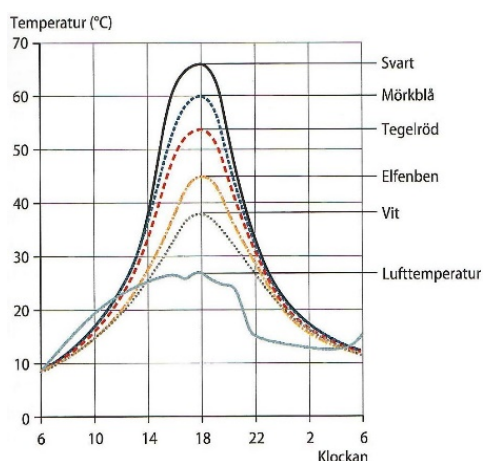
- ΔL = längdändringen [m],
- α = längdutvidgningskoefficienten [$1/^\circ\text{C}$],
- L = ursprunglig längd [m],
- ΔT = temperaturändringen [grader Celsius].

I Tabell 1 visas värdet på längdutvidgningskoefficienten α för olika material. För vissa material anges ett intervall. Det beror på att sammansättningen hos dessa kan variera.

Material	$\alpha \cdot [10^{-6}/^\circ\text{C}]$
Aluminium	24
Stål	12
Rostfritt stål	17
Koppar	17
Granit, gnejs	8,5
Kalksten	5
Marmor	9
Betong	8 – 12
Tegelsten och tegelmurverk	5 resp. 6

Kalksandsten och murverk av kalksandsten	10
Fönsterglas	8,5
Akrylplast ("plexiglas")	50 – 90
PVC-plast (ej mjukgjord)	50 – 180

Tabell 1. Längdutvidgningskoefficienten α för olika byggnadsmaterial [3].



Figur 3. Uppmätta temperaturer på en västerfasad med olika kulörer. Man kan bl.a. se att skillnaden mellan temperaturen på en svart och vit yta är nästan 30 °C [3].

Sett över hela året kan man i Sverige räkna med att ΔT är maximalt ca 100 °C. Byggnadens geografiska läge, väderstreck och kulör har dock stor inverkan på detta värde, se Figur 3.

Fuktbetingade rörelser

Alla porösa material sväller när fukttinnehållet ökar och krymper när fukttinnehållet minskar. Dessa rörelser är reversibla, se ovan.

Vissa material, t.ex. betong, lättbetong och murverk av tegel, innehåller stora mängder vatten som tillförts vid tillverkningen eller murningen. När detta "överskottsvatten" torkar till jämvikt med ett torrare klimat uppstår en fuktbetingad rörelse i endast *en* riktning. Denna krympning kallas därför *irreversibel* och den medför att fogbredden ökar. Exempel på storleken på denna typ av fuktrörelse för olika material visas i Tabell 2.

Material	Krympning [%]	Anmärkning
Trä, fiberriktningen	0,1 – 0,2	90 → 40 % RF
Trä, radiellt	2 – 3	"
Trä, tangentiellt	4 – 6	"
Plywood, längd RF	0,1 – 0,15	90 → 30 %

Spånskiva, längd	0,3	"
OSB-skiva RF	0,2	85 → 35 %
Betong nad till 50 % RF	0,03 – 0,06	Vattenmätt-
Autoklaverad lättbetong nad till 43 % RF	0,02 – 0,06	Vattenmätt-
Tegel nad till 50 % RF	Ca 0,01	Vattenmätt-

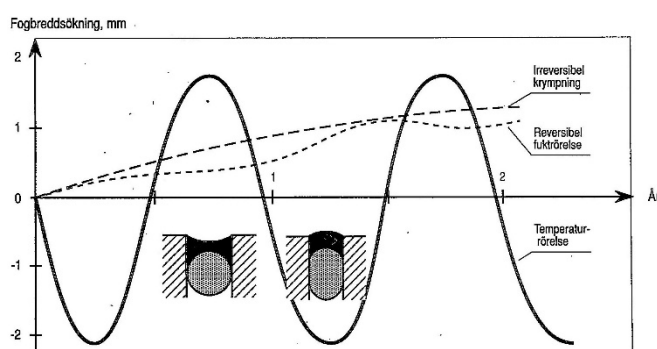
Tabell 2. Exempel på fuktrörelsens storlek hos olika material [3].

