



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Udvikling af teknologi og metoder til nedrivning af murværk med henblik på genbrug af mursten

Miljøprojekt nr. 2012

Maj 2018

Redaktion: Miljøstyrelsen

Tekst: Erik Krogh Lauritzen, Lauritzen Advising

Grafiker/bureau: Lauritzen Advising

Tryk: [Firmanavn]

Fotos:

Erik K. Lauritzen, Lauritzen Advising

ISBN: 978-87-93710-14-6

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse

Indhold

1.	Indledning	4
1.1	Projekt	4
1.2	Baggrund	4
1.3	Formål, mål og succeskriterier	5
1.4	Forventninger til projektet	5
1.5	Risiko for at projektet ikke når målene	6
1.6	Gennemførelse	6
1.7	Følgegruppe	7
1.8	Rapport	7
2.	Nedrivning af bygning 13	8
2.1	Indledning	8
2.2	Beskrivelse af bygning 13 på Bispebjerg Hospital	8
2.3	Projektering og udbud	8
2.4	Miljøsanering	10
2.5	Selektiv nedrivning	10
2.6	Forsøg med modificeret sorteringsgrab	11
2.7	Levering af mursten til rensning	12
2.8	Håndrensning af mursten	14
2.9	Kørsel i mursten	15
3.	Nedrivning af garagebygning	16
3.1	Beskrivelse	16
3.2	Nedrivning af murværk	16
3.3	Beskyttelse af mursten	17
3.4	Levering af mursten til rensning	18
3.5	Håndrensning af mursten	18
4.	Nedrivning af hus i Aarhus	20
4.1	Beskrivelse	20
4.2	Forsøg med forbedret modifikation af sorteringsgrab	20
5.	Resultater	23
5.1	Undersøgelse af eksisterende arbejdsmetoder	23
5.2	Udvikling af nye arbejdsmetoder og teknologier	24
5.3	Sammenligning af teknologier og metoder	25
5.4	Forslag til ny teknologi	25
5.5	Genanvendelsesprocent	26
5.6	Mål og succeskriterier	26

Tillæg Følgegruppe

1. Indledning

1.1 Projekt

Med henvisning til ansøgning dateret 4. juni 2015¹, har P. Olesen og Sønner A/S og Lauritzen Advising i tiden fra november 2015 til december 2016 gennemført projekt om udvikling af teknologi og metoder til nedrivning af murværk med henblik på genbrug af mursten med støtte fra Miljøudviklings- og demonstrationspuljen (MUDP).

Hovedformål

I forbindelse med nedrivning af bygning 13 på Bispebjerg Hospital udvikles teknologi og metoder til den mest økonomiske og miljømæssige nedrivning af murværk med henblik på genbrug af mursten. Det er hensigten, at projektet skal indgå i et større demonstrationsprojekt, som ud over nedrivning af mursten også omhandler nybyggeri med de genbrugte mursten.

1.2 Baggrund

Genbrug af mursten er en klassisk form for genanvendelse af bygge- og anlægsaffald. Markedet for genbrugte sten gennem tiderne har været betinget af det aktuelle marked for nye sten med hensyn til priser, kvalitet og leverancer. I dag har indsatsen inden for affaldsbegrænsning, cirkulær økonomi og bæredygtig udvikling i byggesektoren skabt øget interesse for genanvendelse af bygge- og anlægsaffald. Indsatsen fokuserer især på genbrug af mursten.

Med henvisning til Miljøprojekt nr. 1904² er det potentielle marked for genbrugte sten beregnet til ca. 47,3 mio. mursten om året, svarende til 12% af den samlede produktion af nye mursten i Danmark i dag.

Med udvikling af 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. Der henvises fx til firmaet Gamle Mursten A/S' hjemmeside www.gamlemursten.dk, som giver oplysninger om 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 tilbageliggende bygninger. Det gælder fx Carlsberg Byen³. DTU har udført livscyklusanalyse (LCA)⁴ for genbrug af mursten, som taler for genbrug af mursten. Af LCA analysen fremgår, at den mest fordelagtige type genbrug er genbrug af facadestenen, hvorved der opnås en besparelse på CO₂ emission på 13,4 milliperson-ækvivalent (mPE) pr. ton murstensaffald, svarende til 103,6 kg CO₂-ækvivalent/ton murstensaffald.

Der er imidlertid stadig mange barrierer for genbrug af mursten i større omfang, bl.a. fordi de vigtigste processer og relationer i den cirkulære økonomi slet ikke er afklaret. Det gælder specielt omkostningerne ved nedrivning og udtagning af mursten til genanvendelse, aflevering af

¹ Ansøgningsskema med hovedoplysninger og projektbeskrivelse af 3. juni 2015.

² Samfundsøkonomisk analyse af genbrug af mursten. Miljøprojekt 1904, november 2016.

³ <http://www.carlsbergbyen.dk/nyheder/genanvendte-mursten-giver-miljoevinst/>

⁴ LCA af genbrug af mursten Miljøprojekt nr. 1512, 2013,

mursten til rensning, bygning med genbrugssten, teknisk kvalitet og certificering af genbrugssten, bygherrerenes risici ved opførelse af bygværker med genbrugssten m.v. set i en samlet kontekst.

Ved nedrivning af murstenbygninger især, fleretages bygninger, hvor der ønskes udtaget mursten til genbrug er det forbundet med meromkostninger, afhængig af formålet med genbrug af murstenene. Som eksempel skal nævnes nedrivning af murstensbygninger på Carlsberg grunden med henblik på reparation af ældre bevaringsværdige bygninger, hvor mursten ønskes nedrevet og rensset på stedet ved håndkraft.

Den aktuelle og praktiske baggrund for projektet har været nedrivnings af bygning 13 på Bispebjerg Hospital og genbrug af mursten i nyt byggeri på Katrinedals Skole i Vanløse.

1.3 Formål, mål og succeskriterier

Den overordnede langsigtede målsætning er størst mulig og mest hensigtsmæssig genbrug af mursten til substitution af nye mursten - ikke blot i Danmark, men også internationalt. Formålet med projektet er at udvikle nye teknologier og metoder til effektiv demontering af murværk

Projektets mål	Succeskriterier
Undersøgelse af eksisterende arbejdsmetoder til nedrivning af murværk og udtagning af mursten til genbrug.	Konkret viden om omkostninger, miljøbelastning m.v. Dokumentation af tid, ressourcer og omkostninger samt procentvis produktion af hele mursten egnet til genbrug sammenlignet med den samlede mængde murværk som nedrives.
Undersøgelse af nye metoder og teknologier til nedrivning af murstensbygning med henblik på udtagning af mursten til genbrug set i sammenhæng med afsætning og nybyggeri med de genbrugte sten.	Identifikation af effektive hensigtsmæssige, løsninger, kombinationer af forskellige teknologier og metoder, til demontering af murværk og udtagning af hele sten til genbrug. Dokumentation af tid, ressourcer og omkostninger samt procentvis produktion af hele mursten egnet til genbrug sammenlignet med den samlede mængde murværk som nedrives.
Sammenligning af teknologier og metoder, med hensyn til tid, økonomi, miljøbelastninger og arbejdsmiljø.	Prioritering af 1 – 3 løsningsmuligheder, kombinationer og teknologier til udtagning og forberedelse af genbrug af mursten.
Forslag til ny teknologi, værktøjer og metoder til effektive demontering af murværk og udtagning af mursten til genbrug.	Innovativ teknologisk løsning(er), evt. egnet til patentering. Dokumentation af teknologi og metoder samt bæredygtighed og markedsudvikling. Effektiv og skånsom udtagning af hele mursten med en spildprocent på under 25% i forhold det samlede antal/mængde i murværk, som nedrives.

med henblik på genbrug af mursten i byggesektoren, herunder såvel renovering som nybyggeri.

Tabel 1.1 Projektets mål og succeskriterier

1.4 Forventninger til projektet

Den overordnede nyhedsværdi ligger i, at der tilvejebringes et rationelt, professionelt og gennemskueligt grundlag for effektiv demontering af murværk i bygninger og udtagning af mursten med henblik på genbrug i nyt byggeri eller renovering af eksisterende bygninger. Den teknologiske nyhedsværdi ligger i udvikling af teknologi(er) og værktøjer, der erstatter eller supplerer eksisterende metoder til nedrivning af murværk og skånsom udtagning af hele mursten til genbrug,

Projektets nyhedsværdi er knyttet til undersøgelse og udvikling af nogle kendte processer (nedrivning, rensning af sten og byggeri med genbrugssten) i en overordnet sammenhæng (kontekst). Nyhedsværdien ligger bl.a. i den konkrete samtænkning mellem flere parter i værdikæden fra nedrivning til nybyggeri med genbrugte mursten og matching af deres interesser, som skaber grundlag for den optimale ressourceudnyttelse og genbrug af mursten.

