

---

# Vattenskärning

---

Teknologin och dess  
tillämpningsområden

---

Sami A. Österman  
Shirish Kumar

samiao@kth.se  
shirish@kth.se

---



Kungliga Tekniska Högskolan

MG104X Examensarbete inom teknik och management, grundnivå

VT 2010

Handledare: Jan-Olof Svebeus

# Sammanfattning

Vattenskarvning anses generellt vara en mångsidig bearbetningsteknik med en mängd tillämpningsområden. Ren vattenskarvning gör det möjligt att skära i mjuka material som gummi, medan tillsatt abrasivmedel tillåter skarvning av bland annat stål och keramik. Skarvningen lämnar inga restspänningar eller någon värmepåverkan i materialet. Dessutom blir ytfinheten så bra att man ofta slipper efterbehandling. Processen skapar inte heller några farliga gaser och är relativt miljövänlig.

Syftet med detta arbete har varit att undersöka vattenskarvningstekniken, dess nuvarande samt nya tillämpningsområden. Målet har även varit att jämföra tekniken med alternativa bearbetningsmetoder för att klargöra för- och nackdelar mellan dessa. Detta gjordes i syfte för att undersöka vilken teknik som är lämpligast att använda beroende på egenskaper såsom material, materialtjocklek och storlek av tillverkad serie. Arbetet har skrivits från Sverige och Frankrike och därmed har man valt att undersöka ifall användningsområdena hos vattenskarvning skiljer sig mellan de två länderna.

För att uppnå syftet valdes tre frågeställningar för att besvara hur man utökar tillämpningsområdet för vattenskarvning, vilka för- respektive nackdelar vattenskarvning har jämfört med andra skarvmetoder och hur tillämpningsområdena är annorlunda mellan Frankrike och Sverige.

De huvudsakliga informationskällorna för arbetet har varit intervjuer med tillverkande företag som använder sig av vattenskarvning, leverantörer av vattenskarvningmaskiner och forskningsinstitut. Teoretisk komplettering har skett i form av informationsinsamling från litteratur och vetenskapliga artiklar. Valda primärkällor är företagshemsidor hos aktörer inom bearbetningsindustrin.

Rapporten visar att vattenskarvningstekniken är applicerbar inom ett flertal industrier och att tillämpningsområdena skiljer sig mellan Frankrike och Sverige; i Frankrike används vattenskarvning främst inom livsmedelsindustrin, medan den är mer utbredd inom verkstadsindustrin i Sverige. Aktörer på den svenska marknaden är skeptiska till användning av vattentryck på över 400 MPa, trots att det tyder på många fördelar.

Den huvudsakliga begränsningen hos vattenskarvning är tjockleken hos materialet. Vid skarvning av stål över 30 mm kan strålen fördröjas och resultera i en ickeprecis skarvning, ett problem som löses genom att ändra skarvparametrar såsom skarvhastighet eller genom snedställning av skärmunstycket. Efter en utvärdering av plasma-, laser- och vattenskarvning, kan man konstatera att ingen metod är direkt konkurrerande med en annan, då varje teknik lämpar sig bäst inom sitt respektive användningsområde. Teknikerna kompletterar snarare än konkurrerar med varandra.

# Abstract

Water jet cutting is generally considered to be a versatile processing technique with a variety of applications. Pure water jet cutting makes it possible to cut through soft materials like rubber, while an added abrasive allows cutting of including steel and ceramics.

The cut leaves neither any residual stress nor heat stress in the material. In addition, the surface finish is often of high enough quality, making post treatment unnecessary. The process does not yield in any dangerous gases and is relatively environmentally friendly.

The purpose of this thesis was to investigate the water jet technology, its current, as well as new application areas. The goal was also to compare the technique with alternative processing methods in order to clarify the advantages and disadvantages between them. This was done in order to investigate which technologies are most appropriate to use depending on properties such as material, material thickness and size of the produced series. This paper has been written together from Sweden and France and a choice was hence made to investigate if the uses of water jet cutting differ between the two countries.

To meet the objective, three questions were used to investigate how to expand the application areas of water jet cutting, what advantages and disadvantages there are between water jet cutting and other processing methods and how the scope of its applications differs between France and Sweden.

The main sources of information for the work have been interviews with manufacturing companies that use water jet cutting, suppliers of water jet cutting machines and research institutes. Research articles have been used in order to extend the range of gathered information. Among primary sources for this report were websites of companies in the processing industry.

This thesis shows that water jet technology is applicable in many industries and application areas that differ between France and Sweden, in France, used water jets are mainly used in the food industry, while it is more widespread in the engineering industry in Sweden. Companies in the Swedish market are skeptical about the use of water jet cutters exceeding 400 MPa, although it suggests many advantages.

