



## **METODEVEJLEDNING OM FORUNDERSØGELSER I FORBINDELSE MED ENERGIRENOVERING AF MUREDE ETAGEEJENDOMME**

### **Indledning**

Teknologisk Institut, Murværk har i forbindelse med projektet "Bæredygtig energirenovering af murede facader i etageejendomme" udviklet denne vejledning for hvilke forundersøgelser der er relevante at foretage.

En energirenovering af facaden indebærer, at den yderste skalmur afskrælles, en ny isolering monteres til bagmuren og en ny ydre skal opmures. Formuren har typisk en tykkelse mindre end normalformat. Denne kan fx være 78 mm. Den nye formur kan placeres længere fremme end den eksisterende formur vha. konsoller på soklen således, at synsfladen på formuren flyttes fx 60 mm. Herved kan isoleringstykkelsen i konstruktionen forøges.

Ældre murede etageejendomme fra 1930-80'erne er karakteriseret ved, at facaden typisk er opført af massive 1/1-stens eller en 1½-stensvægge i de første 1-3 etager og vægge med faste lodrette binderkolonner eller trædbindere i de øverste etager. Der forekommer dog mange forskellige variationer af denne type byggeri. I større byer findes murede etageejendomme på op til 5-6 etager, hvor murpillerne nede i kælderens har en tykkelse på op til 912 mm.

Ved renovering af ældre murede etageejendomme er det væsentligt at have et grundigt kendskab til den aktuelle bygnings statiske virkemåde, konstruktive opbygning og materialernes egenskaber. En forudsætning for en vellykket renovering er en dybdegående forundersøgelse af den/de aktuelle bygning/er med henblik på at opsamle alle de fornødne informationer, som skal ligge til grund for det videre ingeniørmæssige projekteringsarbejde. Denne vejledning vil belyse de relevante parametre, som bør indgå i en sådan forundersøgelse.

### **Referencer til relevante dokumenter**

- DS ISO 13822:2010 – Projekteringsgrundlag for konstruktioner – Vurdering af eksisterende konstruktioner
- SBI-anvisning 251 – Vurdering af eksisterende konstruktioners bæreevne
- SBI-anvisning 248 – Ældre murværks styrkeegenskaber
- SBI-rapport 142 – Københavnsk etageboligbyggeri 1850-1900
- SBI 2015:02, Eksperimentel og teoretisk undersøgelse af ældre murværks styrkeegenskaber (Hansen & Pedersen, 2015).
- Dansk Byggeskik – Etagebyggeriet gennem 150 år.

### **Metode**

Før energirenovering af facademuren kan planlægges, skal der gennemføres nogle forundersøgelser.

Der er 3 områder, som indgår i en forundersøgelse:

- Bygningens tilstand før renovering mht. statik. Er huset stabilt, og har det eventuelt skader, hvilke materialer og hvilken teknik er anvendt.
- Boligens komfort og energimæssige tilstand.
- Bygningens design og eventuelle forbedringsmuligheder, herunder om- og tilbygning.

Forundersøgelsen gennemføres i følgende trin:

1. Indsamling af oplysninger samt en indledende, ikke-destruktiv gennemgang af bygningen.
2. Foreløbig vurdering af bygningens samlede egnethed for konceptet.
3. Hvis punkt 2 er positiv, udføres yderligere bygningsundersøgelser, herunder destruktive, for at afklare de resterende forudsætninger og etablere grundlaget for planlægning af renoveringen.
4. Anbefaling. Kan og bør energirenoveringen gennemføres? Valg af isoleringstype og tykkelse, herunder om sokkel skal isoleres.

Forundersøgelserne giver således svar på:

- Er bygningen egnet konstruktionsmæssigt for energirenoveringskonceptet?
- Hvilke energi- og komfortmæssige forbedringer kan der opnås?
- Hvilke andre forbedringer – æstetisk, holdbarhedsmæssigt – kan der evt. opnås?
- Hvilke ekstraomkostninger kan der påløbe?
- Hvilken isoleringstype og -tykkelse samt murtykkelse bør der vælges.

Det anbefales at dokumentere forundersøgelserne i en rapport, der fx kan udføres efter samme opbygning som denne vejledning.

På baggrund af forundersøgelserne foretages herefter projektering af EPS-søjler samt projektbeskrivelse, prissætning mv.