De forventede miljøeffekter handler primært om følgende:

- Øget kvalitet i nyttiggørelse af mursten ved genbrug af hele sten i stedet materialenytiggørelse af murværk som fyldmateriale.
- Øget genanvendelse af mursten fra nedrivning af murværk, reduktion af spildprocent fra anslået ca. 50% til ca. 25% af vægten af nedrevet murværk⁵.
- Besparelse af ressourcer ved nedrivning af murværk og udtagning af hele mursten til genbrug.
- Reduktion af transport, inkl. reduktion af CO₂, NO_x, energi, belastning på vejnet, trafikgener, støj, støv og vibrationer samt reduktion af risici for ulykker.
- Kontrol af arbejdsmiljø, reduktion af de sundheds- og sikkerhedsmæssige belastninger (støj, støv, vibrationer, arbejdsstillinger m.v.), især ved nedtagning og sortering af sten på nedrivningspladsen samt forberedelse til genbrug, herunder eventuel rensning og klargøring af sten på nedrivningspladsen.

Nedrivning af murværk med henblik på udtagning af sten til genbrug koster mere end nedrivning med henblik på bortkørsel og nyttiggørelse som fyld. Nedrivning af murstensbygninger sker normalt med maskiner, medens udtagning af sten, sortering og rensning sker hovedsageligt ved håndkraft. Nedrivning af murstensbygninger i flere etager med kælder giver ofte problemer med hensyn til kørsel i brokkerne og beskadigelse af stenene. Vi antager, at der i dag må regnes med spild på ca. 50% af den samlede murstensfraktion ved selektiv nedrivning og levering af murværk til sortering og rensning af hele sten til genbrug. Bortset fra udvikling af anlæg til rensning⁶ af sten savnes der i høj grad teknologisk udvikling på området. Det gælder specielt værktøjer til forsigtig/skånsom nedrivning af murværk og udsortering af hele sten samt vejledninger og processer med hensyn til håndtering af mursten med henblik på genbrug.

Udvikling af ny teknologi(er) og metoder til effektiv demontering af murværk og udtagning af sten til genbrug vil øge mængden af hele og halve sten til genbrug og reducere de samlede omkostninger til produktion af genbrugte mursten. Dermed vil afsætningen af genbrugte sten også øges og konkurrenceevnen sammenlignet med nye sten forbedres.

1.5 Risiko for at projektet ikke når målene

Projektet er baseret på et konkret nedrivningsprojekt på Bispebjerg Hospital og genbrug af murstenene i nybyggeri på Katrinedals Skole i Vanløse. Det forudsattes, at mursten til genbrug efter nærmere aftale leveres og renses på anlæg hos Gamle Mursten A/S i Hedehusene, eller andet renseanlæg i Region Hovedstaden. Den største risiko for projektet var, at nedrivning af bygning 13, Bispebjerg ikke blev gennemføres som planlagt.

1.6 Gennemførelse

Projektet er gennemført i forbindelse med nedrivning af bygning 13 på Bispebjerg Hospital og genbrug af mursten til opførelse af nye bygninger på Katrinedals Skole i Vanløse. Projektet er koordineret med Københavns Kommunes opsamling af erfaringer fra det samlede forløb af nedrivning, rensning af mursten og genbrug af mursten.

Projektet begyndte i november 2015 og blev afsluttet med rapport i december 2016. Projektets forløb afveg i betydeligt omfang fra det planlagte forløb på grund af nedrivningsprojektets særlige karakter og forløb.

Det viste sig,

⁵ Opmærksomheden henledes på, at der i LCA analyse af genbrug af mursten, Miljøprojekt 1512, 2013, regnes med genanvendelse af 64,5% af de mursten, der modtages af Gamle Mursten. Herved forstås, at der på nedrivningssted er sket en frasortering på forhånd.

⁶ Patenteret rensesmaskine udviklet af Gamle Mursten A/S. www.gamlemursten.dk

- at nedrivning ikke kunne gennemføres som selektiv nedrivning jf. NMK 96 på grund af særlige hensyn til nedrivning af blyforurenede betondæk,
- at murværket i facaderne, 60 cm tykt massivt murværk, voldte problemer med hensyn til neddeling af de store brokker af murværk, som fremkom under nedrivning og ikke kunne håndteres ved aflevering til rensning hos Gamle Mursten i Hedehusene, og
- at den valgte metode til nedrivning af bygning 13 med langarm var en atypisk metode til nedrivning af murstensbygninger; den gav ikke de samme muligheder for udvikling af nye metoder til nedrivning af 2-stens mur, som en traditionel nedrivning med gravemaskine ville have givet.

Problemerne er blevet drøftet på de første tre følgegruppemøder⁷. På grundlag af forslag til Miljøstyrelsen om projektændring⁸ aftaltes, at P. Olesen A/S snarest skulle søge at finde en nedrivning med 2-stensmur, således at der kunne gøres forsøg med udstyr til nedrivning af denne type murværk. Da P. Olesen A/S i efteråret 2016 ikke havde større bygninger med en typisk to-stens facademur til rådighed i ordrebogen, måtte vi se på andre mulige nedrivningsopgaver. Efter en granskning af forskellige nedrivningsprojekter, bl.a. nedrivning af Hørsholm Sygehus, fandt vi nedrivning af en mindre garagebygning på Bispebjerg og en rækkehusbebyggelse i Århus som mest egnede forsøgsobjekter.

Projektforløb:

- Januar – april 2016. Nedrivning af rådhus, bygning 13, med afprøvning af modificeret sorteringsgrab til nedtagning af større partier murværk samt undersøgelser af nedrivningsmetoder, rensning af mursten på stedet m.v.
- August 2016. Nedrivning af garagebygning på Bispebjerg Hospital med undersøgelse af skånsomme metoder til nedrivning af murværk, samt rensning af mursten på stedet.
- November 2016. Nedrivning af hus i Aarhus med afprøvning af modificeret sorteringsgrab.

1.7 Følgegruppe

Under gennemførelse af erfaringsopsamlingen og MUDP projektet har der været nedsat en fælles følgegruppe med Københavns Kommunes erfaringsopsamling. Liste over følgegruppemedlemmer fremgår af Tillæg. Følgegruppen har afholdt 4 møder på henholdsvis nedrivningspladsen på Bispebjerg, hos Gamle Mursten med besigtigelse af renseanlæg samt på byggepladsen i Vanløse med besigtigelse af muring af facader.

1.8 Rapport

Rapporten redegør for MUDP projektets gennemførelse og resultater af de indhøstede undersøgelser og erfaringer. Rapporten er koordineret med rapport over erfaringsopsamling⁹. Da de to rapporter skal kunne læses selvstændigt er visse afsnit af de to rapporter enslydende. Denne rapport er udarbejdet i henhold til Miljøstyrelsens retningslinjer.

⁷ Jf. 2. følgegruppemøde d. 20. april 2016

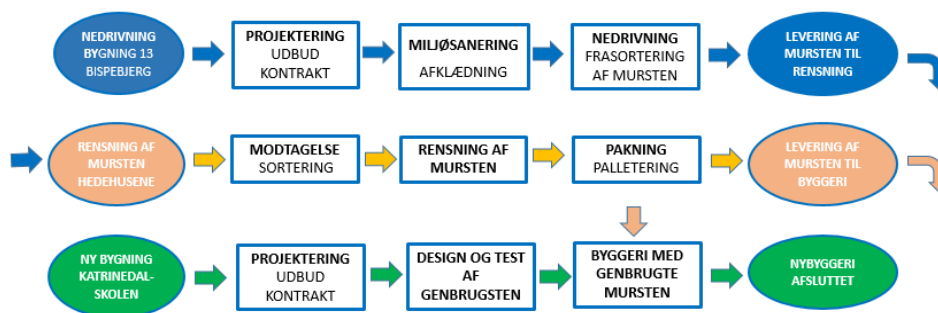
⁸ Skr. Til Miljøstyrelsen af 26. juli 2016

⁹ Københavns Kommune, Genbrug af mursten Erfaringer fra nedrivning af bygning 13 på Bispebjerg Hospital og genbrug af mursten til nybyggeri på Katrinedals Skole i Vanløse, udarbejdet af Erik K. Lauritzen, februar 2017.

