

Koldioxidblästring, med torris som blästermedel



Johan Fort

**Uppsats för avläggande av filosofie kandidatexamen i
Kulturvård, Konservatorsprogrammet
15 hp
Institutionen för kulturvård
Göteborgs universitet**

2014:49



Omslagsbilden föreställer torris i block-, samt pelletsform tillgänglig från;
http://www.google.se/imgres?imgurl=http://www.continentalcarbonic.com/cmss_files/imagelibrary/DryIceBlasting.jpg&imgrefurl=http://www.continentalcarbonic.com/blasting-dry-ice.html&h=592&w=500&tbnid=8D4XE_y9nO2GfM:&zoom=1&docid='TYWzusHiK40VUM&ei=K'T29VJ6hPILVOPXCgPgO&tbm=isch&ved=0CHUQMyhMMEw [hämtad 2015-01-19]

**Koldioxidblästring,
med torris som blästermedel**

Johan Fort

Handledare: Jonny Bjurman

Kandidatuppsats, 15 hp
Konservatorsprogrammet
Lå 2014/2015

Program in Conservation of Cultural Property
Graduating thesis, BA/Sc, 2014

By: Johan Fort
Mentor: Jonny Bjurman

CARBON DIOXIDE BLASTING - with dry Ice as Blasting Media

ABSTRACT

Blasting with carbon dioxide is a technology that since the mid- 1940s and onwards has been developed for the industry for the finishing of different surfaces. The technique however, has not until the end of the 1970 and 80's come to play any important role in the industry, and only in recent years has this method come to be used in conservation activities. Traditional blasting media and dry ice functions partly under the same conditions, a difference however, is that the carbon dioxide sublimates after use, this consequently results in no generated waste in the form of spent blasting media except for removed surface layer.

The purpose of this paper is to provide an overview of how the blasting technique with solid carbon dioxide works, its different advantages and disadvantages, and how it is used in the restoration and preservation works in Sweden and abroad. The essay begins with a simple review of traditional blasting techniques and media to aid the reader's understanding of blasting, and highlight differences and similarities between the different systems.

The essay is primarily a literature review in which I gratefully used the work of others. A simple case study has also been carried out in cooperation with the Gothenburg-based blasting company IS_AB , ISBLÄSTRINGSAKTIEBOLAGET GOTHENBURG . The purpose of this case study was to investigate whether carbon dioxide blasting technique is suitable for stone conservation, where the goal is to remove various types of unwanted coatings and finishes such as wax, different types of doodles and such.

Besides using solid carbon dioxide, carbon dioxide is used in liquid and supercritical state in the industry and in the conservation world, these techniques comes because of limited space, only to be presented in the chapter 10- further research

Title in original language: Koldioxidblästring – med torris som blästermedel

Language of text: Swedish

Number of pages: 61

Keywords: Carbon Dioxide Blasting, Dry Ice Blasting, Archaeological Conservation

ISSN 1101-3303

ISRN GU/KUV—14/49—SE

Förord

Följande privatpersoner, Institut, institutioner, universitet samt företag, har varit till synnerligen stor hjälp och generöst delat med sig av information samt goda råd, utan vilket detta arbete svårligen hade kunnat genomföras. Därför inleder jag med att tacka följande personer, de sakfel som säkerligen förekommer kan enbart lastas författaren av detta arbete.

Anna Biber, Zweigstelle Bibliothek, Universität für angewandte Kunst Wien

Anna Lagerqvist, Stiftelsen Föremålsvård i Kiruna

Angela Weyer, Hornemann Institut, Zentrum für die Erhaltung des Weltkulturerbes

Elizabeth Peacock, Institutionen för Kulturvård

Christian Degrygn ,Haute Ecole de Conservation-restauration Arc, Switzerland & SARL Germolles, France

International Federation of Library Associations and Institutions Core Activity on Preservation and Conservation-IFLA-PAC

Henrik Falk, vilken bidragit med värdefulla synpunkter kring den teoretiska referensramen

Isabel Tissot, konservator på Archeofactu, Portugal

Jan Cloots, Sales Director EMEA Cold Jet Europe HQ Belgium

Joke Peeters, European Marketing Support Cordinator Cold Jet Europe

Klaus Pedersen, som översatt litteratur från Tyska till Svenska

Martin Bilz, M.Sc. Research Fellow Manufacturing Technologies/Productions Systems Fraunhofer Institute for Productions System and Design Technology (IPK) Berlin Germany

Nils Sörlin, IS-AB, Isblästringsaktiebolaget i Göteborg

Robert Sherman, President, Applied Surface Technologies, New Providence, New Jersey, USA

Rozemarijn van der Molen, konservator, Holland

Sara Bang, 1^e konservator, Stiftelsen Föremålsvård

Thomas Nilsson, Sanna Stenhuggeri, vilken generöst bidragit med material till min fallstudie.

Vilma Gabriela Rosato, Architectural engineering, Botany, Materials engineering and Mycology, Argentina

Ett särskilt stort tack vill jag slutligen rikta till min kollega Anna Lagerqvist för stöd och uppmuntran, kvalitén på denna uppsats hade blivit avsevärt sämre utan din hjälp.

Innehållsförteckning

Förord	7
Innehållsförteckning	8
1. Inledning	11
1.1 Problembeskrivning.....	11
1.2 Frågeställningar.....	11
1.3 Målsättning och syfte.....	11
1.4 Tidigare forskning.....	12
1.5 Teoretisk referensram.....	13
1.6 Metod och material.....	14
1.7 Avgränsning.....	14
1.8 Källkritik.....	15
1.9 Uppsatsens disposition.....	15
2 Traditionell blästringsteknik och blästermedel	16
2.1 Blästringsutrustning.....	16
2.2 Om olika avverkningsfaktorer.....	17
2.3 Olika typer av blästermedel.....	17
2.4 Blästringspartiklars form och dess effekt på ytor.....	17
2.5 Partikelkontamination av ytor.....	17
2.6 Olika blästringsvinklar.....	18
2.7 Bedömningsstandarder.....	19
2.8 Avfall från traditionell blästring.....	19
3 Introduktion till koldioxidblästring	21
3.1 Lite om torrisens historia.....	21
3.2 Koldioxid och kolsyra, om några av koldioxidens kemiska och fysiska egenskaper.....	21
3.3 Aggregationstillstånd och olika faser.....	21
3.4 Koldioxid, från flytande till fast form.....	22
3.5 Industriell fabrikation och användningsområde.....	22
3.6 Torrispellets.....	23
4 Blästring med torris som blästermedel	24
4.1 Blästermaskiner.....	24
4.2 Enkelslangssystem.....	24
4.3 Dubbelslangssystemet.....	25
4.4 Munstycken.....	26
4.4.1 Enkelslangsmunstycke.....	26
4.4.2 Dubbelslangsmunstycke.....	26
4.5 Olika typer av specialmunstycken och insatser.....	27
4.6 Pelletsaddade maskiner eller ”Dry Ice Block Shaver Blasters”.....	27
4.6.1 Pelletsaddad maskin.....	27
4.6.2 Blockladdade maskiner.....	27
5 Koldioxidblästringens olika verkningsmekanismer	28
5.1 Termisk verkan.....	28
5.2 Glasomvandlingstemperatur.....	29
5.3 Kinetisk verkan.....	29
5.4 Sublimeringseffekten.....	29
5.5 Mekanisk påverkan och skada.....	29
5.6 Exempel på olika blästermedels hårdhet.....	30
5.7 Termisk påverkan orsak till skada?.....	30
5.8 Eventuella problem med kondens.....	31
6 Användningsområden för industrin	32
6.1 Rengöring av aluminium.....	32

6.2 Fett, lim och underredesmassa.....	32
6.3 Livsmedelsindustri.....	32
6.4 Brandsanering.....	33
6.5 Mögelsanering.....	33
6.6 Marina föremål.....	34
6.7 Tegel och sten.....	34
7 Hälsorisker vid blästring.....	35
7.1 Hälsorisker vid koldioxidblästring.....	35
7.2 Koldioxidhalt.....	35
8 Egen fallstudie.....	37
8.1 Stenar av granit.....	37
8.2 Vanliga rengöringstekniker för sten.....	37
8.3 Beskrivning av testets disposition.....	37
8.4 Kritiskt förhållningssätt till utförda tester.....	38
8.5 Tester.....	39
8.5.1 Test 1.....	39
8.5.2 Test 2.....	40
8.5.3 Test 3.....	41
8.5.4 Test 4.....	42
8.6 Sammanfattning av den egna fallstudien.....	43
9 Några exempel på andras fallstudier rörande torrisblästring.....	44
9.1 Fire and Ice: A Soot Removal Technique Using Dry Ice Blasting: Silverman, (2006). ..	44
9.2. Conservation of a Portuguese 15th-century iron cannon- the advantages of dry-ice blasting methodology: Lemos, Tissot, I., Tissot, M., Pesodro, Silvestre, (2007).....	44
9.3 CO ₂ -„Schneestrahlen“ von Bodenfunden, Meissner, (2007).....	45
9.3.1 Keramik.....	45
9.3.2 Järn.....	45
9.3.3 Kopparlegeringar.....	45
9.3.4 Ben.....	46
10 Vidare forskning.....	47
10.1 Blästring med flytande koldioxid- koldioxidsnö.....	47
10.2 Rengöring med superkritisk koldioxid.....	47
11 Avslutande diskussion.....	48
11.1 Hur fungerar koldioxidblästring jämfört med traditionell blästring, vilket är blästermedlets verkan?.....	48
11.1.1 Koldioxidblästringstekniken.....	48
11.1.2 Koldioxidblästermedlets verkan.....	48
11.2 Hur kan tekniken användas, inom vilka områden och på vad?.....	48
11.3 Vilka för- och nackdelar har koldioxidblästermedel jämfört med traditionella blästermedel ur ett ekonomiskt och miljömässigt perspektiv?.....	50
11.3.1 Miljö och hälsa.....	50
11.3.2 Ekonomiska faktorer.....	50
12 Sammanfattning.....	51
13 Källor och litteraturförteckning.....	52
13.1 Otryckta källor.....	52
13.2 Tryckta källor och litteratur.....	52
13.3 Internetkällor.....	55
14 Bild och illustrationsförteckning.....	60
15 Ordlista.....	61
16 Bilagor.....	62

1. Inledning

Då jag tidigare har arbetat inom industrin som friblästrare, har detta lett till ett särskilt intresse för olika blästringstekniker, blästermedel och dess möjliga applicering för konservering. Vad gäller utveckling av olika industriella tekniker går forskningen ofta snabbt framåt. Mycket utrustning som används i konserverings och restaureringsområden är i första hand utvecklade för industriellt bruk, och jag är övertygad om att det finns mycket användbar information att hämta för konservatorer genom att bevaka industrin.

1.1 Problembeskrivning

I fallet med blästring, tror jag att konserveringsverksamheten kan dra stor nytta av att kasta ett getöga på industriella firmor, dels med hänsyn till olika tekniker, men även möjligheten att kunna åta sig arbeten som vanligtvis kanske faller utanför ramarna för konserveringsarbete, till exempel restaurering/konservering av gjutjärnsräckan, gravkors etc. Arbeten som kanske av tradition ofta tillfaller olika industriella firmor. Allt eftersom det industriella arvet åldras tillkommer t.ex. krav, och för all del spännande möjligheter och utmaningar att försöka bevara denna så viktiga del av vår historia. Här kommer emellertid många objekt på grund utav sin storlek att kräva ett kanske för konservering/restaurering något okonventionellt arbetssätt. En större kapacitet, att kunna arbeta över ett bredare fält är givetvis av betydelse för personlig utveckling för den individuella konservatorn, men naturligtvis bidrar detta även till godare ekonomiska förutsättningar för olika konserveringsfirmor, institutioner etc.

Stora arbeten, (rumsligt sett), leder in på en av blästringsteknikens större nackdelar. Nämligen avfallshantering av använt blästermedel och de produkter som avlägsnats genom blästring. Använt blästermedel är både kostsamt och ofta hälsovådligt att hantera. Att minimera avfallet är därför av stort intresse, både miljö- och hälsomässigt. Förutom att skapa en mängd avfall i form av uttjänt blästermedel samt damm under arbetets gång, har många traditionella blästermedel den nackdelen att de fungerar kraftigt nötande på olika material. Koldioxid i fast form, även kallat torris, som denna uppsats kommer att handla om, har dock en mycket låg hårdhet och verkar delvis genom andra mekanismer än traditionella blästermedel. Torrisen har även den stora fördelen att det ej genereras något avfall i form av uttjänt blästermedel under arbetets gång. Detta kan göra torrisblästring till en möjlig metod för rengöring inom konservering samt restaurering. Utöver blästring med torris förekommer även rengöring av olika material med koldioxid i andra så kallade faser, såsom superkritisk och flytande, vilka är arbetsmetoder som inte förekommer, mig veterligen i någon större utsträckning i Sverige.

1.2 Frågeställningar

- Hur fungerar koldioxidblästring jämfört med traditionell blästring, vilket är blästermedlets verkan?
- Hur kan tekniken användas, inom vilka områden och på vad?
- Vilka för- och nackdelar har koldioxidblästermedel jämfört med traditionella blästermedel ur ett ekonomiskt och miljömässigt perspektiv?

1.3 Målsättning och syfte

Syftet med uppsatsen är att undersöka hur rengöring med koldioxid i fast form fungerar, samt används inom konservering och restaureringsarbeten i Sverige och utomlands, och i så fall på vilket sätt. Samt om det eventuellt kan finnas nya appliceringsmöjligheter för tekniken. Då ingen svensk litteratur finns tillgänglig i ämnet, är förhoppningen att detta arbete kan tjäna som en enkel ingång i ämnet för intresserade. Jag vill därför samla information, för att skapa

en översiktlig bild av ämnet för att därigenom skapa en grundläggande förståelse samt intresse för ämnet. Utöver blästring med koldioxid kommer även en basal genomgång rörande traditionell blästringsteknik/medel göras. Detta för att ge en grundläggande förståelse, vilken därigenom underlättar för läsaren att lättare utvärdera skillnader/fördelar sinsemellan olika tekniker.

För att sammanfatta detta i punktform är tanken med uppsatsen att;

- Skapa en grundläggande förståelse för tekniken där koldioxid i fast form används som blästermedel.
- Om tekniken används, ta reda på vad som är teknikens fördelar och eller nackdelar, både praktiskt samt miljömässigt, för användande inom konserverings och restaureringsarbeten.
- Ta fram exempel på olika typer av tillämpningar.

1.4 Tidigare forskning

Det finns en del litteratur rörande blästring med andra typer av blästermedel än torris. Den svenska litteratur som behandlar blästring, studerar andra typer av blästermedel samt olika hälso- och miljörisker som dessa metoder kan medföra. Även om den svenska litteraturen inte berör koldioxidblästring, behandlar mycket av litteraturen frågor som är relevanta för ämnet. Bland dessa kan nämnas Catinka Borgarps examensarbete *Blästring i ett nötskal” nya” rensmedel på gamla mjuka metaller*. Borgarps huvudfråga är huruvida mjuka arkeologiska metaller kan rengöras genom blästring med olika typer av plastkuler eller valnötsskal, och hur metallernas ytor påverkas av detta. Författaren slutsats i sitt examensarbete är att korrosionsprodukter kan avlägsnas på kopparlegeringar, utan att skada patinan, om dessa blästras med ett mjukt blästermedel under lågt tryck. Även kraftigt korroderade, förgyllda och försilvrade föremål kunde blästras med godtagbart resultat. Blästring kunde dock ej utföras på tenn eller massivt silver då sådana föremåls ytor skadats kraftigt. (Borgarp, 1995: 57-58).

Vad gäller blästring med koldioxid, har jag inte funnit någon litteratur skriven på svenska som berör ämnet mer ingående. De texter som behandlar ämnet, har uteslutande varit skrivna av olika företag och av typen information på ett företags hemsida. Vad gäller utländsk litteratur av och för konservatorer, har jag dock påträffat litteratur som både direkt och indirekt berör ämnet. Exempel på författare är Heinrich Piening och Roswitha Schwarz som skrivit om olika kryogena metoder för bland annat avlägsnandet av vax från trä (Piening & Schwarz, 1998). Schwarz har även genomfört ett ”diplomarbete” i ämnet (Schwarz, 1997). Även Monika Reimer har skrivit ett ”diplomarbete” som delvis handlar om kryogen (CO₂) blästring för rengöring av bronsstatyer (2005). Randy Silverman har publicerat en artikel som behandlar CO₂ blästring för avlägsnande av sot på böcker (Silverman, 2006). År 2009 utkom Rozemarijn van der Molen med uppsatsen *Droogijstralen dé reinigingstechniek voor metalen*. Van der Molen utförde blästringstester på aluminium, brons, patinerad brons mm. Efter blästring har tvärsnitt av testbitarna studerats med SEM/XRD samt med optiskt mikroskop. Utöver dessa tester utfördes även försök med avlägsnande av vax och grafitti från olika ytor i detta arbete.

Konservator Alexandra Schieweck har bland annat skrivit artikeln *Effects of cryogenic temperatures on paint layers on polychrome wooden objects* som bygger på hennes ”degree dissertation” (Schieweck, 2005). I artikeln analyseras eventuell påverkan på olika färgskikt vid kryogen rengöring av olika färgskikt. Detta sker bland annat med hjälp av ESPI, SEM, samt infraröd termografi. Även konservator Isabel Tissot har publicerat mycket intressanta artiklar i ämnet, bland annat om konservering av en järnkanon (Lemos, Tissot, I., Tissot, M., Pedroso,

Silvestre, 2007). Vidare har konserveringsinstitutionen SVK använt och skrivit om koldioxidblästringmetoden (Denlert, hämtad 2013-08-22). Till detta har jag påträffat en del information som i första hand är skriven med industrin som tänkt mottagare vilken är skriven med stor vetenskaplig precision, exempelvis från Fraunhofer Institut som bedrivit och bedriver forskning i bland annat detta ämne.

1.5 Teoretisk referensram

"Vi kämpar nu mot en riktning, men denna riktning måste dö och trängas undan av en annan. Då kommer man inte längre att förstå vår argumentation mot den, inte begripa varför man var tvungen att säga allt detta" – Wittgenstein (Duerr, 1994:8)

Att kunna reflektera över konservatorsyrket på ett teoretiskt/filosofiskt vis, är en förutsättning för ett meningsfullt praktiserande av professionen. I konserveringens/restaureringens barndom när ämnet var nära knytet till byggnader, växte två olika läror fram, med de för de allra flesta inom vårt yrke säkerligen kända förespråkarna Viollet-le-Duc respektive John Ruskin.

De två ståndpunkter som dessa framförde, har senare kompletterats med andra förhållningssätt. Senare har teoretiker samt verksamma i ämnet försökt positionera sig någonstans utmed de två olika extremerna, till exempel Brandi vilken betonade konstnärliga/estetiska värden 1963 i *"Teoria del restauro"* (Munoz, Viñas. 2005:5-6). För att till synes objektivt lösa tvisten mellan dessa ovan nämnda olika synsätt, har konservatorer ofta tillgripit ett "vetenskapligt" förhållningssätt. Med ett sådant skulle man då kunna (rättare sagt slipper man), oavsett hur man genom dessa olika synsätt värderar ett objekt, vare sig det är i ett objekts form, exempelvis genom användandet av PEG till vattendränkt trä, dess ursprungliga funktion, material eller konstnärliga kvaliteter etcetera, undgå att motivera en handling teoretiskt.

Detta tillvägagångssätt utgår från ett antagande att det finns ett objektivt sett föredraget, äkta tillstånd som objekten bör befinna sig i. Och att en metod enkom kan försvaras utifrån naturvetenskapliga premisser, till exempel ett automatiskt avlägsnande av tjocka korrosionsprodukter från arkeologiskt järn, bevarandet av ett arkeologiskt silvermynts "patina" etc. Huruvida metoden eller metoderna bör användas, reduceras till beslut grundade på materiella fakta. Vilket därmed innebär att någon teoretisk motivering av användandet av den gällande metoden ej anses som nödvändig. Detta "vetenskapliga" förhållningssätt understöds ofta med begrepp såsom "autenticitet" minimalt ingripande, "ursprunglig" osv... Dessa menar jag, är dock i själva verket uttryck för en subjektiv estetisk uppfattning av ett föredraget tillstånd, eller så som Munoz- Viñas uttrycker det, *"We prefer the object to exist in a different state. Conservators thus modify reality (which is undoubtedly authentic)"* (Blackman, 2008: 22, hämtad 2012-03-04).

När Wittgenstein skrev de ovan anförda raderna i detta styckes inledande del, var det säkerligen inte konserveringsfältet han hade i åtanke, ändå tycker jag att citatet mycket väl fångar de tidsbundna strömningar som vi alla, har varit, är och kommer att vara knutna till. Som en del av en tidsanda, är jag givetvis färgad av min samtid, som i mitt tycke, alltmer genomsyras av en utbredd relativism. Mitt eget förhållningssätt, på vilket denna uppsats bygger, grundar sig på den uppfattningen att ett målbaserat arbete är föredömligt, väl medveten om att kommande riktningar förmodligen kommer att tränga undan detta synsätt. I ett målbaserat arbete, är det målet menar jag (vilket i första hand sätts av beställaren/uppdragsgivaren) vilket bör (som ett tecken på reflektion) avgöra huruvida en arbetsmetod är möjlig att använda och att föredra. Konservatorn kan, och bör dock vid behov, vara behjälplig i målfrågan genom att ge exempel på olika relativistiska handlingsmetoder, vilket kort förklaras i följande stycke. Även om huvudsyftet i tidigare

nämnda handling skall vara ett rent bistående, medför detta även att konservatorn i värsta fall skulle kunna friskriva sig etiskt ansvar.

Relativismen består alltså i att det finns ett antal möjliga handlingssätt, alla möjliga beroende på olika omständigheter och förutsättningar, vilka dessa variabler kan vara, och vilka som bestäms som värdefulla. Målet med konserveringen av ett föremål kan alltså skifta, beroende på vilka associationer och betydelser man vill det konserverade objektet skall ges för betraktaren. Det är dock självklart att man bör sträva efter att behandla ett objekt så det kan ge så många olika betydelser som möjligt för betraktaren.

Arbete med kulturhistoria fungerar till viss del som ett politiskt verktyg, och är i viss mån politiskt styrt. Jag menar något hårdtaget att reflektion är nödvändigt, utan denna riskerar man att förvandlas till ett omedvetet instrument - något som kan vara vådligt. Då historien i allra högsta grad, är framtiden...