## Forundersøgelser

### Indledende generelle undersøgelser

I forbindelse med energirenovering af murede facader bør følgende parametre indgå i en forundersøgelse og registreres for samtlige etager:

- A. Murværkets generelle tilstand
- B. Murstenenes tilstand
- C. Mørtelfugernes tilstand
- D. Murværkets tykkelse og forbandt
- E. Murværkets fugtforhold
- F. Murværkets forskellige stentyper i bagmur og formur
- G. Murstenenes dimensioner og mørtelfugetykkelser
- H. Murens effektive tykkelse under hensyntagen til fugernes udfyldning
- I. Murens understøtningsforhold i vægplanet og vinkelret herpå
- J. Murens excentriciteter ift. etageadskillelser
- K. Aflægning, fugtisolering og forankring af evt. træbjælker i etageadskillelser
- L. Murværkets hovedgesims (gammelt pudset trægesims eller murstensgesims)
- M. Tilbagerykninger i facaden, tykkelsesspring i murværket og gesimsbånd i facaden

- N. Karnapper, udbuede vinduer, altaner og andre typer fremspring
- O. Omfang af udmuring omkring vinduer og ved etageadskillelser (massive partier)
- P. Tagkonstruktionens opbygning og forankring til bygningen.

### **Forundersøgelser og løbende undersøgelser i byggeprocessen**

De følgende punkter vedrører forundersøgelser, som har at gøre med den rent praktiske udførelse af nedrivning af formuren og udførelse af projektet.

- A. Fjernelse af formuren skal foretages omhyggeligt således, at bagvæggen ikke beskadiges. Efter fjernelse af formuren, som fx kan foregå med vinkelsliber, hammer og mejsel, skal det sikres, at det resterende murværk besidder de forudsatte materialeegenskaber (dvs. styrkeparametre, tæthed etc.). Dvs. såfremt:
  - a. Stenene i de tilbageblevne vægfelter er løse, skal disse ommures.
  - b. Mørtelfugerne har for lav udfyldningsgrad (<85 %), skal disse reetableres.
  - c. Der er gennemgående huller i bagmuren, skal disse fyldes.
- B. Tilstrækkelig sammenhæng mellem bagvæg og skillevægge. Dvs. forbandt herimellem til sikring af stabilitet og lodret understøtning. Dette forhold bør tillige undersøges, inden renoveringen igangsættes. Bindere mellem bagvæg og skillevæg kan indbores efter fjernelse af formuren.
- C. Arbejdet må ikke udføres, såfremt der ligger sne på taget. Denne forholdsregel introduceres konservativt for at reducere lasterne.
- D. Under byggeprocessen bør det løbende vurderes, om forudsætningerne om byggeriets konstruktionsprincip, materialer og tilstand er de samme som ved forundersøgelserne.

### **Indsamling af oplysninger**

Det kan være lidt vanskeligt at vurdere, om byggeriet overholder de regler, der var gældende på opførelsestidspunktet, og i praksis må det i høj grad bero på en vurdering af byggeriets tilstand.

En del oplysninger kan normalt fås af ejendomsejeren eller via BBR-register.

Det vil ofte være muligt at fremskaffe bygningstegninger via kommunens bygningsinspektorat, men disse er ikke altid i overensstemmelse med det byggede pga. senere ændringer.

Nogle af de indsamlede oplysninger er faktuelle, mens andre er mere subjektive vurderinger. Alle indgår i den indledende vurdering af husets egnethed for energirenoveringen.

### **Bestemmelse af murværkets karakteristiske trykstyrke og elasticitetsmodul**

Murværkets karakteristiske trykstyrke og elasticitetsmodul kan bestemmes ved at udtage og trykprøve en repræsentativ mængde af mursten (typisk 6-10 sten) fra den pågældende konstruktionsdel samt ved at teste mørtelfugernes trykstyrke ved en krydsborsundersøgelse, se evt. bilag 1. Undersøgelsen skal udføres i bagmuren, idet denne fortsat skal bære de lodrette laster. Når murstenenes normaliserede trykstyrke er bestemt i laboratoriet ved en trykprøvning, samt mørtlens trykstyrke ved en krydsborsundersøgelse, kan murværkets trykstyrke beregnes med udgangspunkt i Eurocode 6. Elasticitetsmodulet kan beregnes vha. DS/INF 169.