2. Nedrivning af bygning 13

2.1 Indledning

Projektet Ny Bispebjerg Hospital og Ny Psykiatri omfatter bl.a. nedrivning af Bygning 13 og fire mindre bygninger. Af VVM-redegørelse og miljøvurdering Bispebjerg og Hospital, maj 2013, fremgår, at Byggeaffald og renovationsaffald fra byggepladserne vil blive håndteret i henhold til Affaldsbekendtgørelsen og retningslinjerne fra Københavns Kommune, der bl.a. rummer krav til sortering, opbevaring og genanvendelse. Nedrivningsentreprisen blev planlagt, udbudt, kontraheret og gennemført fra foråret i 2015-2016 med processer som vist i figur 2.1.



Figur 2.1 Skitse visende det samlede forløb af nedrivning, rensning af mursten og genbrug af mursten. I MUDP projektet fokuseres på nedrivningsprocessen, som vist øverst til højre i figuren.

2.2 Beskrivelse af bygning 13 på Bispebjerg Hospital

Bygning 13 er opført i 1938 i tre etager med røde mursten og tegltag, som vist på foto figur 2.2. Etageadskillelser er udført af beton med tilslag af slagger. Grundarealet er ca. 2.300 m² og samlet etageareal er opgjort til 8.600 m². I perioden fra 1973 til 1984 er der sket større indre ombygninger.



Figur 2.2. Foto af Bygning 13, Bispebjerg Hospital, (Foto Google Earth)

2.3 Projektering og udbud

Projektering af nedrivning blev udført af Sweco i nært samarbejde med bygherren, Region Hovedstaden. Der var fra start fuld klarhed over myndighedernes forventninger til at alle gen-

brugbare materialer skulle genanvendes i så høj grad som muligt, jf. VVM¹⁰ og Københavns Kommunes nedrivningstilladelse¹¹. Udbud af opgaven skete på grundlag af NMK 96¹² og KSN 96¹³.

Bygherrens ønske om genanvendelse af bygningsaffaldet var fokuseret på de normale (traditionelle og billigste) måder at håndtering af byggeaffald, men især mursten var genstand for en større interesse for genbrug. Sweco undersøgte potentiale for genanvendelse ved henvendelse til Gamle Mursten, der fra starten var meget interesseret i at aftage de røde mursten fra facaderne. Udbuddet omfattede ikke specifikke beskrivelser af nedrivningsarbejdet. Det var pålagt entreprenøren at beskrive alt farligt arbejde, herunder nedrivning af facader med mursten til genbrug. Murstenene i facaderne var ikke forurenede. Væggene indvendigt blev hovedsageligt saneret til rå mursten, hvilket var entreprenørens valg. Nedrivningsentreprenøren havde metodefrihed til miljøsanering, idet der var stillet detaljerede krav til hvordan afrensningen af maling skulle dokumenteres i relation til den udførte kortlægning.

Da tidsplanen for nedrivningsprojektet ikke var kritisk for selve Nyt Bispebjerg Hospital projektet, blev der fastlagt en passende fleksibel tidsplan, der gav mulighed for håndtering af mursten med henblik på genbrug.

På grundlag af projekteringen blev det besluttet at fokusere på genbrug af murstenene. I udbud af nedrivningsprojektet blev der indføjet en option om genbrug af mursten, der skulle prissættes, således at bygherren kunne se, hvad denne mulighed ville koste. Sweco har i udbudsmaterialet fravalgt detaljeret opgørelse af mængderne, da der ofte alligevel gives pris fra entreprenøren ved faste m²-priser, som justeres op eller ned i relation til afvigende forhold. I udbuddet blev det overladt helt til entreprenøren at lave aftaler med andre parter om afhændelse af mursten til genbrug. Det var også pålagt entreprenøren at foretage de nødvendige tiltag for at flest mulige sten kunne genbruges. Bygning 13 havde en hensigtsmæssig beliggenhed med god udenomsplads til rådighed for håndtering af mursten. Der blev anvendt følgende formulering til optionen omkring genbrug af mursten:

"Som en option kan bygherre vælge, at bortskaffes alle facade mursten til genbrug. Dette vil normalt stille særlige krav til nedrivning og håndtering af murstenene, så de bevares intakte, hvilket skal være indeholdt i tillægsprisen. Evt. kvalitetskrav fra modtageren af mursten til genbrug, og aftaler i øvrigt indgået mellem entreprenøren og modtageren, er udelukkende en sag mellem entreprenør og modtager. Såfremt bygherren vælger at gøre brug af optionen, er det entreprenørens ansvar at sørge for, at det kan lade sig gøre".

Bygherren modtog 4 tilbud på nedrivningsarbejdet. Tilbudsgiverne for de to lavest tilbud havde givet tilbud på optionen på 0 kr. Tilbudsgiver for det højeste tilbud, som langt over de andre tilbud, gav tilbud på optionen på 1.374.500 kr. Næsthøjeste tilbud indeholdt bud på optionen på 1000 kr.

Da den udvalgte tilbudsgiver, P. Olesen A/S, havde prissat optionen til 0 kr., fandt bygherren optionen med direkte genbrug af mursten attraktiv, som herefter indgik i kontrakten. P. Olesen A/S indgik aftale med Gamle Mursten om at levere mursten til rensning og genbrug på anlæg-

¹⁰ VVM-redegørelse og miljøvurdering Bispebjerg Hospital, maj 2013.

¹¹ Københavns Kommune, Teknik og Miljøforvaltningen, Byens Udvikling. Kvittring for anmeldelse af nedrivningsarbejde af 30. juli 2015.

¹² NMK 96 Nedbrydningsbranchens Miljøkontrolordning 1996. Brancheaftale om selektiv nedbrydning m.v. mellem Entreprenørforeningens nedbrydningssektion og Miljø- og Energiministerens og tiltrådt af Boligministeren.

¹³ KSN 96 Kvalitetssikring for nedbrydere 1996.

get i Hedehusene. Det var aftalt at P. Olesen A/S fik 0,5 kr. pr. hel sten. Leveringsbetingelser blev ikke specificeret.

2.4 Miljøsanering

Nedrivningsentreprenøren P. Olesen A/S gennemførte miljøsanering fra juli 2015 til december 2015, i henhold til resultater fra kortlægningsrapport og supplerende undersøgelser.

Facaden på bygning 13 fremstod i rå mursten, og der var ikke elastiske fuger omkring vinduer, hvilket betød, at der ikke skulle foretages miljøsanering af facaden.

Indvendigt valgte nedriveren at banke puds inkl. maling af væggene med el-hammer i stueetagen og opefter. Nedbankning af puds med el-hammer vil i vist omfang beskadige de indvendige mursten, da det ikke helt kan undgås, at mindre stykker bliver banket af murstenene. Under miljøsanering blev bygningen holdt tæt med undertryk for at sikre hospitalsområdet mod forurenede støv.

Under udførelsen af miljøsaneringen, i forbindelse med miljøsanering af gulve, blev nedriveren mistænkelig pga., at betondækkende nogen steder virkede meget porøse. En nærmere undersøgelse og analyser af betonen i etagedækkende viste, at der var tale om slaggebeton med et indhold af tungmetaller, som lå over Københavns Kommunes vejledende grænseværdier. Slaggebetonen skulle derfor frasorteres ved nedrivningen. Dette førte til en ændret plan for nedrivningen af råduset. Dette havde ikke den store betydning i forhold til genbrug af mursten, men ændrede tidsplanen markant.

2.5 Selektiv nedrivning

Efter afslutning af miljøsanering var det nedrivningsentreprenørens plan at strippe bygningen for tagkonstruktion, døre og vinduer og gennemføre nedrivning af facade i takt med nedbrydning af betondækket. På grund af forurening af betondækket, valgte entreprenøren at nedrive betondækkene inden fjernelse af tagkonstruktion og vinduer i bygningen for at undgå støj og forurenede støvs. Uheldigvis viste det sig, at bygningens stabilitet var blevet truet, og det var ikke længere muligt at arbejde med maskiner og mandskab inde i bygningen. Dette medførte, at den selektive nedrivning ikke kunne gennemføres som planlagt i overensstemmelse med NMK 96.

Nedrivning af bygningen blev herefter gennemført i etaper, dvs. længder på 20 – 30 m pr. etape, fra den vestlige gavl som følger:

- Nedrivning af tagkonstruktion, inkl. tagsten, tømmer, og vinduer med langarm.
- Nedrivning af betondæk med betonsaks.
- Opsamling og frasortering af forurenede betonbrokker.
- Transport af forurenede brokker til deponi.
- Nedrivning af facader til terræn og indre vægge til kældergulv med henholdsvis langarm og gravemaskine med samtidig læsning på 7-akslet lastvogn.
- Frasortering af vinduer, kabler m.v. sket i takt med nedrivning.