1.6 Metod och material

Denna uppsats är till stor del en litteraturstudie. En stor del av källorna är hämtade från Internet och är skrivna för läsare knutna till industrin. Visst material har påträffats, i form av fallstudier, som är skrivna av och för konservatorer och restauratörer.

En enklare fallstudie har i uppsatsarbetet utförts i samarbete med den Göteborgsbaserade blästringfirman, IS-AB, ISBLÄSTRINGSAKTIEBOLAGET I GÖTEBORG numera Isblästringsbolaget AB (Isblästringsbolaget AB, hämtad 2012-11-20). Syftet med den egna fallstudien har dels varit att få en viss känsla för metoden och se när den utförs i praktiken, dels undersöka huruvida tekniken är användbar för rengöring inom stenkonservering. Blästringen utfördes på material som välvilligt skänkts av Thomas Nilsson, Sanna Stenhuggeri i Göteborg.

Det har under arbetets gång påträffats arbeten som verkat mycket intressanta, dock skrivna på språk som författaren av detta arbete inte behärskar. De som på grund av tidsbrist ej kunnat översättas, har därför olyckligtvis fått läggas åt sidan.

Även om ämnet för denna uppsats inte berörts tidigare i någon större utsträckning i Sverige, har ett flertal olika konservatorer samt forskare från andra discipliner i andra länder skrivit mycket intressanta texter och uppsatser, utan dessa skulle detta arbete blivit tämligen tunt. Jag har därför tacksamt använt mig av dessa för mitt eget arbete. Jag vill även rikta ett särskilt stort tack till konservatorerna Rozemarijn van der Molen samt Isabel Tissot, som låtit mig ta del av sin forskning samt varit behjälpliga med att låta mig ta del av andras arbeten.

1.7 Avgränsning

Denna uppsats kommer att handla om blästring med koldioxid i fast form. Då mycket lite skrivits om denna teknik blir inträngningsgraden i ämnet ej särskilt omfattande. Jag kommer som tidigare nämnt att inrikta mig på grunderna. I uppsatsen beskrivs blästring med hjälp av olika typer av teknisk utrustning, samt olika materialtyper, på vilka teknikerna utprovats. Att fullständigt utforska de olika metodernas funktion och verkningar på olika materialtyper och materialkombinationer skulle vara allt för tidskrävande, och får lämnas till andra för vidare forskning.

I olika källor förekommer frekvent olika uppgifter rörande hårdhet på torrisen, jag konstaterar detta här, och utgår från uppgifter jag erhållit vid korrespondens med informant nr.1, som uppger hårdheten på torris till cirka 1,5 Moh. Vad gäller sublimeringstemperaturen utgår jag från värdet -78,5 (Ekbom m.fl., 2003:126).

Då det finns en mängd olika fabrikat samt tekniska skillnader på utrustning inom området, kan endast ett urval av dessa undersökas samt presenteras. Presentationen av utrustningen och dess funktioner är givetvis kraftigt förenklad. Jag har i dessa fall snarare försökt ta fasta på övergripande skillnader. Detaljerna, vilka är många och säkerligen förändras snabbt, överlåter jag åt andra att fördjupa sig i.

1.8 Källkritik

Blästring med koldioxid är en relativt ny teknik. Inom industrin och inom konserverings sammanhang, har den i Sverige så vitt jag vet endast prövats vid ett fåtal tillfällen. Detta medför att utbudet av information har varit otillfredsställande litet. De fallstudier som jag har lyckats uppbringa information om inom konservering eller restaurerings sammanhang, är få och har delvis inriktat sig på att experimentera med olika material. Detta, samt tidsbrist, medför givetvis svårigheter för denna uppsats att undersöka teknikens möjliga appliceringar samt för- och nackdelar med önskvärd grundlighet.

En stor del av informationen har hämtats från företag samt organisationer som exempelvis Cold Jet vilka har ett egenintresse i att framställa koldioxidblästringstekniken i så positiva ordalag som möjligt (Cold jet LLC© (a), hämtad 2012-11-20). Detta gör självfallet att information gällande för och nackdelar med denna teknik riskerar att vara tendensiös. Utöver risker med tendensiösa källor har en stor svårighet varit att överbrygga den språkliga barriär som de utländska källorna erbjuder, i några fall har författaren med översättningshjälp använt litteratur som skrivits på andra språk än engelska. Att några felöversättningar eller feltolkningar smugit sig in hålles därför ej för osannolikt, dessa fel kan dock endast lastas författaren av detta arbete.

1.9 Uppsatsens disposition

Uppsatsen är indelad i 17 olika kapitel. Nedanstående lista förklarar i korthet kapitelns innehåll.

2. Här avhandlas praktiska samt teoretiska grunder för blästring i allmänhet.
3. Detta kapitel ger i korthet en historisk genomgång och behandlar olika egenskaper för torris.
4. Om tekniken som används vid koldioxidblästring.
5. Genomgång av koldioxidblästringens teori samt verkan.
6. Olika typer av vanliga användningsområden för koldioxidblästring inom industriell verksamhet.
7. Egen utförd fallstudie, där ett stenmaterial har rengjorts från olika typer av oönskade beläggningar.
8. Några exempel på vad denna teknik använts till inom konservering och i restaurerings sammanhang.
9. Om avfallet som genereras vid blästring samt en redogörelse för olika typer av hälsofaror som är förknippade med blästringstekniken.
- 10,11. Här förs en avslutande diskussion och sammanfattning av den information och de resultat som uppsatsen genererat.
- 12,13, 14,15,16. Noter, källor, bild samt illustrationsförteckning, ordlista bilagor
17. Vidare forskning

2 Traditionell blästringsteknik och blästermedel

För att lättare förstå blästringsprocessen med koldioxid avhandlas härmed först grunderna för vanligt blästringsförfarande.

Den svenska nationalencyklopedin beskriver blästring som en slipmetod, där en luftström blandad med ett slipmedel blåses mot en yta (Nationalencyklopedin (a), hämtad 2009-03-30). Tekniken användes industriellt redan på 1870-talet, då man med sand och tryckluft använde metoden till att dekorera glas (Ekdahl, 1984:17). Nuförtiden är blästring en metod som vanligtvis används för att avlägsna korrosion och smuts samt andra beläggningar. Detta kan ha som syfte att endast rengöra t.ex. i klottersanering eller för att kunna möjliggöra någon form av ytbehandling exempelvis inför rostskydd, lackering av stålkonstruktioner m.m. Blästring används även fortfarande för att dekorera glas eller som förbehandling på ytor vilka är tänkta att limmas samman. I konserveringssammanhang används metoden främst för att avlägsna korrosionsskikt på arkeologiskt järn.

2.1 Blästringsutrustning

Det finns en mängd olika metoder och utrustning som kan användas, såsom stationära eller portabla blästringsmaskiner. Dessa kan antingen vara helautomatiska maskinblästrar, eller sådana som handhas av en operatör (vid så kallad fristråleblästring/friblästring). De olika typerna kan förenklat delas in i så kallade "ejektorblästrar", där blästermaterialet sugts upp genom att tryckluft från en kompressor strömmar ut genom munstycket och därmed skapar ett sugande vakuum (venturieffekt). Eller i en eller dubbeltryckkammarbläster, där en klocka fylls med blästermedel vilket fås att strömma ut genom att tryckluft höjer trycket i klockan. I enkammartryckblästrar kan inte blästermedlet fyllas på under arbetets gång något som är möjligt med dubbelkammersystemet. De ovan nämnda blästringsapparaterna används vid friblästring där en blästrare iförd skyddsutrustning har det tunga arbetet att blästra olika objekt i ett ofta slutet utrymme. Det finns även en tredje form av automatiserad blästringsutrustning som verkar genom att blästermedlet accelereras med hjälp av slungor s.k. slung- eller maskinblästring.

Till de olika blästersystemen kan slangar och munstycken kopplas för olika ändamål, såsom små vagnar/slädar, vilka kan blästra rör invändigt, eller en extra slang för att kunna nå objekt som är högt belägna. En standardslang har vanligtvis en längd på 20 meter, till en sådan kan enkelt ännu en slang kopplas samman med s.k. klokoppling vilket ger minimalt flödesmotstånd. Överstiger höjdskillnaden 40 meter kan inte ett pneumatiskt styrsystem användas, utan måste ersättas av utrustning som styrs elektriskt. En total slanglängd på upp till 200 meter kan vara möjlig att använda om invändig slangdiameter avpassats för att minska tryckfall (Burchard, 1988. s. 3:5, 3:8, 3:10).

I konserveringssammanhang används ofta så kallade mikroblästrar, vilka fungerar med samma teknik som större maskiner för friblästring men i mindre skala. Till skillnad från dessa, utförs blästringen då i ett blästerskåp. Det finns även blästringsapparater för olika typer av blästringsmedel. Val av blästermedel beror på många olika faktorer; vad som skall blästras, vilken maskintyp som används, specifika krav på renhet, avverkning, yta mm. Blästring kan genomföras antingen med torrt, fuktigt eller vått blästermedel. Den metod som mest liknar blästring med torris är torr fristråleblästring.

2.2 Om olika avverkningsfaktorer

Det finns en mängd olika parametrar som påverkar arbetsresultatet vid blästring. Förenklat kan nämnas att gällande blästermedel, ger en ökande densitet, hårdhet samt storlek, en ökad avverkningsgrad (Reitz, 1994: 627-628). Gällande blästringstekniken, påverkar faktorer såsom avståndet mellan munstycke och blästringsobjekt, flödesmängd, blästringsmedlets partikelstorlek, samt hur länge ett objekt blästras (Uhlman, Krieg, 2005: 198, hämtad 2010-05-20). Förutom alla de ovan beskrivna olika parametrarna som har betydelse för blästringsresultatet har även det material/objekt som blästras givetvis en stor betydelse för resultatets utgång. Detta torde särskilt gälla för olika former av nedbrutet material som kan komma att vara aktuellt i konserverings- och restaureringssammanhang.

2.3 Olika typer av blästermedel

Blästermedlet och dess olika egenskaper är av mycket stor betydelse för vilken verkan blästringen får på en yta eller ett ytskikt. Som nämnts i föregående kapitel, ger en ökande hårdhet, densitet samt storlek ökande avverkningsgrad. Vidare påverkar även blästermedlens olika former det färdiga resultatet (runda, kantiga partiklar etc.). Det finns en rad olika blästermedel ute på marknaden vilka kan härstamma från metaller, mineral, syntetiska eller organiska ämnen, vilka alla är tänkta för en mängd olika applikationer.

I blästring för konserveringsarbeten används ofta glaspärlor, aluminiumoxid samt organiska blästringsmedel exempelvis valnötsskal. Vid industriell friblästring används ofta gjutjärnslag, olivin, aluminiumoxid m.m. beroende på vad som skall blästras. Blästermedlens storlek kan mätas i enheten Mesh, mm eller μ . Hårdheten kan mätas i en rad olika skalor, såsom Knoop, Mohs, Vickers (H_V), Brinells eller Rockwells, (ibland beroende på vilket material blästermedlet är gjort av).

Olika blästermedel kan påverka utseendet på en blästrad yta. Detta kan ske genom viss inträngning av blästermedel i en yta, där mörka blästermedel då kan ge en mattare, mörkare yta. Vissa blästermedel kan även genom sin hårdhet skapa små gropar i ytan, vilket ger det blästrade materialet ett mörkare intryck på grund utav den skugg effekt som därigenom kan uppstå, utan att för den skull själva blästermedlet är mörkt (ISO 8501-1:2007: 83).

2.4 Blästringspartiklars form och dess effekt på ytor

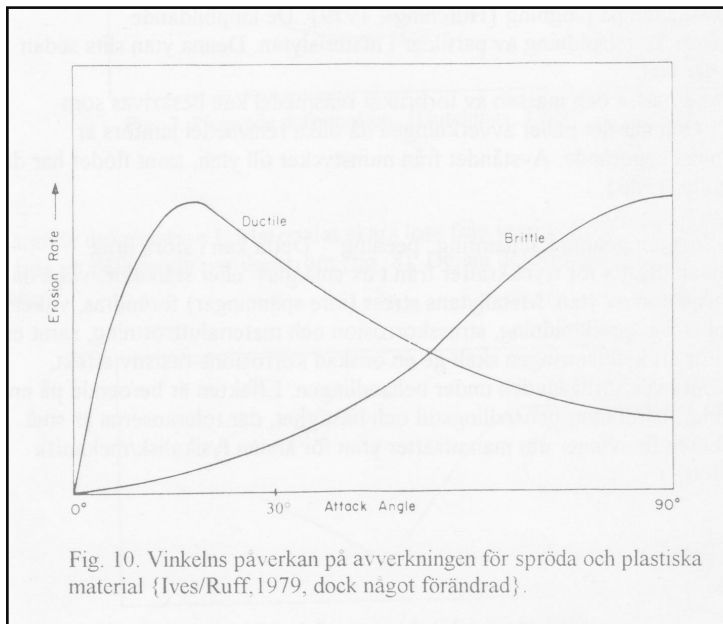
Den deformation eller materialförlust som sker på en yta som blästras, beror bland annat på formen samt hårdheten hos blästermedlet som används. Hutchings har gjort tester för att undersöka hur metallytor reagerar när de träffas av partiklar med runda former eller kantiga former, exempelvis glaskulor respektive kiselkarbid (karborundum). Han konstaterar att det förekommer tre stycken olika deformationstyper, beroende bland annat på det använda blästermedlets form, infallsvinkel, samt vinkel på blästringsobjektets yta och partikelrotationsriktning. De olika deformationstyperna benämner han som skärande, typ I och II samt plogdeformation. Plogdeformation är vanligast förekommande vid användande av ett blästermedel med runda partiklar, till skillnad från kantiga blästermedelspartiklar som i större utsträckning orsakar den s.k. skärande typ I och II deformationen. Hutchings konstaterar dock att alla tre olika deformationstyper kan orsaka materialförlust (Hutchings, 1979: 59-71).

2.5 Partikelkontamination av ytor

Ives & Ruff har studerat hur kopparplåtar påverkas gällande materialavverkning och materialdeformation av Al_2O_3 partiklar (vanligen använt blästermedel förf.anm.). Författarna konstaterar bland annat att det sker en inbäddning av blästermaterialet i den blästrade ytan. Denna inbäddningsmekanism sker på mikronivå och uppträdde både vid 20 och 90 graders

blästringens vinkel. Dock skilde sig bland annat partikelstorleken och inträngningsdjupet för Al_2O_3 i kopparen vid de olika vinklarna. Vid 90 graders blästringens vinkel berodde inbäddningen till stor del på att partiklarna fångades under deformationer som drivits upp vid tidigare partikelträffar. Deformationerna plattades sedan till vid ytterligare träffar, och på så sätt fångades partiklar som för tillfället befann sig under dessa deformationer. (Ives & Ruff, 1979: 15-18). Att denna form av innesluten kontaminering skulle kunna komma att skapa framtida problem vid konserveringsarbete med arkeologiska/ recenta föremål, konstateras bland annat av Cronyn samt Wilson (Cronyn, 1990: 65), (Wilson, et al, 2010: 250-251). Om det är möjligt att använda CO_2 blästringstekniken, skulle en sådan möjlig orsak till framtida problem då kunna undvikas p.g.a. detta blästermedels sublimering.

2.6 Olika blästringens vinklar



Figur 1. Diagram över olika blästringens vinklar.

angreppsvinkeln ökar. Vid 20° på ett formbart material dominerar avverkning genom skärdeformation, medan en ökad blästringens vinkel även medför en ökande avverkning med s.k. plögdeformation (Borgarp, 1995: 22). För torrisblästring torde förhållandena i stort sett vara lika. Spur, som bl.a. skriver om avlägsnandet av 2-komponents pulverlackfärger från metall, konstaterar att en lägre blästringens vinkel medför en ökad nötande effekt vid blästring med torris. Vidare menar han att en blästringens vinkel på 90° är effektivast på alla färger med olika tjocklekar. Detta kommer sig då av den ökade kinetiska energi som tillförs vid en ökad vinkel (Spur, Uhlmann, Et.al, 1999: 6-7, hämtad 2009-04-27). Malavallon som skriver om avlägsnande av färgskikt från aluminium, menar dock att det bästa resultatet uppnås med vinklar på 60-80° (Malavallon, 1995:7-1-7-2). Detta är även något som väl stämmer överens med uppsatsförfattarens egna erfarenheter. I praktiken borde dock den effektivaste vinkeln däremot variera för olika material (om nu fullständig strippning ens är det önskvärda). Inget material är ju varken fullständigt skört eller formbart, och graden av termisk/kinetisk verkan på olika material varierar även emellan olika typer av material. I praktiken är även blästring med en fixerad vinkel ofta omöjlig att uppnå. Det kan dock vara bra att vara medveten om blästringens vinkelns betydelse, då den kan få stor betydelse för arbetstiden vid större arbeten såsom båtskrov och dylikt.

Gällande blästringens vinkeln för att snabbast avlägsna olika ämnen/beläggningar, samt avverkningsmekanism (deformationstyper etc.). Skiljer sig denna beroende på om man skall avlägsna formbara eller spröda material/skikt(se figur 1). För traditionella blästringens metoder gäller att; vid 90° angreppsvinkel på ett skört material, är avverkningstakten maximal varvid olika sköra ämnen/beläggningar avverkas genom fortplantning av sprickor.

För formbara material sker däremot den snabbaste avverkningen vid omkring 20° för att därefter sjunka om

2.7 Bedömningsstandarder

För industriell bedömning av material, ytor, ytbehandling m.m. finns ett flertal olika standarder. Av några av de standarder som kan vara av intresse för läsaren kan nämnas ISO 8504-Förbehandlingsmetoder, ISO 8503 karakterisering av ytråhet hos blästrade stålunderlag, ISO 8502-Provning för utvärdering av ytrenhet, samt ISO 8501-Visuell utvärdering av ytrenhet (ISO 8501-1:2007, 2007: 73). Stålytor som förbehandlas med hjälp av blästring betecknas Sa, dessa delas i sin tur in i 4 olika blästringsgrader, vilka går från lätt till grundlig blästring som rengör ned till ren metall, blästringsgraderna delas in i; Sa 1, Sa 2, Sa 2 1/2, samt Sa 3 (ISO 8501-1:2007, 2007: 78). För att få en beskriven definition av dessa samt andra grader, och se dessa beskrivna i text samt bild kan den intresserade läsa boken *Vägledning till Rostgradsboken* (ISO 8501-1:2007, 2007: 69-88).

2.8 Avfall från traditionell blästring

Traditionell blästring är som tidigare nämnt, förknippat med genererandet av en i vissa fall mycket stor mängd avfall i form av använt blästermedel, där olika typer av föroreningar kan ha blandats in i blästermedlet. Detta ger kostnader i samband med dess omhändertagande, transport och deponi, och kan dessutom ha skadlig påverkan dels på människor och miljö.

Enligt avfallsförordningen skall den som yrkesmässigt hanterar eller producerar olika typer av avfall kunna klassa avfall med hjälp av olika avfallskoder. (Naturvårdsverket (a) hämtad 2010-12-06). Det avfall som uppkommer vid blästring, är som ovan nämnt delvis bestående av avnöttningsprodukter från den blästrade ytan. Vad den blästrade ytan består av är ofta något som fastighets- / anläggningsägaren väl känner till, vilken då är mest lämpad att klassa detta avfall (SFS, 2001: 1063). Ansvaret för avfallet regleras ofta genom avtal. Formellt är det fastighets/anläggningsägaren som är ansvarig för att nämnda avfall klassas som icke-farligt eller farligt. I praktiken förefaller det dock vara vanligt att utföraren/ entreprenören klassar samt omhändertar avfallet (transport av farligt avfall kräver transporttillstånd av länsstyrelsen) (Informant nr. 3).

Med hjälp av avfallsklassningen kan tillämpning av olika miljöbestämmelser fastställas, för att ett avfall därigenom skall kunna omhändertaras/deponeras på rätt sätt. (Naturvårdsverket (a): hämtad 2010-12-06). Naturvårdsverket skriver i "Lista över avfall som klassas som farligt till dess att motsatsen visats" att vissa typer av använd blästersand skall klassas som farligt. Detta gäller "Blästersand från blästring av ytor belagda med blyinnehållande pigment (exempel blymönja, blyvitt eller kromat) eller krom (IV) innehållande pigment (t.ex. blykromat). Blästersand från bottenblästring av båtar och fartyg som är belagda med giftiga eller ekotoxiska bottenfärger. Även eventuella tungmetallföroreningar i den oanvända blästersanden bör beaktas vid bedömningen (Naturvårdsverket (b), hämtad 2010-04-04). Denna lista är en rekommendation för den som snabbt vill veta om ett avfall är farligt eller ej. I praktiken innebär denna och andra rekommendationer t.ex. kretsloppsrådets samt olika klassningslathundar som ofta används av kommuner, att ett avfall hamnar på deponi för farligt respektive ofarligt avfall utan närmare kemisk analys (typen av deponi är ofta knutet till de s.k. kallade mottagningskriterierna om bl.a. lakningsegenskaper). Praxis varierar dock, och det förekommer även att analys av avfall rekommenderas ske regelmässigt. Det är dock möjligt för en avfallsägare att göra undersökningar för att ta fram ett representativt analysresultat, och därigenom kunna bedöma farlighet efter analys och gränsvärden (om exempelvis en avfallsägare vill återanvända ett blästermedel efter rening). Om ett avfall bedöms vara farligt skall det klassas med av de tidigare nämnda rätta avfallskoderna och ett transportdokument skall upprättas vid varje borttransport, något som kommunen har tillsynsansvar för. För närmare bestämmelser om detta, se i avfallsförordningen (SFS, 2001:1063), (Informant nr. 3).

Ett blästringsobjekt eller arbete kan även vara förenat med anmälningsplikt vilket framgår i en bilaga till *förordning om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd*. Där står att läsa att det är förenat med

anmälningsplikt om objektet/objekten som skall blästras innehåller blymönja, eller om blästringen omfattar ” mer än 500 kvm yta per år eller på en plats där det finns stor risk för förorening av vatten” (SFS (b). Underlåtelse av detta är förenat med en miljöstraffavgift (25 000 kr) samt åtalbart (VA SYD: 5-10, hämtad 2013-05-01).

