

Generelt

Projekteringsansvar

Der tages forbehold for eventuelle fejl i følgende anvisninger og beregninger. Statisk dimensionering af det konkrete projekt er til enhver tid rådgiverens ansvar.

I vejledningen henvises der generelt til følgende europæiske og danske standarder og normer:

Normgrundlag

EN 1996, 1-1 + A1 2015

EN 1996, 1-2: 2007

EN 1996, 2: 2007

DS/INF 167: 2015

EN 12602: 2016

DS/INF 169: 2011

Samt tilhørende nationale annekser og nationale vejledninger.

Materialeparametre

Der anvendes CE- deklarerede data for de aktuelle byggesten. Vær opmærksom på, at det er de karakteristiske basisstyrker, som skal anvendes fra de CE-mærkede værdier.

Til projektets statiske beregninger, har Xella deklarerede styrkeværdier for alle YTONG og Silka byggesten, herunder E-modul, bøjningstrækstyrker og basistrykstyrken. For at anvende disse værdier, skal murværket altid opføres med henholdsvis YTONG og Silka tyndfugemørtel. Tekniske data findes på vores hjemmeside www.ytong.dk under de enkelte produkter.

Vægges fastholdelse/understøtning

Væggene fastholdes så mange steder som muligt for at undgå ekstraforanstaltninger og/eller dimensionsspring f. eks. langs remme, etageadskillelser, lofter, spærhoved, spærfod, kanter o.l.

Undgå i videst muligt omfang vægfelter, der ikke er tværafstivede, da disse kan kræve indbygning af afstivende stålsøjler. Vægfelter bør min. være 3-sidigt understøttede for at undgå ekstraforanstaltninger i form af afstivende søjler o.l.

Undgå spændinger/tvangskræfter i byggeriet

Vægge bør disponeres således, at tvangsdeformationer ikke resulterer i revnedannelser i svage tværsnit.

Remme oplægges med min. indbyrdes afstand imellem remmene på 10 mm, således at de kan bevæge sig uafhængigt tykkelsesmæssigt, særligt i byggeperioden, da nedbør o.l. kan medføre uhensigtsmæssigt fugtindhold.

Husk at afstandsklodser imellem spær og gavle ikke må sidde tættere ved krydsende vægge end 1 meter, således at de kan bevæge sig.

Skivevirkning i h.h.v. vandrette loftskonstruktioner og etageadskillelser

Under projekteringen skal der tages hensyn til, at de fornødne tværvægge er til stede til at overføre de vandrette kræfter, og der udføres de nødvendige kræftoverførende samlinger mellem vægge og loftskive/etageadskillelse. Er dette ikke tilfældet, må stabiliteten sikres på anden vis med f.eks. ståltrammer i murpiller, hvor der i forvejen måtte være en søjle.

Murfolie under ydervægge

Der anvendes normalt murfolie eller pap under porebetonvæggene såvel som Silka kalksandstensvægge, hvor væggene opbygges på en terrændækskonstruktion med gulvvarme, som går ud under bagmurene. Dette er særligt vigtigt, da terrændækskonstruktionen udvider sig i længderetningen, når den opvarmes. Langsom opvarmning tilrådes. Murfolien bidrager således til at afkoble nogle af tvangskræfterne hidrørende fra længdeudvidelsen af terrændækket. Temperaturudvidelserne er typisk størst ved første opvarmning af vinterbyggerier og i lange bygninger. Ellers anvendes murfolie/pap løsninger, som normalt for det murede byggeri. Lim-pap-lim løsning kan anvendes, for at forøge kohæsionsværdien. Det anbefales at indbygge dilatationsmulighed i terrændæk for hver 6-8 m vægfelt.

Murfolie under skillevægge

Der anvendes normalt murfolie eller pap, da dette forhindrer kohæsion, dvs. vedhæftning til terrændækket, da terrændæk kan deformere. Herved undgås, at væggene påvirkes uhenigtsmæssigt fra tvangskræfter hidrørende fra terrændækkene i videst muligt omfang.