Nedrivning af rådus startede d. 19. januar 2016, se foto, figur 2.3. Nedrivning af facaderne til terræn blev afsluttet d. 23. marts. Herefter blev kælderen opbrudt og terrænet jævnet. Nedrivning af murværk udførtes med henholdsvis langarm og gravemaskine med sorteringsgrab. Brokkerne blev læsset direkte på lastvogn og kørt til Gamle Mursten i Hedehusene. Dvs. at murstenene blev ikke sorteret og mellemoplagt på stedet. Da murværket var massivt med en tykkelse på 60 cm tykt var der ingen muligheder for frasortering af for- og bagsten.

Murværket blev nedrevet med langarm, som beskrevet i pkt. 2.6 og 2.7, og relativt store murbrokker blev læsset på lastvogn og kørt til Gamle Mursten i Hedehusene. Det viste sig, at Gamle Mursten ikke kunne neddele brokkerne før indføring i anlægget, som kun kunne modtage enkelte sten og mindre brokker. Efter indsigelse fra Gamle Mursten om, at murbrokkerne var for store, blev nedrivning gennemført med udtagning af mindre brokker og søgt neddelt under læsning på vogn og ved nedfald på kældergulv. Herved blev en større del af murstene skadet, end ved nedtagning og læsning af store brokker.



Figur 2.3 Forskellige stadier af nedrivning af rådus, bygning 13, fra start i januar til afslutning i april 2016. Langarm og gravemaskine arbejder med nedrivning af rådus og læsning af brokker på 7-akslet køretøj. Gravemaskine arbejder i kælder med nedrivning og sortering af betonbrokker. Arbejdsmandskab er iført sikkerhedsudstyr på grund af de blyforurenede brokker.



Figur 2.4 Modifieret sorteringsgab med påsvejt ekstra skær. Det normale skær påvirker murværket med en skråtstillet kraftpåvirkning, som skader stenene i brudzonen. Det modificerede skær giver bevirker horisontal virkning i murværkets fuger og dermed mindre skade på murstenene i brudzonen. Derved kan man frigøre større sammenhængende mængder murværk.

Til nedrivningsarbejdet anvendtes

- Langarm Liebherr 954, 100 t
- Gravemaskine CAT 25, 325 F, 25 t
- Gravemaskine CAT 40, 336, 38 t
- Sorteringsgrab, 2 t
- Sættevogn Volvo 460

2.6 Forsøg med modificeret sorteringsgrab

Som et led i MUDP projektet blev der konstrueret og monteret ekstra skær på den sorteringsgrab, som anvendtes til nedrivning med langarm, som vist i figur 2.4. Ideen med et bedre og

mere præcist skær var at dele større murbrokker i fugerne og derved undgå at knuse stenene ved grabbens greb. Modificeringen af sorteringsgrabben viste sig at være hensigtsmæssig hvad angår nedtagning af større partier murbrokker uden skader på sten. Problemet var imidlertid, at Gamle Mursten kunne ikke håndtere og neddele de store murbrokker. Derfor blev entreprenøren nødt til at vende tilbage til den oprindelige metode med nedrivning af mindre størrelse brokker og flere knuste sten. Efterfølgende aftaltes mellem P. Olesen A/S og Gamle Mursten, at P. Olesen lejede en minimaskine og foretog neddeling af de store brokker hos Gamle Mursten i Hedehusene, som vist i figur 2.5.



Figur 2.5 Nedrivning med langarm, læsning på Bispebjerg og aflæsning hos Gamle Mursten i Hedehusene. Nedrivning og aflevering af store brokker nødvendiggør efterknusning på pladsen i Hedehusene.

2.7 Levering af mursten til rensning

Ved nedrivningsarbejder er det sædvanlig praksis, at materialerne fra nedrivning sorteres og samles i depoter, fx containere, på byggepladsen og, at nedrivningsentreprenøren herefter bestiller en vognmand til at borttransport af affaldet til modtageanlæg. Nedrivning af bygning 13 var planlagt på en sådan måde, at materialerne blev læsset direkte på en 7-akslet lastvogn og bortkørt, idet P. Olesen A/S havde indlejet en lasvogn under hele perioden med nedrivning af råhuset bygning 13. Derved sparedes flytning af materialerne og midlertidig oplæg på pladsen, hvilket samtidig løste pladsproblemer med hensyn til oplægning af andre materialer fra nedrivningen.

Lastvognen havde en lastkapacitet på 35 t og samlet bruttovægt på 58 t. I starten tog det ca. 1-1½ time til læsning med langarm og store brokker. Ved afslutning tog læsning med gravemaskine af brokker fra kælderen 5-10 min. Transportafstand Bispebjerg-Hedehusene var 27,7 km og Køretid, 30 – 50 minutter, gennemsnitlig 40 minutter afhængig af tidspunktet. En vending, inkl. læsning, aflæsning og kørsel, gennemsnitlig ca. 2 timer, 3 - 4 læs pr. dag.

Murstenene blev læsset direkte på lastvogn under nedrivning på Bispebjerg og kørt til Gamle Murstens plads i Hedehusene. Der oprettes vejekort, inden alle indkørte sten indvejes på brovægt. Murstenene aflæsses på den befæstede oplagsplads, i afmærkede zoner for sten fra bygning 13. Beskadigede mursten sorteres fra i første del af processen inden rensningen påbegyndes.

Efter modtagelse af de første leverancer af murbrokker i januar 2016 gjorde Gamle Mursten indsigelse over størrelsen af murbrokkerne, idet renselanlægget ikke havde kapacitet til at modtage brokker større en to-tre stenstensbrokker. Nogle af de store brokker blev efterfølgende knust med minimaskine leveret af P. Olesen. Resten af de store brokker blev kasseret. Efter afslutning af levering af brokker foretog gamle Mursten opgørelse af mængder af hele sten og restaffald af jord, beton, knuste brokker m.v. til deponering. Der manglede en aftale mellem Gamle Mursten og P. Olesen A/S med om specifikation af leveringsbetingelser og forventningsafstemning mellem parterne.

Ifølge oplysning fra Gamle Mursten er der leveret 171 læs mursten med i alt ca. 5.652 t murbrokker til Gamle Mursten i Hedehusene. Af dette parti er der leveret 500 paller rensede mursten, i alt 160.000 mursten til Katrinedals Skole, gennemsnitlig vægt ca. 2.2 kg, 352 t.

Med henvisning til opsummeret erfaringsopsamling af 28.6.2016 har Gamle Mursten vurderet kvaliteten af de modtagne brokker fra bygning 13 sammenlignet med typiske leverancer som følger:

- Teknisk og prismæssig kvalitet af sten: Massivmuret bygning, stenene er fine og af udmærket kvalitet.
- Omfanget af iblandet affald: Ca. 65 % under standard for hvad vi normalt får ind, på grund usædvanlig store mængder af brokker og blokke. Desuden en usædvanlig høj mængde jord/smulder (fra især kælderen).
- Fysisk kvalitet med hensyn til hele og knuste sten: Der var mange knuste sten, hvilket var overraskende ift. den aftalte nedrivningsprocedure. Det bærer præg af, at der er kørt i stenene.
- Gennemførelse af rensning og ressourceforbrug sammenlignet med andre leverancer: Væsentlig mere tidskrævende pga. massivmur - leveret i store brokker mv. Jvf ovenstående. Der udestår en afklaring omkring de økonomiske konsekvenser af dette.

Gamle Mursten udførte prøverensning af to forskellige typer af de modtagne brokker og konstateret:

- Rensning af normal type levering: ca. 50 hele sten, 110 kg pr. ton.
- Rensning af læs med højt indhold af finere partikler og knuste sten: ca. 10 hele sten, 22 kg pr. ton.

Til opfølgende kontrol udførtes optælling af rensede sten af partiet fra Bispebjerg d. 23. september 2016. Stenene blev udvalgt fra tre mindre partier i bunkerne med det samlede parti sten oplagt på den anviste plads. Der blev taget en skovlfuld fra hvert parti med en kvalitet, som visuelt vurderedes bedst (fleste antal hele sten), dårligst (mindre antal hele sten og mange knuste sten) og en mellemkvalitet. De enkelte partier blev vejede på vognvægt og kørt gennem renselanlægget. Efter afsluttet rensning af hvert parti blev de hele og halve sten lagt på paller og talt. Der konstateredes enkelte sten med et andet mål i partierne, brede sten, som også blev talt med. Resultaterne fremgår af nedenstående tabel 3.1.