Oavsett om arbetet som skall utföras är förenat med anmälningsplikt eller ej, skall beaktande tas till miljöbalkens hänsynsregler. Där står att läsa bl.a. att, ”Alla som bedriver eller avser att bedriva en verksamhet eller vidta en åtgärd skall utföra de skyddsåtgärder, iaktta de begränsningar och vidta de försiktighetsmått i övrigt som behövs för att förebygga eller motverka att verksamheten eller åtgärden medför skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön. I samma syfte skall vid yrkesmässig verksamhet användas bästa möjliga teknik.”(SFS (c).

Blästersanden kan förutom att innehålla en stor mängd farliga ämnen, även orsaka problem med igensättning av avloppsledningar. För att motverka detta måste eventuella skyddsåtgärder utföras innan arbetet startar (t.ex. uppsamlingsanordning för vatten) samt att blästersanden/vattnet omhändertas efter användning. Det spillvatten som kan skapas vid vissa former av blästring måste ibland tas om hand. Detta beroende på partikelhalt och/eller metallföroreningar. Vid osäkerhet bör analys av avfallet göras, för att sedan låta VA- verket avgöra om så är fallet. Det är viktigt att tänka på att blästervattnet/sanden, som tidigare nämnts, utöver sig självt även kan innehålla skadliga partikelföroreningar från det objekt som blästrats (VA SYD: 6, hämtad 2013-05-01).

3 Introduktion till koldioxidblästring

3.1 Lite om torrisens historia

1830 beskrevs koldioxid i fast form för första gången av vetenskapsmannen Adrien-Jean-Pierre Thilorier, då denne hade uppfunnit en maskin som kunde komprimera koldioxid (Pasquali, 2015:10).

1930 blir industriell framställning av solid koldioxid möjlig, till en början användes torrisen främst inom kylning.

1945 testade den Amerikanska flottan om torris kan fungera som ett möjligt blästermedium för avfettning.

1963 erhålls ett patent för att avlägsna kött från ben med hjälp av koldioxidpartiklar.

1977 erhåller Calvin Fong ett patent för ”sandblasting with pellets of material capable of sublimation” (Cold jet LLC© (b))

På 1980-talet bildades en rad olika företag som vidareutvecklade koldioxidblästringens teknologi. De första maskinerna som kom ut på marknaden var sammankopplade fysiskt sett, med tillverkningen av torris. Detta gjorde dem skrymmande samt dyra. De krävde dessutom ett mycket högt arbetstryck på över 200 psi (Foster, 2009: 161, hämtad 2009-11-06) vilket omräknat till Bar ger ett värde på 13,79 Bar, (Dragsource, hämtad 2010-12-15). Den industriella utvecklingen har dock lett till att blästringsmaskinerna skilts från torrstillverkningen och att arbetstrycket kunnat sänkas betydligt, bland annat genom högre densitet på pellets samt förbättrade munstycken (Foster, 2009: 161, hämtad 2009-11-06). Allt som allt, har detta lett till ett blästersystem som kan komma att användas kostnadseffektivt inom en rad olika materialkategorier.

3.2 Koldioxid och kolsyra, om några av koldioxidens kemiska och fysiska egenskaper

Vid rumstemperatur är koldioxid ett icke brännbart, färglöst gasformigt ämne, vilket är cirka 1,5 gånger tyngre än luft. Koldioxiden är inert och är den stabilaste av kolets oxider. Koldioxidmolekylen är till sin struktur linjär samt uppbyggd av en kolatom, samt två syreatomer. Koldioxid benämns i vardagligt tal ofta som kolsyra, detta är dock felaktigt då denna först bildas när koldioxiden protolyseras i vatten och därigenom bildar H_2CO_3 (kolsyra). (Nationalencyklopedin (c), hämtad 2009-03-30). Som en syra kan den beroende bland annat på pH, avge en viss del vätejoner, och därigenom bilda karbonatjoner (CO_3^{2-}) eller vätekarbonatjoner (HCO_3^-). Protolysen där kolsyra bildas sker dock i liten skala då 99,9% av koldioxiden kvarstår i vatten som CO_2 i löst form. Kolsyra är svagt sur och kan angripa vissa mineral till exempel kalkspat). Förutom att befinna sig i gasform eller delvis löst i vätska kan även koldioxiden befinna sig i andra faser, såsom fast, flytande eller superkritisk.

3.3 Aggregationstillstånd och olika faser

När man talar om ett ämnes aggregationstillstånd, beskrivs det materialtillstånd i vilket ett visst ämne befinner sig i. Dessa delas förenklat in i fast (s), flytande (l) eller gas (g).

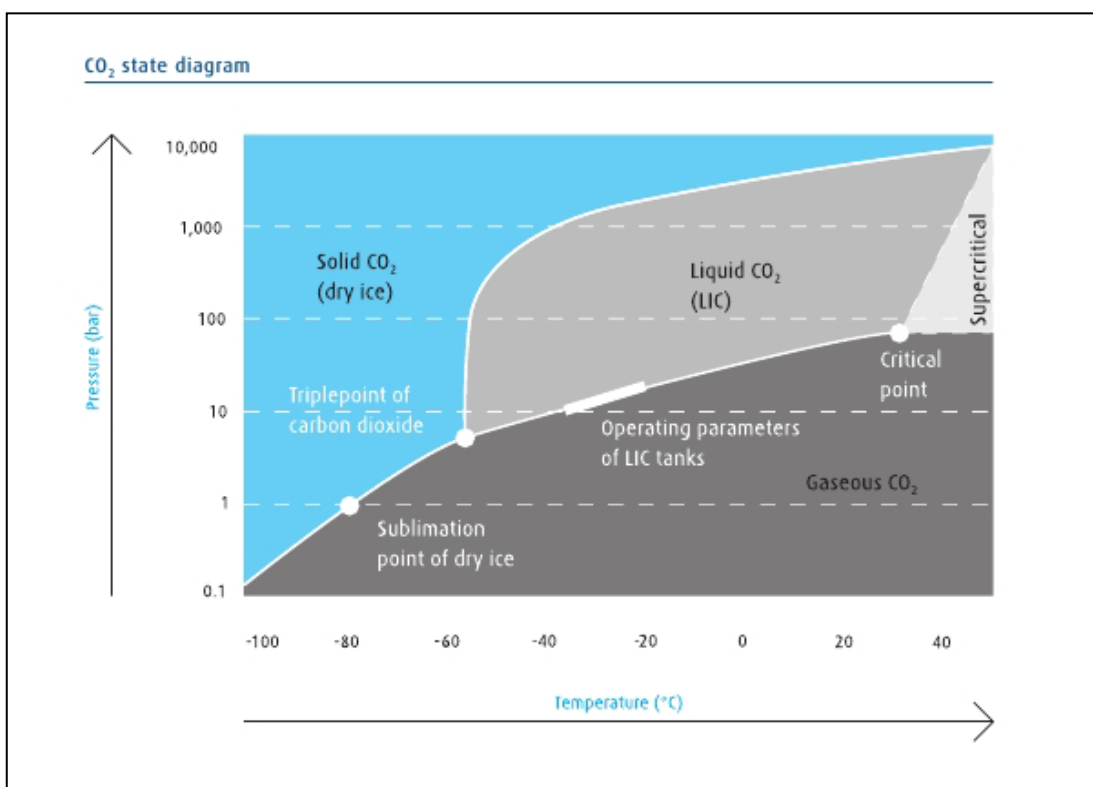
När ett ämne ändrar aggregationstillstånd, kan det ske genom förångning/kondensation, stelning/smältning och som i fallet med CO_2 , ibland sublimering. Detta innebär en övergång från fast till gasform utan att passera en vätskefas. Ibland används begreppet fas synonymt

med aggregationstillstånd. Fas kan dock även beskriva ett specifikt tillstånd, exempelvis kan nämnas diamant och grafit. Båda består av kol i ett fast aggregationstillstånd, ämnena befinner sig dock i olika faser, detta på grund av strukturella skillnader. Fasen som ett ämne befinner sig i bestäms av omgivningens temperatur samt tryck. Denna uppsats kommer att handla om rengöring med koldioxid som befinner sig i fast form.

3.4 Koldioxid, från flytande till fast form

Vid en bars tryck kan koldioxid ej existera i flytande form. Beroende på temperatur befinner sig koldioxiden då antingen i fast form eller gasform.

Vid ett visst tryck och temperatur (se figur 2), kan dock koldioxid uppträda i en vätskefas. Som sådan är den en färglös lättflyktig vätska (Nationalencyklopedin (b), hämtad 2009-03-30). Vid atmosfärtryck kyls flytande koldioxid ned till sublimationstemperaturen $-78,5\text{ C}$ genom expanderande, vilket resulterar i att fast koldioxid bildas. Denna kan sedan komprimeras till koldioxidpellets eller block (Nationalencyklopedin (d), hämtad 2009-03-30), där densiteten vanligtvis uppgår till cirka $1300\text{--}1500\text{ kg/m}^3$ torr (Uhlman, Krieg, 2005: 197, hämtad 2010-05-20). När koldioxiden uppträder i denna fasta form benämns den som torr, koldioxid eller felaktigt kolsyresnö. Till skillnad från vanlig is sublimerar dock torrisen under atmosfäriskt tryck vid minus $78,5$ grader C. Det vill säga den går från fast form till gasform, utan att en vätskefas däremellan inträder som hos exempelvis is av vatten.



Figur 2. Fasdiagram för koldioxid.

3.5 Industriell fabrikation och användningsområde

Vid olika industriella processer får man koldioxid som en biprodukt. Dessa processer är främst genom absorption ur fermenterings- eller förbränningsgaser samt vid framställning av väte för ammoniaksyntes. Efter tillverkning renas koldioxiden med aktivt kol, och saluförs sedan i sin fasta form som torr, eller under tryck i flytande form.

Förutom att användas som blästermedel, använder man koldioxid som kylmedel för livsmedelsindustrin då den inte är giftig eller kvarlämnar några ämnen. Den används även vid

framställning av metanol och urea. Koldioxid används även till brandsläckare, som skyddsgas vid svetsning, för att utestänga syre i livsmedelsförpackningar, mm. (Nationalencyklopedin (d), hämtad 2009-03-30).

3.6 Torrispellets

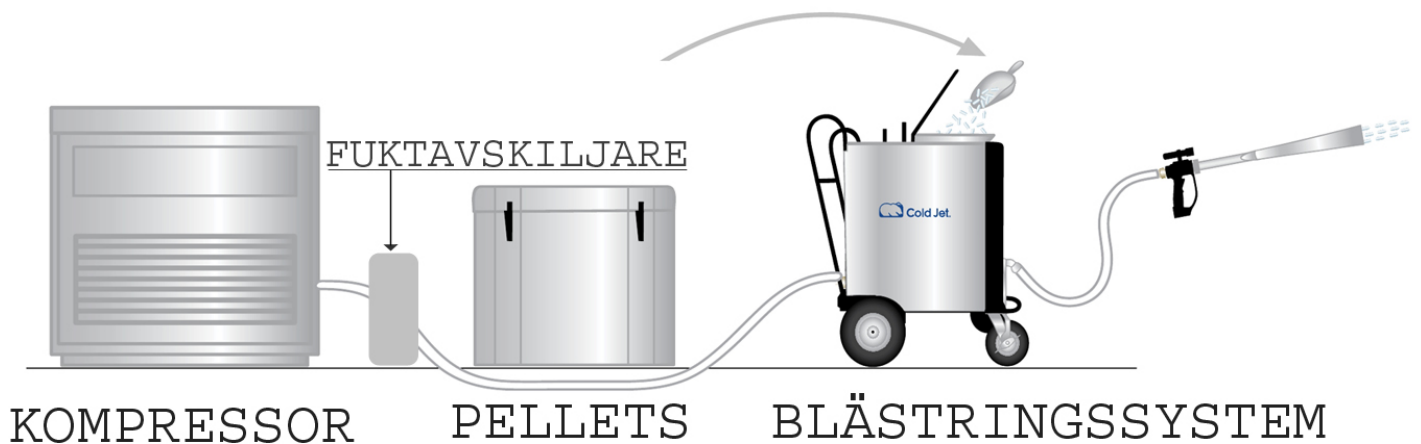
För att kunna använda sig av den koldioxidblästringsteknik som beskrivs i detta arbete är tillgången till torris givetvis en grundförutsättning. Torrisen framställs bland annat av företaget AGA Gas AB och kan beställas eller köpas i flytande-, pellets-, eller blockform på flera av AGAs olika försäljningsställen runt om i Sverige. På företagets hemsida finns det dessutom en söktjänst där man enkelt kan finna det närmaste försäljningsstället (AGA Gas AB (a), hämtad 2014-12-17).

Det finns även andra firmor som saluför torris. Företaget IS-AB, (Isblästringsaktiebolaget i Göteborg), vilka var behjälpliga med de egna tester som utfördes för detta arbete, kan ges som ett gott exempel. Den torris som de använder tillverkas av dem själva för att användas direkt i det egna arbetet eller säljas vidare.

Viktigt att tänka på är att torrisen inte har särskilt lång hållbarhet på grund av den avdunstning som sker. Denna övergång till gasform medför även en kraftig voluminös expansion då 1 kg $\text{CO}_{2(s)}$ skapar mer än 530 liter $\text{CO}_{2(g)}$. På grund av denna gasexpansion bör torrisen förpackas i för ändamålet avsedd behållare. Vid brist på sådan, absolut ej i gastäta behållare exempelvis termos etc., detta på grund av explosionsrisk (AGA Gas AB (b), hämtad 2010-03-03).

I rumstemperatur håller sig 20 kg torris som förpackats korrekt i cirka 3-4 dygn och 4-5 dagar i ett kylrum. För att förlänga förvaringstiden är det bra om torrisen packas så tätt som möjligt och med så lite luft runt torrisen som möjligt, vilket kan genomföras med hjälp av olika utfyllnadsmaterial i torrisbehållaren såsom frigolit etc. (Linde AG, hämtad 2010-03-03).

4 Blästring med torris som blästermedel

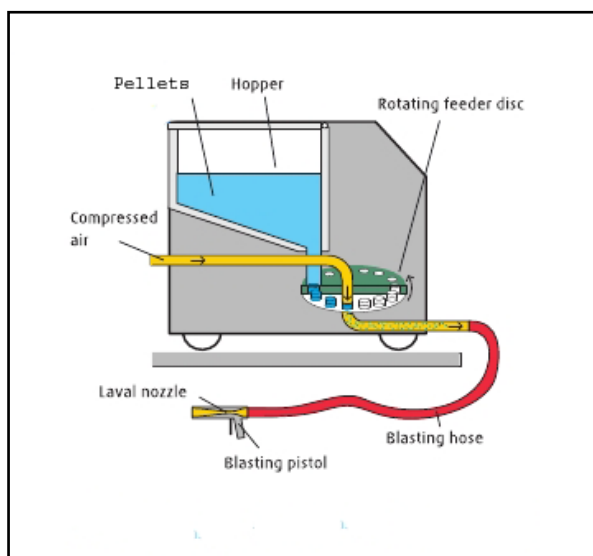


Figur 3. Schematisk bild över en möjlig uppsättning av blästringsutrustning.

4.1 Blästermaskiner

Generellt sett kan man dela in olika blästermaskiner i två huvudtyper, med hänsyn till hur torrisen transporteras från maskinen till dess att den lämnar munstycket. Dessa olika system benämns ofta som enkel samt dubbelslangssystemen. De har olika för- och nackdelar rörande effektivitet samt kostnad m.m. Förutom olika slangsystem, skiljer sig olika maskintyper sig åt genom vilken form av torris de matas med. I vissa används pellets, i andra placeras ett solitt torrisblock, vilket sedan ”rakas” av under blästerprocessen. Vidare kan maskiner delas in i pneumatiska samt elektro-pneumatiska (Cold Jet LLC © (b), hämtad 2009-04-03: 4-5). Illustrationen ovan visar en tänkt uppsättning av blästringsutrustning. Författaren har dock lagt till en fuktavskiljare mellan kompressor och blästringssystem, vilket motverkar sammanklumpning i blästerapparaten, något som annars är vanligen förekommande (informant nr. 4).

4.2 Enkelslangssystem



Figur 4. Enkelslangssystem.

1986 utvecklade företaget Cold Jet, LLC i Loveland Ohio, en blästermaskin där en enkelslang användes för att transportera komprimerad luft samt torris, i ett så kallat enkelslangssystem.

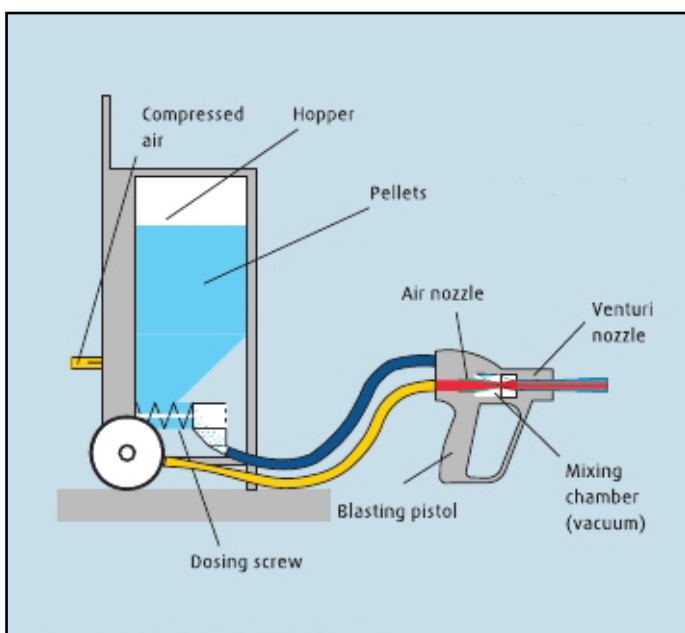
(Cold jet LLC © (h), hämtad 2014-17-17). Detta system drivs med hjälp av tryckluft och olika typer av ”luftlåsmekanismer”, vilket resulterar i en luft/pelletsblandning som passerar munstycket i mycket hög hastighet på ca Mach 1,0-3.0 där Mach 1 motsvaras av 1225 km/h vid 15° C (Encyklopaedia Britannica(a)), (Foster,W. R., 2009: 162, hämtad 2009-11-06).

Till skillnad från dubbelslangssystemet levererar denna konstruktion mindre torris på den blåstrade ytan. Detta beror på torrisens nötning, invändigt mot slangen (*CARBON DIOXIDE CLEANING, GOING THROUGH PHASES*, hämtad 2009-02-12: 3-2).

Som nackdel kan nämnas att enkelslangssystemet innefattar en mer komplicerad teknik, vilket medför ett högre pris på utrustningen. Systemet har dock vissa fördelar, även om en mindre mängd torris avgår från munstycket, arbetar detta blästringssystem med en generellt sett högre avverkningsgrad än sin motpart. Den lite högre avverkningsgraden kan resultera i att detta system lämpar sig bland annat bättre om föremålet som skall blåstras är placerat på en högre höjd än blästringssystemet eller om ett kraftigt ytskikt skall avverkas (Cold Jet LLC © (b), hämtad 2009-04-03: 5).

4.3 Dubbelslangssystemet

I dubbelslangssystemet (se figur 5), används som namnet antyder två olika slangar för att mata fram pellets till munstycket. Pelletsen transporteras först fram mekaniskt till den första slangen



Figur 5. Dubbelslangssystem.

själva blästringsobjektet, (förf. anm.) (ASCOJET, hämtad 2009-02-12: 5). Den något lägre avverkningsgraden på dubbelslangssystemet, beror bland annat på en partikeltryckförlust korrelerat med enkelsystemet, vid ett visst givet tryck, detta på grund av den så kallade venturieffekten som förklaras i kapitel 4.4.2.

Nackdelar med dubbelslangssystem är den lägre avverkningsgraden, samt svårigheter att applicera olika typer av specialmunstycken för till exempel bredblästring etc. En stor fördel är dock att denna teknik är enklare, vilket medför lägre inköps- samt driftskostnader 1 (Cold Jet LLC © (b), hämtad 2009-04-03: 5).

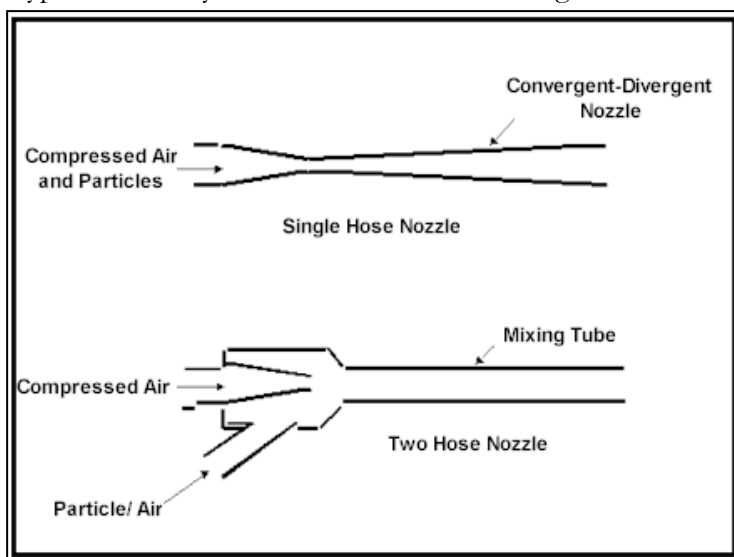
genom blästermaskinen. Vid slangens början sugas partiklarna därefter genom slangen med hjälp av ett vakuum som uppstår vid munstycket då komprimerad luft sänds genom den andra slangen.

Partikelutgångshastigheten i dubbelslangssystemet är generellt sett lägre och uppnår drygt Mach 1 (Cold Jet LLC © (b), hämtad 2009-04-03: 4).