The main limitation of the water jet cutting procedure is the thickness of the material. Cutting steel beyond 30 mm in thickness, can result in a stream lag by delaying the water jet and thereby induce non-precise cutting. This problem may be solved by changing the cutting parameters such as cutting speed or by inclining the cutting nozzle. Following an evaluation of plasma, laser and water jet cutters, none of the methods is directly competing with one another, since each single cutting technique is best suited for their intended use. The techniques complement each other rather than competing with one another.

## Förord

Detta arbete har gjorts i syfte för att utförligt redogöra för vattenskärningstekniken, dess för- och nackdelar gentemot alternativa skärtekniker, inom vilka industrier den används och hur tillämpningsområdena kan utökas. Vi vill tacka Jan-Olof Svebeus för handledning av projektet. Vi vill även tacka Alain Cornier på Arts et Métiers ParisTech i Chambéry, Per Clementz och Anders Dolk på Kimtech AB, Jorma Lustig hos Järfälla Profilteknik AB, Anders Jönsson på Swedish Waterjet Lab, Daniel Weber på Weber Lubrifiants och Thomas Cuvelier på Flow Cooperation för de intervjuer vi fått möjlighet att genomföra. De har bidragit till en ökad förståelse och har gett svar på många frågor.

# Innehållsförteckning

1. Introduktion .....	1
1.1 Syfte och frågeställningar .....	1
1.2 Avgränsningar .....	2
1.3 Metod .....	2
1.4 Metodkritik .....	3
2. Vattenskriningstekniken.....	3
2.1 Ren Vattenskrining.....	3
2.2 Abrasiv Vattenskrining.....	4
2.3 Beskrivning av skärprocesserna - abrasion och erosion .....	4
2.4 Abrasivmedlet granat .....	5
2.5 Tryckökning av vatten och beskrivning av maskinkomponenter .....	5
2.6 Tank.....	7
2.7 Munstycket .....	7
3. Påverkan på bearbetat material.....	8
3.1 Skärbarhet i olika material.....	8
4. Miljöpåverkan.....	9
5. Allmänna begränsningar med metoden .....	9
6. Nya skärmetoder och teknikförbättringar .....	10
6.1 Skärning av laminerade material .....	10
6.2 Hastigare materialpenetrering .....	11
6.3 Vattentryck över 400 MPa .....	11
6.4 Vattenskrining i fem axlar.....	12
6.5 Vinklat skärmunstycke för eliminering av vinkelfel .....	13
7. Slitage och nötning av utrustning.....	14
7.1 Munstycket .....	14

7.2 Slitage på grund av ökat tryck.....	15
7.3 Pumpen.....	15
8. Applikationer .....	15
8.1 Industrier.....	16
8.1.1 Bilindustrin.....	16
8.1.2 Livsmedelsindustrin .....	16
8.1.3 Övriga industrier och produkter .....	17
8.2 Jet Edge - två mobila vattenskräpare.....	17
8.3 Blästring av ytor .....	18
8.4 Vattenskränning med hög precision .....	19
9. Jämförelser med laser- och plasmaskärning.....	20
9.1 Laserskränning .....	20
9.1.1 Laserskränningens och vattenskränningens miljöperspektiv .....	20
9.1.2 Laserskränningens och vattenskränningens ekonomiska perspektiv.....	21
9.2 Plasmaskärning .....	21
9.2.1 Plasmaskärningens miljöperspektiv .....	22
9.2.2 Plasmaskärningens och vattenskränningens ekonomiska perspektiv.....	22
10. Forskning och utveckling.....	22
10.1 Industrin i Frankrike .....	23
10.2 Industrin i Sverige .....	24
11. Slutsats och diskussion .....	25
11.1 Slutsats.....	25
11.2 Diskussion .....	26
11.2 Kritisk granskning av eget arbete.....	26
11.3 Förslag till fortsatt arbete .....	26
11.4 Egna reflektioner.....	27
Källförteckning .....	28

## 1. Introduktion

Vattenskärning är bearbetningsteknik som är ett alternativ till exempelvis laserskärning. Istället för att använda höga temperaturer lyckas man med denna metod skära i de flesta material såsom plast, trä, stål och andra metaller.

Vattenskärning användes till en början endast för "mjuka" material, dvs. man kunde skära i dem med enbart komprimerat vatten under högt tryck. Senare kom idén att tillsätta ett abrasivmedel (t.ex. aluminiumoxid eller sand) i vattenstrålen. Detta gav fördelen att låta partikelerosion vara metoden att skära igenom materialet istället för enbart vattentryck. Med denna tillsynes enkla idé revolutionerade man hela vattenskärningsindustrin; man kunde utöka tillämpningsområdena till tjockt stål och metall.

