



Genbrug af byggesten

Dokumentation af væsentlige egenskaber



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Marts 2017

Titel:

Genbrug af byggesten
Dokumentation af væsentlige egenskaber

Rekvirent:

Udarbejdet for resultatkontraktmidler RK G1 Cirkulær Ressource Økonomi under IF

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Kongsvang Allé 29
8000 Aarhus C
Tlf. 7220 2000
Byggeri og Anlæg
Murværk
Abelone Køster

Kvalitetssikring:

Sagsansvarlig: Abelone Køster, tlf. 7220 3816, aek@teknologisk.dk

Godkendt af: Arash Ehtesham, tlf. 7220 1481, areh@teknologisk.dk

Opgave nr.: RK G1 2016

Version nr.: 01

Dato: 9. marts 2017

Indledning

Mursten af tegl har en lang levetid, ofte længere end den bygning de er indmuret i. Derfor er der i Danmark udviklet en metode til at afrense mursten fra nedrevet murværk, så de kan genbruges til nyt murværk. Da de gamle mursten således bruges på samme måde som nye mursten, har det rejst spørgsmålet om kravene til dokumentation af de genbrugte stens egenskaber.

Principielt må det antages, at genbrugte mursten i alt væsentligt må stilles og opfylde samme krav som nye, når de anvendes på samme måde. Teknologisk Institut, Murværk ønsker med nærværende notat, udarbejdet for resultatkontraktmidler, at afklare forholdene og fremkomme med et løsningsforslag vedr. prøveudtagning og statistisk færdigvarekontrol.

Notatet er gennemgået af Professor John Dalsgaard Sørensen, Aalborg Universitet, Institut for Byggeri og Anlæg, for vurdering af de statistiske forudsætninger og konklusioner.

Formål

Formålet med nærværende notat er:

- At undersøge hvilke krav der må stilles til dokumentation af mursten, som genbruges til samme anvendelse som nye sten
- At formulere en metode til statistisk evaluering af prøvningsresultater
- At opstille forudsætninger for fabriksproduktionskontrollen, som understøtter den statistiske metode.

Vurdering af prøvningsmetoder ligger uden for dette notat.

Dokumentationskrav for nyproducerede byggesten af tegl

Ved projektering af murværk anvendes i Danmark de fælleseuropæiske Eurocodes, specielt for murværk EC6 (DS/EN 1996-1-1 Eurocode 6 – Murværkskonstruktioner – Del 1-1: Generelle regler for armeret og uarmeret murværk). Anvendelse af standarden forudsætter, at byggesten er CE-mærkede iht. EN 771-1. Til bærende murværk forudsættes anvendt byggesten i kategori I.

For at efterleve kravene i EN 771-1 skal følgende opfyldes:

- De væsentlige egenskaber ved produktet skal deklarereres.
- Deklarerede værdier skal baseres på statistisk evaluering af prøvningsresultater fra færdigvarekontrollen, hvor det er relevant (*8.3.7 Statistical techniques*). Der henvises til ISO 12491.
- Specielt gælder for trykstyrken, at den skal deklarereres baseret på en 50 % fraktil med 95 % konfidens, for byggesten i klasse I.
- Fabriksproduktionskontrol (FPC) skal etableres, vedligeholdes og dokumenteres.

FPC danner grundlag for, at der kan udtages repræsentative stikprøver.

Statistisk metode for nyproducerede sten

I Danmark blev der i 2002 i regi af Dansk Murstenskontrol, og i samarbejde med John Dalsgaard Sørensen, etableret en statistisk metode til evaluering af prøvningsresultater ved færdigvarekontrol af teglbyggesten. Denne metode er senere blevet anerkendt i det europæiske system, og er beskrevet i Technical Report CEN/TR 16886 "Guidance on the application of statistical methods for determining the properties of masonry products" (2015). CEN/TR 16886 følger principperne i ISO 12491, som EN 771-1 henviser til.

Metoderne er baseret på opdeling af produktionen i kontrolafsnit, og udtagning af stikprøver fra disse. Den grundlæggende regneregler er;

Egenskabens værdi = middelværdi af stikprøve \pm sikkerhedsfaktor \times spredning på stikprøve.

