

GENBRUG AF MURSTEN

**Forslag til undersøgelse af muligheder for
genbrug af mursten i forbindelse med renovering
af kommunale bygninger**

JANUAR 2016





KØBENHAVNS KOMMUNE

Københavns Kommune
Teknik og Miljøforvaltningen
Byens Anvendelse
Jord og Affald

Genbrug af mursten

**Forslag til undersøgelse af muligheder for genbrug
af mursten i forbindelse med reovering af kommu-
nale bygninger**

Rapport

Januar 2016

INDHOLD

1.	INDLEDNING.....	1
1.1	Genbrug af mursten	1
1.2	Opgave	1
1.3	Gennemførelse	2
1.4	Rapport	2
2.	VIDEN OG ERFARINGER OM GENBRUG AF MURSTEN	3
2.1	Tidligere erfaringer	3
2.2	Demonstrationsprojekter med genbrug af mursten	4
2.3	Genanvendelsesindsatsen 1986 – 1995, Genanvendelse af tegl.....	7
2.4	Fortsat udvikling af genbrug af mursten	8
2.5	Miljømæssige fordele ved genbrugte mursten	9
2.6	Seneste erfaringer.....	11
3.	MARKEDET FOR GENBRUGTE MURSTEN	14
3.1	Det potentielle marked	14
3.2	Efterspørgsel af genbrugte mursten	14
3.3	Barrierer for efterspørgsel af genbrugte mursten.....	15
4.	RESSOURCEOPTIMERING – ØKONOMI OG MILJØ	17
4.1	Genbrugsprocesser	17
4.2	Matching nedrivning og nybyggeri.....	18
4.3	Økonomi	20
4.4	Miljø.....	21
5.	ARBEJDSBESKRIVELSER M.V.	24
5.1	Nedrivning af murværk	24
5.2	Rensning af mursten	25
5.3	Muring med genbrugssten	25
5.4	Eksempelvis beskrivelser m.v.	26
6.	DEMONSTRATIONSPROJEKT.....	30
6.1	Formål	30
6.2	Mulige projekter som emner for demonstrationsprojekt	30
6.3	Erfaringsopsamling.....	30
6.4	Fremtidigt demonstrationsprojekt	32
7.	REFERENCER.....	33

1. INDLEDNING

1.1 Genbrug af mursten

Miljøministeriet har i *Danmark uden affald – Ressourceplan for affaldshåndtering 2013-2018* fokuseret på øget kvalitet i genanvendelse af bygge- og anlægsaffald og herunder peget på konkret initiativ for at øge genbrug af gamle mursten.

I København Kommunes *Ressource- og affaldsplan 2018* planlægger kommunen under Tema nr. 1 Mindre affald, initiativ nr. 3 Genbrug af mursten.

Som det fremgår af Affaldsplanens Planlægningsdel, vil kommunen i planperioden fremme genbrug af mursten. Det skal blandt andet gøres ved, at der opstilles særskilte containere til mursten på genbrugsstationerne. Mulighederne for genbrug af mursten i forbindelse med renovering af kommunale bygninger skal undersøges. I udredningsarbejdet vil miljøbelastningen og økonomien blive afdækket.

I samarbejde med aktører inden for bygge- og anlægsbranchen vil kommunen i planperioden etablere et demonstrationsprojekt, som skal vise, hvordan man med en god affaldshåndtering kan bevare genbrugelige mursten og andre materialer og lade dem indgå i nye bygninger. Målet er at opføre en ny bygning af materialerne fra en nedrevet bygning. Den nye bygning skal forsynes med materialer, der ikke indeholder problematiske stoffer. Dermed vil bygningen tjene som inspiration i forhold til kommende nedrivnings- og byggeprojekter.

Københavns kommune, Teknisk Forvaltning, Center for Miljø, Jord og affald, har i den anledning indgået aftale med Lauritzen Advising om at udføre undersøgelse af mulighederne for genbrug af mursten i forbindelse med renovering af kommunale bygninger.

1.2 Opgave

Undersøgelsen har omfattet:

- Indsamling og sammenfatning af viden og erfaringer om genbrug af mursten.
- Vurdering af markedet og markedsmekanismer i Danmark for afsætning af brugte mursten.
- Vurdering af de miljømæssige og økonomiske fordele ved genbrug af mursten sammenlignet med traditionel håndtering af tegl i bygge- og anlægsaffald.
- Forslag til input i arbejdsbeskrivelser for nedrivningsarbejder med krav om at udtage og genbruge hele mursten.
- Undersøgelse af muligheder for at gennemføre et demonstrationsprojekt om genbrug af mursten i København med kortfattet oplæg til projekt.
- Sammenfattende rapport.

De foreslåede undersøgelser omfatter ikke specifikt undersøgelse af arbejdsmiljø. Bæredygtighedsbetragtningerne omhandler primært CO₂ emission, energiforbrug og ressourcer.

1.3 Gennemførelse

Undersøgelserne, som er gennemført i perioden fra 1. november 2014 til den 30. november 2015, har omfattet følgende aktiviteter:

1. Indsamling og sammenfatning af viden og erfaringer
2. Undersøgelse af markedet og markedsmekanismer
3. Miljø og økonomi
4. Forslag til arbejdsbeskrivelser m.v.
5. Oplæg til demonstrationsprojekt

Aktiviteterne nr. 1 – 3 er afsluttet i januar 2015.

Aktivitet 4 omhandlende forslag til arbejdsbeskrivelser m.v. er afsluttet i november 2015 med en sammenfattende orientering fra Carlsberg Byen¹ om resultaterne af nedrivning af Søndermarks-huset med udtagning af hele sten til brug ved renovering af den fredede bygning Det Grå Hus.

Aktivitet nr. 5 om oplæg til demonstrationsprojekt er afsluttet i november 2015 med aftale om opsamling af erfaringer fra nedrivning af murstensbygning, Bygning 13, på Bispebjerg Hospital og genbrug af mursten i ny skolebygning på Katrinedals skole.

Genbrugsprojektet og erfaringsopsamlingen forventes afsluttet i foråret 2016.

1.4 Rapport

Rapporten redegør for baggrunden for genbrug af mursten og status for udviklingen samt de hidtil gennemførte og afsluttede undersøgelser. Udkast til endelig rapport har været til kommentering hos Københavns Kommune, Gamle Mursten og Carlsberg Byen.

Oversigt over referencer og personlige oplysninger fremgår af Tillæg 1.

Alle fotos, hvor ikke andet er anført, er taget Erik K. Lauritzen.

¹ Møde d. 25. november med Niels Nielsen og Thomas Clausen, Carlsberg Byen, Jonny Christensen, Københavns kommune TMF og Erik K. Lauritzen.

2. VIDEN OG ERFARINGER OM GENBRUG AF MURSTEN

2.1 Tidligere erfaringer

Granit og sten har altid været betragtet som genanvendelige ressourcer. Siden oldtiden har man fx genbrugt granit fra søjler i templer til bygningskonstruktioner og havnekonstruktioner. I Danmark var det i middelalderen almindeligt at bruge sten fra fx ødelagte fæstninger og herregårde til kirkebyggerier og bygning af nye slotte. Et af de kendteste eksempler er genbrug af mursten fra Kalø Slot til opførelsen af Charlottenborg på Kongens Nytorv – dog ikke som facadesten, men bagsten m.v.

Genopbygning efter krige er altid sket med størst mulig udnyttelse af de forhåndenværende ressourcer af byggematerialer fra de ødelagte bygninger. Genopbygningen i Tyskland efter 2. Verdenskrig skete i vid udstrækning med genbrug af mursten, tømmer og jern.

Ud over genbrug af hele mursten har det også været almindeligt at anvendte ødelagte eller nedknuste sten som tilslag til mørtel, beton eller andre bindemidler i nye fundamenter. Det er ikke mange år siden, at man ofte så den såkaldte murermeisterbeton med tilslag af knuste teglsten i fundamenter til nye bygninger.

Genbrug af mursten i den større skala hørte op i Danmark, såvel som Tyskland og andre europæiske lande, i løbet af 1950-1960erne med indførelse af nye standarder og skærpede krav til murstensbyggeri. I begyndelsen af 1980erne kom genanvendelse af bygge- og anlægsaffald atter på dagsorden rundt om i Verden. Med regeringens vedtagelse af affaldsloven blev der i 1984 sat fokus på genanvendelse og renere teknologi og dermed blev genbrug af mursten også genoptaget som en del af en større indsats inden for genanvendelse af bygge- og anlægsaffald (B&A affald).

I de følgende år blev der givet tilskud til en lang række projekter omhandlende genanvendelse af tegl til mange forskellige formål og især genbrug af hele mursten til renovering og nybyggeri, herunder:

- Tre projekter med bygning af nye huse i Odense, Horsens og København med genbrug af mursten
- Undersøgelse af tekniske egenskaber af genbrugte mursten
- Udvikling af maskiner til rensning af mursten
- Genanvendelse af nedknust tegl som tilslag til beton



Figur 1. Genbrug af granitsøjler i mur, fæstningen i Sidon, Libanon.



Figur 2. Betonfundament med tilslag af nedknust beton. Nedrivning af NKT Kabelfabrik 1985.



Figur 3. Byfornyelse i Borgergade, Dronningegården 1942 med genbrug af mursten og tømmer.
(Foto Københavns Bymuseum)

2.2 Demonstrationsprojekter med genbrug af mursten

I perioden 1990 – 1994 blev der opført tre huse i henholdsvis Horsens, Odense og København med ca. 80% genanvendte bygningsmaterialer med støtte fra *Rådet vedrørende genanvendelse og renere teknologi*. Formålet med demonstrationsprojekterne var at vise byggeri af fuldt funktionsduelige boliger med maksimal mængde af alle typer genanvendte bygningsmaterialer, herunder mursten. Husene i Odense og København er de mest kendte og dokumenterede. De henvises til Miljøstyrelsens publikationer²

² Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 78 1995 Genbrugshus Odense, <http://www.statensnet.dk/pligtarkiv/fremvis.pl?vaerkeid=2384&repid=0&iarkiv=1>

Det Genanvendte Hus i Korsgade 18-20, Købehavn

Bygherre: Foreningen Socialt Boligbyggeri

Arkitekt: Arkitektgruppen i Aarhus A/S

Huset blev opført med genbrugte mursten til facader (skalmur), ca. 130 t, og indvendige vægge, ca. 54 t, i alt 184 t og ca. 71.000 sten. Stenene kom for forskellige nedrivningsprojekter, herunder nedrivning af fægtehallen på Østerbrogades kaserne og enfamiliehuse på Amager i forbindelse med opførelse af landanlæg til Øresundsforbindelsen. Man forsøgte først at rense stenene maskinelt med en maskine, som på den tid var under udvikling. Maskinen virkede imidlertid ikke efter hensigten – for mange sten blev skadet -, hvorfor alle sten blev rensede i hånden på Københavns Kommunes anlæg på Irlandsvej.

Genbrugshus, Georgsgade. Odense

Bygherre: Byfornyelsesselskabet ODENSE

Arkitekt: Thorkild Kristensens Tegnestue A/S

Huset blev ligesom huset i København opført med genbrugte mursten i facaden (skalmur) 128 t og indvendige vægge 134 t, i alt ca. 262 t og ca. 100.000 sten. Stenene kom fra to nedrivningsprojekter i Odense. Det voldte en del problemer at finde de rigtige sten med den ønskede kvalitet og styrke. Murværkscenteret bistod med undersøgelse af styrkeegenskaber for mursten i henhold til DS 438.14 og undersøgelser af forskellige mørteltyper.