Metoden har visat sig effektiv tack vare dess talrika fördelar; det sker ingen värmepåverkan på materialet under skärning vilket översätts till minimala restspänningar och mikroskopiska strukturförändringar. Dessutom blir ytfinheten vid bearbetning mycket bra, ofta så bra att vidare efterbehandling inte är nödvändig. Maskinoperatörerna slipper farliga ångor och luftburna partiklar fastnar i vattnet. Det är en relativt miljövänlig process där det enda avfallet är vatten med abrasivmedel, klart för filtrering och att spolas ned i avloppet.

### 1.1 Syfte och frågeställningar

Syftet med detta arbete är att förstå och undersöka vattenskärningstekniken, för att eventuellt hitta lösningar till att kunna förbättra metoden. Målet är även att jämföra metoden med plasma- och laserskärning för att komparera deras styrkor och svagheter i olika tillämpningsområden. Inom ramen för teknikförståelsen hamnar dessutom slitage och nötning av utrustning. Begränsningar hos vattenskärning kommer att studeras och för att se vart tekniken är på väg kommer en utredning om forskning och utveckling att genomföras.

För att uppnå syftet med undersökningen kommer följande frågeställningar att utgöra utgångspunkten för analysen.

*Hur utökar man tillämpningsområdet för vattenskärning?*

*Vad finns det för fördelar respektive nackdelar inom vattenskärning jämfört med plasma- och laserskärning?*

*Hur är arbetsmetoderna med vattenskärning annorlunda mellan Frankrike och Sverige?*

## **1.2 Avgränsningar**

Analysen kommer att behandla syftet och underliggande frågeställningar utifrån vissa avgränsningar. Vi har valt att avgränsa oss till att beskriva hur tekniken fungerar, dess fördelar men även begränsningar och nackdelar, applikationer samt forskning. För att sätta rapporten i perspektiv har vi även valt att ta steget ut ur den rent tekniska delen och se hur industrin skiljer sig mellan Frankrike och Sverige. Den huvudsakliga analysen är avsedd att jämföra vattenskarvning med laser- och plasmaskarvning, inte andra skarvmetoder. Vi avgränsar oss till att jämföra endast den svenska och franska vattenskarvningsindustrin.

## **1.3 Metod**

I och med att vi skrivit rapporten på två olika håll, både i Stockholm och i Grenoble i Frankrike, har det varit intressant att undersöka om teknologin skiljer sig mellan Sverige och Frankrike och i så fall hur. För att ge en grund till detta har vi genomfört fem intervjuer, två på företaget Kimtech Technology AB som har verksamhet i Järfälla utanför Stockholm, en på företaget Järfälla Profilteknik AB som också har verksamhet i Järfälla, en på Swedish Waterjet Lab som driver forskning tillsammans med Blekinge Tekniska Högskola samt en på institutet Arts et Métiers ParisTech i Chambéry i Frankrike. Vi valde Kimtech för att få möjlighet att intervjua ett företag inom vattenskarvning som dagligen arbetar med produktion samt leverans av maskiner, Järfälla Profilteknik för att de är underleverantörer till industrin och använder sig av metoder som stansning, laserskarvning och vattenskarvning samt institutet i Chambéry och Swedish Waterjet Lab som var mer intressant ur forskningssynpunkt.

Vi har även använt oss av hemsidor tillhörande företag inom vattenskarvningsindustrin, eftersom vi anser att de har bäst kunskap inom området. En stor del av de fakta som presenteras i avhandlingen är från dessa källor, men vi har valt att göra en teorikomplettering med information från vetenskapliga artiklar, som ingående beskriver modern teknologi.



## **1.4 Metodkritik**

Metoden som har använts i denna undersökning kan anses innefatta subjektiv information av främst Kimtech och företagshemsidor tillhörande vattenskrningsmaskinstillverkare och leverantörer, med risk att skapa felaktig bild av verkligheten. Därför har undersökningar gjorts från olika företag och institut för att få in mer perspektiv och för att skapa en rättvisare objektiv bild av vattenskrning. Totalt har sju intervjuer genomförts för att få perspektiv på den insamlade informationen.

## **2. Vattenskrningstekniken**

Det finns två sätt att arbeta med vattenskrning, antingen med enbart vatten eller tillsatt abrasivmedel. Metoderna är specifika för en viss sorts material; ren vattenskrning används för mjuka material medan abrasiv skärning används för hårdare och bräckliga material. Nedan presenteras de olika varianterna och deras egenskaper, samt ingående komponenter.