Den lägre hastigheten med en kraftig acceleration först i munstycket, får dock till följd att torris-partiklarna inte bryts ned vid slangtransporten i samma grad som i ett enkelslangssystem. Detta resulterar i en lägre förbrukning av torris (samt en högre mängd torris som träffar

4.4 Munstycken

Vid blästring med koldioxid liksom vid blästring med traditionella blästermedel används olika typer av munstycken för olika ändamål se figur 6. Detta kan till exempel vara



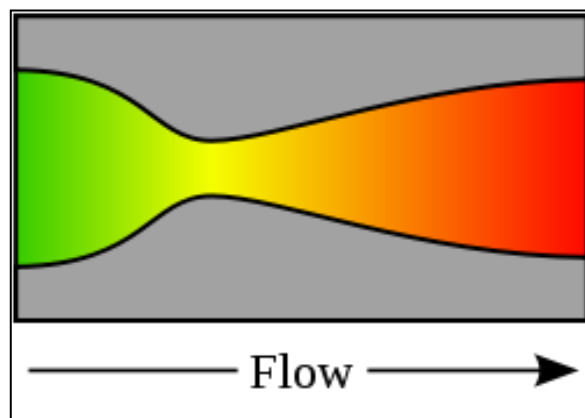
Figur 6. Enkel samt dubbelslangmunstycken.

specialmunstycken för rörblästring eller för blästring i otillgängliga utrymmen. Olika typer av munstycken och dess användning har stor betydelse för arbetets resultat. Munstycket har bland annat till uppgift att accelerera partiklar samt gasflöde för att skapa en tillfredställande blästringseffekt. Vissa materialtyper och former till exempel en invändig yta på ett rör eller mycket känsliga ytor kräver ibland olika former av specialmunstycken. Kunskapen om hur man använder och kombinerar dessa är svår att läsa sig till och kräver praktisk

erfarenhet av blästringsarbeten under olika förhållanden. För de ovan beskrivna maskinsystemen används två olika grundformer av munstycken, vilka i vissa fall sedan kan modifieras eller byggas på.

4.4.1 Enkelslangmunstycke

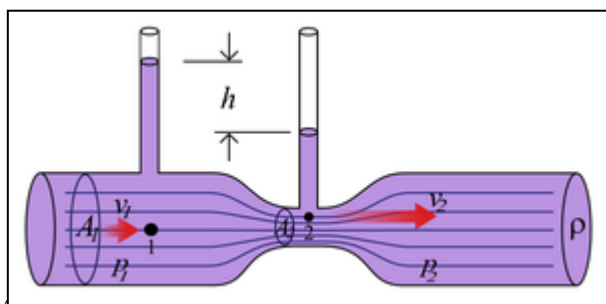
För enkelslangssystemet används ett så kallat "Lavalmunstycke", se figur 7. Detta munstycke har en konvergent/divergent formgivning, vilket innebär att munstycket går från en större diameter till en mindre i den konvergerande delen, samt med en mindre till en större diameter i den divergenta delen. Denna design på munstycket gör det möjligt att accelerera partiklar/gas till mycket höga hastigheter, något som passar bra vid koldioxidblästring med tanke på partiklarnas låga vikt om maximal avverkning önskas (Foster, 2009: 162, hämtad 2009-11-06).



Figur 7. Skiss på ett Lavalmunstycke. Visar ungefär hur flödes hastigheten ökar från grönt till rött i flödesriktningen.

4.4.2 Dubbelslangmunstycke

När dubbelslangssystemet används, använder man ett så kallat "Venturimunstycke", se fig. 8. Detta fungerar genom att komprimerad luft skickas genom den ena av två slangar, vilket skapar ett vakuum i munstycket som tvingar fram torris genom den andra slangan, i munstycket blandas och accelereras sedan pelletsen (Foster,W,R. 2009: 162, hämtad 2009-11-



Figur 8. Venturimunstycke.

06).

4.5 Olika typer av specialmunstycken och insatser

Om man skall blästra ömtåliga ytor så används ibland fragmenteringsmunstycken, s.k. splitters. Detta är en form av munstycke eller insats i ett munstycke, som kopplas till blästerpistolen. Inuti splittern finns ett eller flera nät, vilka bryter ned torrispelletsen som passerar till mindre storlek. Splitters finns med olika maskstorlekar på näten för olika typer av rengöring.



Figur 9. Fragmenteringsnät.

Det finns även en mängd andra olika munstycken, t.ex. hög- eller lågflödesmunstycke som kan användas beroende på önskad avverkningsgrad, eller munstycken som verkar i olika vinklar eller med olika bredd. En annan typ av munstycke är ett s.k. *Variable Fragmenting MERN Nozzle*, där man kan ställa in önskad fragmentering av pelletsen manuellt (Cold jet LLC© (g), (Cold jet LLC© (e), (Cold jet LLC© (f), hämtade 2012-03-18).

4.6 Pelletsaddade maskiner eller ”Dry Ice Block Shaver Blasters”

I de maskiner som laddas med CO₂ i fast form används, förutom olika sorters munstycken och slangsystem, även olika former av torris. En maskin laddas antingen med pellets av varierande storlek eller med torris som formats till ett stort block. I vissa fall kan även dessa olika system kombineras i en och samma maskin

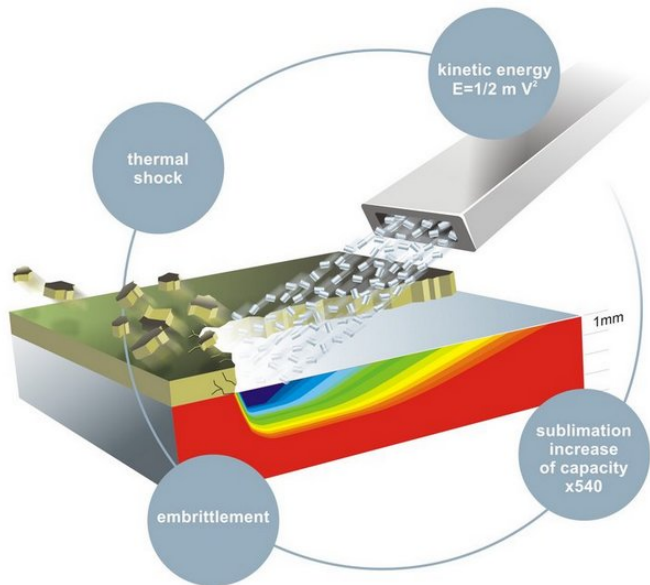
4.6.1 Pelletsaddad maskin

I den pelletsaddade maskinen fylls ett magasin med färdigtillverkade CO₂ pellets. Dessa kan vanligen variera i storlek från 0,1 till 0,3 cm. Pelletsen transporteras från magasinet till ett matarsystem. När pelletsen väl matats ut i slangen påverkas dess slutgiltiga diameter samt flödesmängd bland annat av olika parametrar såsom typ av innerstruktur på slangen, munstycke, samt invändig slangdiameter. Fördelen med de pelletsaddade maskinerna gentemot de som laddas med torrisblock, är deras stora möjligheter till olika inställningar gällande flödesmängd, hastighet samt partikelflödesdensitet, något som särskilt gäller för maskiner av dubbelslangkonstruktion där även en rad olika specialmunstycken som tidigare nämnt finns tillgängliga (Cold Jet LLC © (b), hämtad 2009-04-03: 5).

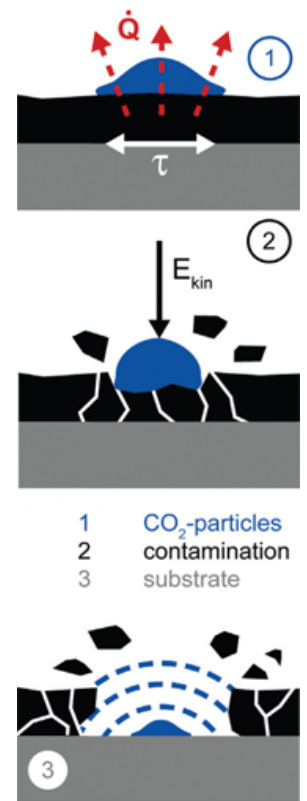
4.6.2 Blockladdade maskiner

För blästringsmaskiner med dubbelslangssystem finns även maskiner som istället laddas med solida block av torris. Blocken har en standardvikt på 27,3 kg. Torrisen skrapas av med hjälp av roterande blad, varpå ispartiklarna samlas upp av en tratt och sedan skickas ut till slangen. Dessa maskiner har en mycket hög partikelflödesdensitet vilket gör dem lämpliga för vissa typer av arbeten där ytskiktet som skall avlägsnas är relativt tunt och ej allt för hårt, såsom oljebaserad färg. Torrisspartiklarna som genereras i maskinen har en mycket lätt vikt, därigenom verkar de med lågt kinetiskt anslag mot olika ytor. Maskinerna kan därför vara lämpliga att använda på objekt med känslig yta och där hög precision är nödvändig (ibid.). I Van der Molens tester där kryogen blästring testas på olika metaller, med en tänkt applicering på konservering av utomhuskulpturer där patina skall bevaras, används en i³Microclean (Cold Jet LLC ©), dvs. en ”mikroblästringsmaskin” (Molen, 2009: 4) (se bilaga 1). Även Silverman, som i sina tester ville utreda huruvida CO₂-blästringstekniken kunde användas för att avlägsna bland annat sot från brandskadade böcker, använde sig av en maskin av liknande typ- Alpheus T2 (Silverman, 2006: 23).

5 Koldioxidblästringens olika verkningsmekanismer



Figur 10. Koldioxidpartiklarnas verkan mot en yta.



- 1 CO₂-particles
- 2 contamination substrate
- 3 substrate

Torrisblästring liknar vanlig blästring så till vida att partiklar av olika slag accelereras med hjälp av komprimerad luft, skovlar etcetera från en blästerklocka/maskin genom en slang och ut genom ett munstycke. Vid vanlig

blästring är det främst den kinetiska energin som verkar och ger resultat. Genom att exempelvis variera med partiklar bärande olika egenskaper, såsom hårdhet, densitet, form, plasticitet, samt variera blästermängd och tryck, kan olika önskvärda resultat uppnås. Utöver detta fungerar även den vinkel som blästerstrålen har mot ett föremål samt på vilket avstånd och med vilken hastighet och typ av rörelser munstycket förs, som olika påverkbara parametrar för att uppnå önskad effekt.

Figur 11. Koldioxidpartiklarnas verkan mot en yta, Termo-, mekanisk-, och sublimeringseffekt.

Något som särskiljer torrisblästring gentemot traditionella blästringmetoder, så som den beskrivs i åtskillig litteratur, är emellertid det faktum att det vid koldioxidblästring samverkar andra avverkningsmekanismer, såsom termisk verkan samt en antagen sublimeringseffekt (se figur 10 och 11) (Spur, Uhlman, & Elbing, 1999: 1-3, hämtad 2009-04-27). (Siebel, 2007 : 3-4, hämtad 2012-12-16).

5.1 Termisk verkan

Den termiska rengöringseffekten uppstår då koldioxidpelletsen, vilka har temperaturen (-78,5 C) träffar ytan som skall blästras. Som ett resultat av detta kyls den berörda ytan på föremålet hastigt ned. Detta skapar då ofta spänningar mellan föremålets basmaterial och t.ex. ett färgskikt eller någon form av förorening (Krieg, Bilz. 2008, hämtad 2009-04-17). Nedkylningen leder till minskad elasticitet, krympning samt ökad skörhet, vilket resulterar i sprickbildning i ytskiktet (Spur, Uhlman, & Elbing, 1999:3, hämtad 2009-04-27). Sammantaget leder detta till att fysiska och kemiska bindningar mellan ytskikt/ föroreningar etc. och underliggande lager/material försvagas så att ytskiktet kan fås att skiktvis falla bort (CARBON DIOXIDE BLASTING OPERATIONS:1, hämtad 2009-02-16). Detta sker med

andra ord på grund utav den termiska chock som skapas då materialet kyls ned samt på grund av de spänningar som uppstår i gränssnittet mellan olika material p.g.a. skillnaden mellan olika materials termiska expansionskoefficienter. Särskilt märkbar blir denna termiska verkan när ett föremål av metall, vilket täckes av ett icke metalliskt ytskikt blästras. (Cold Jet LLC © (b): 3, hämtad 2009-04-03). Antagandet att nedkylning underlättar avlägsnande av olika skikt genom att påverka t.ex. skörhet och kontraktion, verkar det i stort sett råda konsensus om. Ett undantag har dock påträffats där Stratford, hävdar att nedkylning, med några få undantag "parrafins, release agents and sealants", ej underlättar och även i vissa fall ("coal tar epoxy") försvårar ett sådant avlägsnande (Stratford, 1991: 118).

5.2 Glasomvandlingstemperatur

Glasomvandlingstemperatur (T_g), är inom kemin ett mått på det temperaturområde inom vilket en helt eller delvis amorf polymer transformeras till ett kristallint eller viskosit tillstånd. För att den kryogena effekten som koldioxidblästringen i stort bygger på skall vara verksamt, krävs ofta att T_g värdet är för detta ändamål tillräckligt hög så att den beläggning, yta, smuts etc. som önskas avlägsnas vid ett blästringsarbete kan göras hård nog för brytas upp. Gällande många syntetiska kådor och hartser skriver Piening och Schwarz att deras alltför låga T_g -värde innebär att ett ytskikt/beläggning svårligen kan brytas upp (Piening, Schwarz, 1999: 64).

5.3 Kinetisk verkan

Utöver ovan nämnda termiska påverkan, inverkar även kinetiska krafter då CO_2 -partiklar och tryckluft träffar ytan. Den kinetiska energin är i detta fall ett resultat av en CO_2 partikels hastighet samt densitet. Då koldioxidpartiklar har en mycket låg densitet, krävs därför att dessa anbringas blästringsobjektet med mycket hög hastighet. Hastigheten hos partiklarna kan därför uppnå hastigheter upp till 300 m/sek. Även den komprimerade luftströmmen bidrar givetvis till att avlägsna ytskiktet i fråga. (Spur, Uhlmann, Et.al. 1999: 2-3, hämtad 2009-04-27).

Koldioxid är en produkt som ibland måste användas färsk, konstaterar Cindy Curtis, som i ett arbete undersökt möjligheterna till CO_2 -rengöring av keramik, där Curtis bl.a. beskriver hur hon under en del av ett blästringstest använde torris som var fyra dagar gammal och som därigenom hade förlorat mycket av sin ursprungliga kompaktet. Detta fick då till följd att torrisen vätte ytan på objektet i fråga, något som ej var fallet då färsk torris använts (Curtis, 2008: 23-24).

5.4 Sublimeringseffekten

När koldioxidpartiklarna träffar ytan på ett föremål sker en omedelbar fasövergång från fast form till gasform, vilket innebär en expansionsökning på omkring 800x. Denna sublimeringseffekt är något som i princip alltid beskrivs i blästringslitteratur samt olika blästringsföretags hemsidor. Dimensionsökningen antas där hjälpa till att avlägsna det blästrade ytskiktet. Detta verkar dock mer bygga på ett generellt antagande än vetenskapliga tester, då Krieg i undersökningar (där sublimationsgraden vid nedslagspunkten uppmätts till 37,8%), ej har kunnat påvisa en sådan effekt (Krieg : 17/23, hämtad 2012-05-06), (informant nr. 6).

5.5 Mekanisk påverkan och skada

På olika företags hemsidor marknadsförs torrisblästring ofta som "non abrasive", - icke nötande. Detta är givetvis en sanning med modifikation, rengöring med koldioxid kan vara mycket skonsam, särskilt när koldioxiden används i sin flytande form. Men att en teknik som i mycket bygger på att partiklar accelereras i mycket höga hastigheter mycket väl kan ha en avverkande effekt, både på exempelvis en ytbehandling som önskas avlägsnas samt även på det underlag på vilken ytbehandlingen är applicerad, faller sig naturligt.

Studier visar dock även på applikationer där detta är eftersträvansvärt, t.ex. i samband med förbehandling av ytor före limning, där en viss ruggning av ett objekts yta är önskvärd (Blästring med torris för rengöring, 2002:4-5). CO₂-tekniken kan även användas till så kallad shot peening*, vilket innebär en plastisk bearbetning av en yta för att erhålla vissa önskade egenskaper (Uhlmann, Krieg, 2005: 200, hämtad 2010-05-20).

5.6 Exempel på olika blästermedels hårdhet

Som tidigare nämnt har blästermedels olika hårdhet stor påverkan på den yta det träffar. Torris har en mycket låg hårdhet jämfört med de flesta andra blästermaterial vilket delvis förklarar dess mycket låga nötande effekt på olika ytor.

Mohs skala togs fram av mineralogen Friedrich Mohs och visar vilket mineral som repar ett annat. Skalan är endast jämförande och ger inte ett exakt värde. Exempelvis har talk ($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$) 1 Moh, ett ungefärligt värde av 2HV (HV= Vickersskala), medan gips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) vilket har värdet 2 Moh besitter ett HV värde på ca 35). HV värdet för Korund, Al_2O_3 (9 Moh) uppnår däremot hela 2100 HV (Molen, 2009: 12) (Borgarp, 1995: 78). Nedan visas en tabell där olika material jämförs i Mohs skala.

Ämne	Moh
Aluminiumoxid	9
Olivin	6,5-7
Glaskulor	5,5
Valnötsskal	~ 3
CO ₂ pellets	1,5

Figur 12. Hårdhet på olika blästermedel.

5.7 Termisk påverkan orsak till skada?

Att den hastiga nedkylningen skulle kunna leda till materialskada, är inget som författaren till denna text funnit belägg för på något av de material som den kryogena rengöringsmetoden använts. Detta betyder dock inte att det ej skulle kunna vara fallet för ett visst material eller materialkombinationer i fråga, och i synnerhet inte olika typer av nedbrutet material, något som senare tester kanske kan utvisa.

Seibel från företaget Cold Jet beskriver tester som de gjort, i syfte att undersöka hur kraftiga temperaturförändringarna blir på stål under påverkan av torrisblästring. Under testerna bestrålades ett stycke stål, svepande, under 30 sekunder. Resultaten av dessa tester visar att det sker en hastig temperatursänkning, på cirka 50°C vid ytan (efter 5 sekunder). Denna sänkning av temperaturen sker dock endast mycket ytligt, då de givare som registrerade temperaturen inuti stålstycket följde hela testplattans temperatursänkning genom en betydligt långsammare förändring av temperaturen. Exempelvis sjönk temperaturen efter 30 sekunder blästring på 2 millimeters djup, endast 10°C (Seibel, 2007: 4, hämtad 2012-12-16). Mätvärden med en mycket långsam sänkning av temperaturen, annat än på den yta som träffas av blästerstrålen, bekräftas även av en annan undersökning (Reitz, 1994: 626). Se diagram nedan på figur 12.

Schieweck (2005), har som tidigare nämnts, forskat om kryogena temperaturers effekt på polykroma träföremåls färgskikt i samband med avlägsnande av övermålningar/coatings, där olika färgskikt blir, märk väl, indirekt nedkylda av kryogena gaser. Schieweck konstaterar att då

koefficienten för termisk expansion är lägre än koefficienten för svällning genom fukt, är styrka och elasticitet i trä något som endast sekundärt påverkas av temperaturförändringar. Jämfört med den formförändring som sker vid fuktupptag och svällning, har den cirka 10 % - iga volymförändring som sker vid temperaturrelaterad krympning, ej kunnat bevisas ha någon större negativ påverkan på träs olika mekaniska egenskaper i någon större utsträckning. Schieweck fastställer dock att iskristallisering kan uppträda i föremål med fuktinnehåll över fibermättnadspunkten*, och särskilt i föremål med mycket hög fuktkvot överstigande 80 %. Träefremål med en fukthalt på mellan 12-14 % kan dock behandlas med kryogena metoder utan risk för skada (Schieweck, 2005: 848).

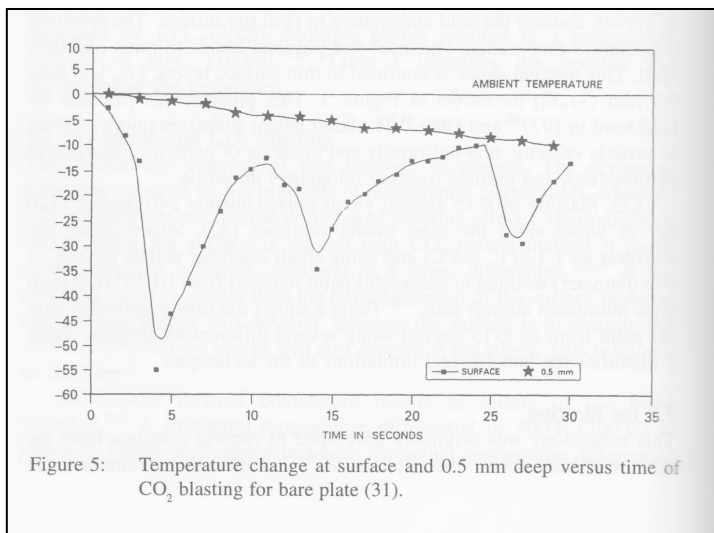


Figure 5: Temperature change at surface and 0.5 mm deep versus time of CO₂ blasting for bare plate (31).

Figur 13. Termisk påverkan.

Vid testerna noterades även att den temperaturförändring som skedde vid kryogen påverkan, främst var en process där en hastig nedkylning skedde ytligt, men som på grund av trämateriallets dåliga ledande egenskaper endast långsamt påverkade djupare liggande strukturer och material. Något som överensstämmer med de tester som Reitz och Seibel utfört på metallkupper (Schieweck, 2005: 849-850).

5.8 Eventuella problem med kondens

Beroende på den omgivande luftens relativa fuktighet kan ibland kondens bildas vid blästring med torris, något som konstateras av flera olika källor. (Pienning, Schwarz, 1999: 65-66) (Informant nr. 2). Huruvida detta utgör ett problem borde till viss del bero på vad för slags objekt som blästras, med hänsyn till det material som den eventuella kondensen potentiellt kan skada. Piening & Schwarz konstaterar att den kondensdimma som bildas kan förminska sikten. En lösning på detta skriver de, är att tillse god ventilation med hjälp av exempelvis en portabel fläkt, eller att använda en värmekälla t.ex. en hårfön. Används en portabel fläkt för detta med sig en mindre mängd koldioxid i luften, något som är positivt ur arbetsmiljösynpunkt. (Pienning, Schwarz, 1999: 65-66). Att sikten förminskas kan ju utgöra ett riskmoment i arbetet. CO₂-blästring är en versatil arbetsmetod, där blästring utförs på en rad olika material och materialkombinationer, vissa känsligare och i större behov av ett intrikat utfört arbete än andra.

6 Användningsområden för industrin

Det finns flertalet firmor som arbetar med koldioxidblästring i Sverige, användningsområdena som de marknadsför för tekniken är i stort desamma. I följande stycken presenteras kort olika exempel på användningsområden för koldioxidblästringstekniken, såsom den marknadsförs gentemot olika kunder. De olika exemplen är mestadels hämtade från ett fåtal olika företags hemsidor, men bör kunna sägas vara representativa för de flesta företag.