Til kontroloptællingen skal bemærkes, at prøverne blev udtaget af de yderste partier af det samlede depot af murbrokker fra Bispebjerg. De yderste partier var de sidst afleverede brokker fra nedrivning af de nederste etager og kælderetagen, som var langt mere blandet med støv og knuste brokker, men færre store blokke, end de først afleverede brokker fra start af nedrivning af facader i januar 2016, som lå inderst i depotet. Det var ikke muligt at tage prøver til kontrol af rensning af disse partier.

Prøve	Vægt, kg	Antal rensede sten	Vægt rensede sten, kg	% vægt rensede sten	Antal hele sten pr. t
1. Bedste kvalitet	3250	212 hele 176 halve 5 brede	677,5	20,8	65
2. Mellem kvalitet	2720	97 hele 89 halve 12 brede	353,3	13,0	40
3. Dårligste kvalitet	3960	77 hele 51 halve 1 bred	229,0	5,8	19

Tabel 2.1. Oversigt over optælling af rensede sten og opgørelse af genanvendelsesprocent af murbrokkerne baseret på en gennemsnitlig vægt af sten på 2,2 kg.

I forhold til den første optælling hos Gamle Mursten skal bemærkes, at udfaldet af Bedste og Mellemste kvalitet, som nævnt i tabel 2.1, passer godt med udfaldet på 50 sten af Normal type levering på 50 sten pr. t. Udfaldet af Dårligste kvalitet er derimod noget højere end 10 sten fra rensning af læs med højt indhold af finere partikler og knuste sten.

I betragtning af, at der ved projektets start var forventet øget genanvendelse af mursten og reduktion af en anslået spildprocent fra 50% til 25% var resultatet af nedrivning af bygning 13 og levering af mursten til rensning hos Gamle Mursten meget skuffende og utilfredsstillende.

2.8 Håndrensning af mursten

Under nedrivningsarbejdet på Bispebjerg gennemførtes d. 21. marts 2016 forsøg med håndrensning af mursten fra et stykke murværk udtaget fra bygning 13. Forsøget omfattede:

- Frigørelse og grovrensning med murhammer 15 – 30 sekunder pr. sten, afhængig af
 - Røde facadesten eller gule bagsten
 - Røde sten lidt vanskeligere at rense, mørtlen lidt stærkere
 - Mørtlen faldt bedre/lettere fra de røde sten end de gule sten
- Rensning over trapperist
 - Rimelig velegnet, men risten blev sløv/slidt ved afslutningen af testen
 - Rensetid 20 – 30 sek.



Figur 2.6. Håndrensning af mursten startende til venstre med udtagning og grovrensning af sten efterfulgt med rensning på trapperist og oplægning. Foran stablen af sten ses sten med forskellig brænding og størrelse.

Der blev rensset i alt 61 hele sten plus 6 sten som var skadet samt 4 hårdtbrændte krumme sten, som var meget vanskelige at rense. Produktionsgennemsnit ca. 60 sten pr. time for to

mand, dvs. 1 sten tager 2 min. pr. mand at rense, inkl. udtagning af murværk og oplægning i stak/palle. Af i alt 71sten blev 10 sten kasseret, 14%, på grund af skader. Arbejdet er vist i fotos, figur 2.6.

2.9 Kørsel i mursten

Efter renseforsøg blev der foretaget forsøg med kørsel i teglbrokker fra nedrivning af bygning 13. Der blev kørt med en 33 t Komatso gravemaskine med bælter. Kørslen i brokker demonstrerede stærk beskadigelse af stenene under bælterne, det øverste lag ca. 50% ødelagt, se figur 2.7.



Figur 2.7. Kørsel med gravemaskine i brokker. Det ses tydeligt, at det øverste lag sten er knust.

3. Nedrivning af garagebygning

3.1 Beskrivelse

Garagebygning på Bispebjerg med et areal på ca. 10 m x 12 m var opført med to murede facader (nord og syde) og to facader (øst og vest) med porte. Året for opførelsen var anslået til 1975.



Figur 3.1. Garagebygning, opført 1975.

Garagebygningen blev nedrevet i august 2016 for at give plads på Bispebjerg Hospital byggeprojekt Ny Bispebjerg Hospital og Psykiatri. P. Olesen og Lauritzen Advising valgte at udnytte nedrivningsprojektet til at foretage supplerende undersøgelser med hensyn til udvikling af nedrivningsteknologi med henblik på genanvendelse af mursten. Det var en væsentlig forudsætning for gennemførelse af undersøgelserne, at murstenen var egnet til rensning og genbrug. Ud fra den generelle antagelse, at kun murstensbygninger opført før 1950erne var muret med kalkmørtel, som gav mulighed for adskillelse og rensning af mursten, blev der foretaget udhugning af mursten og undersøgelse af murværket. Det viste sig, at mørtlen relativt let kunne renses af stenen og, at det var muligt at genbruge murstenen. Nedrivning af garagebygningen blev derfor fundet egnet til supplerende undersøgelser.

3.2 Nedrivning af murværk

Efter etablering af byggeplads og forberedelser til nedrivning blev den sydlige facade nedrevet med størst mulig hensyn til at skåne murstenen mod skader fra nedrivningsarbejdet. Efter nedrivning af sydfacade, udført som skånsom nedrivning, blev nordfacaden nedrevet traditionel, dvs. uden særlige hensyn til at undgå skader på stenene.

Der lå en særlig udfordring i nedrivningsarbejdet, idet facademurene var opført af to sten med mineraluld bats i mellemrummet. For at undgå at brokkerne blev blandet med mineraluld var man nød til at nedrive den yderste væg forsigtigt og fjerne mineraluld successivt med nedrivningen. Herefter blev den inderste væg revet ned. Efter nedrivning af et passende vægareal blev de nedfaldne brokker læsset i containere og kørt til Gamle Mursten i Hedehusene. Nedrivningsarbejdet ses i figur 3.2.

Til nedrivningsarbejdet blev der anvendt sortergrab, CAT, 2 t, på Gravemaskine CAT 325 F, 25 t, ca. 10 m rækkevidde.

3.3 Beskyttelse af mursten

Under den skånsomme nedrivning af den sydlige facade blev der foretaget følgende foranstaltninger til beskyttelse af murstenen mod skader under nedrivning og håndtering, som vist på figur 3.3:

- Indvendig beklædning af sorteringsgrab med gummimåtter, ca. 10 mm tilpasset og på spændt på grabben, med ekstra bolte. Montering ca. 2 t.
- Faldunderlag af gummi foran facade til at fange nedfaldende brokker.
- Indvendig beklædning vaf container med gummimåtter.



Figur 3.2 Skånsom nedrivning af sydfacade på garagebygning,



Figur 3.3 Sorteringsgrab, container og underlag afdækket med gummimåtter.

Beskyttelse af mursten ved montering af gummimåtter på grabben var baseret på praktiske erfaringer fra nedrivning af murstensbygninger på Carlsberg.

Udlægning af gummimåtter på terrænet ud for væggen, der skulle nedrives og placering af måtter i container til beskyttelse af mursten kunne udføres uden problemer. Det var imidlertid besværligt at holde styr på måtterne under aflæsning af containere og der skulle arbejdes med at fjerne måtterne fra brokkerne efter aflæsning.

Montering af gummimåtter i grabben med straps og ekstra bolte var mere kompliceret, idet påvirkningerne under arbejde med grabben gjorde at gummimåtterne blev hurtigt slidt og rev sig løs af boltene. Der skulle regnes med 1-2 timer til montering af måtterne på grabben, efter udkæring af måtterne i passende størrelser.

3.4 Levering af mursten til rensning

Efter skånsom nedrivning af sydfacaden blev brokkerne fyldt i en container og kørt til Gamle Mursten. Ligeledes blev brokkerne fra ydermuren i nordfacaden fyldt i en container og kørt til Gamle Mursten. Resultatet af sortering og rensning af murstenene fra de to containere var 1400 hele sten fra container med brokker fra skånsom nedrivning og 1200 hele sten fra traditionel nedrivning uden særlige hensyn til genbrug af mursten.