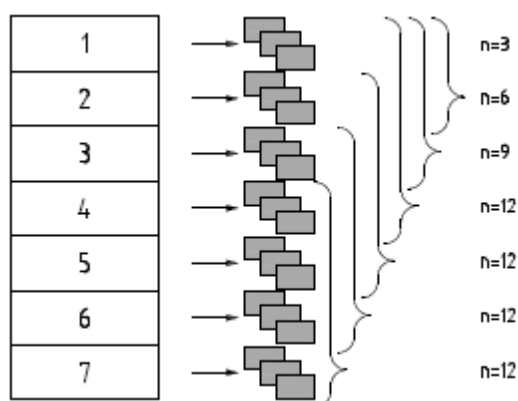
"Sikkerhedsfaktoren" afhænger af:

- Antal emner i stikprøven (lille stikprøve medfører høj sikkerhedsfaktor)
- Fraktilværdi (høj fraktilværdi medfører høj sikkerhedsfaktor)
- Konfidensniveau (højt konfidensniveau medfører høj sikkerhedsfaktor).

Det fremgår heraf, at producenten kan optimere de opnåede værdier ved at tage store stikprøver eller minimere spredningen. Det sidste kan i en industriel produktion ske ved at optimere styringen af de forskellige processer.

I CEN/TR 16886 opereres med to systemer til statistisk evaluering: metode A som er batch kontrol og metode B som er rullende kontrol. Ved batchkontrol tages en stikprøve fra hver batch/kontrolafsnit, og udfaldet af stikprøven afgør, om kontrolafsnittet er godkendt eller forkastet.

Ved rullende kontrol tages også en stikprøve fra hvert kontrolafsnit. Men stikprøven "pulses" med stikprøver fra de foregående kontrolafsnit. På den måde fås et større prøvningsgrundlag til at bedømme det seneste kontrolafsnit. Forudsætningen for at bruge denne metode er, at de enkelte kontrolafsnit kan siges at tilhøre en løbende produktion, som er nogenlunde ensartet.



Figur 1. Princippet ved udtagning af stikprøver i metode B, rullende kontrol

Figur 1 illustrerer den rullende kontrol. "Kasserne" 1 til 7 til venstre repræsenterer kontrolafsnit. Der udtages 3 sten fra hvert; de udgør stikprøverne. Når kontrolafsnit nr. 7 (det seneste) skal bedømmes, så anvendes stikprøverne fra kontrolafsnit nr. 4, 5, 6 og 7, i alt 12 sten, til at bedømme resultatet. Jo flere sten der indgår i prøven, jo mere information opnås, og jo mere sikkert kan man bedømme den sande værdi for den egenskab, som ønskes målt.

Forudsætningen for anvendelsen af metoden i CEN/TR 16886 er, at populationen kan antages at være normalfordelt eller log-normalfordelt. Dette kan testes på flere måder. Der er bl.a. beskrevet testmetoder for normalitet i CEN/TR 16886. Man kan også på et mere simpelt grundlag som histogrammer få et hurtigt overblik over om normalfordeling kan antages. Men det er normalt at antage, at emner fra en industriel proces, som er underlagt styring, vil have egenskaber som er normalfordelte.

I et FPC-system skal producenten altså, for at benytte metoderne i CEN/TR 16886, fastlægge:

- Hvilken metode A eller B skal benyttes
- Størrelsen af kontrolafsnit (må dog ikke være større, end repræsentativ prøve kan udtages)
- Størrelsen af stikprøven, dog mindst 6 sten (færre i metode B, hvor prøverne "puljes")
- Ved metode B, antal af kontrolafsnit, som indgår i en serie.

Disse valg har nogle konsekvenser for producenten:

- Hvis kontrolafsnittene vælges store, mindsker det prøvningsudgiften, men konsekvensen når en prøve dumper vil være store
- Hvis stikprøven vælges lille, mindsker det prøvningsudgiften, men de statistiske usikkerhedsfaktorer vil så give dårligere resultater, specielt hvis spredningen er stor.

Forhold ved genbrug af mursten fra nedrevet murværk

For at vurdere om ovenstående system kan finde anvendelse på genbrug af mursten fra nedrevet murværk, gennemgås nedenfor nogle almindelige forhold ved murværk og nedrivning af murværk.