Samverkan mellan temperatur- och fuktbedingade rörelser

I alla porösa material uppstår temperatur- och fuktbedingade rörelser samtidigt. Figur 4 visar ett exempel där fasaden består av 4,2 meter långa sandwichelement av betong och där temperaturrörelserna antas vara ungefär lika stora räknat från fogens ursprungliga bredd. Fullständiga beräkningar finns i Avsnitt 7. Om fogningen utförs vid en högre temperatur flyttas 0-värdet ner vilket medför att fogens breddökning blir ännu större än vad exemplet i figuren visar. Samtidigt minskar även fogens komprimering under den varma årstiden.

Figuren visar även det principiella förloppet för den irreversibla krympningen hos betongen om den får torka och krympa till jämvikt med ett konstant klimat, t.ex. 50 % RF (se Tabell 2). I verkligheten varierar dock klimatet utomhus över året. På vintern ökar den relativa luftfuktigheten vilket minskar uttorkningshastigheten och därmed krympningens storlek. Alternativt tillförs betongen fukt och sväller. Detta visas principiellt med den streckade, vågformade linjen för reversibel fuktrörelse.

Figuren visar också att den fuktbedingade rörelsen adderas till den temperaturbedingade rörelsen under den kalla årstiden. Omvänt motverkar den fuktbedingade krympningen den temperaturrörelse som sker under sommarhalvåret då fogprofilen trycks ihop.



Figur 4. Exempel på hur variationer i temperatur och fuktinnehåll ger upphov till fogrörelser [5].

3. Fogmassors rörelseupptagande förmåga

Fogmassorna indelas ofta i två huvudgrupper, nämligen *elastiska* och *plastiska* fogmassor. Egenskaperna hos dessa olika grupper definieras på följande sätt:

- *Elastisk fogmassa* är ett material, som efter appliceringen uppvisar övervägande elastiskt beteende. Detta innebär att den spänning, som uppstår i fogmassan orsakad av en fogrörelse, är nästan proportionell mot deformationen.
- *Plastisk fogmassa* är ett material, som efter appliceringen bibehåller övervägande plastiska egenskaper. Det betyder att spänningen som uppstår i fogmassan vid en fogrörelse avtar snabbt.

Det finns internationella provningsmetoder med vilka man testat olika egenskaper hos dessa material. Med utgångspunkt från provningsresultaten bedöms fogmassornas totala rörelseupptagande förmåga. Denna indelas sedan i sju klasser, se Tabell 3. Där visas även exempel på olika bindemedel. Inom varje bindemedelstyp finns flera olika härdningssystem.

Tabell 3. Klassindelning av fogmassor med utgångspunkt från total rörelseupptagande förmåga (SS-EN ISO 11600/A1:2011 och AMA Hus 24).

Klass	Total rörelseupptagande förmåga [% av ursprunglig fogbredd]	Exempel på bindemedel
25 LM	25	Silikon, polyuretan, hybrider
25 HM	25	Silikon, polyuretan, hybrider
20 LM	20	Silikon, polyuretan, hybrider
20 HM	20	Silikon, polyuretan, hybrider
12.5 E	12.5	Akrylat (dispersion)
12.5 P	12.5	Akrylat (lösning)
7.5	7.5	Butyl, olja

De olika förkortningarna i tabellen betyder följande:

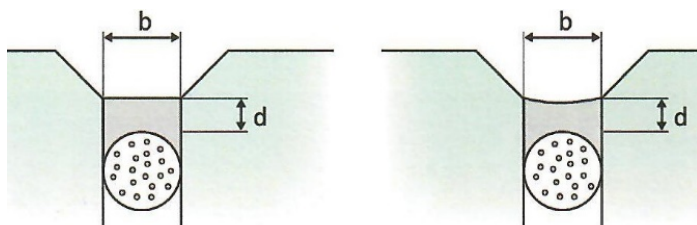
LM	<i>mjukelastisk</i> (engelska: Low Modulus), dvs. de har lågt töjningsmotstånd
HM	<i>högelastisk</i> (engelska: High Modulus), dvs. de har högt töjningsmotstånd
E	<i>elastisk</i> (engelska: Elastic)
P	<i>plastisk</i> (engelska: Plastic)

Det är alltså fogmassornas TOTALA rörelseupptagande förmåga som anges i Tabell 3. För den högsta klassen gällde tidigare värdet ± 50 %, sedan ± 25 % men nu endast totalt 25 % för klass 25 LM och HM. Ökade kunskaper från forskning och praktiska erfarenheter har bidragit till detta. Under senare år har även ökade miljökrav gällande fogmassornas sammansättning medfört att den rörelseupptagande förmågan har minskat.