Fundering: Alle vægge opstilles på stabilt og bæredygtigt underlag.

Fundamenter og andre underlag skal være permanent formstabile og skal kunne bære væggene og ovenliggende laster, uden at der forekommer skadelige sætninger/differenssætninger o.l.

Fundering skal sikres til frostfri dybde.

Etagedæk (dækelementer af porebeton, letklynkebeton, beton og andet)

Etagedæk har vederlag på bagmuren og normalt på en hovedskillevæg. Der må ikke forekomme utilsigtede mellemunderstøtninger. Dæk dimensioneres, så nedbøjningen minimeres hensigtsmæssigt.

Vægge på etagedæk, bærende og stabiliserende

Hvor vægge står lige over hinanden i etageadskillelsen, og dækelementerne er understøttet af den nedenstående væg, kan den ovenstående væg indgå i stabiliteten (skiveberegning) samt anvendes som bærende væg. Alle vægge skal være funderet.

Vægge på etagedæk, ikke bærende

Hvor der står sekundære vægge på dækket, og der er/forventes nedbøjning/deformation, skal vægge projekteres med elastiske samlinger ved tilslutninger og krydsende vægge, således at væggene kan følge med dækkenes nedbøjning og uhenigtsmæssige tvangskræfter undgås. Dækdeformationen kan normalt danne en lunke imellem understøtningerne, hvorved vægge fra forskellig side vil "kippe/tvinges" ind mod midten. Det er også vigtigt for sekundære vægge, at der anvendes et adskillende underlag, som f.eks. murfolie for at undgå vedhæftning, således at der ikke opstår uhenigtsmæssige trækspændinger i væggenes nederste del. Anvend ikke asfaltpap under sekundære vægge. Det tilrådes derfor altid at anvende så korte dæk som muligt, gerne mellemunderstøttede på tværvægge, idet deformationerne herved kan reduceres betydeligt, og væggene derfor holdes mere i ro. Forventes der sætninger i dækket (pilhøjde) kan der evt. anvendes Murfor Compact eller lign. armering i de nedeste 2-3 liggeluffer. Dette modvirker sætningsskader i murværket.

Dimensionering af vægge

Bæreevne

Bæreevne beregnes optimalt via programmet EC6DESIGN, som kan findes på www.ec6design.com, eller kontakt til Murværkscenteret på Teknologisk Institut. Programmet er opdateret iht. gældende normer EN 12602 og EN 1996, 1-1.

Vederlag

Hvor der er behov for at optage punktlaster fra dragere, er der på side 9 beskrevet 3 klassiske metoder, som kan give en stor kapacitet og robusthed.

Stabilitet

Porebeton er et isolerende byggemateriale og derfor er det et meget let byggemateriale. For at kompensere for manglende tyngde anvendes ofte forankringer i kombination med sikring mod glidning. Porebetonens gode styrkeparametre giver også pæne skivestyrker. Der er således normalt rigeligt med kapacitet i væggene til almindeligt byggeri. Men mangler der styrke til at opnå den fornødne stabilitet, inddrages skillevæggene i stabiliteten. Dette giver nye muligheder for stabilitet i bygninger, hvor bygningsdesignet mangler effektive stabiliserende vægskiver i facaderne.

Bidragene fra skillevæggene kan være ganske store, da skillevæggene primært består af længere ubrudte/regulære vægstykker.

Terrænklasse, vind

Når vægge skal dimensioneres, er det i størstedelen af tilfældene terrænklassen, der er den dimensionsgivende faktor. Forskellen fra vindtrykket i den lave zone til vindtrykket i den høje zone kan betyde ca. en fordobling af vindtrykket. Vær derfor meget omhyggelig med valg af den korrekte terræn-klasse, da det kan medføre tilsvarende dimensionsspring.

Glidningsikring

For at undgå glidning kan det være nødvendigt at montere ekstra beslag. Vægges glidningsikring skal eftervises og etableres/kontrolleres i nødvendigt omfang. Det er væsentlig at være opmærksom på, at anvendes plastfolier som fugtspærre direkte på lecasokkelsten, så er glidningskoefficienten øget med ca. 50 % i forhold til almindeligt murpap. Se: www.mur-tag.dk.