Erfaringer:

- Genbrug af mursten forudsætter, at nedrivningen sker som selektiv nedrivning og, at murstenene kildesorteres på nedrivningspladsen.
- Sorteringen af sten på pladsen bør udføres af fagfolk med kendskab til mursten.
- Sortering af stenen under nedrivning var tidskrævende og besværlig, idet det var nødvendigt at sortere facadestenen fra bagsten. Man kunne ikke være sikker på at bagstenen var frostsikre.
- Det er nødvendigt, at de rensede sten opbevares godt emballeret og tørt. I Odense viste det sig, at sten der var opbevaret uden emballage var vanskelige at opmure og gav anledning til saltudtrækning og misfarvning af murværket.
- Sten med misfarvninger af mørke materialer og specielle overflader gav anledning til misfarvning af det påførte vandskuringslag.
- Opmuring med genbrugsstenen adskilte sig ikke mærkbart fra opmuring med nye sten. En murer i København fandt dog stenene mere våde end nye sten, hvilket bevirkede at opmuring tog længere tid end normalt, da den umiddelbare vedhæftning mellem mørtel og sten var ringe. Det skal bemærkes, at man i Odense konstaterede, at uensartede sten og sten med forskellige buede kanter og hjørner besværliggør fugning af murværket.

- Håndrensning af mursten er kendetegnet ved at være et ensidigt belastende arbejde med en høj grad af repetition, der samtidig krævede koncentration og præcision.
- I Odense konstateredes at ca. 50% af stenene i det nedrevne udtagne murværk kunne anvendes.



Figur 4. Genbrugshus i Odense



Figur 5. Det Genanvendte Hus i København

I tilknytning til de tre demonstrationsprojekter havde Teknologisk Institut, Murværkscentret, gennemført tre delprojekter vedrørende genbrug af mursten:

- Maskinel afrensning af mursten
- Sammenligning af styrkeegenskaber for murværk
- Kriterier for genanvendelse af mursten

Undersøgelsen af maskinel rensning af mursten bestod i undersøgelse af mulighederne for at tilpasse en eksisterende rensningsmaskine, inklusiv ombygninger og prøvekørslere. Undersøgelserne endte med konklusionen, at det ikke var muligt inden for den rådige tid og midler at fremstille en tilfredsstillende maskine til afrensning af mursten. Dette førte til senere udvikling af ny maskine.

Murværkscentret afsluttede sammenligning af styrkeegenskaber for murværk med en positiv konklusion med hensyn til fremtidig genbrug af mursten, som fremgår af boks 1³.

Den tredje undersøgelse gik ud på at udvikle en metode til visuel bedømmelse af stenkvaliteten ved hjælp af skærfarven. Denne farve afhænger af teglets kemiske sammensætning, først og

³ DTI Byggeteknisk Institut, Murværkscentret: Sammenligning af styrkeegenskaber for murværk udført med nye og med genanvendte teglsten. 1994.

fremmest af jern- og kalkindholdet samt af brændingsgraden. Murværkscentret har afsluttet undersøgelse med rapport "Kriterier for genanvendelse af teglsten – en metode til bedømmelse af teglstens egenskaber ved hjælp af skærvfarven" 1992. Rapporten beskriver en metode til karakterisering af tegl til genbrug på grundlag af skærvfarven.

"Sammenligning af styrkeegenskaber for murværk udført med nye og med genanvendte sten" 1994 /8/. Rapporten omhandler forsøg med gamle mursten udvalgt til de tre genanvendte huse. Prøvningerne viser, at der kan opnås gode trykstyrker med genbrugte sten. Ud fra en stenklassebestemmelse kan der stort set regnes med samme basistrykstyrker, som der er angivet i murværksnormen. Serier af gamle sten viser meget større spredninger på trykprøvningsresultaterne end nye sten, hvilket sandsynligvis skyldes, at produktions-metoderne har ændret sig. Basisbøjnings-trækstyrkerne for murværk påvirket til bøjning omkring liggefugerne er for små i forhold til de styrker, der opnås for nyt murværk. De små styrker skyldes sandsynligvis, at stenene ikke er tilstrækkelig rensede, hvilket nedsætter vedhæftningen mellem sten og mørtel.

Boks 1. Murværkscentrets konklusion af sammenligning af styrkeegenskaber for murværk 1994.

I forbindelse med Genbrugshus i Odense gennemførte Murværkscentret undersøgelse af styrker af mørtelblandinger. Der udførtes forsøg med forskellige mørtelblandinger. For murværk opmuret med mørtelblandingen KC 50/50/70 opnåedes trykstyrker med en karakteristisk værdi fra 4,89 MPa til 7,10 MPa.

2.3

Genanvendelsesindsatsen 1986 – 1995, Genanvendelse af tegl

Med henvisning til lov nr. 532 af 16 1984, genanvendelsesloven, tog Miljøstyrelsen i 1986 initiativ til en koncentreret indsats inden for bygge- og anlægsaffald med indførelse af en række udviklingsprogrammer og handlingsplaner for renere teknologi og genanvendelse m.v. Den samlede indsats i den følgende 10-års periode er beskrevet i *Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 10 1996 Genanvendelsesindsatsen i bygge- og anlægssektoren 1986-1995*. Heraf fremgår en nedslående konklusion af vurdering af de fremtidige muligheder for genanvendelsen af tegl, som er citeret i Boks 2.

5.2.1 Genanvendelse af tegl

Tegl genanvendes i en vis udstrækning, men der er ikke tale om nogen organiseret genanvendelse i byggebranchen. Teglbrækker genanvendes hovedsagelig som nedknuste materialer til fyld og som grus på stier m.v.

Genbrug af hele mursten er teknisk gennemførlig, men ikke økonomisk fordelagtig. Genbrug af hele teglsten må derfor stadig betragtes som sporadisk og er endnu uden nævneværdig betydning for byggebranchen som helhed.

Boks 2. Vurdering af genanvendelse af genanvendelse af tegl, jf. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 10 1996 Genanvendelsesindsatsen i bygge- og anlægssektoren 1986-1995.

Den negative vurdering af de fremtidige muligheder for muligheder for genanvendelse af tegl, især genbrug af mursten, som nævnt i Boks 2, skyldtes primært, at det var nødvendigt med en større manuel og relativ dyr indsats for at frasortere og rense tegl.

De positive resultater fra genanvendelsesindsatsen 1986-95 med hensyn til genbrug af mursten er, at både de praktiske undersøgelser i forbindelse med de tre demonstrationsprojekter suppleret af Murværkcentrets undersøgelser viser klart, **at der er ikke påvist tekniske barrierer for genbrug af mursten.**

Resultaterne er senere bekræftet af undersøgelser af en serie gamle afrensede gule bløddstrøgne teglsten udført i 2011 af Teknologisk Institut, Byggeri for Old Clean Brick ApS (nu Gamle Mursten).

2.4 Fortsat udvikling af genbrug af mursten

Udviklingen af genbrug af mursten fortsatte de efterfølgende år bl.a. af virksomheden BrickCleaner Co. ApS, der indgik et samarbejde med Københavns Kommune om modtagelse af hele mursten til rensning. Det var virksomhedens vurdering, at der fortsat forestod en del udviklingsarbejde, inden en effektiv og økonomisk rensning kunne præsenteres. Virksomheden konstaterede en stigende interesse for anvendelse af gamle mursten i forbindelse med renoveringsarbejder i København, hvor der var et ønske om at bibeholde bygningernes patina. Ligeledes var der i forbindelse med enkelte nybyggerier i København anvendt gamle mursten ud fra en økologisk betragtning. I disse tilfælde har det bl.a. været argumentet, at der i murstenene er "gemt" betydelige mængde energi stammende fra produktionen, som det ud fra et miljømæssigt synspunkt vil være fornuftigt at genanvende.

I 2003 overtog Claus Nielsen BrickCleaner og fortsatte udviklingen af en patenteret teknologi til rensning af mursten på en ny fabrik i Svendborg og markedsførte genbrugte sten under navnet *Gamle Mursten*.

Alle tidligere maskinelle forsøg var baseret på en eller anden form for mekanisk påvirkning i form af skrabning, slibning, hugning m.v., som havde tilfælles, at stenen fik en fysisk påvirkning, der sjældent resulterede i den optimale rensning. Da mursten fra forskellige nedrivninger ofte er vidt forskellige og er muret med forskellige typer mørtel kræver rensprocessen en passende fysisk påvirkning, der på den ene side skal være tilstrækkelig til, at stenen bliver renses og på den anden side ikke må være så kraftig, at stenen skades. De tidligere maskinelle rensemetoder gik ofte ud over hjørnerne på stenene.

Den ny metode består i at stenene føres i et bånd under et kraftigt smidigt stålnet, der vibrerer og sliber mørtelrester af som vist på fotos figur 6. Smidigheden i rensprocessen sikrer, at stenen ikke beskadiges. Maskinrensning suppleres med håndrensning i nødvendigt omfang.



Figur 6. Foto visende den maskinelle renseproces af mursten hos firma Gamle Mursten

Ud over udvikling af selve renseprocessen har Gamle Mursten også udviklet særlige føde- og sorteringsanlæg, der som et integreret anlæg er i stand til at producere op til 7.000 rensede sten i timen.

Gamle Mursten har i dag to anlæg henholdsvis i Svendborg og Hedehusene og tilbyder genbrugte sten af mange forskellige typer til varierende priser, der er konkurrencedygtige med priserne på nye sten. Der henvises til hjemmesiden www.gamlemursten.dk. Ved udgangen af 2015 har Gamle Mursten indgået partnerskaber med kommuner, offentlige og private selskaber om indsamling og rensning af mursten til genbrug.

2.5 Miljømæssige fordele ved genbrugte mursten

Henset til miljømæssige fordele og bæredygtighed er der to overordnede fordele ved genbrug af mursten, nemlig besparelse af ressourcer, specielt af råstoffer, og besparelse af energi, specielt CO₂ udledning.

Med henvisning til Miljøstyrelsens *Ressourceplan for affaldshåndtering 2013-2018* gives i *kapitel 7 Øget kvalitet i genanvendelsen af bygge- og anlægsaffald* initiativ for øget genbrug af gamle mursten, som fremgår af Boks 3.

Teglmurstenene stammer typisk fra byggerier fra 1900-1960. Murstenene er brændt i en gammeldags ringovn, hvor kul har bidraget til at give leret unikke farvekombinationer. Den gamle produktionsproces bidrager endvidere til at give stenene lang holdbarhed og indebærer et godt indeklima. Når stenene genbruges, anvendes hydraulisk kalkmørtel til at mure med. Det gør det muligt at rense stenene og anvende dem på ny. Genbrug af gamle mursten er hermed med til at bevare vores kulturarv.

Genbrug af mursten frem for produktion af nye sten kan bidrage til at spare energi. Hovedparten af energiforbruget i en murstens livscyklus ligger i fremstillingen af stenen – en proces, der udgår ved brug af genbrugssten³⁵.