Grundlaget for indvinding af mursten til genbrug er typisk murværk fra før ca. 1960, hvor der er anvendt svage mørtler – ofte kalkmørtel uden hydraulisk bindemiddel som cement.

Dette er indtil videre en forudsætning for at kunne afrense stenene.

Murværk frem til 1960 kan være massivt murværk, murværk med faste binderkolonner eller hulmur med trådbindere. Kombinationer af disse kan forekomme i den samme bygning.

For mursten produceret før 1960 gælder endvidere, at processen var langt mindre styret og ensartet end nutidens tegl. Teglet blev brændt i ringovne, hvor det ikke var muligt at

have præcis samme temperatur overalt. Til gengæld havde man megen viden og erfaring, således at man ved sortering kunne opdele stenene i "fuldbrændte" og mindre godt brændte sten, som blev anvendt i bagmuren.

Når murstenene ikke er brændt som ønsket, kan det resultere i:

- Dårligere holdbarhed over for frostpåvirkning (i opfugtet tilstand)
- For rødbrændende ler: dårlig saltbestandighed og indhold af salte fra brændingen
- Mindre styrke.

Ved nedrivning er det kun muligt at undgå sammenblanding af for- og bagmur, når der er hulmur – enten med faste bindere eller trådbindere.

Ved massivt murværk, og også når nedriveren ikke er omhyggelig med at holde de nedrevne mængder adskilt, vil for- og bagmursten blive blandet sammen, og man kan ikke påregne, at det er muligt ved visuel sortering af adskille dem igen. Dog hvis en forundersøgelse har vist, at formurens sten er røde, mens der er brugt gule eller blandede sten til bagmuren, vil det være muligt.

Hvis murværk nedrives fra større, karakteristiske byggerier, kan murstenene forventes at have samme oprindelse. Det vil da være rimeligt at antage, at egenskaberne er normalfordelte og har en moderat spredning, når blot sten fra for- og bagmur holdes adskilte.

Bagmurstenene kan dog ikke forventes at være normalfordelte, idet man ofte anvendte diverse rester til bagmur. Dette ses typisk i form af forskellige farver og typer af sten, hvor massive sten og cellesten kan være blandet i bagmuren.

Ved energirenovering af ældre murværk sker det, at man nedriver 1/2-sten fra facaden. Dette er naturligvis samme situation som ved adskilt nedrivning af for- og bagmur, hvor man opnår en fraktion af nogenlunde ensartede facadesten.

Hvis det nedrevne murværk ikke holdes sorteret og hvis man ikke har mulighed for at besigtige og evt. teste før nedrivningen, kan man ikke antage normalfordeling af murstenenes egenskaber.

Mursten, som fx afleveres på genbrugsstationer, vil komme i forskellige mængde fra forskellige byggerier og kan betragtes som en blanding af flere normalfordelte populationer. Spredningen vil være stor, og man kan ikke antage, at stenene er ensartet fordelt.

Derfor vil det umiddelbart ikke være muligt at udtage repræsentative stikprøver, efter samme retningslinjer som på et teglværk med en styret produktion.

Forskellige nedrivnings- og håndteringsscenarier vil resultere i forskellige blandinger af mursten, hvor nogle kan forventes at bestå af mursten med samme oprindelse og derfor med normalfordeling og moderat spredning, mens andre vil bestå af sten fra både for- og bagmur og sten fra forskellige bygninger i forskellig mængde.

Vurdering af statistisk grundlag og metoder

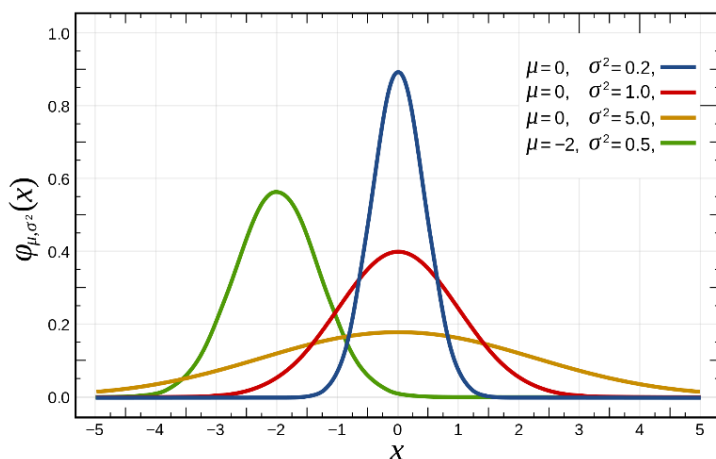
Der kan altså opstilles 2 scenarier ved indvinding af mursten fra nedrivning:

- Sorteret nedrivning af facadesten fra ét byggeri, hvor oprindelsen af stenene kan antages at være samme kilde
- Alle andre kilder til genanvendte mursten, dvs. blanding af facade- og bagmurssten fra ét byggeri, og sten fra flere kilder i varierende mængder.

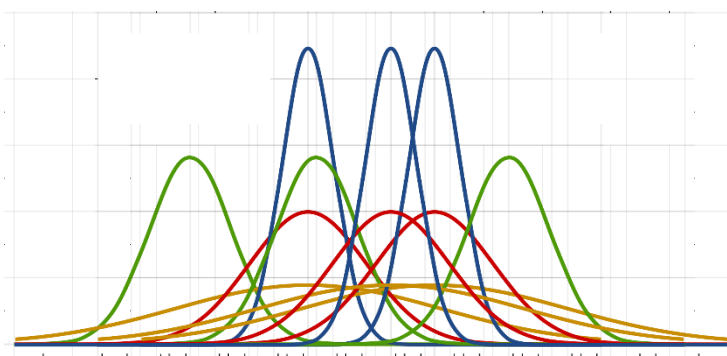
Man kan sammenligne det med metode A og metode B beskrevet i CEN/TR 16886.

Den sorterede nedrivning svarer til metode A, hvor stenene fra et givet byggeri svarer til et eller kontrolafsnit, opdelt efter fx bygninger eller facader. Partiet kan forventes at være normalfordelt, idet visuel bedømmelse og bygningens historik skal underbygge, at stenene kommer fra samme kilde. Kendskabet til tidligere tiders teglproduktion tilsiger, at produktionen vil være normalfordelt, men med en større spredning. Dette kan der kompenseres for ved udtagning af større stikprøver.

Metode B forudsætter en løbende produktion af nogenlunde ensartethed. Antages det, at de genanvendte sten udvindes løbende fra flere kilder, så kan man teoretisk, ved at blande en stor forsyning af sten fuldstændigt, opnå en tilnærmet normalfordelt mængde, idet hver delmængde af sten kan antages normalfordelt.



Figur 2. En blanding af stenpartier af forskellige størrelse, som hver især er normalfordelte med forskellig middelværdi og spredning, vil ikke udvise en normalfordelt mængde. Hvis de ikke er homogent blandede, vil det desuden være meget vanskeligt at udtage en repræsentativ stikprøve, specielt hvis stikprøven er lille: 6 til 10 sten.



Figur 3. Hvis mange stenpartier som i figur 2 blandes, vil fordeling af den samlede mængde nærme sig en normalfordeling. Den vil ganske vist have en stor spredning.

Det antages således, at under visse forudsætninger kan metode B anvendes til at dokumentere egenskaberne for genbrugte sten.

Forudsætningerne er som følger:

- Udvidingen sker i løbende proces med større mængder af sten, som behandles med nogenlunde ensartede mængder pr. uge.
- Leverancerne forudsættes at bestå af varierende mængder af forskellige sten, og de enkelte leverancer er dokumenterede for så vidt angår mængde, leveringstidspunkt og leverandør (nedriver eller genbrugsplads).
- Der sker en vis opblanding i forbindelse med processen (håndtering, rensning, sortering i farver, forpakning).
- Stikprøver udtages tilfældigt, blindt og løbende.
- Stikprøver har en passende størrelse og forudsættes større end ved udtagning fra nyproducerede sten.