Stabiliserende forankringer

Tagforankringer fastgøres kun i hhv. fundament og tagværk. Forankringer fæstnes ikke i væggene, hvorved spændinger i væggene hidrørende fra forankringerne undgås. Forankringer kan indbygges i skillevæggene, hvorved der kan opnås store stabiliserende bidrag, idet skillevæggenes vægfelter normalt er ubrudte af vindueshuller o.l.. Stængerne i skillevægge kan føres med et flexrør, som man kender det fra el-installationers tomrørssystemer.

Punktlaster

Ved punktlaster bør der anvendes vederlagsplader for at undgå kantafskalninger og revnedannelse, således at lasten centrerer sig over væggenes midte, hvorved bæreevnen optimeres pga. minimal excentricitet. Spaltebrud kan ofte undgås ved at indlægge armering i øverste liggefuge.

Husk bidrag for evt. linielaster.

Hvor f.eks. dækelementer skal ligge af på både vægge og bjælker, skal overkant vægge være lig overkant af ståldragere flange.

Normalt indgår følgende komponenter:

- Dragere med kropsafstivning over vederlagspladen
- Vederlagsplade af stål ca. 20 mm tykkelse

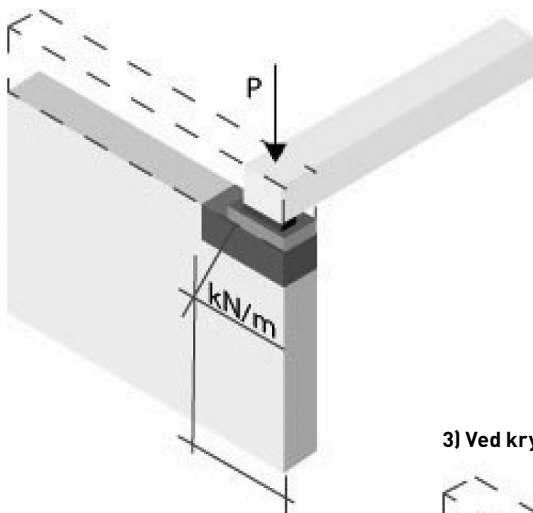
Vederlagsplade lægges i tyndfugelim for derved at sikre trykfordelingen.

- Ved større laster lokal på porebetonvægge kan disse evt. forstærkes via Silka Vederlagsblok.

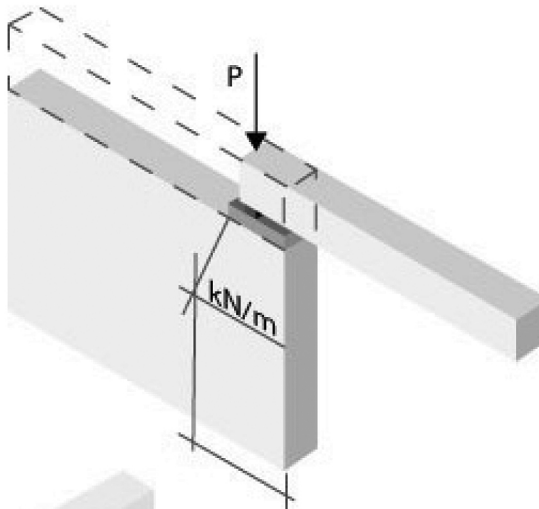
For alle tilfælde gælder, at der skal foretages en dimensionering:

- Husk: Lastfordelingen 1:2.
- Vederlagstrykket øverst på væggen kontrolleres.
- Vederlagspladen ligger i tyndfugelim.
- Lastfordeling midt i væghøjden findes i kN/m.
- Eftervisning af spaltekræfter.