I dag anvendes patenteret teknologi til at rense murstenene. Nuværende kapacitet er rensning af 5.000-6.000 sten i timen. Murstenene kommer fra huse, der nedrives, samt fra genbrugspladser i de kommuner, hvor der er etableret et samarbejde. Til et almindeligt enfamiliehus anvendes typisk ca. 16.000 mursten.

Produktion af nye mursten er en CO₂-producerende proces. Foreløbige beregninger indikerer, at genbrug af murstenene frem for at anvende dem som erstatning for primære råstoffer kan forventes at spare miljøet for op mod 0,5 kg CO₂ pr. genbrugt mursten. Det fulde potentiale for genbrug af gamle mursten antages at være 30 mio. sten. I så fald vil den samlede CO₂-besparelse potentielt betyde, at miljøet kan spares for op mod 15.000 tons CO₂ pr. år.

Tegl og mursten er byggeaffald, der skal udsorteres med henblik på nyttiggørelse. Typisk er tegl og mursten blevet knust og anvendt som erstatning for primære råstoffer. Ressourcen i de mursten, der potentielt kan genbruges, er derfor traditionelt ikke blevet udnyttet.

Boks 3. Initiativ for øget genbrug af gamle mursten, Miljøstyrelsens ressourceplan for affaldshåndtering 2013-2018.

Besparselsen af CO₂ udslippet på 0,5 kg CO₂ pr. genbrugt mursten er beregnet ud fra energiforbruget og CO₂ udslip ved produktion af nye sten. Med henvisning til NIRAS rapport *Carbon Foot print analyser af udvalgte byggematerialer, november 2009* oplyses, at ved den europæiske massefremstilling af mursten udledes 0,182 – 0,520 kg CO₂ pr. kg mursten, og at der ved fremstilling af mursten i Danmark udledes henholdsvis 0,310 kg CO₂ og 0,234 kg CO₂ pr. kg mursten svarende til 0,651 og 0,492 kg CO₂ pr. sten for henholdsvis gule og røde sten. Ifølge NIRAS rapporten giver nedrivning og rensning af sten et samlet bidrag på 0,027 kg CO₂ pr. sten, ekskl. transport. Dvs. der tale om en gennemsnitlig besparelse fra 0,624 – 0,465 kg CO₂ pr. sten for henholdsvis gule og røde sten, i gennemsnit på 0,54 kg pr. sten uanset farve. CO₂ udledning under transport er ikke medregnet.

Danmarks Tekniske Universitet har for Miljøstyrelsen udarbejdet en LCA analyse af genanvendelse og genbrug af murstenton. Af Miljørapport nr. 1512 2013 fremgår, at genbrug med substitution af facadesten miljømæssigt set er en mere fordelagtig behandlingsmetode end genanvendelse ved nedknusning. Der henvises til uddrag af de overordnede konklusioner i Boks 4.

Overordnet kan det konkluderes, at oparbejdning af murstensaffald med henblik på genbrug giver anledning til en række miljøbesparelser (dog ikke i alle miljøpåvirkningskategorier) i forhold til genanvendelse i form af nedknusning af murstensaffald til vejbygning. Dette skyldes hovedsagelig, at man ved genbrug erstatter nye mursten, hvorved man undgår de miljømæssige omkostninger ved fremstilling af mursten, herunder energiforbrug og tilhørende emissioner. Da energiforbrug og emissioner ved oparbejdningsprocessen til genbrug er mindre end ved produktion af nye mursten, leder det til potentielle nettobesparelser i en række påvirkningskategorier ved genbrug af mursten.

Mht. drivhuseffekt resulterede genbrug (med en udsorteringseffektivitet fra murstensaffald på 64,5 %) af mursten til nybyggeri med substitution af facadesten i en potentiel miljøbesparelse på -13,4 mPE/ton murstensaffald (-103,6 kg CO₂-ækvivalenter/ton murstensaffald). Ved genbrug med substitution af bagsten var den potentielle miljøbesparelse mindre og androg -6,8 mPE/ton murstensaffald (-52,6 kg CO₂-ækvivalenter/ton murstensaffald). Genanvendelse ved nedknusning til vejbygning ledte til en lille potentiel nettomiljøbelastning på 0,6 mPE/ton murstensaffald (4,5 kg CO₂-ækvivalenter/ton murstensaffald). Der var en lignende forskel på forbruget af fossile brændsler. I genanvendelsesscenarioet var der et nettoforbrug af fossilt brændsel på 0,8 mPE,

hvorimod der i genbrugsscenerierne var besparelser på -20 mPE ved genbrug med substitution af facadesten og -11 mPE per ton murstensaffald ved substitution af bagsten.

Det kan på den baggrund konkluderes, at når man tager hensyn til rangordenen af scenarier i miljøpåvirkningskategorierne drivhuseffekt, forsurening, fotokemisk ozondannelse og forbrug af fossile brændsler, er genbrug med substitution af facadesten miljømæssigt set en mere fordelagtig behandlingsmetode end genanvendelse.

Boks 4. Uddrag af overordnede konklusioner af LCA af genbrug af mursten, udført af DTU, Miljøprojekt nr. 1512, 2013.

2.6 Seneste erfaringer

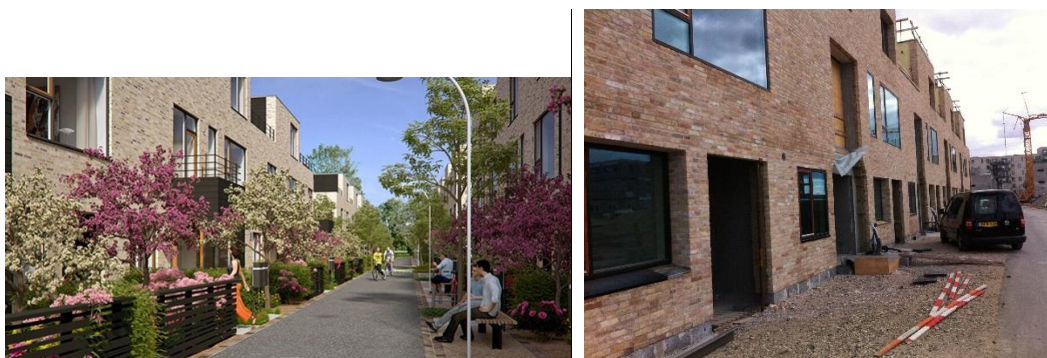
Med udvikling af Gamle Murstens rationelle metoder til rensning af mursten er der sket en betydelig fremgang i efterspørgsel af genbrugte sten ikke blot til renovering og reparationsarbejder men også til nybyggeri i større skala. Med henvisning til Gamle Murstens hjemmesider er der fremvist en række afsluttede byggeprojekter med genbrugte sten.

Den vakte interesse for genbrug af mursten har også haft en afsmittende virkning på nedrivningsbranchen som helhed, idet mange bygherrer i udbud af nedrivningsentrepriser også ønsker tilbud på rensning af større eller mindre partier mursten til genbrug ved retablering af tilbagestående bygninger. I disse tilfælde er det langt fra altid tilfældet, at stenene renses maskinelt. Det sker ofte ved håndkraft ved relativt primitive metoder som rensning på en "elefantrist" eller blot med en murhammer.

NCC er i gang med at opføre en større bebyggelse på Islands Brygge kaldet *Havneviggen* med en blandet bebyggelse bestående af rækkehuse og lejligheder i alt 397 boliger. Gamle Mursten har indgået aftale om at levere 750.000 genbrugte sten til byggeriet. Vandkunsten er arkitekt.



Figur 7. Udviklingsprojektet Havneviggen under opførelse med strandhuse, byhuse og tårne i baggrunden, NCC <http://www.ncc.dk/ledige-boliger/sog-bolig/kobenhavn/havneviggen/strandhuse/>



Figur 8. Fotomodel af byhuse i Havneviggen (tv) og byggeri med facader af genbrugte mursten (th) (NCC, Vandkunsten).

Under udvikling af Carlsberggrunden og transformation af bygningsmassen har Carlsberg Byen gennemført en række spændende projekter med genbrug af bygninger, bygningsdele og bygningsmaterialer samt renovering af bygninger. Carlsberg Byen har i denne forbindelse gode erfaringer med genbrug af mursten. Facaden på den gamle administrationsbygning bygget i 1902 på Vester Fælledvej er genopbygget med genbrugte mursten, ca. 10.000 sten, som vist på figur 9.

I forbindelse med nedrivning af en større murstensbygning, Søndermarkshus, har Carlsberg Byen aftalt med nedrivningsfirma P. Olesen og Sønner A/S, at der udtages og renses hele mursten til genbrug i en efterfølgende renovering af det Grå Hus, bygget i 1875 og fredet. Huset er solgt til Khäler Design⁴. Nedrivning og rensning af ca. 8.000 sten blev udført i udført januar-februar 2015 med henblik på renoveringsarbejder senere på året. Arbejdet med nedrivning og genbrug af genbrug af mursten er nærmere beskrevet i afsnit 5.

⁴ <http://www.carlsbergbyen.dk/nyheder/historisk-perle-i-carlsberg-byen-er-nu-solgt/>



Figur 9. Ny facade på Carlsbergs på gamle administrationsbygning.



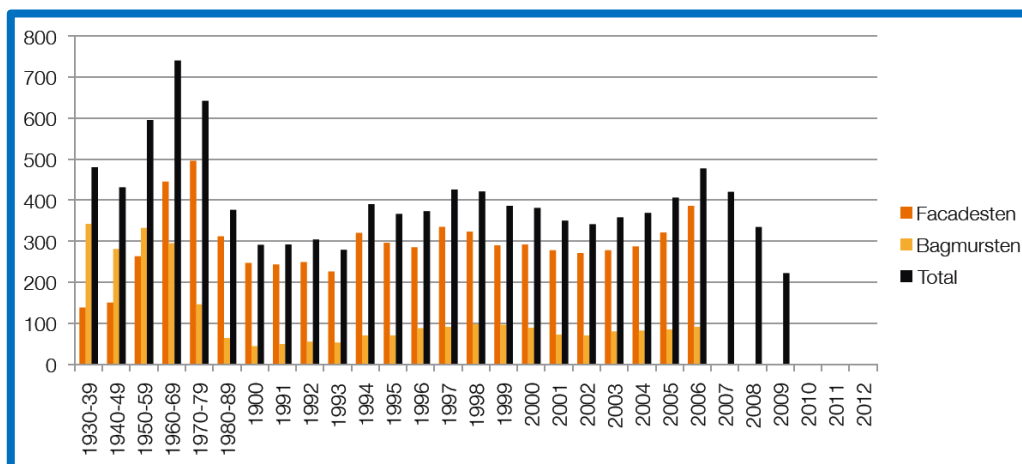
Figur 10. Den fredede bygning, Det Grå Hus, før renovering (tv) og efter renovering med genbrugte mursten (th) fra den nedrevne nabobygning, Søndermarkshus.



Figur 11. Genbygget trappe på et Grå Hus med genbrugssten.

3. MARKEDET FOR GENBRUGTE MURSTEN

3.1 Det potentielle marked



Figur 12. Den årlige gennemsnitsproduktion af mursten (mio. sten)⁵.