De olika företag som använder torrisblästring inom industrin beskriver oftast metoden som miljövänlig, effektiv och tidsbesparande, detsamma gäller för de exempel som avhandlas i fallstudiedelen. Kostnadseffektiviteten är ett resultat både direkt av den hastighet som blästringen oftast kan genomföras med, men också av det faktum att man ofta inte behöver demontera de objekt som skall blästras utan ofta kan genomföra blästringen på plats utan att omkringliggande produktion upphör. Detta även i en miljö där det finns elektriska komponenter eller hydraulik som skulle kunna skadas av vatteninträning.

Olika typer av smuts, organiskt material och plastfärger säges ofta låta sig väl avlägsnas utan att skada underlaget. Skulle svårigheter uppstå vid blästringen kan berörda ytor behandlas med kemikalier för att öka avverkningshastigheten. I vissa fall kan olika färger ha trängt in i stenmaterial, en kemisk behandling kan då lyfta färgen till ytan, vilken sedan avlägsnas med koldioxidblästring. (informant nr. 4).

6.1 Rengöring av aluminium

Vid rengöring av aluminium i olika former, exempelvis motorer och topplock, föreligger en stor fördel gentemot traditionella blästermedel som används till detta såsom glas etc. vilket kan tränga in i aluminiummaterialet och därmed skada blästringsobjekten (Freezit, hämtad 2007-06-05).

6.2 Fett, lim och underredesmassa

Torrisblästring kan ibland, som miljövänligare alternativ ersätta olika avfettningsbehandlingar som exempelvis med Perkloretylen som används för detta ändamål inom industrin. Denna måste som många andra liknande kemikalier tas om hand och destrueras efter användning, något som undviks om man istället blästrar med torr-is. (Carpenter Blasts Away Degreasing: 1-2, hämtad 2009-12-13). Bland tillämpningsområdena som olika firmor marknadsför kan även nämnas underredesbehandlingar på olika fordon med avlägsnande av rostskyddsmassa samt rost.

(Freezit, hämtad 2007-06-05). Att blästra feta och mjuka ytor är något som kan vara svårt samt ställa till problem på blästringsobjektet i fråga med vanlig blästringsteknik, då traditionellt blästermedel kan slå in fett i objektets yta, fastna i feta/klibbiga skikt, samt ge problem vid återvinning av sand då fettet skapar klumpar i detta (Burchard, 1988: 1:8) (informant nr 4).

6.3 Livsmedelsindustri

I Livsmedelsindustrin används metoden flitigt till exempel i bagerier, chokladfabriker etc. I sådana exempel finns en stor ekonomisk vinst med denna metod, då arbetet kan utföras utan demontering av blästringsobjekten vilka kan blästras på plats (Cryoclean: 3, hämtad 2007-06-05).

Flera blästringsfirmor hävdar att koldioxidblästring även kan användas som ett sanitärt medel, då metoden avlägsnar skadliga bakterier. Vid tester på stål, kakel och plaster kontaminerade

med olika bakterier, har detta visat sig korrekt då bland annat *S. enteritidis*, *E. coli* samt *L. monocytogenes* bakterier avlägsnats samt dödats (Millar, 2004: 90, hämtad 2009-12-21).

Andra metoder för att sanera och rengöra ytor i livsmedelsindustrin kan bestå av kemiska rengöringsmedel exempelvis hypokloriter, ånga samt rengöring med tryckvatten. Dessa metoder har alla olika negativa egenskaper. Ånga och tryckvatten kan exempelvis skapa farliga aerosoler och sprida bakteriell smitta, användandet av kemikalier belastar miljön samt kan medföra hälsorisker. Att i stället rengöra med koldioxidblästring kan därför skapa både hälso- och miljömässiga fördelar gentemot andra förekommande metoder. Majoriteten av plasterna som blästrades i Millars tester skadades ej, vissa plaster förstördes dock genom sprickbildning, formförändring etc, något som kan vara bra att ha i åtanke vid blästring av denna typ av material. Intressant att nämna är att dessa tester även visade att en höjning av matarhastigheten till det dubbla vid blästring av kakelplattor, ej hade någon nämnvärd effekt i dessa fall. Detta är bra att ha i åtanke då en minskning av pelletsmängden ger ekonomisk vinst. (ibid: 4-5,8, 89).

6.4 Brandsanering

Vid brandsanering fungerar metoden väl. Efter en släckning finns det oftast en stor mängd sotpartiklar som skall avlägsnas. Koldioxidblästringen kan användas på såväl bjälklag som lättbetong, betong, tegel m.m. Blästringen är en torr rengöringsmetod, med andra ord resulterar saneringen inte i sotblandat vatten som måste tas om hand eller kan resultera i följdskador. Torrisen neutraliserar dessutom syra som bildas när sot blandas med vatten. (Freezit, hämtad 2007-06-05). Att avlägsna sot på böcker med hjälp av koldioxidblästring har dessutom samtidigt visat sig vara effektivare samt skonsammare och ger en kraftig minskning av röklukten på brandskadat kulturhistoriskt material, jämfört med allmänt vedertagna konserveringsmetoder (Silverman, 2006: 21-24). Se även sammanfattningen av testet i kap. 9.1.

6.5 Mögelsanering

I naturen finns en mängd olika svampar med fruktkroppar som är mikroskopiskt små. Dessa har fått samlingsnamnet mögel och som sprids med så kallade konidier. Det är genom hyferna, de tunna trådar som bildar ett mycel, som näring upptas, vilket bryter ned det material som svampen växer i. Mycelet växer både inuti substratet samt ytligt. Det är emellertid först när sporer bildats på ytan som ett mögelangrepp blir synligt. Färgen på mögel beror oftast av konidiernas, och ibland hyfernas färg. När detta skett kan möglet ofta ha hunnit sprida sig djupt in i det substrat som det växer i (Ekroth Edebo, 1999: 329-332).

Huvudfaktorn för mögeltillväxt är huruvida möglets krav på fuktighet är tillgodosett. Den första åtgärden efter ett konstaterat mögelangrepp bör därför vara att åtgärda orsaken till ett otillfredsställande klimat. När detta väl är gjort bör saneringsarbetet följas av en upptorkning och isolering. Upptorkningen sker för att det är lättare att avlägsna torr mögelpåväxt än fuktig och aktivt växande sådan. Efter upptorkning rekommenderar boken *Tidens tand* att man övergår till en första torrensöring, denna första rengöring kan efterföljas av andra, av då främst estetiska motiv (ibid: 340-343).

Även mögelsanering är något som CO₂ blästringstekniken används till. Företaget IS-AB har avlägsnat mögel från trä och stål i kylrum. Vid mögelsaneringen isoleras det berörda området som skall saneras med hjälp av luftslussar, varvid de ytliga möglet avlägsnas och sugts upp i filterfällor för att sedan destrueras (Informant nr. 4).

Företaget Cold Jet hävdar på sin hemsida att mögelsanering med hjälp av koldioxidblästring på trämaterial är cirka 80 % snabbare än traditionella metoder, såsom slipning och skrapning. Detta medför att den faktiska reduceringen av arbetstid blir så stor som 60-80 %. Torrisen sägs avlägsna 99,9 % av sporena (konidierna), och det även i utrymmen som annars kan vara

mycket svåråtkomliga. Genom att torrstekningen effektivt avlägsnar mögelsporer även i svåråtkomliga utrymmen, kan man även drastiskt minska mängden pesticider som annars används, enligt företaget (Cold Jet LCC © (d), hämtad 2009-05-17).

6.6 Marina föremål

Marina föremål, exempelvis båtskrov i plast, metall eller trä som befunnits under vatten får ofta en stor ansamling organiskt material på ytan, såsom alger och musslor. Dessa kan avlägsnas med torrblästring. Företaget Freezit hävdar på sin hemsida att metoden till skillnad från traditionella metoder för att avlägsna det ansamlade organiska materialet, även har den fördelen att torrstens låga temperatur dödar rötterna på exempelvis musslor, som kan finnas kvar på blästringsobjektet. Detta medför, hävdar man, att återväxten av sådant material fördröjs jämfört med andra vanligen förekommande rengöringsmetoder (Freezit, hämtad 2007-06-05).

6.7 Tegel och sten

Sten och tegel i olika former är ofta tacksamma blästringsobjekt. I den egna fallstudien avlägsnas bland annat paraffinstänk från en marschall samt färg från vatten- och spritbaserade pennor med stor framgång.

I Riksantikvarieämbetets *Vård av gravstenar*, konstateras att mossor, alger samt lavar utgör en betydande orsak till nedbrytning, dels genom deras förmåga att hålla fukt vilket därigenom kan leda till frostsprängning. Vissa lavar kan även direkt lösa upp en stens ytskikt, något som medför att avlägsnandet av dessa ofta är nödvändigt (Hansson et. al 2002: 5-6).

Företaget Freezit skriver på sin hemsida, att de på en stenbit från Visby ringmur, avlägsnat rödaktiga alger år 2001. År 2003 hade ingen återkolonisation skett, vilket enligt företaget beror på att kylan från koldioxiden dödat algernas rötter, hyfer (Freezit, hämtad 2007-06-05). Detta bedömer jag som synnerligen intressant då återkolonisation av alger på stenmaterial vanligtvis sker snabbt. Vad gäller lavar bedöms denna ske inom ett par år, då traditionella konserveringsmetoder ofta avlägsnar de synliga, ytliga delarna av laven, och lämnar kvar hyferna oskadda (Hansson et. al 2002: 5-6).

7 Hälsorisker vid blästring

Att blästringsarbete kan medföra allvarliga risker för hälsan konstateras i Borgarps, *Blästring i ett nötskal*. Om ett blästringsarbete utförs i industrimiljö, offentlig plats m.m. föreligger givetvis en förhöjd skaderisk jämfört med arbete i en konservatorsateljé, något som fordrar ett synnerligen medvetet säkerhetstänkande. Utomhusmiljön kräver exempelvis att hänsyn tas till eventuell omgivande trafik, tunga lyft, fallrisk vid arbete på hög höjd m.m.

Den största hälsorisk, förutom direkta olyckor bjuder dock de mängder damm som uppstår vid traditionell blästring, vilket vid inandning kan skada såväl lungor samt andra organ. Dammets hälsovädslighet beror dels på själva blästermedlet och dess olika egenskaper såsom partikelstorlek och material, men naturligtvis också på vad som blästras, med hänsyn till vad det blästrade föremålet är konstruerat av för material, exempelvis en giftig metall t.ex. krom, eller en ytbehandling som blymönja. För att minska hälsorisker bör därför stor vikt läggas vid att för ändamålet, godkända andningsskydd används samt att kontroll genomförs av dammläckage vid blästringsarbete angränsande till lokaler med annat arbete (Borgarp, 1995: 13-16). Vid blästring utan ögonskydd kan allvarlig skada uppstå, dels på grund utav direkt träff från blästermunstycket. Men även från rikoschetterande blästermedel eller material som lossnat från föremål som blästrats.

7.1 Hälsorisker vid koldioxidblästring

De höga partikelhastigheterna vid torrblästring medför även en mycket hög ljudnivå på mellan 95-130 dB (*CARBON DIOXIDE BLASTING OPERATIONS*: 2, hämtad 2009-02-16). Som jämförelse kan nämnas att värdet i plåtslagerier ligger på ca 100 dB och fristråleblästring med traditionella blästermedel på ca 100-110dB (Borgarp, 1995: 16). Känslighet för ljud varierar stort från individ till individ, personer med viss ljudkänslighet riskerar att vid långvarig exponering på nivåer omkring 75-80 dB, utveckla hörselskador (Arbetsmiljöverket (a). För att undvika hörselskador bör därför hörselskydd av god kvalitet användas. Vid författarens tidigare arbete som friblästrare användes dubbla hörselskydd dels i form av ”proppmodellen” som införs i hörselgången samt utanpåliggande bygelhörselskydd, något som fungerade mycket bra.

Då torrisen är mycket kall kan förfrysningsskador uppkomma vid ovarsam hantering. För att motverka detta bör för ändamålet lämplig skyddsdräkt bäras av blästraren, särskilt viktigt är att bära skyddshandskar då händerna är i närkontakt med det kalla blästermunstycket

7.2 Koldioxidhalt

Även om koldioxidgasen inte är giftig i sig själv, tränger den ändå undan syre och kan orsaka kvävning. Arbetsmiljöverket har i en temasida om ventilation spaltat upp några riktvärden, se tabell nedan.

300- 400 ppm (0,03-0,04 %)	Normal halt i inomhusluft
1000 ppm (0,1 %)	Indikator på hur ventilationen fungerar när koldioxidtillskottet kommer från personer
5000 ppm (0,5 %)	Nivågränsvärde*- inga symptom
10 000 ppm (1 %)	Korttidgränsvärde*
5000 - 15 000 ppm	Lätta fysiologiska förändringar utan betydelse
20 000 ppm (2 %)	Andningen ökar med 50 %, högre än 2 % ökad andning, hjärtklappning, svettningar, huvudvärk, yrsel, illamående
7-10 %	Medvetlöshet
≈ 20 %	död

Figur 14. Koldioxidhalt.

Viktigt att komma ihåg, är att även om nivågränsvärdet är på 5000 ppm, bör en så låg halt som 700-800 eftersträvas på en arbetsplats för personlig trevnad (Arbetsmiljöverket (d), hämtad 2013-05-01).

Koldioxid definieras även i fast tillstånd som en gas i arbetarskyddsstyrelsens (numera Arbetsmiljöverket) författningssamling (AFS 1997:7 § 3). Som sådan omfattas den av särskilda regler vid hantering på en arbetsplats. Vid bland annat hantering av koldioxid i trånga utrymmen krävs t.ex. kontinuerlig mätning av koldioxidhalten (AFS 1997:7§6). För mätning av koldioxidhalt kan man antingen använda sig av portabla eller fast monterade mätinstrument. En personburen utrustning kan vara lämplig att använda bl.a. om arbetet utförs i stora utrymmen där man svårigen kan använda sig av fast mätutrustning. Detta skulle exempelvis kunna vara vid restaurering av industrilokaler, båtar eller dylikt. Det finns två olika värden som bör kunna mätas, dels ett akutvärde där utrustningen larmar vid en omedelbar hälsofarlig halt, dels bör ett hygieniskt* gränsvärde kunna mätas (AFS 1997:7§8).

Slutligen bör det tilläggas att torris aldrig skall transporteras i icke ventilerade gastäta behållare som ej är gjorda för dylikt ändamål, detta kan leda till explosion (Material Safety Data Sheet, Dry Ice: 3, hämtad 2012-12-16).

8 Egen fallstudie

För att kunna bilda en egen uppfattning och känsla för torrisblästring beslöts att utföra en enkel fallstudie, varvid blästringsföretaget IS-AB i Göteborg kontaktades. Företaget drivs av tre eldsjälar som brinner för torrisblästringstekniken, och som har varit mycket tillmötesgående samt hjälpsamma. Företaget huserar i Kortedala och arbetar med klottersanering, rengöring av fasader och tak, brand- och mögelsanering, samt en mängd olika typer av industrisanering.

Den 21 oktober 2009 hade företaget bjudit in en bilförening för att visa hur Tectyl kunde avlägsnas från bilar. Uppsatsförfattaren närvarade vid demonstrationen vilken startade med en rundvisning av företagets olika faciliteter. Efter nämnda rundvisning med demonstration, utfördes rengöringstesterna på fallstudiens stenmaterial med hjälp av Nils Sörlin (informant nr. 4) från IS-AB.

8.1 Stenar av granit

Då beskrivna tester med materialet sten inte påträffats, beslöts därför att utföra försök på olika stenytor. Syftet med försöken var därmed att klargöra huruvida metoden ger några oönskade visuella förändringar eller skador på det underliggande stenmaterialet vid avlägsnandet av olika typer av oönskade beläggningar.

Som testobjekt valdes att prova tekniken på några stenar av granit vilka vänligen donerats av Thomas Nilsson på Sanna Stenhuggeri i Göteborg. Stenarna hade ursprungligen fungerat som demonstrationsobjekt för gravsten. De var tillverkade med både en grovporig, huggen, ”rå” yta samt en polerad blank dito. Testobjekten hade tidigare använts som visningsexemplar. De var därför på grund av tidigare hantering bemängda med skavanker, i form av mycket små repor och märken, vilka var tydliga vid visst ljus under mikroskop. Nöt- och stötskadorna var jämnt fördelade över de polerade stenarnas ytor.

8.2 Vanliga rengöringstekniker för sten

Vid våtrengöring av stenmaterial måste man vara uppmärksam så att stenens yta inte repas, något som är särskilt viktigt att tänka på om stenmaterialet i fråga har en polerad yta. Vanliga arbetsmetoder vid stenrengöring är omslag av släckt kalk, för att avlägsna lavar och dylikt på marmor och kalksten eller våtrengöring med vatten och borste. Består stenmaterialet som skall rengöras av en hårdare stensort t.ex. granit kan rengöring med hjälp av högtryckstvätt vara möjligt. Dessa rengöringsmetoder är dock förenade med vissa risker. Kalkomslagen kan vid ovarsam hantering kvarlämna fläckar, och bör på grund utav risken för kalkslöjor, endast användas på ljus marmor och kalksten. Högtryckstvättning kan endast användas om stenen är oskadd för att undvika materialförlust. Då man använder vatten under högt tryck, finns även risk för korrosionsskador på grund av vatteninträngning till järnkramlor och dubbar. Att avlägsna stänk från marschaller kan dels göras mekaniskt, men man kan även använda en värmepistol och ett sugande läskpapper, eller lösa stearinet med bensin, för att därefter fånga stearinet med läskpapper. De två sistnämnda metoderna beskrivs dock som övningskrävande (Hansson, et. al. 2002: 7-10).

8.3 Beskrivning av testets disposition

De för ändamålet valda testobjekten preparerades med olika beläggningar, vilka fick härda och fästa, innan försök gjordes att avlägsna dessa med CO₂ blästring. För att ta hänsyn till varierande vidhäftningsförmåga belades både en polerad samt opolerad yta med de olika beläggningarna. Vidare maskerades en del på vardera testobjekt för att behålla en yta som

kunde fungera som referens. Alla blästringstester utfördes med samma uppsättning av utrustning. Kompressorn som gav blästringsapparaten tilluft levererade ca 15 L m³ luft/min till blästringsmaskinen. Kompressorn var försedd med en intern samt en extern kondensator vilka effektivt torkade den komprimerade luften. Som blästermedel användes av företaget egentillverkade pellets av en storlek på 10 mm. Munstycket var även försett med två splitter nät.

Resultatet bedömdes dels okulärt direkt på plats, men även i stereomikroskop på Studio Västsvensk Konservering. Mikroskopet som användes för undersökningen var av märket: Nikon SMZ 645, till detta användes ett fiberoptiskt ljus av märke LQ1600. Blästringsarbetet utfördes av Nils Sörlin från IS-AB vilken utförde detta med hög kompetens.

8.4 Kritiskt förhållningssätt till utförda tester

Först och främst bör poängteras att tekniken här är tänkt att appliceras på ett material i offentlig eller privat miljö, exempelvis ”moderna” gravstenar, stenasader etc. där toleranser för påverkan av ytor kan vara högre (och t.ex. ej kontrolleras på mikronivå) än på visst annat kulturhistoriskt material. Därmed är det inte sagt att metoden ej skulle kunna vara möjlig att applicera på ”ömtåligare” material. Så är troligtvis fallet (vilket torde framgå i andras beskrivna fallstudier), detta kommer dock inte att vara föremål för undersökning i denna fallstudie.

Det skall tilläggas att alla stenarna är av granit, vilket är en hård stenart och förutom redan nämnda mycket tunna smårepor, i mycket gott skick. Direkta resultat kan därför ej appliceras på andra mjukare stenarter, eller stenar som är i nedbrutet skick.

De olika ytor som skulle avlägsnas i testerna, kan nog alla sägas vara vanligen förekommande. En skillnad är dock att sprayfärgen och marschallmassan etc., på grund av tidsbrist ej varit applicerade någon längre tid på testbitarna, och därmed förmodligen inte bundit lika hårt till stenen som kanske skulle vara fallet vid verklig rengöring/sanering.

Vad gäller den polerade ytan på de olika provbitarna, upplever författaren att en okulär jämförelse mellan de blästrade och de oblästrade ytorna kan ge en relativt rättvis bild av CO₂-blästringens verkan på stenyterna. För den råare ytan, kan det vara svårare att låta sig göras, då den redan korniga ytan i sig själv är svårare att avläsa. Visst materialbortfall skulle kunna ske i form av mineralkorn som släpper, vilket i andra tester exempelvis skulle kunna kontrolleras med noggrann vägning före och efter rengöring. För de aktuella testerna, och den tänkta appliceringen för tekniken, bedömdes detta dock inte som nödvändigt.

På grund av tidsbrist har inte heller några jämförande tester med de allmänt vedertagna, och i ett föregående stycke beskrivna behandlingsmetoder för rengöring av stenmaterial utförts. Detta får göras i framtida studier. Nils Sörlin på IS-AB, som frekvent arbetar med rengöring av stenmaterial, bekräftar dock den bild som flertalet källor ger, där blästring med koldioxid beskrivs som en synnerligen tidsbesparande arbetsmetod.

8.5 Tester

8.5.1 Test 1

Beskrivning av testobjekt

Föremål 1: Stenbit bestående av grå Bohusgranit på vars framsida ett A har huggits ut i positiv relief. Ytan på den huggna symbolen är till skillnad från övrig yta polerad.

Material att avlägsna: Sprayfärg: svart ”Touch.up paint” köpt på Biltema.
Artikelnummer:36-7083 NERO LUCIDO F.601 BATCH 1/09/187/1

Förberedelse av testobjekt

Stenbitarna rengjordes först med avjoniserat vatten och Berol 784. Därefter rengjordes och torkades de med etanol. Efter detta bedömdes föremålen okulärt samt fotograferades. Stenen delades därefter på mitten i två fält, och maskerades med så kallad ”silvertejp”. Detta för att skydda delar av ytan och därigenom kunna möjliggöra en jämförande utvärdering av eventuellt mekaniskt slitage i efterhand. Slutligen sprayades stenen med sprayfärgen med två lager färg på cirka trettio centimeters avstånd med mellanliggande torkning, vilket gav ett helt täckande resultat. Sprayfärgen fick därefter härda i rumstemperatur i ett dygn (figur 15).