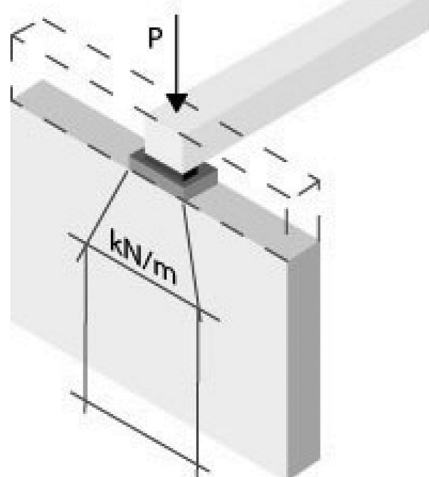
2) Ved endevæg med krydsende drager



1) Ved parallel væg



3) Ved krydsende væg



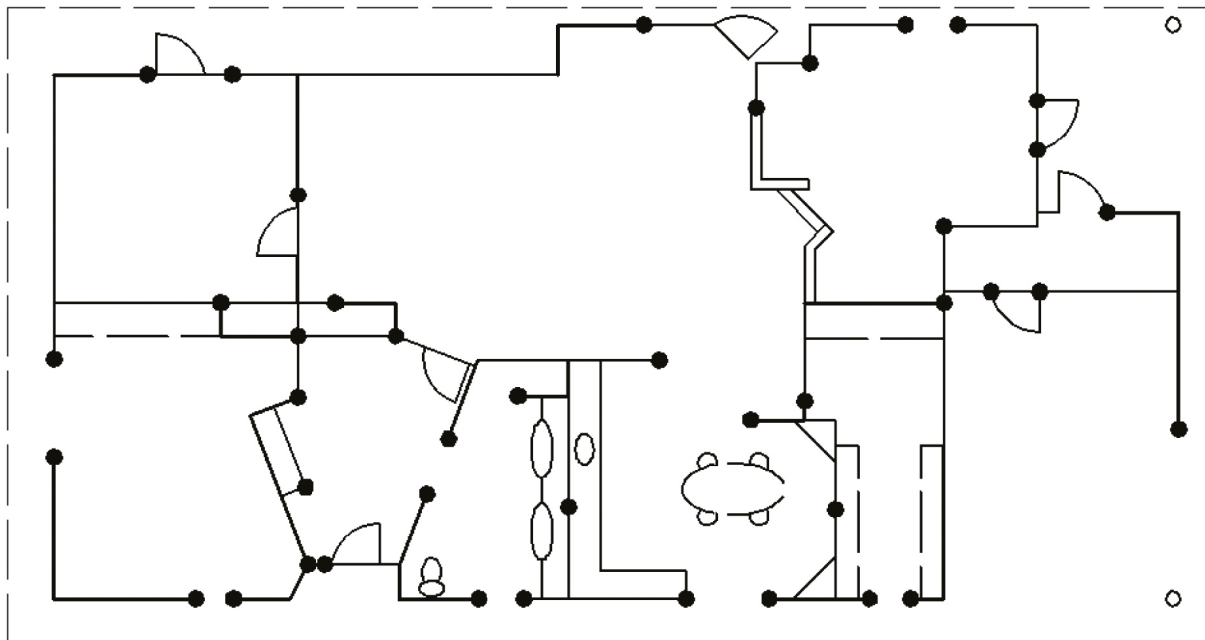
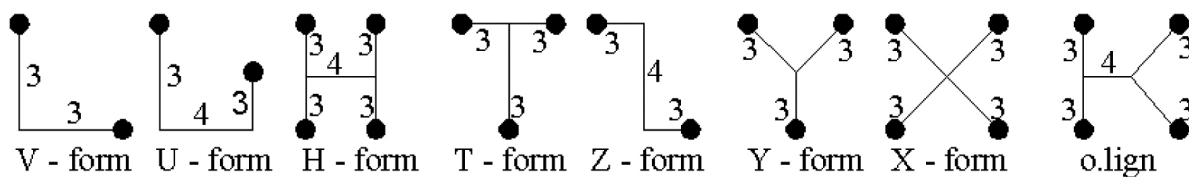
Planlægning af vægkonstruktioners understøtning

Det er vigtigt at man allerede i skitsefasen planlægger og vælger de rigtige konstruktionsudformninger for derved at opnå optimale og økonomiske løsninger. Herved undgås ekstra omkostninger til udbedring af mindre gode konstruktioner.