Miljøstyrelsen anslår, se boks 3, at det fulde potentielle marked for genbrugte sten ligger på 30 mil. Sten om året. Der gives ingen reference til overslaget, og da der ikke er nogen, der har overblik over hvor store mængder byggeaffald og dermed også hvor store mængder affald af murværk, der produceres årligt, må det betragtes som groft skøn. Skønnet kan underbygges med en antagelse om, at der årligt produceres 5 millioner t byggeaffald, hvoraf halvdelen er ikke registreret i affaldsdatasystemet. Antager vi at 50 %, dvs. 2,5 millioner tons udgøres af tegl, hvoraf ca. 50% er tagsten, mørtel og andre typer tegl m.v. som ikke kan genanvendes står vi tilbage med 1,25 mil. t. Med en gennemsnitlig vægt på 2,1 kg pr. sten får vi i alt en teoretisk mængde på 60.000.000 sten. Hertil kommer spørgsmålet om alderen på de pågældende bygninger, der nedrives, idet man regner med at alle murstensbyggerier efter 1955 er muret med cementmørtel, som ikke kan renses af stenene. Med en sidste antagelse om at 50% af nedrivningerne handler om bygninger før 1955 lander vi på et estimat, der svarer til Miljøstyrelsens skøn på 30 mil. sten.

Sammenlignet med den årlige gennemsnitsproduktion af mursten, som ligger på størrelsesorden 300 millioner sten, vist i figur 12, kan vi se, at potentialet ligger på 10% af den årlige produktion. Dette er interessant i betragtning af det samlede potentiale af genanvendelige materialer til substitution af naturlige råstoffer også ligger på omkring 10% af den samlede indvinding af råstoffer fra land og hav. Det skal i denne forbindelse nævnes, at København i slutningen af 1990'erne har præsteret at substituere 18% af råstofforbruget med genanvendelige materialer⁶.

3.2 Efterspørgsel af genbrugte mursten

Undersøgelsen har omfattet interview af en række bygherrer og arkitekter, som er kendt for at bygge med genbrugt mursten (Carlsberg Byen, Thorkild Kristens Tegnestue A/S, Tegnestuen

⁵ http://bygitegl.dk/pdf/Skema_aarlige_murstensproduktion.pdf

⁶ Planlægning af Københavns kommunes behandling af bygge- og anlægsaffald. Miljøstyrelsen, udarbejdet af DEMEX maj 1996

Vandkunsten, Henning Larsen Architects m.fl.). Et valg af genbrugte sten til byggerier frem for nye sten har ofte været en eller flere af følgende motiveringer:

- Reparation af facader og bygninger, hvor det er ønskeligt at reparationerne falder sammen med det oprindelige murværk.
- Bygherrens ønske om demonstration af bæredygtighed, grøn tænkning og samfundsansvar (Corporate Social Responsibility, CSR)⁷.
- Ved anvendelse af genbrugte sten opnås en reduktion på 0.5 kg CO₂ pr. sten sammenlignet med muring med nye sten, hvilket er en fordel ved et energirigtigt byggeri.
- Genbrug af mursten tæller i certificering af byggeriet i henhold til fx DGNB.
- Bygherrens ønsker om noget gammeldags og rustikt. Det gælder fx indretning af lokaler, butikker, restauranter m.v.
- Genbrugte sten ser simpelthen bedre ud end tilsvarende nye "rustikke" sten.
- Arkitekter foretrækker kulbrændte, håndstrøgne sten frem for maskinstrøgne gasbrændte sten.
- Ved muring med genbrugssten opnås flere muligheder for farvetoner og varierende forbandt med løber og kop. Man kan fx anvende alle sider på genbrugssten, hvilket ikke kan udføres med nye maskinsten.

Prisniveauet for nye sten varierer fra 2 kr. til 15 kr., og for særlige sten over 20 kr. pr. sten. Prisen for en gennemsnitssten ligger typisk omkring 5-7 kr. Brugte mursten ligger på samme niveau, dog, med større udsving. På Internettet kan man finde brugte sten til 1 kr. pr. stk. og særlige sten til langt højere priser.

Der foreligger ingen konkret information om priser for bygning med genbrugte sten sammenlignet med priser for bygning med nye sten, idet priserne for genbrugte sten afhænger af en række variable forhold. Det gælder især nedrivning og rensning af sten, som kan udføres på mange forskellige måder. Carlsberg Byen har oplyst, at nedrivning og håndrensning af sten leveret på stedet har ligget på 15 – 29 kr. pr. sten. Enkelte bygherrer, rådgivere og arkitekter har tilkendegivet en opfattelse af, at det er dyrere og mere kompliceret at bygge med genbrugte sten. De fleste adspurgte arkitekter finder imidlertid, at de særlige kvaliteter, der ligger i genbrugte sten, fuldt ud kompenserer for den økonomiske forskel.

Gamle Mursten, tilbyder genbrugssten til konkurrencedygtige priser på samme niveau som nye sten med hensyn til mængder og kvalitet.

Prismæssigt og kvalitetsmæssigt er der tilsyneladende ingen uoverkommelige barrierer med hensyn til efterspørgsel af genbrugssten.

3.3 Barrierer for efterspørgsel af genbrugte mursten

Spørgsmålet er herefter om hvilke barrierer, der hæmmer efterspørgslen og afsætningen af genbrugte sten. Følgende årsager kan tænkes at spille ind:

- Usikkerhed omkring priserne.

⁷ I november 2014 stiftedes Foreningen for Byggeriets Samfundsansvar, hvor medlemmerne har underskrevet Charter for samfundsansvar i ejendoms-, byge- og anlægsbranchen i Danmark. Heri indgår erklæring om at vi arbejder for bæredygtige løsninger og tilstræber anvendelse af byggematerialer, der er bæredygtigt produceret.

- Usikkerhed omkring tekniske kvaliteter.
- For mange uensartede sten og for små partier, kun meget begrænsede lagervarer.
- Usikker forsyning af sten fra nedrivningsentreprenører med hensyn til leveringstid og mængder.
- Manglende samarbejde mellem nedrivningsentreprenører og aftagere af sten til rensning og genbrug.
- Der er tale om et særligt marked og særlige aktører. STARK er blevet spurgt om interessen for at handle med genbrugte sten. Det har ingen interesse, idet markedet er for lille, det er besværligt og fortjenesten er for ringe – lad nedrivningsbranchen om det!⁸
- Efter manges opfattelse er genanvendelse en særlig kultur, som signalerer ”fodformethed” og, at man ikke er fremme ”i skoene”.

Ligesom ved genanvendelse af beton og tegl som sekundære råstoffer til substitution af naturlige råstoffer, gælder det om at matche behovet for materialerne med efterspørgslen. Det er langt vanskeligere at markedsføre genbrugte sten som lagervare til faste priser, end markedsføring af nye sten fra teglværkerne. En bygherre og hans arkitekt, der beslutter sig for at bygge med genbrugte sten, må ud og finde en matchende leverance af genbrugte sten med en passende kvalitet og levering med hensyn til den planlagte tid.

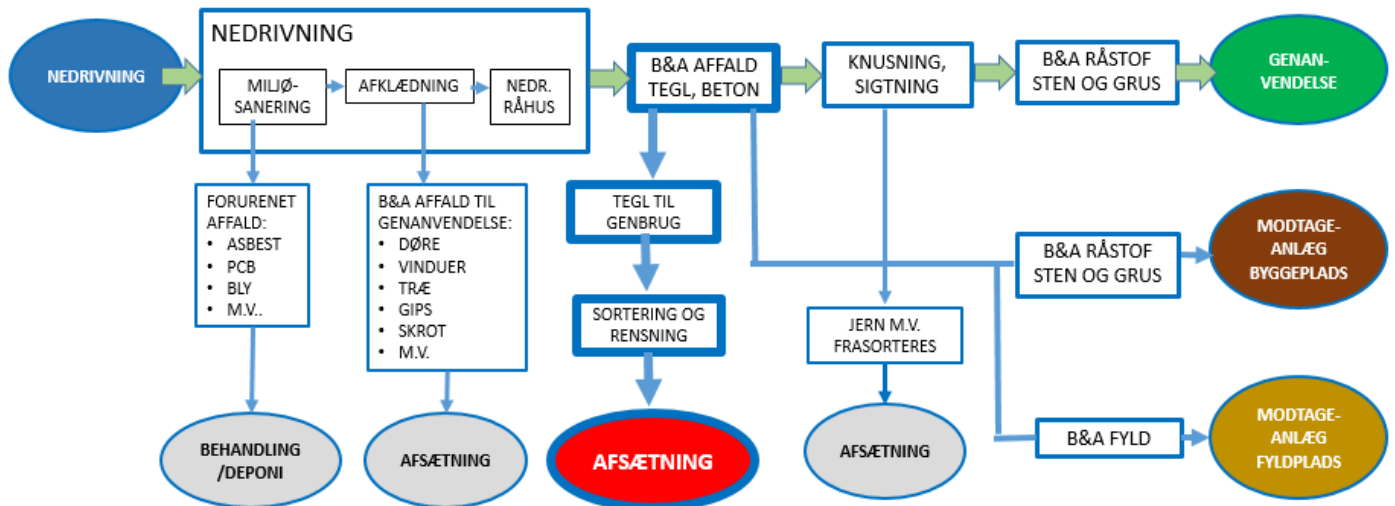
Derfor er det vigtigt at se genanvendelsesprocessen i en samlet helhed dvs. fra nedrivning til nybyggeri.

⁸ Forespørgsel til STARK C.F. Richs Vej, Frederiksberg.

4. RESSOURCEOPTIMERING – ØKONOMI OG MILJØ

4.1 Genbrugsprocesser

Genbrug af mursten handler om nedrivning af murstensbygninger, udtagning af sten, rensning af sten og nybyggeri med genbrugte sten som vist på principskitse figur 13.

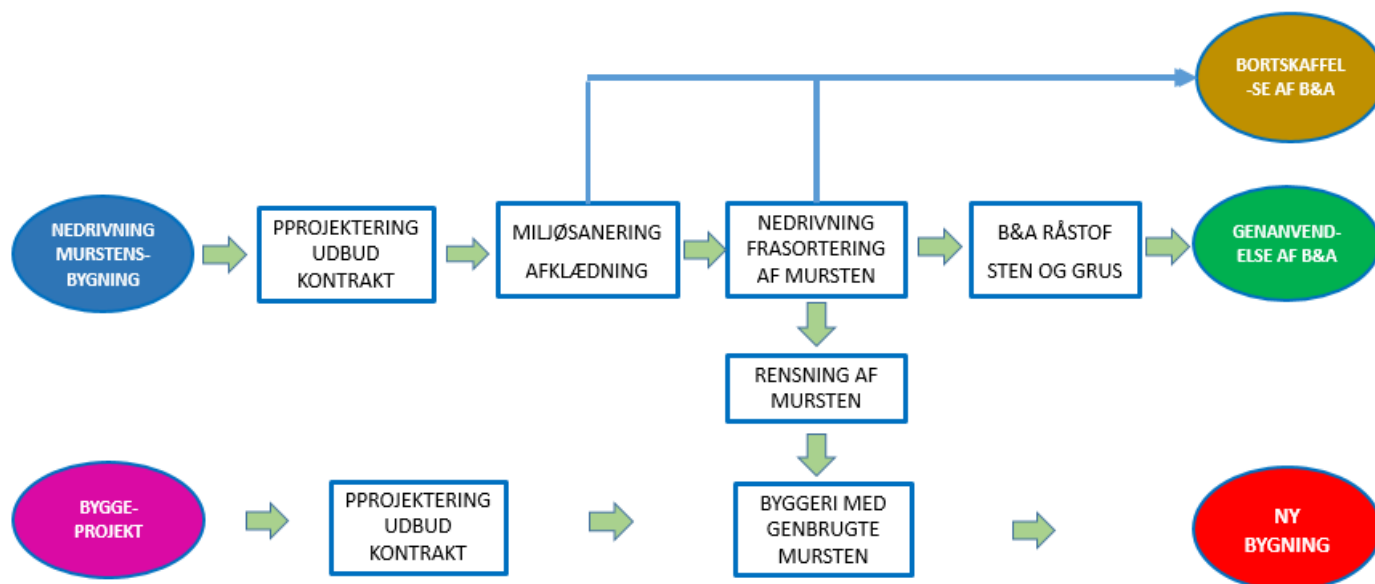


Figur 13. Principskitse for genanvendelsesprocesser i et normalt nedrivningsforløb med fremhævelse af processerne for genbrug af mursten.