Genomförande

Maskin/Modell: Triventek

Bar: 8 Bar

Vinkel: Ca 45°

Avstånd: Ca 40 cm

Flödesmängd torris: 60 kg/h

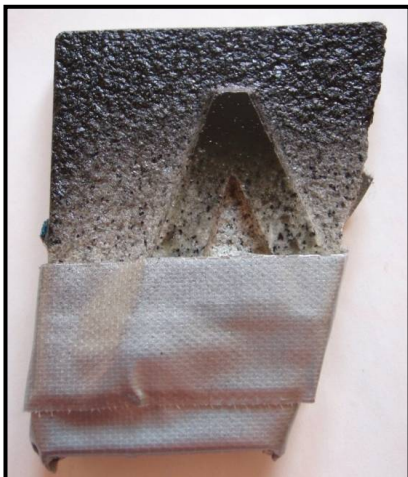
Stenen fixerades med hjälp av en skruvtving mot en arbetsyta.

Därefter blästrades denna i cirka 4- 5 sek vilket var tillräckligt för att fullständigt avlägsna all färg. Efter detta bedömdes all färg som avlägsnad. Ingen bildning av kondens kunde konstateras efter blästring.

Resultat

Vid en första okulär inspektion konstaterades att stenen ej verkade ha tagit skada, varken på den huggna eller polerade ytan.

När maskeringen avlägsnades kunde en viss nyansskillnad urskiljas emellan den huggna maskerade och den omaskerade huggna ytan, där den förstnämnda tycktes uppvisa en ljus grå/gul nyans, något som författaren tolkar som ett smutslager vilket ej avlägsnats på grund av maskeringen. Stenen undersöktes närmare genom mikroskop och ingen skillnad mellan de olika ytorna kunde upptäckas, varken på den huggna eller på den polerade delen. Ej syntes heller någon skillnad längsmed bokstavens vassa kant (figur 16).



Figur 15. Efter applicering av sprayfärg.



Figur 16. Efter koldioxidblästring.

8.5.2 Test 2

Beskrivning av testobjekt

Föremål 2: Stenbit bestående av Göinge granit. På framsidan har ett A samt en omgivande bård huggits ut i positiv relief. Bården samt bokstaven A har polerade ytor.

Material att avlägsna: Mikrokristallint vax

Förberedelse av testobjekt

Stenbitarna rengjordes först med avjoniserat vatten och Berol-784. Därefter rengjordes de och torkades med etanol. Efter detta bedömdes föremålen okulärt, samt fotograferades. Stenen delades därefter på mitten i två fält och maskerade med silvertejp. På hälften av den omaskerade ytan applicerades slutligen vaxet (figur 17).

Genomförande

Maskin/Modell: Triventek

Bar: 8 Bar

Vinkel: Ca 45°-25°

Avstånd: 30-40 cm

Flödesmängd torris: 60 kg/h

Stenen fixerades med hjälp av en skruvtving och blåstrades därefter två gånger, cirka 4-5 sekunder vardera gången. Efter detta bedömdes vaxet som avlägsnat och därmed avbröts blåstrandet. Ingen bildning av kondens noterades efter blåstring.

Resultat

En första okulär besiktning visade att vaxet verkade ha försvunnit på den polerade delen, men på den huggna delen kunde en svag skillnad i färgnyans urskiljas mellan den yta som vaxats/icke vaxats. Stenen undersöktes sedan närmare okulärt samt med hjälp av mikroskop varvid samma färgnyansskillnad på den huggna ytan uppmärksammades som i test 1. Ingen skillnad kunde dock upptäckas mellan maskerad eller omaskerad yta gällande mekaniska skador.

Då den något avvikande färgtonen kunde vara en indikering på att allt vax inte avlägsnats, beslöts att behandla med lacknafta på den hälft av den yta där vaxet bedömdes kunna sitta kvar. Lacknaftan applicerades med hjälp av bomullstopps som upprepade gånger rullades över ytan. Efter rengöring med lacknaftan konstaterades möjligtvis en något förändrad nyans som liknande den blåstrade ytan där vaxet inte applicerats (figur 18).



Figur 17. Efter applicering av mikrokristallint vax.



Figur 18. Efter koldioxidblåstring.

8.5.3 Test 3

Beskrivning av testobjekt

Föremål C: Stenbit bestående av grå Bohusgranit på vars framsida ett B har huggits ut i negativ relief. Ytan på den huggna symbolen är till skillnad från övrig yta inte polerad.

Material att avlägsna: Marschall, vit från IKEA

Förberedelse av testobjekt

Stenbitarna rengjordes först med avjoniserat vatten och Berol-784. Därefter rengjordes de och torkades med etanol. Efter detta bedömdes föremålen okulärt, samt fotograferades. Stenen delades därefter på mitten i två fält, och, och maskerades med silvertejp. Slutligen antändes marschallen för att kunna appliceras på stenen, marschallen var i kallt tillstånd skiktad med ett vitt lager ovanpå ett gulare. Vid uppvärmning blandades de olika lagren samman något, dock inte fullständigt. Vid applicerandet på stenen smetades massa från de olika lagren ymnigt på stenen (figur 19).

Genomförande av test

Maskin/Modell: Triventek

Bar: 8 Bar

Vinkel: Ca 45°

Avstånd: Ca 40 cm

Flödesmängd torris: 60 kg/h

Stenen fixerades med hjälp av en skruvtving varefter den blåstrades i cirka 4- 5 sekunder. Därefter bedömdes all parafinmassa ha avlägsnats. Ingen bildning av kondens uppmärksammades efter blåstring.

Resultat

Stenen undersöktes därefter närmare okulärt samt med mikroskop. En viss skillnad i färgnyans mellan den huggna omaskerade samt maskerade delen uppmärksammades. Likt i de övriga exemplen observerades inga tecken på mekaniska skador (figur 20).



Figur 19. Efter applicering av marschallmassa.



Figur 20. Efter koldioxidblåstring.

8.5.4 Test 4

Beskrivning av testobjekt

Föremål D: D: Stenbit bestående av ukrainsk granit. Framsidan är fullständigt polerad.

Material att avlägsna: färg från sprit- och vattenbaserade märkpenor, köpta på Biltema av märket TEX 201 *jumbo permanent marker* (spritbas) samt vattenbaserade överstrykningspenor märkta "Biltema".

Förberedelse av testobjekt

Stenbitarna rengjordes först med avjoniserat vatten och Berol-784. Därefter torkades och rengjordes de med etanol. Efter detta bedömdes föremålen okulärt, samt fotograferades. Stenens översta del maskerades sedan med silvertejp. Slutligen drogs sex stycken linjer upp varav de tre första med en vattenbaserad penna och de tre sista med en spritbaserad dito (figur 21).

Genomförande av test

Maskin/Modell: Triventek

Bar: 8 Bar

Vinkel: Ca 45°

Avstånd: Ca 40 cm

Flödesmängd torris: 60 kg/h

Stenen fixerades med hjälp av skruvtving, olyckligtvis drogs denna för hårt vilket orsakade en spricka i testmaterialet. Efter en ny och mildare fixering blåstrades stenen därefter i cirka fem sekunder, varefter färgen upplevdes som fullständigt avlägsnad. Ingen bildning av kondens noterades efter blästring.

Resultat

Stenen bedömdes okulärt på plats samt med en närmare undersökning genom mikroskop, men även i detta exempel kunde inte några skador upptäckas på stenens yta (figur 22).



Figur 21. Efter applicering av färg.



Figur 22. Efter koldioxidblästring.

8.6 Sammanfattning av den egna fallstudien

Resultaten av de olika testerna förefaller vara framgångsrika i alla utom möjligtvis i ett fall. Varken skikt av sprayfärg, parafinmassa eller vatten/spritbaserade ”grafitti” pennor, synes ha utgjort något problem att avlägsna. Ingen av stenarnas ytor verkar heller ha skadats under processen (förutom föremål D). Denna skada har dock inte uppstått som ett resultat av CO₂-rengöring, och tas därför i slutresultatet ej i beaktande. Det kan dock inte utan mycket noggranna mätningar (exempelvis med hjälp av SEM) av ytorna, helt uteslutas att den nya rena ytan uppstått som ett resultat av ett avlägsnande av ett mycket ytligt stensikt. Författaren av denna skrift håller dock detta för osannolikt. Förutom att avlägsna de för ändamålet olika påförda skikten, upplevdes även att stenarna förlorat ett smutslager som ej avlägsnats i den första delen av testerna när stenarna rengjordes med Berol-784, samt etanol. Vid försöket med avlägsnandet av vax har det varit svårt att härleda några resultat av testerna då det upplevdes som osäkert huruvida vaxskiktet avlägsnats eller inte. Om så varit fallet skulle detta kunna förklaras genom den i ett föregående stycke diskuterade T_g-problematiken (jfr s.30). Vid nya försök skulle man kunna färga vaxet med pigment för att lättare kunna urskilja om det avlägsnats eller inte. Då inga jämförande studier gjorts med andra vanligen använda metoder för rengöring av sten, kan inte någon slutsats dras gällande rengöringshastigheten av dessa olika metoder sinsemellan. Som tidigare nämnts, menar dock informant nr. 4 att denna metod vanligen är mycket snabb i jämförelse med traditionella industriella rengöringsmetoder för stenmaterial.

Sammanfattningsvis kan därför CO₂-tekniken rekommenderas på liknande kulturhistoriskt stenmaterial. Framtida försök skulle med fördel kunna innefatta avlägsnande av mossa- och algpåväxt samt gipskrustor från kalkhaltiga stenar.

9 Några exempel på andras fallstudier rörande torrisblästring

Nedan redovisas en sammanfattning av tre olika fallstudier där koldioxidblästring har använts som konserveringsmetod vid behandling av kulturhistoriskt material.

9.1 Fire and Ice: A Soot Removal Technique Using Dry Ice Blasting: Silverman, (2006).

I samband med ett brandsaneringsuppdrag, föreslog "Preservation Librarian" Randy Silverman som anlätts som konsult av en privat saneringsfirma, att man skulle prova en alternativ saneringsteknik istället för rengöring med sotsvamp, vakuumbrensning och ozonbehandling, vilket är vanligen förekommande rengöringstekniker i USA, men som enligt Silverman inte fungerar tillfredställande. Silverman föreslog därför att prova om blästring med koldioxidpellets kunde utgöra en alternativ rengöringsmetod.

Med en pelletsstorlek liknande malet socker och ett tryck på 30 PSI, vilket var minimum på den använda blästermaskinen, påbörjades så experimentet på några avyttringsbara böcker först. Blästringen bedömdes fungera väl, men man upptäckte att ett otillräckligt avstånd mellan böckerna och blästermunstycket, samt en allt för lång blästringstid på ett och samma område kunde medföra nötning och bortfall av färg/förgyllning.

Efter det första försöket med koldioxidblästring, gjordes sedan jämförande experiment med vakuumbrensning med HEPA-filter samt rengöring med hjälp av sotsvamp. När de olika sotavlägsningsmetoderna prövats lades böckerna därefter i förseglade behållare för att dagen efter kunna avgöra vilken av metoderna som även avlägsnade mest rökluft. Metoder jämfördes sedan och Silverman klassade koldioxidblästringen som den absolut bästa metoden, följt av användande av sotsvamp. Utöver sot, avlägsnade även koldioxiden tejprenster samt gammalt handfett. Förutom att ge det bästa resultatet, visade sig metoden att koldioxidblästra även vara den snabbaste tekniken och i snitt kunde sex böcker per timme rengöras.

Sammanfattningsvis beskriver Silverman koldioxidblästringen som en metod med stora möjligheter, men poängterar att försiktighet måste iakttagas vid arbete med känsligt material.

9.2. Conservation of a Portuguese 15th-century iron cannon- the advantages of dry-ice blasting methodology: Lemos, Tissot, I., Tissot, M., Pesodro, Silvestre, (2007)

En kanon av stor kulturhistorisk betydelse skulle återkonserveras. Kanonen i fråga bestod av både smidda samt gjutna järndelar, och tillhörde ett portugisiskt flottmuseums samlingar. (Lemos, et.al 2007). Föremålet var inte ett marinarkeologiskt eller terrestriellt fynd, utan hade sedan en lång tid varit placerad på en strand. Under 1960-talet genomgick kanonen en omfattande restaurering, då ett bitumenbaserat korrosionsskikt påfördes denna (informant nr. 2). När kanonen nu skulle återkonserveras skulle detta opaka, svarta ytskikt avlägsnas. Detta kunde antingen genomföras mekaniskt med traditionell blästring, eller genom användandet av kemikalier (Lemos, et.al. 2007). Det fanns dock farhågor att traditionella mekaniska rengöringsmetoder skulle vara allt för kraftigt avverkande på kanonens metallskikt. Vad gäller det andra alternativet, att avlägsna skiktet kemiskt, ansågs medföra en viss problematik i form av neutralisering samt svårigheter att kunna komma åt alla delar.

Valet av rengöringsmetod föll därför på blästring med koldioxid, vilket utfördes på tre timmar, där bitumenlagret avlägsnades utan att skada det underliggande metallskiktet. Efter blästringen stabiliserades kanonen med garvsyra samt gavs ett skyddande ytskikt av mikrokristallint vax. På det hela utföll arbetet mycket väl och valet av koldioxidblästring uppges förutom att ha gett ett mycket gott resultat även ha varit den överlägset snabbaste arbetsmetoden (informant nr. 2).

9.3 CO₂-„Schneestrahlen“ von Bodenfunden, Meissner, (2007)

Meissner har i sitt arbete undersökt torrristeknikens verkan på olika arkeologiska objekt. De olika materialen var både organiska samt icke-organiska material, såsom ben, järn, kopparlegeringar samt keramik. Även Meissner valde att blästra med den blockladdade i³MicroClean-apparaten från Cold Jet. Testobjekten blästrades och analyserades med hjälp av mikroskop (Meissner, 2007/2008: 1-4).

9.3.1 Keramik

På keramiken var målet bland annat att avlägsna olika ytor av jordkrustor, gipslagningar och tejp, med blandade resultat som följd. Avlägsnandet av gipslagning gick, som i Curtis tester, mycket bra. Vid reducering av den maskeringsliknande tejp följde däremot keramikrester med vid denna process, varför Meissner menar att tejp lämpligare skulle avlägsnats med lösningsmedel. Att avlägsna jordrester visade sig även det vara problematiskt, både på hårda och mjuka skärivor, med skador i ytor och på glasyr (Meissner, 2007/2008: 14).

9.3.2 Järn

Två objekt som blästrades var gjorda av järn, varav det ena, ett knivblad, var ett typiskt jordfynd täckt med ojämna skikt av korrosionskrustor samt vissa jordrester. Detta utan att vara helt inneslutet av korrosionsprodukter, såtillvida att en ursprunglig form var tydlig. Målet med blästringen av detta objekt var att preparera fram en ursprunglig yta vilket inte var möjligt med någon precision. Viss korrosion avlägsnades lätt medan annan ej lät sig bortröjas. En lång bestrålnings tid förorsakade dessutom vätning av objektet, något som Meissner menar inte är särskilt lämpligt på ett föremål av denna typ.

Det andra föremålet av järn som blästrades var en pilspets som var konserverad sedan tidigare och då hade fått en ytbehandling av ett syntetiskt harts. Denna ytbeläggning hade givit föremålet en stark glans. Målet med blästringen var att avlägsna denna ytbeläggning, något som dock inte visade sig vara möjligt att genomföra kontrollerat.

Meissners menar att det med slutledning av dessa tester inte kan rekommenderas att använda sig av torrblästringen för att rengöra dessa typer av objekt då metoden ej kan brukas på ett kontrollerbart sätt, vilket exempelvis gör att högt liggande områden med originalyta riskerar att avlägsnas vid avlägsnande av korrosion (Meissner, 2007/2008: 25-26, 28).

9.3.3 Kopparlegeringar

Även föremål bestående av kopparlegeringar blev testade. Målet var att avlägsna jordrester, korrosionskrustor för att frilägga en ursprunglig yta eller den nivå i korrosionslagren där originalytan en gång varit. Föremålen blästrades med ett varierande tryck och flödesmängd från 1-2 Bar och 0,05- 0,27 kg/min. Målsättningen visade sig dock svår att nå beroende på föremålets olika tillstånd. Vissa tester lyckades, där en underliggande stabil och hård yta täcktes av krustor. Att frilägga ytor på sådana objekt med skalpell kan medföra en risk för repning av ytan, en risk som emellertid inte är aktuell med torrblästringen, konstaterar Meissner. På andra föremål som var mycket nedbrutna och/eller med mjuka originalytor samt

pulvriga korrosionslager, avlägsnades de olika skikten allt för snabbt och okontrollerat. Hårdare korrosionsskorpor kunde dessutom ej avlägsnas, och på sådana föremål kan tekniken därför inte anses användbar (Meissner, 2007/2008: 18-25).

9.3.4 Ben

Även på olika kammar av ben utfördes tester. Dels på kammar som fortfarande satt i preparat av jord, dels på kammar som var frilagda men delvis täckta av jord och jordkrustor. Dessa kammar beskrivs som mycket ömtåliga, och då ben är hygroskopiskt menar Meissner att en torr rengörningsmetod är att föredra. Detta kan göras med valnötsblästring vilket dock ofta kan ge yt slitage m.m. Föremålen torrisblästrades istället med ett varierande tryck och flödesmängd från 0,1-1,5 Bar och 0,05- 0,09 kg/min. Blästringen med torris visade sig delvis framgångsrik, då jordrester och smuts avlägsnades utan skador på ytan och benens olika porer trädde tydligt fram efter blästring. Dock blästrades en av kammens ”taggar” av, och metoden kan anses som riskabel vid friläggning av föremål vars tillstånd och eventuella sprickor i föremålen ej framträder tydligt (Meissner, 2007/2008: 14-18).

10 Vidare forskning

10.1 Blästring med flytande koldioxid- koldioxidsnö

Blästring med koldioxidsnö liknar blästring med torris. Till skillnad från torrisblästring så lagras dock koldioxiden i flytande form, och inte som pellets eller block. Metoden verkar även med en mycket lägre avverkandegrad. De industriella användningsområdena för denna teknik riktar sig främst mot precisionsrengöring av elektronik, optik mm.

Rengöringsmekanismerna verkar delvis som vid torrisblästring. En skillnad är dock att koldioxiden, som bildar små partiklar i munstycket enligt Sherman, även rengör genom att lösa icke polära ämnen (Sherman, 2007: 37-40). Detta skall då ske genom en fasövergång vid CO₂-partikelns ytliga gränssnitt vilken uppkommer pga. den tryckförändring som uppstår när partikeln träffar en yta. Tryckförändringen medför att partikeln går från fast fas till den s.k. trippelpunkten (där alla tre aggregationstillstånden kan samverka), den nedre delen av partikeln som gränsar mot underlaget befinner sig då i vätskefas, och som sådan kan koldioxiden lösa ett flertal substanser bestående av olika ickepolära ämnen såsom kolväteföreningar. När partikeln sedan rikoschetterar minskar trycket i partikelns yta, varvid denna snabbt återgår till fast fas och tar med sig den lösta substansen (Sherman, Adams, 1995: 273-275).

Även för denna teknik kan exempel ges på applikationer inom konservering. Gates har undersökt möjligheten och gjort jämförande tester med att avlägsna cellulosabaserade ytbehandlingar från tavlor med hjälp av non-jonisk gel, bröd, och snöblästring. I dessa tester konstaterar Gates bland annat att kondensbildning som uppstår och diskuteras i kapitel 5.8, inte är problematisk utan i stället påskyndar och underlättar rengöringen (Gates, et al 2005: 329-333). Man har även kommit att försöka använda tekniken till skadedjurssanering. Genom att utsätta insekter för hastig nedkylning tänker man att tekniken skulle kunna fungera som ett miljövänligt komplement till traditionell insektsbekämpning, där man bland annat använder pesticider (Österberg, 2002, hämtad 2007-06-05).

10.2 Rengöring med superkritisk koldioxid

Under mycket högt tryck och dylik temperatur kan gränsen mellan ett ämnes vätska och fasttillstånd suddas ut, vätskor som uppnått detta tillstånd har då passerat den så kallade termodynamiska kritiska punkten och benämns som superkritiska. Dessa superkritiska vätskor har egenskaper som t.ex. kan göra dem mycket lämpliga som lösningsmedel, då de har förmågan att lösa olika ämnen som vätska samtidigt som de kan tränga in genom material som en gas. Då varken kapillärkraft eller ytspänning existerar eftersom det inte finns någon gränssyta mellan gas och vätskefas, vilket annars kan orsaka sprickbildning och krympning, används superkritisk koldioxid exempelvis för att extrahera vätska från aerogel m.m. (Encyclopaedia Britannica, (b)). Ett annat vanligt användningsområde är att avfetta föremål då metoden kan ersätta miljöfarliga kemikalier som exempelvis Trikloretylen (Bergström, Ekengren, 2002: 8-9). Inom konservering har metoden testats och används på ett flertal olika materialtyper, bland annat som ersättning för PEG vid konservering av vattendränkt komposit material (Kaye, Cole-Hamilton, 2007: 1), (Young, 1994: 28), (Kaye, Cole-Hamilton, Morphet, 2000: 233). Man har även provat metoden för att neutralisera och stärka åldrat papper (Selli, et al. (2000: 280), rengöring av textil (Sousa, et al. 2007; 943), samt vatten och mögelskadade dokument (Dempsey, hämtad 2011-09-01). Användandet av superkritisk/flytande CO₂ har även prövats för rengöring och sanering från pesticider och dylikt av etnografiska föremål (Tello, Unger, 2010: 35-50) (Zimmt, Odegaard, Moreno, et al. 2010: 51-57) (Zimmt, Odegaard, Smith, 2010: 59-63).

11 Avslutande diskussion

11.1 Hur fungerar koldioxidblästring jämfört med traditionell blästring, vilket är blästermedlets verkan?

11.1.1 Koldioxidblästringstekniken

Generellt sett finns det två olika blästringsmaskiner som används inom industrin, dubbel- samt enkelslangsutrustning, där den senare generellt sett arbetar med en högre avverkningsgrad. Dessa maskiner laddas med koldioxidpellets i olika storlekar, och kan även förses med olika typer av munstycken för olika former av arbeten och önskad avverkning. Utöver detta finns även mindre blästringsmaskiner vilka kan användas vid finare arbeten exempelvis i³ MicroClean från företaget Coldjet. Detta är en liten elektriskt driven maskin som arbetar med lågt tryck och laddas med ett solitt block av komprimerad torris.