Når skitseprojektet er tegnet, kan man bruge nedenstående principtegning, der viser kombinationsmuligheder til sikring af, at alle grundplaner med forskellige understøtningsforhold er optimeret mht. søjleforbrug. Væggenes bæreevne optimeres ved at understøtte dem så mange steder som muligt. Udover understøtning i top og bund (2-sidigt), understøttes på en eller

to lodrette sider (3- eller 4-sidigt). Det er vigtigt at eftervise bæreevnen for fritstående murpiller (2-sidigt). Tværafstivning kan enten udføres som en væg eller vha. stålprofil.

Nedenstående figurer illustrer forskellige udformninger af vægge, som vil virke som enten 3- eller 4-sidigt understøttede.



Hvor del-grundplaner mødes, placeres døre og vinduer. Derved undgår man murpiller, hvori man normalt skal indsætte et afstivende stålprofil. Kortere vægfelt har en større bæreevne.

Efter fastlæggelse af væggene påbegyndes de statiske beregninger. Først eftervises stabiliteten dernæst undersøges det eller de mest kritiske vægfelt

Vandret lastfordeling på hule mure (Ytong)

Vandret lastfordeling på hule mure

Vindlasten kan fordeles på for- og bagmur efter deres indbyrdes stivhed "E · I", eller efter deres indbyrdes styrke. Fordeles lasterne efter styrke, kan kapaciteten for både formur og bagmur adderes til én samlet styrke.

Eksempel:

$$W_{rd, formur} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{rd, bagmur} = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

Samlet kapacitet:

$$W_{rd, hulmur} = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

For at kunne bruge denne regel, beskriver EN 1996-1-1, at der skal være tilstrækkelig deformationskapacitet i både formur og bagmur. Her kan anvendes forholdstallet 1/3 til 3 ved brug af formlen:

$$\text{Deformationskapacitet: } \frac{E_2 t_2 f_{xk1,1}}{E_1 t_1 f_{xk1,2}}$$

Tabel 1: Ytong bagmur og tegl i formur

Ytong 525 kg/m ³	Teglsten ¹⁾	Def. kap
100 mm	108 mm	0,357
125 mm	108 mm	0,446
150 mm	108 mm	0,535

1) Teglsten er regnet med E = 2500 MPa og f_{xk1} = 0,3 MPa

Vandret lastfordeling på hule mure (Silka)

Vandret lastfordeling på hule mure

Vindlasten kan fordeles på for- og bagmur efter deres indbyrdes styrke på samme måde som Ytong porebeton, så længe deformationskapaciteten i både formur og bagmur overholder forholdstallet 1/3 til 3.

Tabel 1: Silka bagmur og tegl i formur

Silka 1900 kg/m ³	Teglsten ¹⁾	Def. kap
100 mm	108 mm	2,401
115 mm	108 mm	2,761

1) Teglsten er regnet med $E = 2500 \text{ MPa}$ og $f_{xk1} = 0,3 \text{ MPa}$

Lastfordeling efter stivhed

Afhængig af styrkeparametrene for teglstenen, bør 150 mm Silka blokke i bagmur fordeles efter stivheden.

Tabel 2: Lastfordeling mellem Silka bagmur og formur i tegsten

Silka bagmurstykkelse 1900 kg/m ³	Formurens stenklasse med følgende mørteltyper: KC 50/50/700, KC 35/65/650, KC 20/80/550	Procentvis fordeling mellem formur/bagmur
150 mm	15	6/94
150 mm	20	9/91
150 mm	25	12/88
150 mm	30	15/85
150 mm	35	16/84

Effektiv højde/tykkelse af murværk

Effektiv højde af murværk

Den effektive højde h_{ef} for en væg skal vurderes ud fra hensynstagen til de bygningsdele, den er forbundet til samt effektiviteten af forbindelserne.