Inden nedrivning anbefales generelt, at der er foretaget en opgørelse af genanvendelige ressourcer. Der findes ingen regler eller krav til kortlægning af materialer før nedrivning, men det er hensigtsmæssigt, at man inden nedrivning har gjort sig klart hvilke muligheder, der er for nyttiggørelsen af materialerne. Det gælder især mursten, tømmer, tegl og beton. I tilfælde af nedrivning af større murstensbygninger, som fx nedrivning af to bygninger på Rigshospitalet 2014 – 2015, er det vigtigt at forholde sig til spørgsmålet om teglaffaldet skal genavendes i nedklistret form, om murstenene skal udtages med henblik på rensning og genbrug eller, om affaldet blot skal køres til udvidelse af Køge Havn eller andet sted.

Hvis det er hensigten at levere sten til genbrug, skal nedrivningen udføres med sortering af bagsten fra facade sten og størst mulig hensyn til at skåne stenene under nedrivningen. Det kræver, at der er indgået aftale mellem bygherre og nedrivningsentreprenør og eventuelt også aftageren af sten til rensning og genbrug.

Nedrivning af en murstensbygning med henblik på størst mulig genbrug af mursten koster mere end nedrivning uden hensyntagen til genbrug af sten. Hensynet til sortering af sten og udtagning af sten uden skader kræver opmærksomhed og særlige arbejdsmetoder. Der er udviklet praktiske metoder til at vælte murstensvægge indefra eller udefra, som gør det relativt nemt at sortere bagsten og facadesten. Nedrivning af bygninger i flere etager sker med maskiner, der kører tæt på bygningen og derved kommer til at køre i de nedrevne sten, medmindre der bruges særlige metoder til at udtage mursten. Sådanne metoder er endnu ikke set på nedrivningsmarkedet.



Figur 14. Optimeret proces for nedrivning med henblik på genbrug af mursten med matching af bygherre-nedrivning's behov for en økonomisk fordelagtig afhændelse af mursten med bygherrenybyggeri's behov for fordelagtig levering af genbrugte mursten. .

Aktuelle erfaringer har vist, at firmaer, der renser sten til genbrug ikke umiddelbart kan forvente at få gratis leveret murbrokker med pæne sten til rensning fra en nedrivningsentreprenør. Derfor er det vigtigt, at der bliver skabt klare forudsætninger og rammer for levering af sten fra nedrivning med henblik på genbrug. Såfremt en bygherre ønsker genbrug af mursten som element af en nedrivningsopgave eller en genanvendelsesvirksomhed ønsker sten fra en nedrivningsopgave, er det nødvendigt, at der før nedrivning indgås klare aftaler om gennemførelse af nedrivningen og levering af sten og brokker til genanvendelse i et bestemt nybyggeri.

4.2 Matching nedrivning og nybyggeri

Det kan ikke forventes at en bygherrer vil acceptere ekstra omkostninger til nedrivning af murstensbygninger for at genbruge mursten med medmindre, at han kompenseres økonomiske eller immaterielt, evt. politisk. Dvs. for at fremme genbrug af mursten skal der skabes en win-win situation, hvor alle involverede får en fordel af genbrugsprocessen.

Nedrivning af murstensbygninger med henblik på udtagning af hele sten til genbrug kan ske ved forskellige kombinationer af maskinelle og manuelle processer. Disse processer er i dag slet ikke udviklet og systemiseret. Der er behov for udvikling af metoder til udtagning af mursten, således at man sikrer størst mulig kvalitet af de udtagne sten og mindst mulig frasortering af affald under den efterfølgende rensningsproces.

Udvikling af maskinelle metoder til rensning af mursten er stadig baseret på stationære anlæg. For at spare på transport vil det være ønskeligt om der også blev udviklet mobile eller semimobile anlæg til rensning af mursten på stedet hvor nedrivning finder sted.

Set ud fra en overordnet helhedsorienteret vurdering ser den optimale proces for genbrug af mursten ud som vist på figur 14. Processerne indeholder følgende forudsætninger og aktioner:

På nedrivnings-siden:

- ✓ Bygherre-nedrivning planlægger nedrivningsprojekt ud fra de sædvanlige forudsætninger om den mest fordelagtige økonomiske løsning. Han informeres om mulighederne for genbrug af mursten og overvejer de økonomiske konsekvenser.
- ✓ Rådgiver-nedrivning undersøger alder af bygning, kvalitet af sten og mulig efterspørgsel af genbrugte mursten.
- ✓ Bygherre-nedrivning projekterer og udbyder nedrivningsprojektet med mulighed for alternative tilbud for nedrivning med henblik på genbrug af mursten.
- ✓ Nedrivningsentreprenøren indgår aftale med genbrugsentreprenør (rensning og levering af genbrugte sten) om udtagning af fleste mulige sten og eventuelt levering til rens anlæg.
- ✓ Bygherre-nedrivning og nedrivningsentreprenør indgår kontrakt om nedrivning og udtagning af sten til genbrug.
- ✓ Nedrivningsentreprenør gennemfører nedrivning og udtagning af hele sten som aftalt.

På nybyggeri-siden:

- ✓ Bygherre-nybyggeri beslutter på oplæg fra arkitekt at opføre nybyggeri eller renovering af eksisterende bygning med genbrugte mursten.
- ✓ Rådgiver-nybyggeri undersøger markedet for levering af genbrugte sten af den rigtige kvalitet, den tilstrækkelige mængde til den planlagte tid for opmuring af facader m.v. i det forestående byggeri.
- ✓ Bygherre-nybyggeri projekterer og udbyder byggeprojekt med krav om anvendelse af genbrugte mursten.
- ✓ Entreprenør-nybyggeri indgår aftale med genbrugsentreprenør om levering af genbrugte mursten om levering af sten med den rette kvalitet, tilstrækkelige mængder med levering til planlagte tider.
- ✓ Genbrugsentreprenør leverer rensede sten fra nedrivning til nybyggeri.

Herefter er der spørgsmål om ansvar og risici mellem parterne. Principielt bør aftaler om genbrug og leverancer af genbrugte sten holdes på entreprenørniveau. Således at det er entreprenøren for nybyggeriet, der er ansvarlig for leverancer af de genbrugte sten med risici for fejl og mangler.

Ligeledes er det vigtigt at der er konkrete specificerede aftaler mellem nedrivningsentreprenør og genbrugsentreprenør om overdragelse af sten til genbrug og hermed ansvar for kvalitet og leverance af stenene.

Der kan blive tale om aftaler om bygherreleverancer både på nedrivnings-siden og på nybyggeri-siden med hensyn til udtagning og levering af sten, men sådanne aftale bør nøje overvejes for ikke at skabe konflikter under udførelse af de respektive entrepriser. Hensigtsaftaler om processerne med henblik på genbrug af mursten kan måske være nyttige, men de kan ikke stå alene.

Aktioner	Aktivitet
Bygherre	Undersøgelse af sten i bygninger der skal nedrives for at fastslå alder, kvalitet bl.a. på grundlag af vurdering af skærvfarve, jf. Murstenscentrets anvisninger.
Bygherre	Planlægning, projektering og udbud, herunder særlige betingelser og beskrivelser af arbejdet forbundet med udtagning, oplægning og evt. levering af sten og murbrokker til genbrug.
Nedrivningsentreprenør	Selektiv nedrivning med særlige metoder og hensyn til udtagning af størst mulige mængder af hele sten. Ud over specielle måder at nedrive bygningerne, almindelig forsigtighed og manuel nedrivning gives der endnu ikke udviklet særlige metoder eller udstyr til dette formål.
Nedrivningsentreprenør	Besparelse ved mindre mængde til modtageanlæg, genanvendelse
Nedrivningsentreprenør / Genbrugsentreprenør	Håndtering af sten og brokker på pladsen, læsning og transport til afrensning.
Genbrugsentreprenør	Rensning af mursten ved håndkraft eller maskinelt sædvanligvis på særlig plads i afstand fra nedrivningsplads.
Genbrugsentreprenør	Palletering, lagring i kortere eller længere tid, levering af sten til nybyggeri.
Bygherre nybyggeri	Planlægger og projekterer nybyggeri med genbrugssten.
Entreprenør nybyggeri	Modtager genbrugssten og bygger med genbrugssten
Genbrugsentreprenør	Bortskaffelse af affald fra brokker og renseprocesser

Tabel 1. Oversigt over aktioner med direkte omkostninger, som er forbundet med genbrug af mursten.

4.3 Økonomi

Hidtil har man ikke set specielt på omkostningerne og den særlige økonomi, som måtte være forbundet med nedrivning af murstensbygninger med henblik på genbrug. Lige som anden genbrug

af installationer, døre og vinduer m.v. har nedrivningsentreprenører inviteret genbrugsentreprenører til at udtage genbrugseffekter, herunder også sten, efter aftale på særlige vilkår og evt. betaling den ene eller anden vej.

Levering af murbrokker og hele sten til genbrugsentreprenør uden betaling har ofte kunnet betale sig for nedrivningsentreprenøren i stedet for at aflevere brokkerne til modtageanlæg med betaling af modtageafgift og transport.