*Resultater af Instituttets opgaveløsning beskrevet i denne rapport, herunder fx vurderinger, analyser og udbedringsforslag, må kun anvendes eller gengives i sin helhed, og må alene anvendes i denne sag.*

31-12-2016  
P2002857

**TEKNOLOGISK**  
**INSTITUT**

*Instituttets navn eller logo eller medarbejderens navn må ikke bruges i markedsføringsøjemed, medmindre der foreligger en forudgående, skriftlig tilladelse hertil fra Teknologisk Institut, Direktionsekretariatet.*

Aarhus, den 31. december 2016  
Teknologisk Institut, Murværk



Arash Ehtesham

Mobil +45 72201481  
areh@teknologisk.dk



/ Keld Johannessen

Mobil +45 72201707  
kejo@teknologisk.dk

**X-bor. Metodebeskrivelse****Procedure**

1. Indledningsvis skønnes mørteltypen (L, LC, C). Dette har betydning for bestemmelse af  $f_m$  og  $E_{ok}$ .  
Ved tvivlstilfælde, typisk ved en vurdering mellem L og LC, medtages en mørtelprøve til laboratoriet. Der kan således, på kundes foranledning, foretages en mørtelprøvning, hvor cementindholdet bestemmes. Er dette >40 % kan anvendes kategorien LC. Ellers anlægges en konservativ betragtning.
2. Der udvælges et antal T-kryds mellem ligge- og studsfuge på den mur, hvor fugestyrken ønskes bestemt (typisk 10 for et aktuelt byggeri).  
Områder, hvor belastningen forøges, skal udvælges og punkterne skal være repræsentative (for eksempel i højden).  
Punkterne afmærkes evt. med kridt, således at hullerne enkelt kan findes ifm. fugning af hullerne. Nederste del af studsfugen anvendes.
3. Såfremt 10 % eller 20 % af fugen skønnes nedbrudt i fuld dybde sættes 1 hhv. 2 af de 10 værdier for  $M_v = 0$ , således at disse områder medtages ved bestemmelse af  $f_m$  for murværket.
4. I de udvalgte T-kryds bores hul: Ø6, længde: cirka 70 mm. Herefter: Ø 10, længde: 10 mm. Se figur 1 og 2.
5. Afstand måles med tommestok fra kant af mur til fx start møtrik. Krydsboret placeres i den position, hvor det møder modstand (hvor Ø6 hul møder krydset). Afstand måles før og efter indbankningen. Indbankningslængden ( $L_i$ ) er differencen. Se figur 3.  
Krydsboret indbankes normalt 20-30 mm. Se figur 4.
  - Det kan bankes kortere ind, men dette forøger usikkerheden på  $L_i$ . Minimum bør være 10 mm.
  - Ved svage mørtler kan en længere afstand være relevant. Maksimum 50 mm.
  - Ved meget stærke mørtler, hvor der opnås maksimalt vridningsmoment (=50 Nm), skal  $L_i \geq 20$  mm. (Dette for at beskytte krydsborets flanger, da der ellers ville optræde flydning i stålet).
 Her vælges X-bor af sort højstyrkestål.
6. Momentnøgle udvælges efter forventet styrke af mørtlen.
7. Momentnøgle drejes langsomt med én hånd samtidig med, at der holdes igen ved krydsboret med den anden hånd således, at kraftpåvirkningen så vidt mulig er et rent vridningsmoment.
8. Maksimalt opnåeligt vridningsmoment ( $M_v$ ) og indbankningslængde ( $L_i$ ) registreres for hvert forsøg.
9. Evt. ekstremt høje værdier, som vurderes at have årsag i at krydsboret sidder fast i byggesten, forkastes. Ekstremt lave værdier forkastes ikke.

Skema bagerst i denne metodebeskrivelse.

Beregning foretages i tilhørende regneark.

Hovedpunkter i dette:

1.  $m_v$  beregnes som  $M_v/L_i$
2. Middelværdi for alle målinger af  $m_v$  bestemmes. Denne benævnes  $m_{v,m}$
3. Mørteltrykstyrken bestemmes som  $= 3,2 \times m_{v,m}$   
Her er forudsat enhederne [MPa] for mørteltrykstyrken og [Nm/mm] for  $m_{v,m}$
4. Murværkets trykstyrke bestemmes på sædvanlig vis  
$$f_k = K \times f_b^{0,7} \times f_m^{0,3}$$
med størrelser som angivet i EN 1996-1-1.