En væg kan være afstivet af etageadskillelser, tagkonstruktionen, passende placerede tværvægge eller andre bærende konstruktionsdele.

I h.t. EN 1996-1-1+A1:2013 kan en væg betragtes som afstivende ved en lodret kant, såfremt den afstivende væg har en længde på mindst 1/5 af den frie højde og en tykkelse på mindst 0,3 gange den effektive tykkelse af væggen der skal afstives (uden åbninger). Samtidig skal det sikres at samlingen kan optage træk- og trykkræfter, hvis ikke den afstivende væg er udført i samme materiale, opført samtidigt og indbyrdes forbundet.

Den effektive højde regnes til:

$$h_{ef} = p_n h$$

Hvor:

p_n er en reduktionsfaktor afhængig af kantindspændingen eller væggenes afstivning.

Effektiv tykkelse af murværk

Den effektive tykkelse af en mur t_{ef} uden afstivende piller bør regnes som murens faktiske tykkelse t .

En mur afstivet med piller, bør regnes af ligningen:

$$t_{ef} = p_t t$$

Hvor:

p_t er en koefficient, der kan findes i tabel 5.1 i EN 1996-1-1+A1:2013.

Robusthed/slankhedshold

Af hensyn til væggenes robusthed er der angivet krav til minimum vægtykkelser ud fra væggenes effektive højde og væggenes effektive tykkelse.

Ved overvejende lodret belastning:

$$h_{ef}/t_{ef} < 27$$

En bærende 100 mm væg med rumhøjde på 2,6 m

$$\text{Eks: } 2,6/0,1 = 26 < 27 \text{ OK}$$

EN 12602:2016 for præfabrikerede porebetonelementer beskriver slankhedsforhold for lodret belastede elementer som (etagehøje):

$$h_{ef}/t_{ef} < 34,6$$

For lodret belastede porebetonelementer (etagehøje) med krav til brandmodstand:

$$h_{ef}/t_{ef} < 30$$

For ikke-bærende vægge med krav til brandmodstand er der i h.t. EN 12602:2016 samt EN 1996-1-2:2007 beskrevet et slankhedsforhold på [for at anvende tabelværdier på mindstetykkelse]:

$$h/t < 40$$

For ikke-bærende vægge uden krav til brandmodstand, er der i EN 1996-1-1+2013, Annex F anført tabelværdier for begrænsninger mellem højde henholdsvis længde og tykkelse for murværk i anvendelsesgrænsetilstanden.

Lodrette og vandrette laster

Metodikken i beregningerne kunne være som følger:

1. Den regningsmæssige vindlast på facaden bestemmes.
Husk at undersøge for samtidigt indvendig over/undertryk.
2. De lodrette lasters maksimums- og minimumsværdi bestemmes. Minimumsværdien bruges når de vandrette laster gennemregnes (lodret last til gunst).
3. Vindlasten fordeles på for- og bagmur.
4. De mest kritiske vægfeltet udvælges og gennemregnes først. Dette er ofte vægfeltet med det største areal og de største åbninger.
5. Først beregnes de vandrette kræfter. I programmet EC6DESIGN vælges modulet "tværbelastet rektangulær væg". Der bør her anvendes minimumsværdien for lodret belastning. Såfremt udnyttelsesgraden i beregningen overstiger 100%, kan følgende muligheder evt. undersøges:
 - Mulighed for indspænding af én eller flere kanter?
 - Kan der udføres efterspænding i toppen af muren?
 - Kan åbningsarealet reduceres?
 - Kan arealet af hele vægfeltet reduceres?
 - Flytte nogle af de indvendige vægge/flanger.
 - Forøge tykkelsen af væggen (evt. forøge den effektive tykkelse ved hjælp af piller/false/søjler).
6. Den lodrette bæreevne kan nu beregnes. I programmet EC6DESIGN vælges modulet "lodret belastet muret væg" eller "lodret belastet elementvæg" (etagehøje porebetonelementer). Den lodrette last fordeles i forhold til murens effektive længde, hvor lasten på mindre vinduesåbningerne fordeles på vægfeltet mellem åbningerne (ved store åbninger regnes vægfeltet mellem åbningerne separat).
For mest mulig bæreevne bør man forsøge at centrere den lodrette last mest muligt på muren.
Husk at benytte den ækvivalente vindlast som den regningsmæssige tværlast. Denne værdi kan evt. findes i rapporten for "tværbelastet rektangulær væg".
7. Disse 3 lastkombinationer bør som min. altid eftervises:
 - Maksimal lodret + Maksimal vandret last
 - Minimal lodret + Maksimal vandret last
 - Maksimal lodret + ingen vandret last