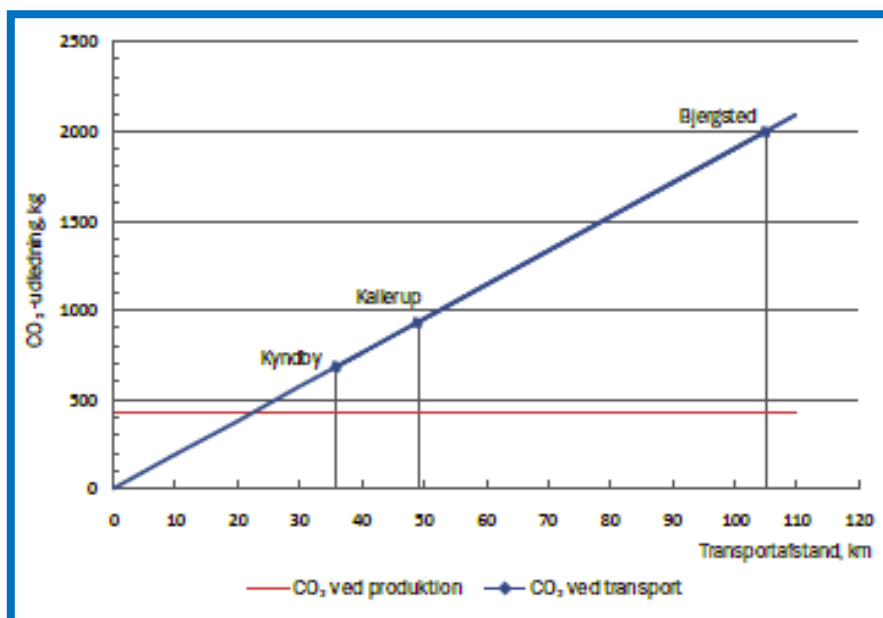
Den direkte økonomi, som er forbundet med udtagning, rensning og levering af genbrugt mursten er forbundet med aktioner som vist i Tabel 1.

4.4

Miljø

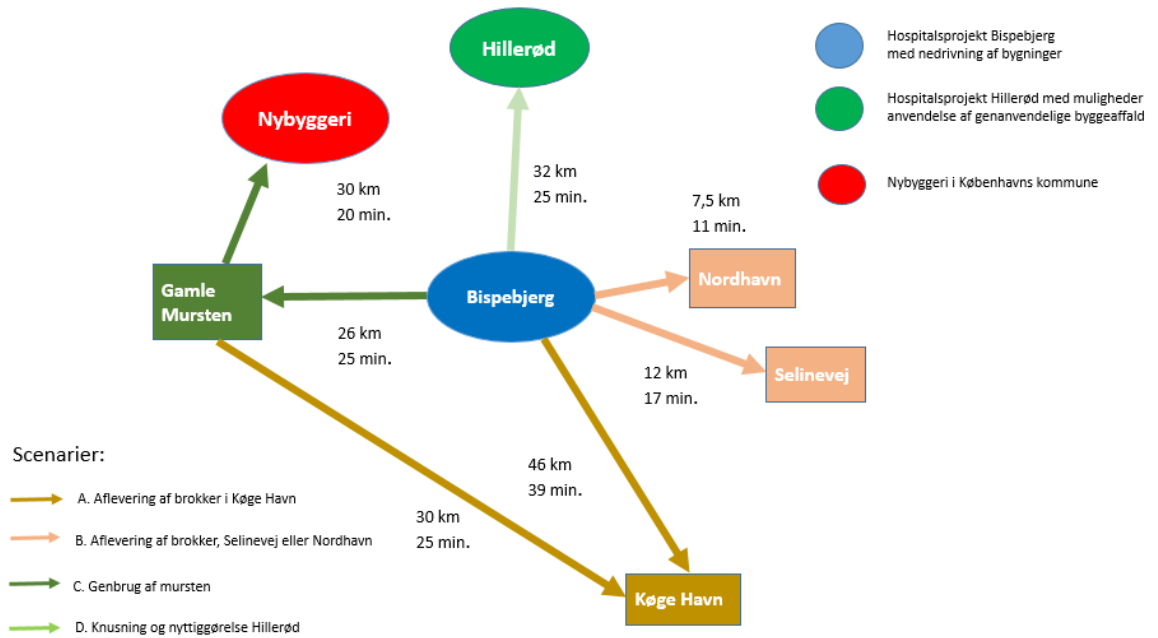
Genbrug af mursten er karakteriseret ved besparelse af CO₂ udslip med 0,5 kg CO₂ pr. mursten. Denne besparelse omfatter udslip af CO₂ under nedrivning og renseprocesserne, men ikke transport.

Som det fremgår af nedenstående figur 15 med forklaring skal der regnes med ca. 0,1 kg CO₂, pr. t pr. km transport. Sammenlignet med besparelse af CO₂ ved genbrug af mursten synes CO₂ forbruget under transport ikke meget, men det bør dog indgå som en faktor i en samlet miljøvurdering. Ligeledes bør dieselforbrug tages med i beregningen. Der bør lægges mest mulig vægt på at minimere transportomkostninger og de hermed forbundne miljøbelastninger, se eksempel figur 16.



Figur 15. Beregnet CO₂ udledning ved produktion (rød linie) og transport (blå linie) af 100 m³ grus / 180 t grus, jf. Region Hovedstadens Råstofplan 2012, Miljøvurdering af Råstofplan 2012. Af figuren ses en udledning på 2000 kg CO₂ ved en transportafstand på 105 km. Dette giver en gennemsnitlig enhedsmængde for CO₂ udledning på $2000/105 \times 180 = 0,106$ kg/t/km. Jf. rapport til Hovedstadsregionen om nyttiggørelse af bygge- og anlægsaffald og overskudsjord i regionens hospitalsprojekter. December 2014.

I tidligere undersøgelse af genbrug af mursten har arbejdsmiljøet påkaldt sig stor opmærksomhed, især med hensyn til arbejdsstillinger, fysisk belastning, støv, støv og vibrationer. Dette gælder især håndrensning af sten. En sammenfattende oversigt over "miljøregnskabet" fremgår af tabel 2.



Figur 16. Et tænkt eksempel på et nedrivningsscenario med genbrug af mursten som delelement, baseret på undersøgelser for Hovedstadsrådet.

Miljøbelastning	Aktivitet
Nedstyrtningsfare, arbejdsstillinger, støj, støv andre risici, Ekstra energiforbrug	Selektiv nedrivning med særlige metoder og hensyn til udtagning af størst mulige mængder af hele sten. Ud over specielle måder at nedrive bygningerne, almindelig forsigtighed og manuel nedrivning gives der endnu ikke udviklet særlige metoder eller udstyr til dette formål.
Energiforbrug CO2 udslip, påvirkning af naboer, støj og støv,	Håndtering af sten og brokker på pladsen, læsning og transport til afrensning.
Arbejds miljø, støv og støj, energiforbrug	Rensning af mursten ved håndkraft eller maskinelt sædvanligvis på særlig plads i afstand fra nedrivningsplads.
Forbrug af plads	Palletering, lagring i kortere eller længere tid.
CO2 besparelse, 0,5 kg pr. sten	Levering af genbrugte sten til nybyggeri.
Affald	Bortskaffelse af affald fra brokker og renseprocesser

Tabel 2. Oversigt over direkte omkostninger, som er forbundet med genbrug af mursten.

5. ARBEJDSBESKRIVELSER M.V.

Det er en forudsætning for genbrug af mursten, at der gives konkrete arbejdsbeskrivelser for

- Nedrivning af murværk med udtagning af hele mursten med henblik på genbrug,
- rensning af sten og klargøring til nybyggeri, og
- muring med genbrugte sten.

Der findes ikke på nuværende tidspunkt offentliggjorte vejledninger og beskrivelser for genbrug af mursten. Carlsberg Byens har på grundlag af erfaringer både som nedrivningsbygherre og nybygnings-bygherre i forbindelse med renovering af den gamle administrationsbygning på Vesterfælledvej og Det Grå Hus givet en række nyttige oplysninger om arbejdsbeskrivelser og aftaler med entreprenørerne. Hertil kommer de seneste erfaringer fra opmuring af facade på ny bygning på Katrinedals Skole i Vanløse samt oplysninger fra Gamle Mursten.

5.1 Nedrivning af murværk

Nedrivning af murværk skal ske på en sådan måde, at der frembringes et størst muligt antal hele sten og, at stene ikke beskadiges. Udførelsen kan ske ved nedtagning af stenene ved håndkraft eller forsigtig nedrivning med maskiner eller kombination af håndkraft og maskiner.

Nedrivning ved håndkraft

Nedtagning, jf. Carlsbergs arbejdsbeskrivelse for nedrivning af Søndermarkshuset med henblik på genbrug ved renovering af Det Grå Hus i Carlsberg Byen:

1. Murstenene nedtages en for en.
2. Murstenen løsnes fra murværket nænsomt, evt. med små slag med træskaflet af en hammer.
3. Murstenen renses for mørtel til ren tegl.
4. Murstenene lægges (ikke smides) på paller med 3 pallerammer.
5. De sten med mindre skader lægges i selvstændige kasser.
6. Halve sten lægges ligeledes i selvstændige kasser.
7. Sten lægges i kasserne; de skal ikke stå på kant.
8. Pallerne placeres således, at de nemt kan nås med pallegaffler.
9. Stenen fragtes til opmagasineringsplads anvist af Bygherren.

Gavlspidserne nedtages med lang-arm, øvrigt nedtages som beskrevet ovenfor.

Nedrivningsentreprenøren P. Olesen A/S har udviklet metode med gummiinddækning af skovlen, til nænsom nedtagning af murværk og løsning af sten under væltning bagud i skovlen.

Nedrivning med maskiner

Der foreligger forskellige udtalelser om erfaringer fra nedrivning med maskiner:

- Nedrivning af 1 – 2 etages bygninger udføres med gravemaskine ved at trække facaderne ned udefra.
- Nedrivning af 3 etagers og højere bygninger kræver ofte en højere arbejdsplads med kørsel i brokker indvendigt som kælderopfyld eller udvendigt oplagte brokker. Det er vigtigt at skåne brokkerne mest muligt ved udlægning af køreplader til aflastning af tryk for maskiner eller anden form for afdækning.
- Ved højere bygninger bør de anvendes maskiner med lang-arm.
- I nogle tilfælde, når der er tale om dobbeltstens hulmur, er det muligt at adskille bagsten fra facadestenen.
- Opsamling af sten bør ske i containere i stedet for læsning og transport med sættevogn.

- Størst mulig begrænsning af spild af sten.
- Der er behov for tid til nedrivning af sten til genbrug. Korte tidsfrister for nedrivning er ofte barrierer for udtagning af sten til genbrug.

5.2 Rensning af mursten

Mursten til genbrug renses enten på stedet eller et sted i nærheden ved håndkraft eller køres til rensning ved særligt anlæg til rensning af mursten, typisk Gamle Mursten.

Rensning ved håndkraft kan ske ved brug af en "elefantrist" eller anden type rist, fx gammel radiator er nævnt, eller evt. håndholdt diamantskraber.

Krav til rensning er, at al mørtel skal fjernes på alle seks sider. For at præcisere kvaliteten af rensning, blev der ved nedrivning af Søndermarkshuset i Carlsberg Byen udpeget tre referencesten, som model for kvaliteten af rensningen.

Efter rensning oplægges sten på paller og overdækkes, således at de er klar til opmuring.

Beskrivelse af rensning af sten og kvaliteten af rensningen hos Gamle Mursten fremgår af hjemmesiden www.gamlemursten.dk.

5.3 Muring med genbrugssten

Muring med genbrugssten bør som konsekvens af genbrugstanken og Cirkulær Økonomi ske med en kalkmørtel, som muliggør senere adskillelse af murværket. Til muring med genbrugssten har Kalk A/S i samarbejde med Gamle Mursten udviklet en særlig funktionsmørtel, som er nærmere beskrevet i hjemmesider⁹. Denne type mørtel er brugt til opmuring af facader med genbrugssten på nye bygninger på Katrinedals Skole, Vanløse. Se efterfølgende afsnit om demonstrationsprojekt.