Prøve	Vægt, kg	Antal rensede sten	Vægt rensede sten, kg	% vægt rensede sten	Antal hele sten pr. t
Skånsom nedrivning	6.420	1400	3.089	48,11	218
Traditionel nedrivning	6.420	1200	2.640	41.12	187

Tabel 3.1. Resultater af sortering og rensning af mursten efter nedrivning af murstensfacader på garagebygning på Bispebjerg Hospital. Sydlige facade blev nedrevet ved skånsom metode med beskyttelse af nedfaldsunderlag og container samt foring af grab med gummimåtter. Nordlige facade blev nedrevet ved traditionel metode uden særlige hensyn til antallet af hele sten. Gennemsnitlig vægt af sten på 2,2 kg.



Figur 3.4. Rensning af mursten med Carbide Vinkel slibebrædt, forsøg hos Gamle Mursten 18.9.2016¹⁴.

3.5 Håndrensning af mursten

¹⁴ Carbide Vinkel Slibebrædt P14, 200 x 100 x 25 MM, købt hos STARK, pris 236,88 kr.

Efter nedrivning af sydfacade gennemførtes undersøgelser af håndrensning af mursten.

Rensning af sten udførtes med murhammer og rensebrædt med carbid hårdmetal (se figur 3.4) i 3 serier med følgende tider:

1. 3 sten – 3½ min.
2. 5 sten – 7½ min.
- 3 5 sten – 6½ min

13 sten i alt 17½ min, dvs. 1, 35 min pr. sten.

Antager vi i snit på dagsbasis 2 min pr. sten – 30 sten i timen og 200 sten pr. dag pr. mand.

Dette stemmer overens med forsøg udført tidligere i forbindelse med nedrivning af bygning 13, jf pkt. 2.8. Med en timeløn på 150 kr./t fås en gennemsnitlig omkostning for håndrensning alene på 5 kr. pr. sten. Det vi sige at den samlede pris for en håndrenset mursten på stedet ligger langt over prisen for en normal kvalitetsmursten.

4. Nedrivning af hus i Aarhus

4.1 Beskrivelse

Efter afslutning af nedrivning af bygning 13 på Bispebjerg Hospital og utilfredsstillende forsøg med modificeret sorteringsgrab undersøgte mulighederne for at finde et egnet nedrivningsprojekt til opfølgende forsøg. Eneste mulig forsøgsobjekt var nedrivning af bygninger i Aarhus, som vist på figur 4.1. Bygningerne var en- familie rækkehuse i et plan, antagelig opført i 1960erne med murede dobbeltstens facader. Murværket var udført med mørtel, som muliggjorde adskillelse af mursten.



Figur 4.1 Bygninger, som nedrives, forsøg med modificeret grab.

4.2 Forsøg med forbedret modifikation af sorteringsgrab

Undersøgelsen omfattede funktionen af en forbedret modifikation af sorteringsgrab som vist på figur 4.2. Der blev anvendt gravemaskine af typen Volvo EC 250 DL, 25-30 med RG 22 Sorteringsgrab, 1900 kg. Ud over det påsvejste skær, som blev afprøvet under nedrivning af bygning 13 var der monteret en stilbar støtteplade i grabben. Hensigten med pladen var at påvirke murværket horisontalt under lukning af grabben.

Grabben blev afprøvet på en facade af et hus der var delvist nedrevet. Til sammenligning blev en tilsvarende grab uden modifikation afprøvet.

Det vurderes,

- at det sekundære skær havde en positiv virkning med hensyn til at gribe i fugerne og løfte,
- at støttepladen havde en positiv virkning med hensyn til den at fastholde murværket og samtidig påvirke murværket horisontalt, hvilket fremmer revnedannelse og disintegration af murværket,

- at støttepladens stilbare fastgørelse skal tilpasses de individuelle opgaver, murtype og murtykkelse, og
- at den kombinerede virkning af sekundært skær og plade medvirker til bedre brydning af murværk og skåner de enkelte sten.



Figur 4.2. Modificeret sorteringsgrab til skånsom nedrivning af murværk.



Figur 4.3 Modificeret sorteringsgrab i funktion.

Da nedrivningen ikke fokuserede på genbrug af mursten og, forsøget alene gik på en visuel test af den modificerede sorteringsgrab var der ikke noget grundlag for at gennemføre afprøvninger, målinger og analyser af effekten af den modificerede grab, sammenlignet med den almindelige grab.

P. Olesen A/S (smed Michael Poulsen og gravemester Jens Madsen) og Lauritzen Advising (Erik Lauritzen) var enige om at konceptet virker, men der er behov for videreudvikling, eventuelt med en trykplade mere i grabben til bedre styring af murværket under nedrivning. Dertil kommer at der er behov for detaljerede undersøgelser og analyser.

Spørgsmålet om hydraulisk styring af trykpladen i grabben blev diskuteret. P. Olesen's smed og gravemester oplyste, at det hydrauliske system tillader ikke et ekstra udtag, hvorfor det ikke er umiddelbart muligt at styre/indstille trykpladen hydraulisk.

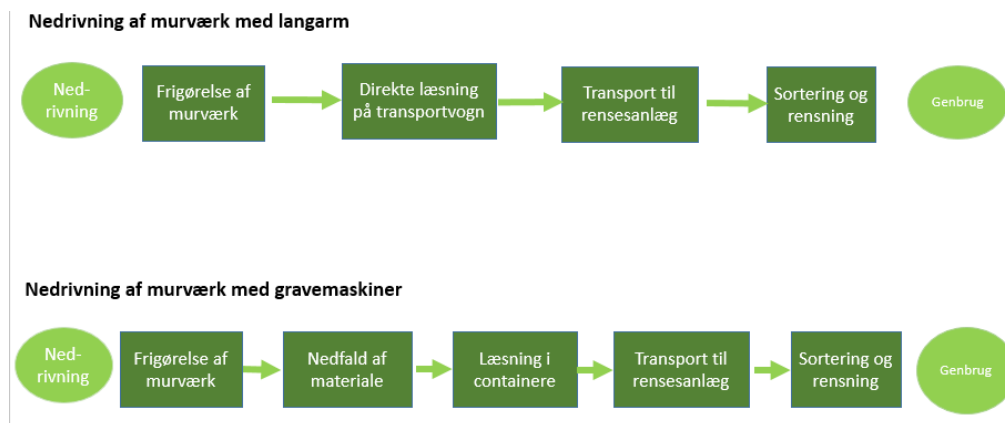
5. Resultater

5.1 Undersøgelse af eksisterende arbejdsmetoder

Nedrivningsmetoder

Der er undersøgt to principielle arbejdsmetoder:

- Nedrivning af tre-etages bygning med langarm og gravemaskiner
- Nedrivning af et-etages bygning med gravemaskine



Figur 5.1 Arbejdsprocesser i nedrivningsmetoder med langarm og med gravemaskiner

Nedrivning med langarm påmonteret sorteringsgrab og direkte læsning af brokker i transportkøretøj har fordele med hensyn til lang rækkevidde, som gør, at det ikke er nødvendigt at køre i brokker. Metoden er egnet til nedrivning af murstensbygninger med 3 etager og derover og til demontering af murværk i større partier forudsat mulighed for adskillelse af brokkerne. På den anden side har langarmen det problem, at maskinen er specialiseret og relativt dyr, 2400 kr./t, hvilket gør, at indsættelse af langarmen skal være godt planlagt og effektivt udnyttet under drift. Det er nødvendigt at foretage efterknusning af brokke, evt. ved tab af brokker fra ca. 3 m højde på fast underlag, hvilket medfører skader på murstenene.

Traditionel nedrivning med gravemaskine giver begrænsninger i rækkevidden, men maskinen er fleksibel og anvendelige til mange opgaver. Monteret med sorteringsgrab kan man adskille en to-stensvæg og fjerne isoleringen. Nedfald af brokker og efterfølgende læsning giver øget risiko for skader på murstenene. Ved nedrivning af bygninger over to etager vil det være nødvendigt at arbejde fra forhøjede platforme med risiko for at køre i brokker, der ikke er beskyttet. Traditionel nedrivning af massivt murværk kræver også efterfølgende neddeling.

Sortering af for- og bagsten

I ældre bygninger har der ofte været forskel på murstenen i for- og bagmur med hensyn til farve og kvalitet. I LCA af genbrugte mursten, Miljøprojekt 1512, 2013, gives separate analyser for forsten og bagsten. Derfor er det også interessant at se på adskillelse af mursten i henholdsvis forsten og bagsten. Nedrivning af bygning 13 med 60 cm brede vægge og massivt murværk har vist, at det ikke er umiddelbart muligt at adskille og frasortere or- og bagsten. Det gælder såvel under nedrivning af murværk som efterfølgende neddeling af brokker.