11.1.2 Koldioxidblästermedlets verkan

Vid traditionell blästring uppnås avverkning endast mekaniskt genom kinetisk verkan. Vid blästring med CO₂ samverkar dock fler mekanismer. Ytskikt som träffas av torrisen kyls ned, vilket minskar skiktets elasticitet, skiktet blir skört och krymper med sprickbildning som följd. Detta kombinerat med (ofta) skilda termiska expansionskoefficienter för underlag och ytskikt, samt de kinetiska laddade blästerpartiklarna, leder till att det ytskikt eller de föroreningar som skall avlägsnas, tvingas exfoliera när, vad som kan kallas, de termo-mekaniska kryogena blästringsmekanismerna övervinner de adhesiva krafterna som verkar mellan ett underlag och ett överliggande skikt. Effekten av dessa olika mekanismer sinsemellan varierar enligt olika källor och med olika material samt utrustning. Enligt Piening & Schwarz har den termiska effekten vid deras tester stått för merparten av rengöringseffekten med cirka 70 % (Piening, Schwarz, 1999: 65). Även blästringsobjektets temperatur kan vara en bidragande parameter till hur mycket den termiska effekten verkar. Krieg (2008) har utfört tester där den termiska effekten bidrog med cirka 50 % när ett föremål hade en temperatur på 500° C, men endast 10 % när samma test utfördes på ett objekt i rumstemperatur (Molen, 2009: 1).

Dessa olika uppgifter är m.a.o. ungefärliga värden av en mekanism som givetvis hänger samman och förändras med hänsyn till en rad olika faktorer, såsom densitet på pellets, partikelhastighet, massflöde, typ av skikt som skall avlägsnas mm. Den viktigaste mekanismen är dock den mekaniskt, kinetiska. Detta innebär att partikelhastigheten vilken är starkt kopplad till blästringstryck i huvudsak är den parameter som har den största påverkan under ett arbete.

11.2 Hur kan tekniken användas, inom vilka områden och på vad?

Tekniken marknadsförs ofta av och för industrin som ”*Non-abrasive*”, där olika ytskikt helt selektivt kan avlägsnas från varandra efter önskemål, vilket givetvis är felaktigt. Men att blästring med torris som blästermedel kan vara mycket skonsamt råder inget tvivel om. En stor anledning till detta är torrissens låga hårdhet vilken endast uppnår 1,5 på Moh-skalan.

Det ideala vid rengöring med CO₂ är, konstaterar flertalet källor, att det lager som skall avlägsnas är mjukare än det underlag som det fäster emot, exempelvis vax från trä eller akryllacker från metall, detta för att inte underlaget skall skadas. Vid den egna fallstudien upplevdes dock vissa problem med avlägsnandet av mikrokristallint vax från en sten (s. 41), eventuellt berodde detta på ett allt för lågt T_g-värde. Med hänsyn till T_g-värde, borde därför det ideala vara att ett skikt som skall avlägsnas har ett så högt värde som möjligt, då detta medför enklare fragmentering av det skikt som skall avlägsnas, jämför s. 29-30.

På liknande vis kan inte akryllackfernissor enkelt avlägsnas från trämaterial då dessa är hårdare än trä (Pienning, Schwarz, 1999: 65).

Blästring med CO₂ kan utföras på en rad olika material och materialkombinationer. Vilken utrustning och vilka inställningar som bör användas, varierar givetvis från föremål till föremål, med hänsyn till material och olika materials tillstånd, vilket givetvis är särskilt viktigt att tänka på vid arbete med nedbrutet material – något bland annat som konstaterats av Meissner vid dennes tester med arkeologiska benkammars (se s. 47). Generellt kan sägas att hårda skikt, exempelvis färg, kräver en hög flödesdensitet med mindre pelletspartiklar, blästrade med högsta möjliga hastighet. Vid blästring av mjuka lager, såsom vax, silikon, etc. krävs maximal termisk verkan, detta genom att använda stora pellets med låg flödesdensitet för att åstadkomma maximal avverkning (om detta nu är det önskvärda) (Cold Jet LCC © (b): 5, hämtad 2009-04-03). När blästring på vissa skikt utförs, kan även problem uppstå om underlaget samt det skikt som skall avlägsnas har termiska expansionskoefficienter som är närliggande. Detta kan få till följd att ett effektivt avlägsnande ej är möjligt (Schieweck, 2005: 853).

Meissner sammanfattar sitt arbete med att konstatera att CO₂blästringstekniken i vissa fall kan användas, men att avlägsnandet av vissa skikt ibland sker alldeles för snabbt och okontrollerat för att göra tekniken konsekvent användbar på vissa material. Ett stort problem är längden på de munstycken som använts, att arbeta med 15 cm långa munstycken beskrivs som ohanterligt. (Meissner, 2007/2008: 29). Problemet med alltför långa munstycken är för övrigt ett faktum som även konservator Isabel Tissot beskrivit uppenbarats vid hennes tester (informant nr. 2). Utöver problem med storleken, drabbas även de små munstycken som använts vid Meissners tester av igensättning. Författaren beskriver även problem med oregelbunden flödestillförsel samt storlek på CO₂-snöpartiklar. Detta är något som denne menar kan ha sin grund i den långsamma knivrotationen (vid låga inställningar) som skrapar av CO₂(s) från det block som apparaten är laddad med. Detta, menar Meissner, sker särskilt när CO₂(s)-blocken inte längre fyller ut torriskammaren, vilket resulterar i att alla de tre knivar som skall skära av torris ej fungerar tillfredställande. En lösning på detta skulle då kunna vara att öka antalet roterande knivar. (Meissner, 2007/2008: 29).

Att fullständigt lista vad torrisblästring kan användas till blir svårt då olika material/materialkombinationer samt målsättning kan variera stort från exempelvis rengöring av en gammal industrimiljö till frampreparering av ett arkeologiskt objekt. Inom industrin används koldioxidblästring redan i stor utsträckning sedan en längre tid. Där exempel som brand/mögelsanering är användningsområden som direkt borde kunna appliceras inom kulturvårdssektorn, vid exempelvis restaurering av hus som vattenskadats vid släckningsarbete, vilket därigenom skapat mögelproblem i bjälklag, etc. Vidare borde även andra användningsområden såsom färg- och fettborttagning vara intressanta för exempelvis restaurering av industriminnen.

I uppsatsen redovisas några andra konservators fallstudier med koldioxidblästring. De olika material och ytskikt som avlägsnats är recent samt arkeologisk metall (järn och koppar), sotskadade böcker, arkeologiskt ben samt keramik. Vidare har dokumenterats att metoden använts till avlägsnande av kalk från kyrkväggar (Salomon, 2006: 17), rengöring av gjutjärnskonstruktioner (Kärcher, hämtad 2009-02-12), rengöring av sten samt rengöring av utomhusskulpturer i Cu-legering.

Resultatet av dessa fallstudier visar att torrisblästringen fungerar både bra och dåligt, beroende på vad som skall blästras. Precis som med alla andra metoder får man pröva sig fram för att se om tekniken är användbar. Det är också viktigt att poängtera att blästring är ett hantverk som kräver känsla, precis som vid arbete med en skalpell...

11.3 Vilka för- och nackdelar har koldioxidblästermedel jämfört med traditionella blästermedel ur ett ekonomiskt och miljömässigt perspektiv?

11.3.1 Miljö och hälsa

En starkt bidragande faktor till teknikens användbarhet, är det faktum att inget avfall (förutom det avverkade materialet) skapas under blästring. Härigenom besparas miljön då man i många fall kan blästra ett objekt direkt på plats, samt inte behöver betala så mycket för destruering av blästermedel, som kanske kontaminerats (t.ex. med blymönja då ett färglager avlägsnats från ett staket etc.). Detta faktum stämmer för övrigt väl överens med de riktlinjer som ges uttryck för i SFS 1998:808. 2 kap.3§, (SFS (c) s. 37). Utöver en renare miljö eliminerar blästermedlets sublimering även en eventuell risk för att det blästrade objektet kontamineras med blästermedel, något som eventuellt skulle kunna leda till nedbrytning av det kulturhistoriska materialet och/eller påverka eventuella analyser av dito.

De särskilda hälsoriskerna med just koldioxidblästring är risk för frysskador samt kvävning. Risken för kvävning torde dock gälla i dåligt ventilerade utrymmen, för att förhindra kvävning kan personlig mätutrustning bäras av blästraren (se bilaga 2).

11.3.2 Ekonomiska faktorer

Huruvida investering i koldioxidblästringsutrustning är ekonomiskt försvarbar för ett företag som arbetar med konservering eller restaurering, är svårt att råda om då behov, inköp samt materialkostnader skiljer sig åt mellan olika institutioner respektive fabrikat. Generellt kan dock sägas att tekniken, där den går att använda, ofta beskrivs som mycket snabbare än andra möjliga tekniker/tillvägagångssätt (se t.ex. s.35, 46). Som tidigare nämnts slipper man i stor utsträckning även problemet med avfallshantering, något som både sparar tid samt pengar, och även borde vara av stort intresse om blästringsarbetet utförs i t.ex. känslig inomhusmiljö.

En möjlig variant skulle kunna vara att hyra utrustning, samt köpa pellets vid behov, något som bl.a. konserveringsföretaget Archeofactu gör.

12 Sammanfattning

Uppsatsens målsättning är att försöka skapa en grundläggande förståelse för koldioxidblästringens praktik och teori, samt teknikens för och nackdelar.

I uppsatsens inledande del avhandlas traditionell blästring, verkan och teknik samt olika typer av blästermedel, för att därigenom ge en grundläggande förståelse för begreppet blästring och dess användningsområden. Därefter avhandlas koldioxidens olika egenskaper samt olika aspekter av torrisblästringsutrustning. Denna kan generellt sett delas in i två olika huvudtyper, dubbel- samt enkelslangssystem, där den senare oftast är dyrare, men även kan ha en högre avverkandegrad.

Torrispellets verkar med delvis andra mekanismer än traditionellt blästermedel, bl.a. genereras inget avfall i form av uttjänt blästermedel med denna metod. Detta har stor hälso- och miljömässig betydelse då det genererade avfallet ofta är skadligt för människa och miljö dels i sig självt, men även på grund av den inblandning av olika ämnen som kommer från de föremål som blästras, exempelvis blymönja.

Inom industrin appliceras tekniken inom många olika typer av användningsområden, till exempel brand och mögelsanering m.m. Inom den kulturvårdande verksamheten, har författaren funnit exempel på t.ex. fallstudier samt konserveringsinstitutioner där tekniken används till både organiskt/oorganiskt arkeologiskt samt recent material såsom trä, keramik, ben, vax, lack/färg gjutjärn/Cu-leg, samt papper. Författaren har även utfört en enkel fallstudie där olika typer av påförda ytskikt har avlägsnats från sten, med mestadels gott resultat.

13 Källor och litteraturförteckning

13.1 Otryckta källor

Informeranter

- 1) Bilz Martin, M.Sc. Research Fellow Manufacturing Technologies/Productions Systems Fraunhofer Institute for Productions System and Design Technology (IPK) Berlin Germany 2010-01-28
- 2) Isabel Tissot, konservator på Archeofactu, Portugal 2010-01-14/2010-01-18/2010-02-01/2010-01-15
- 3) Jan Christiansson, Naturvårdsverket, Miljörättsavdelningen, Enheten för produkter och avfall 2010-04-08
- 4) Sörlin Nils, IS-AB, Isblästringsaktiebolaget i Göteborg, 2009-10-22
- 5) Robert Sherman, President, Applied Surface Technologies, New Providence, New Jersey, USA 2010-04-27
- 6) Rozemarijn van der Molen, konservator, Holland 2010-01-31/2010-02-16/ 2010-02-23/ 2010-03-20/2010-04-05/2010-05-13/2010-10-29

13.2 Tryckta källor och litteratur

Borgarp, C. (1995) *BLÄSTRING I ETT NÖTSKAL "Nya rensmedel på gamla mjuka metaller?"* Examensarbete. Institutionen för kulturvård, Göteborgs Universitet.

Burchard, Lars T. (1988). *Praktisk blästerteknik för 90-talet*. Halmstad: Burco

Cronyn, J. M. (1990) *The elements of archaeological conservation*. Routledge, London

Curtis, C. (2008) *Cryogenic Cleaning Processes in Ceramic Conservation* Post Graduate Project.

Duerr, H.P. (1994). *Myten om civilisationsprocessen*. Bd 1, Nakenhet och skam. Stockholm: B. Östlings bokförl. Symposion.

Ekbom, Lennart (2003). *Tabeller och formler för NV- och TE-programmen: matematik, fysik, astronomi, kemi, energi och miljö*. 5., [rev.] uppl. Stockholm: Liber

Ekdahl, L., *Konserveringstekniska studier. Analys, metall, trä*. (1984). Stockholm: Institutionen för konservering, Riksantikvarieämbetet och Statens historiska museer

Ekroth-Edebo, M. (1999) *Mögelsvampar*, Fjæstad, Monika (red.) *Tidens tand: förebyggande konservering: magasinshandboken*, 1. uppl. Stockholm: Riksantikvarieämbetet, s.329-343.

Foster, R, W (2009) Chapter 2.9.5, Carbon Dioxide (Dry-Ice) Blasting, *Good Painting Practice: SSPC Painting Manual Volume 1, Fourth Edition* (SSPC: The Society for Protective Coatings) s.161-167. Tillgänglig från: [http://www.docstoc.com/docs/14923333/Chapter-295---Carbon-Dioxide-\(Dry-Ice\)-Blasting](http://www.docstoc.com/docs/14923333/Chapter-295---Carbon-Dioxide-(Dry-Ice)-Blasting) [hämtad 2009-11-06]

Gates, A.G et al. (2005) *Reproducing Morris Louis paintings to evaluate conservation* International Council of Museums. Committee for Conservation. Triennial Meeting 2005. *14th Triennial Meeting, The Hague, 12-16 September 2005: preprints. Vol. 1. strategies*. s.328-334. London: James & James

Hansson, Hans-Erik, Bielawski, Jarema & Jönsson, Karna (2002). Vård av gravstenar. 1. uppl. Stockholm: Riksantikvarieämbetet

Hutchings, I.M (1979). Mechanism of the Erosion of Metals by Solid Particles *Erosion: Prevention and Useful Applications*, ASTM STP 664, W.F.Adler, (red.), American Society for Testing and Materials, s.59-76.

ISO 8501-1:2007: *the rust grade book = le livre des degrés de rouille = das Buch der Oberflächenvorbereitungsgrade = rostgradsboken*. (2007). Stockholm: SIS förlag

Ives, L.K., Ruff, A.W (1979), Electron Microscopy Study of Erosion Damage in Copper, *Erosion: prevention and useful applications*, ASTM STP 664, W.F.Adler, (red.), American Society for Testing and Materials s.5-33

Kaye, B., Cole-Hamilton, J.Morphet, K. (2000), SUPERCRITICAL DRYING: A NEW METHOD FOR CONSERVING WATERLOGGED ARCHAEOLOGICAL MATERIALS, *Studies in Conservation*, Vol.45. s.233-252

Kay, B., Cole-Hamilton, J., D., 2007, Conservation of Knife handles from the Elizabethan warship *Makeshift*, *International Journal of Nautical Archaeology*, Vol.24 Nr.2 :147-158. Tillgänglig från: <http://www3.interscience.wiley.com/journal/119255570/abstract> [hämtad 2009-04-01]

Krieg, M. *Möglichkeiten zur Bestimmung der Wirkmechanismen beim Trockeneisstrahlen* Tillgänglig från: http://www.strahlverfahren.de/Images/02_Krieg_IPK_Analyse%20der%20Effekte_tcm885-60346.pdf [hämtad 2012-05-06]

Krieg, M & Bilz, M (2008) CO₂-Blasting Processes, Applications And Current Developments. *MFN, Metal Finishing News*. vol.9.s.1-3. Tillgänglig från: <http://www.mfn.li/article/?id=523> [hämtad 2009-04-17]

Lemos, M., Tissot, I., Tissot, M., Pedroso, P., Silvestre, P. (2007) Conservation of a Portuguese 15th-century iron cannon: the advantages of dry-ice blasting methodology, *Metal 07: Interim Meeting of the ICOM-CC Metal Working Group. Vol. 4: Study and Conservation of Composite Artefacts, 17–21 Set.*, Amsterdam: Rijksmuseum, 53

Malavallon, O. (1995) Stripping With Dry Ice, *Agard lecture series 201: Environmentally Safe and Effective Processes for Paint Removal, (Procédés efficaces et écologiques pour l'enlèvement des peintures)*. s 7-1-7-2, Canada Communication Group

Meissner, I. (2007) *CO₂-„Schneestralen“ von Bodenfunden* Lehrstuhl für Restaurierung, Kunsttechnologie und Konservierungswissenschaft, Technische Universität München.

Molen, van der, R. (2009). *English summary of Droogijstralen, de reinigingstechniek voor metalen?* Scriptie Metaalrestauratie Instituut Collectie Nederland.

Muñoz Viñas, S. (2005). *Contemporary Theory of Conservation*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann

Pasquali, P. (2015). A Short History of Cryosurgery Pasquali Paola (red) *Cryosurgery: A Practical Manual*. Springer Berlin Heidelberg, s.10-11

Piening, H; Schwarz, R. (1999) Using Cold on the Cleaning Interventions of Surfaces. *Kermes: magazine for conservation*, (In collaboration with *Restauro-Zeitschrift für Kunsttechniken, Restaurierung und Museumsfragen.*) 12 (36): S.63-68.

Piening, H; Schwarz, R. (1998) Der Einsatz von Kälte in der Oberflächenreinigung: drei Applikationstechniken. *Restauro*, Vol. 104. Nr 4

Reimer, M (2005) *Freilegungstechniken an Bronzen im Freien, Das Mozart-Denkmal in Salzburg*, Institut für Konservierungswissenschaften und Restaurierung- Technologie (ICORT) Ordinariat für Konservierung und Restaurierung, Universität für Angewandte Kunst, Wien

Reitz, W. (1994), Techniques for Removal of Coatings. International Conference on Surface Modification Technologies, *Surface modification technologies VII: proceedings of the seventh international conference held in Sanjo, Niigata, Japan, 31 October-2 November 1993*, (red.) Sudarshan,T.S, Ishizaki.K, Takata.M, and Kamata.K,Reitz, W. s.611-639. London: Institute of Materials,

Salomon, I. B. (2006), Torr-is blästrar kyrkor vackra, *Again*, AGA Gas AB

Schieweck, Alexandra (2005). Effects of cryogenic temperatures on paint layers on polychrome wooden objects. *14th Triennial Meeting, The Hague, 12-16 September 2005 : Vol. 2 / preprints..* s. 847-854

Schwarz, R. (1997) *Möglichkeiten der untersuchung und Restaurierung von Parkettfußböden an Beispielen aus dem Neuen Schloss in Bayreuth*. Fachhochschule Köln, Köln, Tyskland. AATA No.: 41-2951

Selli, E., Langè, E., Mossa, A., Testa, G. and Seves, A. (2000), Preservation treatments of aged papers by supercritical carbon dioxide, *Macromolecular Materials and Engineering*, 280-281: 71–75.

SFS (a), *Farligt avfall: handbok med allmänna råd enligt avfallsförordningen* (SFS 2001:1063) : ersätter handbok 2001:5, Naturvårdsverket, Stockholm, 2003

SFS (b), *Förordning om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd*, (SFS 1998:899) Stockholm 1998

SFS (c), *Miljöbalk*: (SFS 1998:808. 2 kap. 3§.) Stockholm 1998

Sherman, R., (2007) Carbon Dioxide Snow Cleaning, *Particulate Science and Technology*, Vol. 25, s.37-57, Taylor and Francis group, LCC

Sherman. R., Adams. P., (1995) Carbon Dioxide Snow Cleaning – The Next Generation of Clean, *Precision Cleaning '95 Proceedings*

Silverman, R. (2006) Fire and Ice: A Soot Removal Technique Using Dry Ice Blasting, *International Preservation News*, nr.39, s. 20-25.

Sousa, M., João Melo, M., Casimiro, T., Aguiar-Ricardo, A., (2007) The art of conservation: a green approach to antique textile cleaning, *Green Chemistry*, nr. 9, s.943-947, Cambridge: Royal Society of Chemistry

Spur, G; Uhlman, E.; Elbing, F.(1999) Dry-ice blasting for cleaning: process, optimization and application. *ScienceDirect*.s. 1-10.

Stratford,S. (1991) Perspectives on Surface Preparation with CO2 Blasting, *Reducing Risk in Paint Stripping, Washington,DC, 12-13 February 1991*, s. 117-120, Economics and Technology

Division; Office of Toxic Substances; United States Environmental Protection Agency, Washington, DC

Tello, H., Unger, A. (2010) Liquid and Supercritical Carbon Dioxide as a Cleaning and Decontamination Agent for Ethnographic Materials and Objects, *Pesticide Mitigation in Museum Collections: Science in Conservation*, Charola, A., E., Koestler, R., J. (red.), Smithsonian Institution Scholarly Press, s. 35-40

Tissot, I. (2006) CO₂ cleaning method applied to metal objects from the science Museum 19th c. Chemical Laboratory (AAA, Lda-ETA), *BROMECC - Bulletin of Research On Metal Conservation*, *BROMECC 17*, red., Degryny, C, s.5, Nr.17, Tillgänglig från:
<http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/physics/research/condensedmatt/sims/bromec/>
[hämtad 2012-12-16]

Uhlman.E; Holland.R; Mernissi, A. (2009) Dry Ice Blasting-Energy-Efficiency and New Fields of Application, *Engineering against Fracture: Proceedings of the 1st Conference*, 399-409, Springer Netherlands.