Fra opmuring af facade på den første nye bygning på Katrinedals Skole er er foreløbig indhentet følgende erfaringer¹⁰:

- Der blev muret med sten fra tre forskellige kilder, herunder Carlsberg Byen og mindre bygninger på Bispebjerg, hvilket var i overensstemmelse med bygherrens krav til sporbarhed.
- Der blev leveret røde sten med en mørk indfarvning. Leveringen og indfarvningen var udført af Gamle Mursten.
- Der blev observeret forskelle i størrelser (bredde, højde og længde) af stenene. Stenene var leveret blandet på paller. Mureren forklarede, at det krævede lidt opmærksomhed under udtagning af sten fra pallerne på stilladset. Opmærksomheden på stenstørrelse var især vigtig ved muring omkring betonpillerne, hvor det kneb med plads. Problemet med forskellige størrelser af sten vil kunne undgås ved levering af sten fra en eller flere nedrivninger, hvor sten og stenstørrelser er kontrolleret.
- ½ sten bliver hugget på stilladset. Det blev anbefalet, at Gamle Mursten leverede ½ sten, således at man kunne spare tid til hugning af sten.

⁹ <http://tegl-erfa.dk/node/341>, <http://kalk.dk/da/build-lasting-culture/ny-c2c-kalkmoertel>

¹⁰ Møde om genbrug af mursten på Katrinedals Skole, Vanløse, d. 10. september 2015 med deltagelse af repr. For Miljøstyrelsen, Københavns Kommune, Sweco, Gamle Mursten, P. Olesen A/S og Lauritzen Advising.

- Mørtlen var indfarvet kalkmørtel, leveret af Gamle Mursten.
- Der observeredes sten med huller. Gamle Mursten oplyste, at hulsten mureteknisk set ikke adskilte sig fra almindelige sten og, at hulsten ikke var noget problem.
- Mureren oplyste, at sugningen var anderledes en sugning ved muring med almindelige sten. Gamle Mursten oplyste, at stenenes sugsevne afhæng af stenenes styrke og type samt det forhold at brugte sten har en anden sugsevne end nye sten. Dertil kom det forhold at muring med kalkmørtel er forskellig fra muring med cementmørtel. Problemet med stenenes forskellige sugsevne kan også løses ved levering af ensartede sten fra en sporbar nedrivning.

I forbindelse med renovering af Det grå Hus har Carlsberg Byen Carlsberg haft den kedelige oplevelse at konstatere, at nogle af de genbrugte sten til renovering, viste sig at være 5 mm for høje, hvilket medførte at 400 stem måtte slibes med diamantrasp. Ved reparationsarbejder er det vigtigt, at de genbrugte sten har nøjagtig samme størrelse som de sten, der er anvendt i murværket, der skal repareres. Ved nybyggeri har man bedre mulighed for håndtere lidt afvigende stenstørrelser.

Opmærksomheden henledes på at det er vigtigt, at de sten der leveres til mureren på stilladset, er kontrolleret med hensyn til farve, størrelse, rensning og kvalitet, således at der ikke skal bruges tid til sorteringsarbejde på stilladset.

Ud fra sammenfattende erfaringer fra Carlsberg, Katrinedals Skole og andre projekter med genbrug af konkluderes, at det ikke er noget problem at mure med genbrugssten sammenlignet med muring med nye sten. Det forudsættes dog, at murene gives tid til lige at vænne sig til, at de genbrugte sten fremtræder lidt anderledes.

5.4 Eksempelvis beskrivelser m.v.

På grundlag af ovenstående erfaringer skal der gives følgende eksempelvis formuleringer til beskrivelser m.v., som oplæg til afprøvning i et senere demonstrationsprojekt.

Beskrivelserne kan anvendes uanset, om bygherren for henholdsvis nedrivningsarbejdet og nybyggeri har besluttet sig for genanvendelse af mursten eller blot overvejer genanvendelsen som option (alternativt tilbud).

Beskrivelse af betingelser og udførelse af nedrivningsarbejde skal udmønte bygherrens ambitioner med hensyn til genbrug af mursten. Dvs. at bygherren, som ønsker at genbruge stenene fra nedrivning til eget byggeri eller reparation af eksisterende bygninger, skal formulere beskrivelser og krav i passende detaljer, medens bygherren, der ikke har en særlig interesse i genanvendelse kan begrænse sin beskrivelse til en general accept af, at murværk nedrives med henblik på genbrug.

Det er således vigtigt, at beskrivelserne på den ene side tilpasses forventningerne til kvalitet og resultat af nedrivning og på den anden side ikke giver anledning til større omkostninger end nødvendigt sammenlignet med traditionel nedrivning og bortskaffelse af murværk.

Særlige betingelser (SB) for nedrivning af murværk med henblik på genbrug af mursten

Nedrivningsentreprisen omfatter nedrivning af murværk og rensning af mursten med henblik på genanvendelsen:

- Nedrivningsarbejdet skal udføres som selektiv nedrivning, dvs. at murværk nedrives i forbindelse med nedrivning af råhus efter stripping og miljøsanering af bygningen.

- Entreprenøren har det fulde ansvar for, at bygningen og vægge er stabile under nedrivning af murværk.
- Rensning af mursten kan finde sted på nedrivningspladsen eller på anden ekstern plads efter aftale med bygherren.
- Mursten til genbrug er bygherrens ejendom. De rensede mursten til genbrug skal afleveres på en af bygherren udpeget oplagsplads. Bygherren betaler omkostninger for transport fra nedrivningsplads til aftalt oplagsplads.
- Entreprenøren skal medregne alle omkostninger til nedrivning og rensning af mursten med henblik på genbrug i sin tilbudssum.

Særlig arbejdsbeskrivelse (SAB) for nedrivning af murværk med henblik på genbrug af mursten

Nedrivning af murværk skal ske på en sådan måde, at der frembringes et størst muligt antal hele og ubeskadigede mursten.

Nedrivning af murværk skal udføres ved nedtagning af stenene ved håndkraft eller forsigtig nedrivning med maskiner eller kombination af håndkraft og maskiner:

- Murværk i vægge over 2 etagers højde skal nedtages med grabbe eller lang-arm og gummiforet skovl.
- Murværk op til 2 etager kan nedtages med gravemaskine med nedfald på blødt underlag, evt. underlag af brokker.
- Sten skal fyldes forsigtigt i containere med henblik på transport. Stenene må ikke transporteres med alm. transportkøretøjer eller sættevogn.
- Bagsten og facadesten skal sorteres og transporteres afskilt (forudsætter at dette er muligt og hensigtsmæssigt).
- Murværk skal neddeles på pladsen. Hele sten og halve sten skal sorteres og transporteres særskilt.
- Løs mørtel og skadede sten skal frasorteres og bortskaffes.
- Kørsel med maskiner på brokker med sten til genbrug må ikke finde sted, medmindre brokkerne er afdækket med køreplader.
- Mursten til rensning og genbrug opbevares sorteret og vandtæt afdækket i containere på anvist sted.

Særlig arbejdsbeskrivelse (SAB) for rensning af mursten med henblik på genbrug

Rensning af mursten skal udføres med henblik på opførelse af facader på nybyggeri (.....evt. nærmere anført byggeri) som følger:

- Mursten skal renses enten på stedet eller på plads godkendt af bygherren eller køres til rensning ved særligt anlæg til rensning af mursten.
- Rensning kan ske ved håndkraft eller med maskinelt udstyr. Entreprenøren er frit stillet med hensyn til metodevalg.
- Rensning af sten skal udføres således, at der opnås et størst muligt antal hele sten og mindst muligt spild. (*en specifik spildprocent / genbrugsprocent kan overvejes indsat*)
- Al mørtel skal fjernes på alle seks sider.
- Inden nedrivning og rensning påbegyndes skal bygherre og entreprenør blive enige om at udpege tre referencesten, som modeller for kvaliteten af rensningen.

- Efter rensning oplægges sten på paller i 4 tårne af 80 mursten på en murpalle, i alt 320 mursten på en palle. Pallens afdækkes med strækfolie, tykkelse 20 my, og vikles kun rundt om pallen - toppen af pallen er åben, så stenene kan ånde.
- De rensede sten oplagres på aftalt sted efter bygherrens anvisning.
- Dokumentation for sporbarhed, renhed og kvalitet efter bygherrens nærmere specifikation.

Tilbudsliste (TL) og tilbuds- og afregningsgrundlag (TAG) for nedrivning og rensning af mursten med henblik på genbrug

Post		Mængde, stk., sum	Pris, kr.
x.1	Nedrivning af murværk med henblik på genbrug af mursten		
x.1.1	Opstilling og indretning af arbejdsplads	Sum	.....
x.1.2	Nedrivning, sortering og oplæg i containere	xxxxx t	.....
x.1.3	Transport til oplagsplads	xxxxx t	.....
x.1.4	Bortskaffelse af restaffald	xxxxx t	.....
	Sum		.....
Post		Mængde, stk. sum	Pris, kr.
y.1	Rensning af mursten		
y.1.1	Modtagelse og forberedelse til rensning inkl. evt. sortering.	Sum	.....
y.1.2	Rensning af sten	xxxxx stk.	.....
y.1.3	Palletering og transport til oplagsplads	Sum	.....
y.1.4	Dokumentation	Sum	.....
y.1.5	Bortskaffelse af restaffald	xxxxx t	.....
	Sum		.....

Tilbuds og afregningsgrundlag (TAG)

x.1.1 Alle omkostninger til de nødvendige og tilstrækkelige foranstaltninger, der er direkte forbundet med nedrivning af murværk, oplægning og afdækning af sten i containere.

x.1.2 Alle omkostninger til udstyr og mandskab og afregnes efter opmålte mængder i containere. En udpeget container køres på vægt.

x.1.3 Transport til oplagsplads betragtes som bygherreomkostning og indgår ikke i tilbudssum.

x.1.4 Alle omkostninger til bortskaffelse af rester af murværk, løs puds m.v. til nærmeste godkendte modtageanlæg, inkl. afgift til anlægget og affaldsafgift.

y.1.1 Alle omkostninger til de nødvendige og tilstrækkelige foranstaltninger, der er direkte forbundet med modtagelse og tømning af containere med murværk, eftersortering af sten, oplæg og klargøring til rensning af sten.

y.1.2 Alle omkostninger til rensning af sten opgjort efter antal rensede sten.

Y.1.3 Alle omkostninger forbundet med palletering, afdækning og levering til aftalt oplagsplads.

Y.1.4 Opgøres i henhold til bygherrens krav om dokumentation, herunder evt. undersøgelse ved TI, kontrol af sporbarhed fra nedrivningssted m.v.

y.1.5 Alle omkostninger til bortskaffelse af affald fra rensning, rester af murværk, løs puds m.v. til nærmeste godkendte modtageanlæg, inkl. afgift til anlægget og affaldsafgift.

Bemærkning

Det anbefales, at der i afregningsgrundlaget indføres et økonomisk incitament med hensyn til opnåelse af den størst mulige mængde hele rensede sten. Det kan fx være en bonusordning baseret på en stipuleret genanvendelsesprocent af det samlede murværk, der skal nedrives med henblik på genbrug af sten og antallet af producerede sten til genbrug.