Forudsætninger ved FPC for indvinding af mursten

Ovenstående forudsætninger skal beskrives i FPC-manual for indvindingsprocessen og dokumenteres. Som minimum skal der beskrives procedurer, som sikrer følgende:

- Ved leverancer af brokker eller sten til genbrug skal tidspunkt, leverandør og mængder registreres.
- Det skal visuelt undersøges om det givne læs ser ud "som det plejer", det vil sige at det er lige så blandet som det plejer at være. For at kunne gøre det er det nødvendigt at have en beskrivelse, gerne med fotos, af sædvanlige leverancer. Formålet er at kunne opfange og registrere atypiske leverancer, fx hvis der kommer større mængder af ensartede sten, som kan have væsentligt anderledes (dårligere) egenskaber end sædvanlige blandinger.
- Så vidt muligt skal stenene blandes sammen til en ensartet blanding, før stikprøver udtages. Det sker for at sikre, at delmængder af sten ikke overrepræsenteres i stikprøven. Dette medfører dog, at præcis sporbarhed til de enkelte leverancer af materiale mistes på dette punkt af forarbejdningsprocessen.

- Stikprøver skal udtages repræsentativt og derfor så spredt over populationen som muligt, da denne ikke kan antages at være vel blandet.
- Stikprøver bør have en mindste størrelse på 20 sten for at sikre, at den store spredning er repræsenteret korrekt i stikprøven.

Da stenene kan have meget forskelligartet udseende, kan det være svært at udtage en "blind" stikprøve uden at lade sig påvirke af stenenes udseende. Man skal både undgå at udtage samme type sten hver gang og undgå at udtage alt for forskellige sten. Fx hvis blandingen udgøres af 50 % gule maskinsten celle, 20 % gule massive sten, 20 % røde massive sten og 10 % andre stentyper, så ville det være rimeligt, at en stikprøve på 10 sten bestod af 5 gule maskinsten celle, 2 gule massive sten, 2 røde massive sten og 1 anden sten. Denne stikprøvesammensætning ville ved tilfældig udtagning være den mest sandsynlige. Men en operatør ville måske, for at blande stenene, tage hver anden gul og hver anden rød, hvilket ikke ville være en repræsentativ prøve. Eller tage 10 forskellige sten, hvilket heller ikke ville være repræsentativt. Det er derfor nødvendigt at virksomheden etablerer en procedure, som sikrer tilfældig stikprøveudtagning.

Dette kan opnås ved rullende kontrol. Det kan etableres fx på følgende måde:

- Kontrolafsnittet er 1 uges produktion, dog højst svarende til 20 m³ sten (som færdig produceret mængde).
- Der udtages 1 sten hver dag som ovenfor beskrevet. 2 sten hvis ugeproduktionen overskrider 20 m³.
- Der indgår 4 kontrolafsnit i den rullende kontrol.
- Stikprøven, som indgår i vurderingen af det seneste kontrolafsnit, vil da udgøres af mindst 20 sten.
- Under ovenstående forudsætninger kan metode B i CEN/TR 16886 anvendes.
- For trykstyrke anvendes 50 % fraktil og 95 % konfidensniveau, ensidig, ukendt spredning.

Der sættes en grænse for maksimal spredning af den enkelte prøve. Denne grænse sættes som det dobbelte af den gennemsnitlige spredning for alle prøver. Hvis denne grænse overskrides – skal stikprøvestørrelsen øges. Der skal for den enkelte virksomhed oprettes passende regler herfor, når der er opnået et kendskab til den normale spredning i produktionen.

For densitet, minutsug, vandoptagelse anvendes 2-sidig statistisk tolerance, 50 % fraktil og 75 % konfidensniveau.

Bemærkninger:

Grænsen for kontrolafsnittets størrelse vælges til 20 m³. Denne mængde svarer til det maksimale kontrolafsnitstørrelse fastsat i EN 771-1 for kontrol af en leverance.

Eftervisning

Før systemet tages i brug i en given produktionsproces, bør der fremskaffes data for 100-200 sten udtaget fra virksomhedens produktion.

Med disse data opstilles og beregnes scenarier med forskellige stikprøvestørrelser etc., hvor det testes hvordan regnereglerne vil virke, set i forhold til givne deklamationer.

Henvisninger

CEN/TR 16886: Technical Report CEN/TR 16886 "Guidance on the application of statistical methods for determining the properties of masonry products" (2015)

EN 771-1: DS/EN 771-1:2011+A1:2015 Forskrifter for byggesten til murværk – Del 1: Teglbyggesten

ISO 12491: ISO 12491:1997 Statistical methods for quality control of building materials and components.