Nedrivning af garagebygningen viste, at man med gravemaskine og sorteringsgrab kan nedrive den ydre facade væg i en to-stensmur separat uden at nedrive den bagerste del af muren, og dermed adskille de to typer sten.

Håndrensning af mursten

Der blev gennemført håndrensning af mindre partier mursten både ved nedrivning af bygning 13 og nedrivning af garage-bygning. Det observeredes, at mørtlens styrke og vedhæftning på stenen samt stenens type har betydning for renseshastigheden. Begge forsøg, at en estimeret rensede viste, at der kan regnes med, at en ufaglært arbejdsmand kan rense 30 sten i timen. Med en timeløn på 150 kr. fås en gennemsnitlig omkostning til håndrensning alene på 5 kr. pr., sten, hvilket bringer salgsprisen for genbrugte sten, håndrenset på stedet, langt over det normale prisniveau for mursten.

Kørsel i brokkerne

I nedrivnings- og genanvendelsesbranchen er der enighed om at kørsel i brokkerne med bæltmaskiner knuser de enkelte sten og skal derfor undgås. I nedrivning af bygning 13 var der lagt op til at undgå kørsel i brokkerne ved anvendelse af langarm med lang rækkevædde fra bygningen. Derfor blev der ikke foretaget særlige undersøgelser af problematikken omkring kørsel i brokker ud over en visuel konstatering af, at kørsel med 20-30 t gravemaskine i brokkerne ødelægger omkring 50% af de øverste lag sten. Med henvisning til vurdering af bygherrens tilsyn, skete kørsel i brokkerne især ved nedrivning af de nederste etager og terrændæk.

5.2 Udvikling af nye arbejdsmetoder og teknologier

Projektet har sigtet på udvikling af teknologier til selve nedrivning (demontering) af murværk og midler til beskyttelse af mursten under nedrivning og håndtering af murværk og sten.

Modificeret sorteringsgrab

Der blev afprøvet to typer modificeringer af sorteringsgrab. Montering af et ekstra skær på grabben blev afprøvet ved start af nedrivning af bygning 13 i januar 2016. Idéen med at dele murværket i de vandrette fuger med et ekstra horisontalt virkende skær var hensigtsmæssig. Problemet viste sig at være den efterfølgende neddeling af brokkerne, idet man hverken på nedrivningsstedet eller renselanlæg havde udstyr til en hensigtsmæssig neddeling af brokkerne uden at gøre betydelig skade på stenene.

Afprøvning af sorteringsgrab med ekstra skær og indbygget trykplade under nedrivning af to-stensmur i Aarhus viste, at både det ekstra skær og trykpladen monteret på grabben fungerede efter hensigten med hensyn til neddeling af murværket. Til forskel fra nedrivning og læsning af de massive murbrokker på Bispebjerg blev brokkerne fra nedrivning af to-stens mur delt i enkelte sten og mindre brokker.

På dette grundlag vurderes, at modificering af sorteringsgrab med ekstra skær og trykplader til påvirkning af murværk under nedtagning i grabben er hensigtsmæssig ved nedrivning af to-stens mure, men ikke ved nedrivning af tykt massivt murværk.

Beskyttelse af mursten

De sammenlignende forsøg med nedrivning af murværk på garagebygning, Bispebjerg Hospital, viste at beskyttelse af mursten mod stød ved nedfald under nedrivning og læsning i containere med løst anbragte 10 mm containere gav flere hele sten end traditionel nedrivning. Installation af måtterne var uproblematisk, men den kræver tid og beskyttelsesmåtterne bør fastgøres mere robust.

5.3 Sammenligning af teknologier og metoder

Modificeret sorteringsgrab

Forsøg med modificeret grab til nedrivning af murværk på Bispebjerg blev ikke analyseret med hensyn til det endelige resultat udtrykt i antal hele sten efter rensning. Det konstateredes at metoden ikke var hensigtsmæssig under de foreliggende omstændigheder. Sammenlignet med nedrivning ved anvendelse af sorteringsgrab uden ekstra skær blev anvendelse af modificeret grab fravalgt på grund af problemer med neddeling af større brokker.

Visuel observation af forsøg med grab modificeret med ekstra skær og trykplade i grabben sammenlignet med arbejde med grab uden modificering viste en mere skånsom nedrivning af to-stensmur. Forsøgene kan dog ikke betragtes som "proof of concept". Der er behov for detaljerede undersøgelser og teknologiske forbedringer.

Beskyttelse af mursten

Foring af grab med gummimåtter monteret med straps og boltebeslag var hensigtsmæssig. Montering og afmontering var tidskrævende og nedrivningsarbejdet gik hårdt ud over måtterne og samlingerne med grabben. Et mere solidt design af foringen er påkrævet.

Sammenlignet med traditionel nedrivning viste forsøgene og den efterfølgende sortering og rensning, at der kom flere hele sten ud af den væg der var nedrevet skånsomt end den væg der blev nedrevet traditionelt uden særlige hensyn til murstenen. Resultatet fremgår af tabel 3.2, som viser, at der med beskyttelsesudstyr opnås 218 sten pr. tons og traditionel nedrivning uden beskyttelse giver 187 sten. Dvs. 16,6 % flere sten ved beskyttelse.

5.4 Forslag til ny teknologi

Afprøvning af teknologiske forbedringer omfattende 1. Modificering af grab til mere effektiv og skånsom nedrivning og 2. Beskyttelse af mursten under håndtering indikerer muligheder for,

- at udvikle forbedret udstyr til skånsom nedrivning af murværk, og
- at forbedre beskyttelsen under håndtering og transport af mursten efter nedrivning.

Det anbefales,

- at fortsætte teknologisk udvikling af sorteringsgrab med ekstra skær og bevægelige trykplader til skånsom nedrivning af murværk,
- at fortsætte udvikling af foring af grab med en bedre og mere robust fastgørelse af foringsmateriale, der ikke hæmmer hastigheden og effektiviteten i nedrivningsarbejde, og
- at udvikle forbedrede og mere effektive systemer til afdækning af underlag til beskyttelse af brokker ved såvel nedfald under nedrivning, som beskyttelse af brokker ved kørsel med maskiner i brokkerne.

Med hensyn til kørsel i brokker, vurderes, at kørsel i brokkerne kan undgås ved en hensigtsmæssig indsættelse af maskiner og opmærksomhed under nedrivningsarbejdet. Dette er primært et spørgsmål om vejledning og kontrol af arbejdets udførelse.

Under projektførelsen er der konstateret, at en nødvendig forudsætning for forbedrede teknologier er koordinering af alle processer fra nedrivning til rensning af sten. Det vil sige, at anlæg til modtagelse af murbrokker, hvad enten der er tale om løse sten eller større brokker, med henblik på genbrug af mursten skal være indrettet med udstyr til en hensigtsmæssig sortering og neddeling. Subsidiært skal neddeling finde sted på nedrivningspladsen, hvilket tager plads og tid under den ofte tidsmæssigt kritiske nedrivningsproces.

De afprøvede teknologier har vist sig egnet til primært nedrivning af to-stens murværk, og mindre egnet til nedrivning af massivt 60 cm tykt murværk. Der er behov for udvikling af særlig teknologi til nedrivning af denne type murværk. En nærmere undersøgelse anbefales.

5.5 Genanvendelsesprocent

Det var projektets mål, at opnå en genanvendelsesprocent over 50%, hvilket viste sig ikke at kunne opfyldes. Set i lyset af, at der til grund for LCA analyse af genbrugte mursten, jf. Miljøprojekt 1512, 2013, anvendes en genanvendelsesprocent på 64,5% af murstensaffald leveret til Gamle Mursten skal der gives bemærkninger:

- Der skal som nævnt i LCA analysen regnes med, at 20-25% af murværk er mørtel.
- Det var de samlede mængder murstensaffald, der blev leveret fra bygning 13 til Gamle Mursten, inkl. al mørtel, ødelagte sten, støv, betonrester m.v., som under normale/traditionelle omstændigheder ville have været frasorteret på nedrivningspladsen.
- Under såvel skånsom som traditionel nedrivning af facaderne på garagebygning, Bispebjerg Hospital, blev der ikke frasorteret halve og ødelagte sten inden læsning i containere.
- Den skånsomme nedrivning af sydfacaden på garagebygningen resulterede i en genanvendelsesprocent på ca. 48% nedrivning og 218 sten/t, hvilket i dette nedrivningstilfælde antages at være meget nær det praktisk mulige.