Særlige betingelser (SB) for muring med genbrugssten

- Murearbejde udføres i henhold til Bips B2.240 Basisbeskrivelse – murværk.
- Murearbejdet udføres med genbrugte mursten. I øvrigt henvises til krav Eurocode 6: Murværkskonstruktioner – DS/EN(....aktuelle normer indsættes ...).
- Rensede mursten genbrugte mursten, leveres på pladsen som bygherreleverance.

Særlig arbejdsbeskrivelse (SAB) for muring med genbrugte sten

Murearbejde udføres i henhold til bygningsdelsbeskrivelser (.....aktuelle beskrivelser for traditionel muring indsættes)

For muring med genbrugte sten gælder særlige krav til arbejdets udførelse som følger:

- Muring skal ske med hydraulisk kalkmørtel, eksempelvis Funktionsmørtel.
- Under murearbejdet skal beskadigede sten, sten der ikke er fuldstændig rensede og evt. afvigende sten med hensyn til farve og mål frasorteres.
- Der leveres både hele og ½ sten. Hugning af sten på stilladset skal begrænses.

Tilbudsliste (TL) og tilbuds- og afregningsgrundlag (TAG) for muring med genbrugte sten

Jf. TBL og TAG for muring med nye sten.

6. DEMONSTRATIONSPROJEKT

6.1 Formål

Det overordnede formål med demonstrationsprojektet er at fremme genbrug af mursten, med henvisning til Miljøstyrelsens initiativ i Ressourceplan for affaldshåndtering 2013-2018, se Boks 3.

Projektets særlige formål er følgende:

- Indsamling af konkret viden og dokumentation, herunder om økonomi og miljø, om processer der vedrører genbrug af mursten.
- Udvikling af helhedsorienterede processer omkring genbrug af mursten og matching mellem nedrivning og nybyggeri, som vist på figur 14.
- Udvikling af teknologi og værktøjer, der sigter på bedst mulig, mest økonomisk og miljø-mæssig nedrivning af murværk med henblik på genbrug af mursten.
- Konkrete forslag til fremtidige initiativer til fremme af genbrug af mursten.
- Formidling af information om genbrug af mursten, video, hjemmeside, netværk, workshops etc.

6.2 Mulige projekter som emner for demonstrationsprojekt

Det er ønskeligt at finde henholdsvis et eller flere nybyggerier inden for overskuelig fremtid, hvor der ønskes genbrug af sten. Der er undersøgt to muligheder for nybyggerier med genbrugt mursten:

- Genopbygning af bygninger på Svanemøllens kaserne efter afslutning af i Nordhavnstunnelen.
- Opførelse af to nye bygninger på Katrinedals Skole i Vanløse.

Med hensyn til forestående nedrivningsprojekter med murstens bygninger er nedrivning af bygning 13 på Bispebjerg Hospital, nedrivning antagelig ult. 2015 – 2016, fundet egnet til levering af sten til genbrug i passende mængder.

På grund af de foreliggende planer og aftaler for henholdsvis nedrivning og nybyggeri samt muligheder for at opnå støtte, var det ikke muligt at skabe de tidsmæssige og planmæssige forudsætningerne for gennemførelse af et egentligt demonstrationsprojekt. Der blev derfor truffet aftale mellem parterne i nedrivningsprojektet og nybygningsprojektet, at der skulle gennemføres opsamling af erfaringerne fra samtlige processer fra nedrivning og udtagning af mursten fra bygning 13 på Bispebjerg til opførelse af facader med genbrugte sten på Katrinedals Skole i Valby.

6.3 Erfaringsopsamling

I september 2015 var Københavns kommune i gang med at opføre nye bygninger på Katrinedals Skole i Vanløse. Det er besluttet at bygningerne skal opføres med facader af genbrugssten og, der er konstateret mulighed for at skaffe et større parti mursten fra nedrivning af bygning 13 på Bispebjerg.

Nybyggeriet omfatter ny skolebygning til sporudvidelse på Katrinedals Skole og ny KKFO (Ny "Katrifrit"). Opmuring af KKFO er udført i september - oktober 2015. Hertil er brugt ca. 27.000 genbrugte sten. Opmuring af ny skolebygning planlægges udført i foråret 2016. Hertil skal bruges 113.000 sten.

I forbindelse med nyt hospitalsprojekt, somatik, på Bispebjerg Hospital skal bygning 13 og tre mindre bygninger nedrives. Bygning 13 er opført af røde mursten i tre etager med et skønnet grundareal på ca. 2.300 m². Bygningen planlægges nedrevet med start fra august 2015 og afslutning i december 2015, men er blevet forsinket. Nedrivningen af råhus er udskudt til perioden fra januar til marts 2016.



Figur 17. Bygning 13. Bispebjerg hospital (Foto Google Earth).

Medio september 2015 gennemførte er entreprenøren E. Kornerup A/S opmuring af facader på Ny Katfrit bygningen på Katrinedals Skole med genbrugsmursten, bl.a. fra de mindre bygninger, som er nedrevet på Bispebjerg.

På møde d. 10. september 2015 med deltagelse af repræsentanter for Københavns Kommune og Miljøstyrelsen m.fl. er der konstateret tilfredshed med resultatet af muring af facader med genbrugssten og, det er besluttet at overveje mulighederne for opsamling af erfaringer fra genbrugsprojektet omfattende alle processer og arbejdsoperation i forbindelse med:

- Projektering, beskrivelse, udbud
- Nedrivningen og frasortering af sten til genbrug
- Rensning af sten og levering til nyt byggeri
- Muring med genbrugssten.

Herefter er det aftalt at Lauritzen Advising i samarbejde med Sweco, P. Olesen A/S, Gamle Mursten og Teknologisk Institut for Københavns kommune udfører erfaringsopsamling, som beskrevet i godkendt forslag af 23. 11. 2015¹¹.

Det skal bemærkes, at der i forbindelse med nedrivningsarbejdet vil blive gennemført undersøgelse og udvikling af nye metoder til skånsom nedrivning af murværk. P.Olesen A/S og Lauritzen

¹¹ Genbrug af mursten fra nedrivning af bygning 13 på Bispebjerg Hospital til nybyggeri på Katrinedals Skole i Vanløse Forslag til erfaringsopsamling, Lauritzen Advising, 23, november 2013.

Advising har fået støtte af MUDP midler til gennemførelse af dette udviklingsprojekt. Erfaringerne fra projektet vil blive medtaget i erfaringsopsamlingen.



Figur 18. Opførelse af ny bygning, KATFRIT, på Katrinedals Skole, Vanløse med facade af genbrugssten, september 2015.

6.4 Fremtidigt demonstrationsprojekt

Det har inden for den givne tidsramme været muligt at identificere et nedrivningsprojekt, der matchede et nybygningsprojekt med hensyn til genbrug af mursten. Men, det har, som tidligere nævnt, ikke været muligt at gennemføre de to projekter som led i et egentligt demonstrationsprojekt med undersøgelse af innovative processer og metoder til fremme af genbrug af mursten set i en overordnet helhed.

Det skal imidlertid bemærkes, at den planlagte genopbygning af de tre bygninger på Svanemøllens kaserne er netop startet i november 2015, og at der måske er en mulighed for at gennemføre et demonstrationsprojekt.

Da Københavns Kommune også er bygherre for dette projekt anbefales,

- at Københavns Kommune arbejder videre med mulighederne for at finde en nedrivning, der kan matche behovet for mursten til de tre bygninger, og
- at se nærmere på at udnytte erfaringerne fra Bispebjerg-Katrinedals Skole projekt i et egentligt demonstrationsprojekt på Svanemøllens kaserne.

Erik K. Lauritzen

7. REFERENCER

Bips B2.240 Basisbeskrivelse – murværk.

Carlsberg Byen, hjemmeside www.carlsbergbyen.dk,

Carlsberg Byen: Møde d. 25. november med Niels Nielsen og Thomas Clausen, Carlsberg Byen, Jonny Christensen, Københavns kommune TMF og Erik K. Lauritzen.

Danmarks Tekniske Universitet (DTU) LCA af genbrug af mursten, Miljøprojekt nr. 1512, 2013.

Den årlige gennemsnitsproduktion af mursten (mio. sten) jf. http://bygitegl.dk/pdf/Skema_aarlige_murstensproduktion.pdf

DTI Byggeteknisk Institut, Murværkscentret. Sammenligning af styrkeegenskaber for murværk udført med nye og med genanvendte teglsten. 1994.

DTI Byggeteknisk Institut, Murværkscentret. Kriterier for genanvendelse af teglsten – en metode til bedømmelse af teglstens egenskaber ved hjælp af skærvfarven 1992

Eurocode 6: Murværkskonstruktioner

Foreningen for Byggeriets Samfundsansvar. Charter for samfundsansvar i ejendoms-, byge- og anlægsbranchen i Danmark <http://byggerietssamfundsansvar.dk/2-uncategorised/1-foreningen-for-byggeriets-samfundsansvar>

Gamle Mursten, hjemmeside www.gamlemursten.dk

Kalk A/S: <http://kalk.dk/da/build-lasting-culture/ny-c2c-kalkmoertel>

København Kommune. Ressource- og affaldsplan 2018

Københavns Kommune: Møde om genbrug af mursten på Katrinedals Skole, Vanløse, d. 10. sept med deltagelse af Miljøstyrelsen, Københavns Kommune, Swedeco, Gamle Mursten, P. Olesen A/S og Lauritzen Advising.

Københavns Kommune. Planlægning af Københavns kommunes behandling af bygge- og anlægsaffald, DEMEX 1996.

Lauritzen Advising: Genbrug af mursten fra nedrivning af bygning 13 på Bispebjerg Hospital til nybyggeri på Katrinedals Skole i Vanløse. Forslag til erfaringsopsamling, 23. november 2013.

Miljøministeriet. Danmark uden affald – Ressourceplan for affaldshåndtering 2013-2018

Miljøstyrelsen. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 78 1995 Genbrugshus Odense, <http://www.statensnet.dk/pligtarkiv/fremvis.pl?vaerkid=2384&repreid=0&iarkiv=1>

Miljøstyrelsen. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 79 1995 Demonstrationsprojekt Det Genanvendte Hus, <http://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/1996/apr/demonstrationsprojekt-det-genanvendte-hus/>

Miljøstyrelsen. Miljøprojekt nr. 1512, 2013 LCA af genbrug af mursten

Miljøstyrelsen. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 10 1996 Genanvendelsesindsatsen i bygge- og anlægssektoren 1986-1995.

NCC <http://www.ncc.dk/ledige-boliger/sog-bolig/kobenhavn/havnevigen/strandhuse/>

NIRAS. Carbon Foot print analyser af udvalgte byggematerialer, november 2009

Region Hovedstaden. Råstofplan 2012, Miljøvurdering af Råstofplan 2012.

STRAK C.F. Richs Vej. Tlf. oplysning, januar 2015.

Tegl-erfa.dk Cementfrie funktionsmørtel C2C. <http://tegl-erfa.dk/node/341>

Teknologisk Institut. Undersøgelse af teglsten. Rapport for Old Clean Brick ApS, 2011.04.06

Undersøgelse af teglsten. Rapport for Old Clean Brick ApS, 2011.04.06



**SAMMEN
OM BYEN**

KØBENHAVNS KOMMUNE
Teknik- og Miljøforvaltningen