Stabiliserende vægfelter (murskive)

Murskiver kan dimensioneres til at optage de samlede vandrette kræfter i husets totale stabilitet. Murskiver/stabiliserende vægge er hovedsageligt påvirket af vandrette og lodrette kræfter i eget plan. For optimal udnyttelse af konstruktionerne kan man med stor fordel bruge beregningsprogrammer, som f.eks. EC6DESIGN.

En murskive der indgår i huset statiske system bør altid eftervises for brudmekanismerne:

- Glidning
- Væltning
- Indre brud

Glidning

Ved bestemmelse af glidningskapaciteten kan man vælge en mekanisk fastgørelse som f.eks. L-beslag monteret på sokkel/dæk, eller bruge styrkeparametrene i kohæsions-samlingen. De 2 samlingsmetoder bør ikke kombineres, da en limsamling vil være brudt, før kræfterne i den mekaniske fastgørelsen introduceres.

I h.t. DS INF 167:2015

Friktionskoefficient $\mu_{k, bund}$:

Mørtelfuge ($f_m > 0,5$ MPa) 1,00 MPa

Mørtelfuge på fugtspærre 0,40 MPa

Kohæsion ved bund $f_{vk0, bund}$:

Lim/pap/Lim 0,20 MPa

Kohæsion/Initial forskydningsstyrke i fugen f_{vk0} :

Ytong 290 kg/m³ 0,14 MPa

Ytong 340 kg/m³ 0,18 MPa

Ytong 525 kg/m³ 0,41 MPa

Silka 1900 kg/m³ 0,35 MPa

Fastgørelse med L-beslag

For at fastholde en væg mod glidning kan der indlimes L-beslag af stål i lodrette fuger. Der anvendes stålbeslag med en tykkelse på 2 mm, som passer stramt i limfugen.

Tabelværdierne er testet og bestemt af Teknologisk Institut i Danmark.

Horisontal bæreevne L-beslag, indlimet			
	f_k [MPa]	Bæreevne [kN]	
		Strongtie AB70, 55 mm	L-beslag, 100 mm
Ytong 340 kg/m ³	1,9	0,80	1,45
Ytong 525 kg/m ³	3,4	1,43	2,59
Silka 1900 kg/m ³	12,2	5,11	9,30

Væltning

En stabiliserende væg påvirket med lodret belastning er ofte sikret mod væltning. Ved utilstrækkelig eller ingen lodret belastning, kan det i nogle tilfælde være nødvendigt at forankre vægfeltet, såfremt egenvægten i sig selv ikke er høj nok. Tværvægge i vægfeltets ender, kan også virke til gunst mod væltning.

Forankring kan udføres på mange forskellige måder afhængig af materialet og hvorledes projektet ønskes udført. Ved forankring i en ydervæg, kan en gevindstang placeres i hulmuren. Alternativt kan denne rilles ind i muren efter samme princip som el-installationer. I porebeton kan der bores et hul i blokkene/pladerne, hvorefter en gevindstang eller lign. føres ned igennem hvert skifte. Til sidst monteres en plade over det øverste skifte, .

Indre brud

Der bør også kontrolleres for forskydningsbrud samt trækspændinger i selve skiven. Ofte kan murværkets egen styrke optage spændingerne. Hvis murværkets egen trækstyrke viser sig ikke at være tilstrækkelig, kan der indlægges trækstringere eller lign. i toppen af væggen. Se evt. hjælpeteksten i EC6DESIGN under "Murskive"-programmet.