4. Fogdimensioneringens principer

Vid en hållfasthetsdimensionering av en byggnadsstomme av t.ex. betong eller trä måste konstruktionen utformas så att aktuella belastningar inte överskrider materialens tillåtna påkänningar. Samma synsätt kan också användas vid en fogdimensionering. Lasterna utgörs nu av de funktionskrav, inklusive rörelseupptagning, som ställs på fogarna. Hållfasthetsberäkningens tillåtna spänningar motsvaras vid en fogdimensionering av tillåtna deformationer

i fogmassan (se Tabell 3). Syftet med dimensioneringen är alltså framför allt att bestämma fogbredd och fogdjup på fogprofilen, se Figur 5.



Figur 5. För att minska risken för vidhäftningsbrott skall fogarna utformas med ett plan- eller bikonkavt tvärsnitt där d = tvärsnittets minsta fogdjup [3]. Se även Figur ZSB.11/3 i [6].

Beräkning av erforderlig fogbredd (= b)

Längdändringen hos de material som omger fogarna bestämmer storleken på de rörelser som uppstår i fogarna, dvs. de rörelser som fogmassan måste kunna följa utan att något brott uppstår i fogen.

Exempel

Förutsättningar: Beräkningar har visat att maximal ökning av fogbredden är 3 mm och motsvarande minskning är 2 mm.

Lösning: Vi väljer att använda en fogmassa klass 25 LM (Tabell 3), vars totala rörelseupptagande förmåga är 25 %. Total fogrörelse är $3+2 = 5$ mm. $25 \cdot b/100 = 5$; $b = 20$ mm. Om vi väljer en fogmassa klass 20 LM blir $b = 5 \cdot 100/20 = 25$ mm.

Beräkning av erforderligt fogdjup (= d)

Enligt [6] är $d = b/5 + 3$. Vid $b = 20$ mm blir alltså $d = 20/5 + 3 = 7$ mm. $b = 25$ mm ger $d = 8$ mm.

5. Toleranser

Toleranser avseende fogar mellan väggelement av betong behandlas i [8]. Man bör beakta toleranserna vid montage så att en fogbredd erhålls som ger ett estetiskt bra resultat samt att en minsta fogbredd erhålls så att fogen kan ta upp aktuella rörelser (se avsnitt 4).

Se även [6] och [7] gällande toleranser för andra material och konstruktioner.

6. Arbetsgång vid fogdimensionering

1. Bedöm tidpunkten för fasadens (motsv.) montering och utförande.
2. Bedöm tidpunkten för fogningens utförande.
3. Bedöm med ledning av punkt 1 – 2 ungefärliga klimattillstånd vid fogningen.
4. Beräkna med utgångspunkt från konstruktionens utformning och punkt 1 – 3 de rörelser som kommer att uppstå i fogarna och hur rörelserna samverkar.
5. Beräkna maximal total fogrörelse.
6. Vilka toleranskrav gäller? Hur påverkar dessa fogens dimensioner?
7. Välj klass och typ av fogmassa med rätt prestanda för de funktionskrav som gäller. Eventuellt behov av förbehandling av kontaktytor måste säkerställas via förprov.
8. Beräkna fogbredd och fogdjup.

7. Beräkningsexempel

För att exemplifiera fogdimensioneringens principer visas nedan två exempel, A och B. På lämpliga ställen i exemplen hänvisas till aktuell punkt (6.1, 6.2 etc.) i arbetsgången i Avsnitt 6. För att renodla problemställningen görs inga beräkningar av aktuella toleranskrav.

A. De vertikala fogarna mellan 4,2 m långa betongelement skall dimensioneras. Antag att följande gäller:

- *Punkt 6.2:* Fogningen utförs på våren då temperaturen bedöms vara mellan +5 och +15 °C.
- *Punkt 6.3:* Betongens temperatur bedöms variera mellan -20 och +50 °C då byggnaden är i drift.
- *Punkt 6.4:* Irreversibel krympning = 0,25 ‰ (uttorkning/krympning sker i uteklimat; uppskattat värde från Tabell 2).
- *Punkt 6.4:* Betongens längdutvidgningskoefficient $\alpha = 10 \cdot 10^{-6} [1/^\circ\text{C}]$, se Tabell 1.
- *Punkt 6.4:* Reversibel fuktrörelse försummas (se Figur 4). Detta ger värden på säkra sidan.