5.6 Mål og succeskriterier

Projektets mål	Succeskriterier	Vurdering af opfyldelse
Undersøgelse af eksisterende arbejdsmetoder til nedrivning af murværk og udtagning af mursten til genbrug.	Konkret viden om omkostninger, miljøbelastning m.v. Dokumentation af tid, ressourcer og omkostninger samt procentvis produktion af hele mursten egnet til genbrug sammenlignet med den samlede mængde murværk som nedrives.	Der er opnået konkret viden om nedrivningsprocesser. Undersøgelser af genanvendelsesprocenter er foretaget. Dokumentation af tid og omkostninger i begrænset omfang.
Undersøgelse af nye metoder og teknologier til nedrivning af murstensbygning med henblik på udtagning af mursten til genbrug set i sammenhæng med afsætning og nybyggeri med de genbrugte sten.	Identifikation af effektive hensigtsmæssige, løsninger, kombinationer af forskellige teknologier og metoder, til demontering af murværk og udtagning af hele sten til genbrug. Dokumentation af tid, ressourcer og omkostninger samt procentvis produktion af hele mursten egnet til genbrug sammenlignet med den samlede mængde murværk som nedrives.	Metoder er identificeret og afprøvet med begrænset dokumentation af tid og omkostninger.
Sammenligning af teknologier og metoder, med hensyn til tid, økonomi, miljøbelastninger og arbejdsmiljø.	Prioritering af 1 – 3 løsningsmuligheder, kombinationer og teknologier til udtagning og forberedelse af genbrug af mursten.	To typer modifikation af sorteringsgrab er afprøvet. Beskyttelsesudstyr til skånsom nedrivning er afprøvet.
Forslag til ny teknologi, værktøjer og metoder til effektiv demontering af murværk og udtagning af mursten til genbrug.	Innovativ teknologisk løsning(er), evt. egnet til patentering. Dokumentation af teknologi og metoder samt bæredygtighed og markedsudvikling. Effektiv og skånsom udtagning af hele mursten med en spildprocent på under 25% i forhold til den samlede antal/mængde i murværk, som nedrives.	Forslag til innovative løsninger er skitseret. Spildprocent under 25% er teknisk set ikke mulig. En vægtmæssig andel på 50% hele sten svarende til 227 sten á 2,2 kg vurderes at være realistisk.

Med henvisning til de opstillede mål og succeskriterier for projektet i tabel 1.1 gives i tabel 5.1 en sammenfattende vurdering af projektets udfald med hensyn til opfyldelse af de stillede mål og succeskriterier.

Tabel 5.1 Projektpartneres vurdering af opfyldelse af projektets mål og succeskriterier.

Mursten fra bygninger efter 1950erne kan også genbruges

I Miljøprojekt 1904, 2016 skrives "Det er alene mursten fra bygninger fra før 1955"¹⁵, der er anvendelige til genbrug. Dette er ikke korrekt, idet mange bygninger efter 1950erne er opført med mørtelblandinger med lavt cementindhold, der muliggør adskillelse og rensning af sten. Det gælder fx garagebygning på Bispebjerg Hospital opført i 1975 og bygninger på Hørsholm Sygehus, som antagelig er opført endnu senere. Det anbefales, at man i hvert enkelt tilfælde af nedrivning af muret byggeri undersøger mursten og mørtel.

100% genbrug af murværk

Set i lyset af den foreslåede målsætning for genanvendelsesprocent og antal sten pr. ton anbefales, at der foretages en nærmere undersøgelse af genbrug og håndtering af restprodukterne. Det gælder fx genbrug af de knuste brokker og fine materialer til grønne tage, produktion af nye mursten ved opvarmning og tryk, genanvendelse i vejbelægninger m.v. Målet for genbrug og genanvendelse af murværk bør være 100% med størst mulig procentandel på højeste kvalitetsniveau i affaldshierarkiet og 0% spild. Derfor er det nødvendigt at se på hele værdikæden fra nedrivning til genbrug af murværk i en samlet kontekst med integrerede og kordinerede processer. Dette forudsætter endvidere samtænkning, og gensidig forståelse mellem alle parter i værdikæden lige fra bygherre nedrivning til bygherre nybyggeri og alle øvrige involverede parter.

Tillæg Følgegruppe

¹⁵ Miljøprojekt 1904 Samfundsøkonomisk analyse af omkostninger ved genbrug af mursten, side 15 næstsidste linje.

Navn	Organisation	E-mail	Telefonnr.
Anne Sofie Nielsen	Miljøstyrelsen	asn@mst.dk	
Marie Kring	Trafik- og byggestyrelsen	mak@tbst.dk	
Jonny Christensen	Københavns Kommune Teknik- og Miljøforvaltningen, Jord og Affald	jonchr@tmf.kk.dk	272553420
Mette Hald Simonsen	Region Hovedstaden	mette.simonsen.02@regionh.dk	
Gitte K. Nielsen	Kalk- og Teglværksforeningen af 1893, Dansk Industri	gkn@bygitegl.dk	71141440
Andreas Christensen	Kalk- og Teglværksforeningen af 1893, Dansk Industri	ac@vesterled-tegl.com	
Christian Dahl Pedersen	Muresektion, Dansk Byggeri J. Ole Pedersen A/S	cdp@jop.dk	45160616 40750702
Hans Møller	Nyt Hospital og Ny Psykiatri Bispebjerg	Hmoe0062@regionh.dk	
Mie A. A. Andersen	Københavns Kommune Økonomi, Byggeri	CM7A@okf.kk.dk	24663003
Kathrine Birkemark Olesen	Teknologisk Institut, Byggeri og Anlæg, Indeklima og Bygningsundersøgelser	Kabo@teknologisk.dk	72202216
Bent Kofoed	Teknologisk Institut, Byggeri og Anlæg, Indeklima og Bygningsundersøgelser	Bko@teknologisk.dk	72203339
Jette Bjerre Hansen	DAKOFA	jbh@dakofa	28899504
Magnus Sølvhøj Kühn	JJW Arkitekter	msh@jjw.dk	26225417 33240909
Kristian Kirkebjerg	Sweco	Kristian.kirkebjerg@Sweco.dk.	23276663
Claus Nielsen	Gamle Mursten	Claus@gamlemursten.dk	23600408
Mette T. Rasmussen	Gamle Mursten	mtf@gamlemursten.dk	20767224
Anders L. Jørgensen	Gamle Mursten	Anders@gamlemursten.dk	
Peter Olesen	P. Olesen A/S	Peter@p-olesen.dk	20745356
Michael Olesen	P. Olesen A/S	mio@p-olesen.dk	22370288
Erik K. Lauritzen	Lauritzen Advising	ekl@lauritzenadvising.dk	30633905

[Tekst - Slet ikke efterfølgende linje, sektionsskifte]

Udvikling af teknologi og metoder til nedrivning af murværk med henblik på genbrug af mursten

I forbindelse med nedrivning af bygning 13 på Bispebjerg Hospital er der gennemført et projekt til udvikling af teknologi og metoder til den mest økonomiske og miljømæssige nedrivning af murværk med henblik på genbrug af mursten.

Der er opnået konkret viden om nedrivningsprocesser og genanvendelsesprocenter med dokumentation af tid og omkostning. Forskellige metoder til skånsom nedrivning af murværk, herunder modifikation af sorteringsgrab og montering af beskyttelsesudstyr på grab og container er afprøvet. Det er vurderet, at en spildprocent under 25 % af murværk i forhold til genbrug af mursten er teknisk set ikke mulig. En vægtmæssig andel på 50 % hele sten vurderes at være realistisk. Mursten i bygninger efter 1950'erne kan også genbruges, fordi mange bygninger i nyere tid er opført med mørtel med lavt cementindhold, som muliggør adskillelse af stenene.

Opmærksomheden henledes på mulighederne for nyttiggørelse af restprodukterne, dvs. de knuste brokker, mørtel og fine materialer, til grønne tage, produktion af nye mursten ved opvarmning og tryk, genanvendelse i vejbelægninger m.v. Målet for genbrug og genanvendelse af murværk bør være 100 % med størst mulig procentandel på højeste kvalitetsniveau i affaldshierarkiet og 0 % spild. Det anbefales at se på hele værdikæden fra nedrivning til genbrug af murværk i en samlet kontekst med integrerede og kordinerede processer.

Projektet indgår i et større demonstrationsprojekt under Københavns Kommune, som ud over nedrivning af mursten også omhandler nybyggeri med de genbrugte mursten.



Miljøstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø

www.mst.dk