Uhlmann, E.; Kretzschmar, M. (2008) CO₂ Snow Blasting, A new Device-Development aided by CFD-Simulation, *MFN, Metal Finishing News* Vol.10, s.1-3, Tillgänglig från:
<http://www.mfn.li/article/?id=640> [hämtad 2009-04-17]

Wilson, L., Davey, A., Mitchell, D.S., Davidson, A., (2010) Traditional architectural ironwork: scientific approaches to determining best conservation practice and the Bute Canopy case study, *Metal 2010 : proceedings of the interim meeting of the ICOM-CC metal working group : October 11-15, 2010, Charleston South Carolina, USA*

Young, E., (1994) Supercritical CO₂ saves sunken treasure, *New scientist*, vol.144, nr. 1952, s.28

Zimmt, W., S., Odegaard, N., Moreno, T., K., Turner, R., A., Riley, M., R., Xie, B., Muscat, A., J. (2010) Pesticide Extraction Studies Using Supercritical Carbon Dioxide, *Pesticide Mitigation in Museum Collections: Science in Conservation*, Charola, A., E., Koestler, R., J. (red.), Smithsonian Institution Scholarly Press, s. 51-57

Zimmt, W., S., Odegaard, N., Smith, D., R. (2010) The Potential for Adapting Some Cleaning Methodologies to Pesticide Removal from Museum Objects, *Pesticide Mitigation in Museum Collections: Science in Conservation*, Charola, A., E., Koestler, R., J. (red.), Smithsonian Institution Scholarly Press, s. 59-63

13.3 Internetkällor

AGA GAS AB © (a)
http://www.aga.se/sv/products_ren/dry_ice/index.html [hämtad 2014-12-17]

AGA GAS AB © (b)
http://www.aga.fi/international/web/lg/aga/like35agacom.nsf/docbyalias/storing_dryice

ARBETARSKYDDSTYRELSEN
ARBETARSKYDDSTYRELSENS FÖRFATTNINGSSAMLING, Arbetskyddsstyrelsens föreskrift om gaser samt styrelsens allmänna råd om tillämpning av föreskrifterna, AFS 1997:7.
http://www.av.se/dokument/afs/afs1997_07.pdf . [hämtad 2010-01-11]

ARBETSMILJÖVERKET (a)

Arbetsplatsens utformning, Arbetsmiljöverkets föreskrifter om arbetsplatsens utformning samt allmänna råd om tillämpning av föreskrifterna. AFS 2009:2: 31 Tillgänglig från: http://www.av.se/dokument/afs/afs2009_02.pdf. [hämtad 2010-01-11]

ARBETSMILJÖVERKET (b)

ARBETSMILJÖVERKET'S FÖRFATTNINGSSAMLING, AFS 2005:7. HYGIENISKA GRÄNSVÄRDEN OCH ÅTGÄRDER MOT LUFTFÖRORENINGAR. Tillgänglig från: <http://www.av.se/dokument/afs/afs200517.pdf>. [hämtad 2010-01-11]

ARBETSMILJÖVERKET (c)

Ventilation p.1, Tillgänglig från: <http://www.av.se/teman/iskolan/ventilation.aspx> [hämtad 2010-01-11]

ARBETSMILJÖVERKET (d)

Fördjupning - Ventilation och rumsklimat, Tillgänglig från: http://www.av.se/teman/datorarbete/forebygg/lokaler/fordjupning_ventilation.aspx [hämtad 2013-05-01]

ARBETSMILJÖVERKET (e)

Hygieniska gränsvärden, Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd om hygieniska gränsvärden (AFS 2011:18), Tillgänglig från: http://www.av.se/dokument/afs/afs2011_18.pdf [hämtad 2014-08-15]

Archeofactu

Tillgänglig från: <http://www.archeofactu.pt/frontoffice/default.aspx?ctrl=sobre&id=1> [hämtad 2013-05-01]

Applied Surface Technologies

Carbon Dioxide Cleaning, Frequently asked questions. Tillgänglig från: <http://www.co2clean.com/faqs.html> [hämtad 2010-05-03]

ASCOJET

Dry Ice Blasting Technology powerful, non-abrasive surface cleaning: ASCOJET, s.6. Tillgänglig från: <http://www.ascojet.com/haupt.asp?nv=2153&spr=2> [hämtad 2009-02-12]

Bergström, Rune & Ekengren, Östen, *Utvärdering av superkritisk koldioxid som rengöringsmetod för oljehaltigt gods*, IVL, Stockholm, 2002

<http://www3.ivl.se/rapporter/pdf/B1481.pdf> [hämtad 2010-08-03]

Blackman, C.,(2008) SALVADOR MUNOZ-VINAS, *New Horizons for Conservation*

Thinking. e-conservation, No.6, s. 20-27/84, Tillgänglig från: <http://www.e-conservationline.com/content/view/627/195/>

[hämtad 2012-03-04]

Blästring med torr is för rengöring (2002) *Substitutionsnytt, praktiska exempel för industrin.* Red.

Bäck, J. Albinsson, O. Nr. 3, Årgång, 2.s.4-5. Tillgänglig från:

<http://extra.ivf.se/kok/Dokument/substitut%203-02.pdf> [hämtad 2010-05-19]

CARBON DIOXIDE BLASTING OPERATIONS. s.1-6. Tillgänglig från:

<http://www.p2pays.org/ref/01/00656> [hämtad 2009-02-16]

CARBON DIOXIDE CLEANING, GOING THROUGH PHASES, A Panel discussion of CO2

Cleaning Technology. Tillgänglig från: <http://www.p2pays.org/ref/04/03285.pdf> [hämtad 2009-02-12]

- Carpenter Blasts Away Degreasing, *Manufacturing for Tomorrow*, vol.1, nr. 2. s.1-3. Tillgänglig från:
http://subzerodryiceblasting.com/yahoo_site_admin/assets/docs/GPU_Energy_Article.146141025.pdf [hämtad 2009-12-13]
- Cold jet LLC© (a)
Tillgänglig från: <http://www.coldjet.com/en/index.php>, [hämtad 2012-11-20]
- Cold jet LLC© (b)
Dry Ice Blasting Technology: Fundamentals, *TECHNICAL PAPERS, THE FUNDAMENTALS OF DRY ICE BLAST CLEANING*. s.1-8. Tillgänglig från:
<http://coldjet.com/tech-fundamentals.htm> [hämtad 2009-04-03]
- Cold jet LLC© (c)
Dry Ice Blasting Machines, The Cold Jet Difference.s.1-4. Tillgänglig från:
<http://www.coldjet.com/en/products/dry-ice-blasting/index.php> [hämtad 2009-04-03]
- Cold jet LLC© (d)
Mold Remediation, Reduce Cleaning time up to 80 % Tillgänglig från:
<http://www.coldjet.com/en/industries/mold-remediation.php> [hämtad 2009-05-17]
- Cold jet LLC© (e)
Nozzles. Cleaning and Dry ice Production. s.1. Tillgänglig från:
http://www.coldjet.com/en/products/product-catalog-toc.php?cat_id=9&part_type=nozzles [hämtad 2012-03-18]
- Cold jet LLC© (f)
Tillgänglig från: http://www.coldjet.com/en/products/product-catalog-toc.php?cat_id=7&part_type=nozzles
[hämtad 2012-03-18]
- Cold jet LLC© (g)
Tillgänglig från: http://www.coldjet.com/en/products/product-catalog-toc.php?cat_id=15&part_type=nozzles [hämtad 2012-03-18]
- Cold jet LLC© (h)
Tillgänglig från: <http://www.coldjet.com/en/information/two-hose-vs-one-hose.php>
[hämtad 2014-12-17]
- Cryoclean
Dry Ice Blasting: Environmentally Safe Industrial Cleaning Service. s. 3. Tillgänglig från:
WWW.cryoclean.com [hämtad 2007-06-05]
- Dempsey, R., *Mold Inactivation on Water Damaged Documents using Supercritical and near Supercritical CO₂*, Tillgänglig från: <http://www.docstoc.com/docs/16110692/Document-Restoration-and-Conservation-for-Water-and-Mold-Damage> [hämtad 2011-09-01]
- Denlert, L., *Poseidons reningsbad*
http://www.bohuslansmuseum.se/kulturvast_templates/Kultur_ArticlePage.aspx?id=63383,
[hämtad 2013-08-22]
- Dragsource
Tillgänglig från:
<http://www.dragsource.com/index.php?navselect=calculators&calctoview=8> [hämtad 2010-12-15]

Encyclopaedia Britannica (a)

Tillgänglig från: <http://global.britannica.com/EBchecked/topic/574547/supersonic-flight>
[hämtad 2015-01-19]

Encyclopaedia Britannica (b)

Tillgänglig från: <http://global.britannica.com/EBchecked/topic/1566014/Mathematics-and-Physical-Sciences-Year-In-Review-2000/215195/Green-Chemistry> [hämtad 2015-01-19]

Freezit

Tillgänglig från: www.freezit.se [hämtad 2007-06-05]

Gasflaskor i brand, (2006) reviderad version av AGA-häftet med samma namn. Omarbetning till svensk version av Bo Gerlasch. Tillgänglig från:

http://issuu.com/hla389/docs/gasflaskor_i_brand [hämtad 2010-04-30]

Isblästringsbolaget AB

Tillgänglig från: <http://www.is-ab.net/> [hämtad 2012-11-20]

Kärcher, A. (2008), *Gentle cleaning of cast iron artifacts*

http://lemmon.leipzig-messe.de/LeMMon/denkmal_web_eng.nsf/news/20080711~125909~gentle_cleaning_of_cast.html, [hämtad 2009-02-12]

LINDE AG, Förvaring.

Tillgänglig från:

http://www.linde.com/International/Web/LG/SE/like35agase.nsf/docbyalias/storing_dryice
[hämtad 2010-03-03]

Material Safety Data Sheet, Dry Ice, Tillgänglig från:

http://education.jlab.org/frost/msds/dry_ice.pdf [hämtad 2012-12-16]

Millar, I. 2004. *FINAL TECHNIQUAL REPORT: COLD JET- A NOVEL TECHNIQUE FOR CLEANING AND DECONTAMINATING FOOD PROCESSING AREAS. EQUIPMENT, CARCASSES AND FOODS*. Tillgänglig från:

http://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=final%20techniqual%20report%3A%20cold%20jet-%20a%20novel%20technique%20for%20cleaning%20and%20decontaminating%20food%20processing%20areas.%20equipment%2C%20carcasses%20and%20foods&source=web&cd=1&ved=0CDMQFjAA&url=http%3A%2F%2Fmedia.wix.com%2Fugd%2F8376776dcd36a8f66cdfc939ee26a336.ugd%3Fdn%3D179-1-313_B02006_ColdJet_REVISIED_Final_Technical_Report_1t.pdf&ei=UvrNUOSTCfKP4gThxoD4BQ&usq=AFQjCNF2mwzWGt0k3PkDU6xJA4HJzQRCCQ

[hämtad 2009-12-21]

Nationalencyklopedin (a)

BLÄSTRING, s. 1, Tillgänglig från: <http://www.ne.se/blästring> [hämtad 2009-03-30]

Nationalencyklopedin (b)

KOLDIOXID, s.1-2, Tillgänglig från: <http://www.ne.se/1%C3%A5ng/koldioxid> [hämtad 2009-03-30]

Nationalencyklopedin (c)

KOLDIOXID. s.1, Tillgänglig från: <http://www.ne.se/koldioxid> [hämtad 2009-03-30]

Nationalencyklopedin (d)

KOLDIOXID s.1, Tillgänglig från: www.ne.se/artikel/227688 [hämtad 2009-03-30]

Nationalencyklopedin (e)

PLASMA, s.1, Tillgänglig från: <http://www.ne.se/plasma/1045619> [hämtad 2010-04-18]

NATURVÅRDSVERKET (a)

Klassning av farligt avfall - detta är farligt avfall, Tillgänglig från:

<http://www.naturvardsverket.se/sv/Produkter-och-avfall/Avfall/Lagar-och-regler-om-avfall/Klassning-av-farligt-avfall/> [hämtad 2010-12-06]

NATURVÅRDSVERKET (b)

Lista över avfall som klassas som farligt till dess att motsatsen bevisats, Tillgänglig från:

<http://www.naturvardsverket.se/sv/Produkter-och-avfall/Avfall/Hantering-och-behandling-av-avfall/Klassning-av-farligt-avfall/Valj-lampligaste-koden-i-avfallsfor-teckningen/Avfall-som-klassas-som-farligt/Lista-over-avfall-som-klassas-som-farligt/> [hämtad 2010-04-04]

Seibel, B (2007) *Harnessing the Cleaning Power of Dry Ice*. Tillgänglig från:

<http://www.pcimag.com/articles/harnessing-the-cleaning-power-of-dry-ice>
[hämtad 2012-12-16]

Uhlmann, E.; Krieg, M (2005), *SHOT PEENING WITH DRY ICE*. s. 197-201.

<http://www.shotpeener.com/library/pdf/2005072.pdf> [hämtad 2010-05-20]

VA SYD

Blästring inom Malmö, Tillgänglig från:

<http://www.vasyd.se/SiteCollectionDocuments/Broschyrer/Vatten-%20och%20avlopps-broschyrer/Vatten%20och%20avlopp/Blastringsbroschyr.pdf>
[hämtad 2013-05-01]

Wikipedia (e)

SUPERKRITISK VÄTSKA, s.1, Tillgänglig från: http://sv.wikipedia.org/wiki/super_kritisk
[hämtad 2009-11-06]

Österberg, K. (2002), *Mjölbagge bekämpas med köldchock*

http://www.nyteknik.se/nyheter/innovation/forskning_utveckling/article18846.ece, [hämtad 2007-06-05]

14 Bild och illustrationsförteckning

- 1, Illustrationen hämtad från Borgarp, C, 1995: 22
- 2, Diagrammet taget från:
[http://www.lindegaz.com.tr/international/web/lg/tr/likelgtr.nsf/repositorybyalias/pdf_cryoclean/\\$file/DryIceBlasting.pdf](http://www.lindegaz.com.tr/international/web/lg/tr/likelgtr.nsf/repositorybyalias/pdf_cryoclean/$file/DryIceBlasting.pdf)
- 3, Illustrationen hämtad från www.coldjet.com, denna har dock förändrats något
- 4, illustrationen hämtad från www.coldjet.com
- 5, Illustrationerna hämtade från; <http://www.mfn.li/article/?id=400>
- 6, Illustrationen hämtad från; http://www.mndryiceblasting.com/dryice_tech_paper.php
- 7, Illustrationen hämtad från; http://sv.wikipedia.org/wiki/Fil:De_laval_nozzle.svg
- 8, Illustrationen hämtad från; <http://sv.wikipedia.org/wiki/Fil:Venturifixed2.PNG>
- 9, Fotografi taget av författaren
- 10, Illustrationen hämtad från; <http://www.alkion.eu/en/dry-ice.htm>
- 11, Illustration och text från; <http://www.mfn.li/article/?id=400>
- 12; Källa: Borgarp, C., 1995: 29 samt e-mail korrespondens med informant nr. 1.
- 13, Illustrationen hämtad från Reitz,W, 1994: 626
- 14, (Arbetsmiljöverket (c), <http://www.av.se/teman/iskolan/ventilation.aspx>)
- 15- 24 Fotografier tagna av författaren

15 Ordlista

Aerosoler- En aerosol består av små partiklar som är blandade med gas, exempelvis dimma.
<http://sv.wikipedia.org/wiki/Aerosol>

Bar – Enhet för tryck, 1 Bar motsvarar ungefär lufttrycket vid havsytan. 1 Bar = 100 kPa.
[http://sv.wikipedia.org/wiki/Bar_\(m%C3%A5ttenhet\)](http://sv.wikipedia.org/wiki/Bar_(m%C3%A5ttenhet))

Fluid- motsvarar vätska eller gas, ett begrepp som används inom fysiken och särskilt inom strömningsmekanik och akustik (<http://sv.wikipedia.org/wiki/Fluid>).

Hygieniskt gränsvärde – ”ett hygieniskt gränsvärde anger en gräns för vad en arbetstagare tillåts andas in i form av en viss luftförorening under en viss tidsperiod (oftast en arbetsdag)” (AFS 1997:7§8)

Joule-Thompson-effekt – ”James Prescott Joule och William Thomson (Lord Kelvin) upptäckte år 1853 att när en icke-ideal gas expanderar isentalpiskt under låga temperaturer sjunker gasens temperatur. Denna effekt har kommit att bli känd som Joule-Thomson-effekten” <http://sv.wikipedia.org/wiki/Joule-Thomson-effekten>

Korttidsgränsvärde - Korttidsvärde (KTV) är ett tidsvägt medelvärde för exponering under 15 minuter (<https://www.kemi.se/sv/Ordbok/?a=S>)

MAC-Value- (Maximum Admissible Concentration) - det exponeringsvärde som ej får överstigas på en åttatimmars arbetsdag, i syfte att förhindra sjukdom eller skada

Nivågränsvärde- ”Hygieniskt gränsvärde för exponering under en arbetsdag, normalt 8 timmar” (AFS 2011:18)


Shot Peening – Kallbearbetningsteknik för att förändra en metalls mekaniska egenskaper

16 Bilagor

Bilaga I) Precisionsbläster i³MicroClean, bilden tillgänglig från:

<http://www.coldjet.com/en/products/dry-ice-blasting/i3MicroClean.php> [hämtad 2013-07-14]

Cold Jet - Dry Ice Blasting Products - i³MicroClean Dry Ice Precision Blasting Machine 2013-07-14 14:07




i³MicroClean Dry Ice Precision Cleaning Machine

Description

The redesigned i³ MicroClean is an innovative, lightweight, compact, single-hose low pressure, electric blasting system that utilizes dry ice block with as little as 12 cfm and blasts at variable air pressures from 20 to 140 psi (1.4 to 9.7 bar).

[View the previous version here.](#)




Unique Features:

- Uses as little as 12 cfm (0.3 m³/min) of air at blast pressures up to 140 psi (9.7 bar)
- Efficiently uses dry ice providing as much as 45 minutes of cleaning before reloading
- Single-hose, patented feeder design for maximum blasting aggression
- Uses 5" x 5" x 10" (12.7 cm x 12.7 cm x 25.4 cm) or 6" x 6" x 12" (15 cm x 15 cm x 30 cm) block dry ice.
- Adjustable blast pressure allows for flexibility in order to optimize performance
- Adjustable ice rate enables better performance
- Internal blast air filter (20 Micron) minimizes the effects of contaminated air
- Ergonomic lighted applicator
- Durable Urebrade, or flexible silicone, hoses available
- Integrated static bonding cable (much more effective than standard grounding cables)
- Durable transport/mobility cart

Options:

- Advanced technology (including Fragmenting and MERN) precision cleaning nozzles



Specifications

- 20 lbs (9.1 kg) dry ice feed capacity
- Air consumption range for nozzles - 12 to 50 cfm (0.3 - 1.5 m³/min)
- Air supply air pressure range - 50 to 140 psi (3.4 to 9.7 bar)
- Blast pressure range - up to 140 psi (up to 9.7 bar)
- Weight - 130 lbs / 59 kg
- Size (L x W x H): 22" / 56 cm x 16" / 41 cm x 21" / 53 cm
- Inlet air connection - 3/8" quick-disconnect coupler
- 12-month warranty

<http://www.coldjet.com/en/products/dry-ice-blasting/i3MicroClean.php> Sida 1 av 3



Mätinstrument för Industri & VVS

Tel 031-13 49 80 Om Kimo Kontakta oss Nyheter Kalibrering Kurser Ladda hem

- Handinstrument
- Stationärt
- Tryckluft
- U-rörsmanometer
- Blower door
- Temperaturgivare
- Dataloggrar

Sök artikel:



SenseAir Alarm

CO₂-mätare med larmfunktion

- Högnoggrann IR-sensor
- Loggningsfunktion PC-anslutning
- Mäter även temperatur

SenseAir är en litet, lätt och handhållet CO₂-mätare för mätning av koldioxid-koncentration och temperatur i omgivande luft.

Mätdata presenteras på en lättläst display. Med sin inbyggda datalogger är CO₂-mätare SenseAir perfekt för luftkvalitetsmätningar av olika process- och arbetsmiljöer.

CO₂-mätare Senseairs guldpläterade koldioxidsensor, infraröda våglängdsfilter och diffusions-membransfilter i en stabil konstruktion resulterar i en mycket stor mätprecision och stabilitet även vid långvarigt användande.

CO₂-mätare SenseAir levereras med skyddsfodral och batteriladdare.



Art nr: 78021
Pris: 5 995 kr

Tekniska data [Datablad \(pdf\)](#)

CO₂ - mätning:
Mätprincip: Icke-dispersive infraröd (NDIR) med guldpläterad optisk cell
Gasinsamling: Diffusion
Svarstid (1/e): 2 min diffusionstid. 15 sek. vid 0.2 liter/min gasflöde
Mätområde: 0-3 % vol.
Utökad mätområde: 3-10 % vol. (exakthet ej specificerad)
Noggrannhet at NTP (+25° C): Högsta värdet av ± 3 % av avläst värde eller ± 0.02 % vol.
Tryckberoende: + 1.6% avläsningsökning per kPa avvikelse från normalt tryck
Temperaturberoende: = 0.005 % vol. / °C vid nollgasnivå
= 0.015 % vol. / °C vid 3 % vol. CO₂
Tidsvägt medelvärdes- (TWA) kalkylering: 8 senaste timmarnas värde
Återställning kan väljas under enhetens startsekvens
Alarm/mätkommunikation:
Lysdioder: 5 stegs grön-grön-gul-gul-röd lysdiodstapel med tillslagsvärden definierade av rådande CO₂- koncentration och förinställda jämförelsenivåer.
Sifferindikator/LCD: Gemensam display för
* rådande CO₂ -koncentration (i % vol.)
* 8 timmars CO₂ TWA-värde (i % vol)
* batteristatusindikation
* felstatusindikation
Summer: 80 dBR/10cm transducer med 2kHz resonansfrekven. Ljuder under: larmatus tills larmet bekräftas genom ett tryck på tryckknappen
Tryckknapp: En tryckknapp för alla funktioner
Intern Data Logger med Realtidsklocka (RTK). De senaste 8 timmarnas TWA-värde (tidsvägt medelvärde) på uppmätt CO₂ - koncentration visas på displayen. Alla mätpunkter kan laddas ner med hjälp av kommunikationskabel (tillbehör) och SenseAir's gratis mjukvara UIP-P.
PC mjukvara: UIP-P Windows 95/98/NT/ME/2000/XP/Vista/7- kompatibel mjukvara för att:
* överföra logger och senaste data
* konfigurera larmstatus - och lysdiodsnivåer
* definiera personliga preferenser
* stödja sensorkalibrering
Elektriska data:
Batteriladdaringång: 6 VDC / 700 mAh, med NOKIA typ miniatyr connector
Internt batteri: 3,6 VDC / 1350 mAh Li-jon ackumulator (> 12 tim)
Batteriets strömkonsumtion: < 55 mA i normalläge
< 100 mA i alarmläge
Allmänt:
Uppfyller standard: EMC Direktiv 89/336/EEC
Temperaturområde vid förvaring: -20° till +70° C
Temperaturområde vid drift: 0° till +50° C
Fuktighetsområde vid drift: 0 till 95 % fuktighet (icke kondenserande. Se sid 1)
Förväntad sensorlivslängd: > 15 år
Förväntad batterilivslängd: > 3 år
Självdiagnostik: Fullständig strömförsörjning, internkontroll
Statusindikator: Triangelikon på displayen = underhållsbehov
Kapslingsmaterial: ABS/PC
Dimensioner (L x B x D): 125 x 52 x 32 mm