Beräkningar med hjälp av de samband som har beskrivits ovan ger följande:

- *Punkt 6.4:* Temperaturökning: $\Delta L = 10 \cdot 10^{-6} (50 - +5) \cdot 4200 = \text{ca } 1,9 \text{ mm}$ (fogbreddsminskning)
- *Punkt 6.4:* Temperatursänkning: $\Delta L = 10 \cdot 10^{-6} (15 - -20) \cdot 4200 = \text{ca } 1,5 \text{ mm}$ (fogbreddsökning)
- *Punkt 6.4:* Irreversibel betongkrympning: $0,25 \cdot 10^{-3} \cdot 4200 = \text{ca } 1,1 \text{ mm}$ (fogbreddsökning)
- *Punkt 6.5:* Total fogrörelse = $1,9 + 1,5 + 1,1 \text{ mm} = 4,5 \text{ mm}$. (Jämför det principiella rörelsemönstret i Figur 4).
- *Punkt 6.7:* Vi använder en fogmassa Klass 25 LM som har total rörelseupptagande förmåga = 25 ‰ (Tabell 3).
- *Punkt 6.8:* Erforderlig fogbredd b erhålls ur sambandet $25 \cdot b/100 = 4,5$ dvs. $b = \mathbf{18 \text{ mm}}$. Fogdjupet d erhålls ur sambandet $d = b/5 + 3$ dvs. $d = 18/5 + 3 = \text{ca } \mathbf{7 \text{ mm}}$ (se Figur 5).

B. Till en byggnad i Göteborg skall användas 6 m långa sandwichelement av betong. Arkitekten har föreskrivit en mörk fasad och därför innehåller betongen ett svart pigment. Dimensionera de vertikala fogarna mellan elementen. Följande gäller:

- Elementen tillverkas i augusti och kommer att monteras under september.
- Fogning skall ske under första halvan av oktober.

Med hjälp av de givna förutsättningarna görs följande uppskattningar och beräkningar i anslutning till beskrivningen i Avsnitt 6:

- *Punkt 6.1 – 6.2:* Klart.
- *Punkt 6.3:* Temperaturen vid fogningen uppskattas vara ca +10 °C.
- *Punkt 6.4:* Efter fogningen bedöms betongens temperatur variera mellan -10 och +60 °C. Den höga temperaturen gäller i synnerhet för fasader mot söder och väster eftersom betongen är svart (se Figur 3).
- *Punkt 6.4:* Irreversibel krympning = 0,3 ‰ (betongen är endast ca en månad vid monteringen och uttorkning/krympning sker sedan i uteklimat; uppskattat värde från Tabell 2).
- *Punkt 6.4:* Temperaturökning: $\Delta L = 10 \cdot 10^{-6} (60 - +10) \cdot 6000 = \text{ca } 3 \text{ mm}$ (fogbreddsminskning)
- *Punkt 6.4:* Temperatursänkning: $\Delta L = 10 \cdot 10^{-6} (10 - -10) \cdot 6000 = \text{ca } 1,2 \text{ mm}$ (fogbreddsökning)
- *Punkt 6.4:* Irreversibel betongkrympning: $0,30 \cdot 10^{-3} \cdot 6000 = \text{ca } 1,8 \text{ mm}$ (fogbreddsökning)
- *Punkt 6.5:* Total fogrörelse = 3 + 1,2 + 1,8 mm = 6 mm.
- *Punkt 6.7:* Vi använder en fogmassa Klass 25 LM som har total rörelseupptagande förmåga = 25 % (Tabell 3).
- *Punkt 6.8:* Erforderlig fogbredd b erhålls ur sambandet $25 \cdot b/100 = 6$ dvs. $b = 24 \text{ mm}$. Fogdjupet d erhålls ur sambandet $d = b/5 + 3$ dvs. $d = 24/5 + 3 = \text{ca } 8 \text{ mm}$ (se Figur 5).

Litteratur

- [1] Fog- & Brandskyddsföretagen: Metodanvisning Nr 1.
- [2] Fog- & Brandskyddsföretagen: Metodanvisning Nr 3.
- [3] Burström, P.G. (2021). *Byggnadsmaterial - tillverkning, egenskaper och användning*. Lund: Studentlitteratur.
- [4] Klosowski, J. M. & Wolf, A. T. (2016). *Sealants in Construction*, 2 uppl. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group.
- [5] Burström, P.G. (1989). Dimensionering av rörelsefogar. AMA-nytt Mark · Hus 2/89.
- [6] AMA Hus 24. Stockholm: Svensk Byggtjänst.
- [7] RA Hus 24. Stockholm: Svensk Byggtjänst.
- [8] Toleranser för betongelement. Svensk betong, 2020:2.