Bemærk for:

kalkrige* mørtler (L og LC) er	$f_m = 1/2 \times \text{Mørteltrykstyrken}$
cementrige* mørtler (C) er	$f_m = \text{Mørteltrykstyrken}$

\* kalkrige mørtler defineres som mørtler med et kalkindhold på 50 % eller mere af binde-middelmængden. Cementrige mørtler defineres ved mørtler med et cementindhold på

mere end 50 % af bindemiddelmængden. Såfremt udtrykket for cementrige mørtler anvendes, skal det aktuelle cementindhold sandsynliggøres ved prøvning, oplysning om mørtlen eller anden dokumentation.

Bemærk for:

rene kalkmørtler (L) er

$$E_{od} = 150 f_m f_d$$

andre mørtler (LC og C) er

$$E_{od} = \min(400f_m; 20f_b; 1000) f_d$$

For massive sten (gruppe I med K-faktor = 0,55) er minimumsværdien for  $f_m = 0,68$  MPa

For hulsten (gruppe II med K-faktor = 0,45) er minimumsværdien for  $f_m = 0,25$  MPa

(Iht. "ældre murværks styrkeegenskaber", SBI).

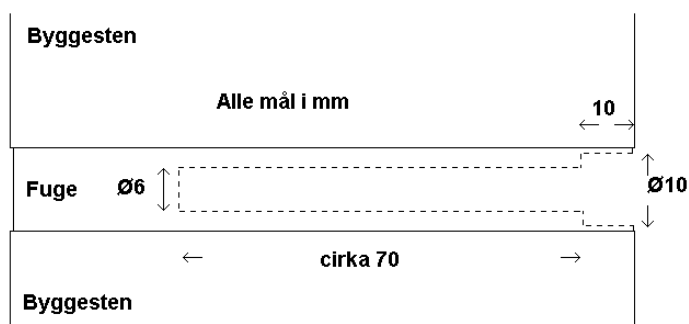
5. Murværkets friktionskoefficient bestemmes ud fra mørteltypen.

For L-mørtler er

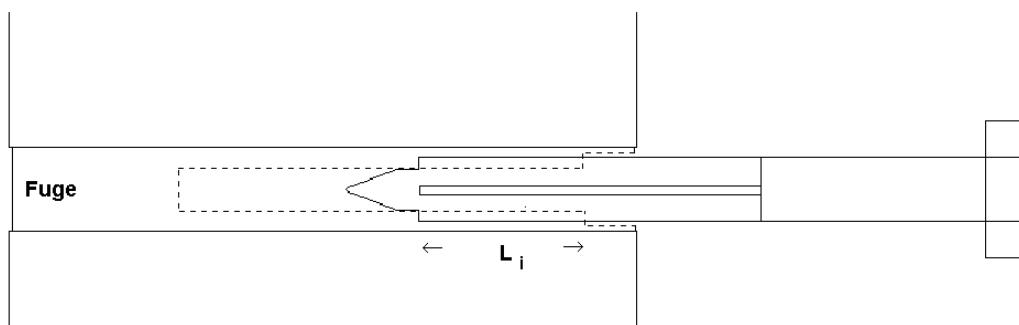
$$\mu_d = 0,6/1,2$$

For LC- og C-mørtler er

$$\mu_d = 1,0/1,2$$



Figur 1. Skitse af huller i fuger før indbankning af krydsbor.



Figur 2. Skitse af fuger efter indbankning af krydsbor.



Figur 3. Bestemmelse af  $L_i$ . Afstand til møtrik måles før og efter indbankningen.



Figur 4. Krydsbor bankes normalt 20-30 mm ind i fugen.





Figur 5. Momentnøgle med registrering af maksimal værdi anvendes til bestemmelse af  $M_v$ . Der holdes igen på krydsboret, således at den tilstræbte påvirkning alene er et vridende moment.



### Skema til anvendelse ved prøvning

Dato:

Sted:

Initialer:

Sag:

Bemærkninger:

Mørtel (L, LC, C):

Byggesten (K-faktor):

Ref. Nr.	L <sub>før</sub> (mm) Måles	L <sub>efter</sub> (mm) Måles	L <sub>i</sub> (mm) L <sub>i</sub> = L <sub>før</sub> - L <sub>efter</sub>	M <sub>v</sub> Måles	Nm eller LbIn