### **2.1 Ren vattenskrning**

Grundtekniken inom vattenskrning är där enbart vatten används. Idén ligger i att komprimera vattnet och pressa ut det ur en smal öppning, med tillräckligt hög energidensitet för att skära igenom materialet.

Teknologin fokuserar essentiellt på formbara lätta, mjuka material med hög seghet. Exempel på mjuka material och produkter som skärs med enbart vatten är blöjor, kartong samt bilinredning (Flow, 2010). Andra material som passar bra för denna typ av skärning är plast, gummi, trä, fiberglas, textil och även livsmedel (KMT Group, 2010). Denna teknologi komprimerar rent kranvatten upp till mellan 100 och 400 MPa (Mat-Cut, 2010) och pressar ut vattnet med en hastighet på upp till 1000 m/s (A. Cornier). Eftersom strålens diameter vanligtvis ligger i storleksordningen 0.1-0.24 millimeter blir skärspåret smalt och således materialsplet lågt (Flow, 2010). Fördelar med ren vattenskrning är att det går att skära i både tunna och tjocka material, exempelvis i fiberglas upp till 100 millimeter.

## **2.2 Abrasiv vattenskarving**

Teknologin från ren vattenskarving till användandet av ett abrasivmedel utvecklades av Dr. Mohamed Hashish år 1979 som tillsatte granat i vattnet. Granat är ett mineral som är tillräckligt hårt och finkornigt för att inte desintegreras vid kollision av hårda material; tillsatsen gjorde det möjligt att börja skära i material som exempelvis stål, keramik, glas, sten och komposit (Flow, 2010), se avsnitt 5.1.

Istället för att skära med rent vatten används en inblandning, exempelvis granat eller aluminiumoxid för skärningen. Där är således inte längre vattnet som utför det mekaniska arbetet utan partiklarna hos abrasivmedlet som har accelererats till cirka 80 procent av strålens hastighet (E. Ness et al, 1995). Partiklarna kan inte accelereras till samma hastighet som vattenstrålen då en del energi går åt vid kollisionen med insidan av skärmunstycket (KMT, 2010), men sluthastigheten är trots det hög nog för att riva loss partiklar och skär därmed igenom materialet. Själva blandningen går till genom att vattnets höga hastighet skapar ett vakuum i blandningskammaren (en kammare i skärmunstycket, se figur 1) och suger in sanden tillsammans med luft. Strålen innehåller således vatten, luft och sand.

## **2.3 Beskrivning av skärprocesserna – abrasion och erosion**

Hur djupt en abrasiv vattenstråle penetrerar ett material beror på flera faktorer, bland annat det vertikala avståndet från munstycke till material, men även infallsvinkel (P.H Shipway et al, 2004). En annan faktor är materialets hållfasthet, som dessutom ökar vid skärning på grund av deformationshärdning. En studie har visat att friktionskrafterna som skapas då infallsvinkeln mellan inkommande abrasivpartikel och material är mindre än 90 grader, bidrar till skjuvspänningar, ofta bortom brottspänningen och leder därför till erosion. Nyckelorden vid skärning är abrasion och erosion; abrasion sker då partiklar nöter bort materialet (abrasiv skärning) medan erosion innebär att materialet eroderar enbart på grund av vattenflödet (ren vattenskarving). Skärdjupet beror mer av abrasivpartiklarnas storlek samt infallsvinkeln, snarare än av hastigheten på vattenstrålen. Vid minskning av exempelvis partiklarnas storlek minskar partikelerosionen och därmed även skärhastigheten (P.H Shipway et al, 2004).

Det bör tilläggas att skärningen ser olika ut beroende på materialegenskaperna hos materialet som ska skäras. Plastisk "plöjning" av materialet sker vid skärning av mjuka material, medan spröda material genomgår skärning via brott (E. Ness et al, 1995). Denna

vetskap har visat sig viktig för förståelsen av slitage på framför allt munstycket, vilket diskuteras senare.

## **2.4 Abrasivmedlet granat**

Abrasivmedlet som används till att skära i hårdare material heter granat. Det är ett mineral som ser ut som finkornig sand och är extremt hårt. Denna sand är dyr och finns endast i Australien och Indien. Anledning till att man använder sanden är för att den har väldigt hög kvalitet; det går inte att använda vilken sand som helst som abrasivmedel.

Swedish Waterjet Lab på Blekinge Tekniska Högskola (BTH) har tillsammans med Water Jet Sweden AB (tillverkare av vattenskräpningsmaskiner) och GMA Garnet Scandinavian AB (leverantörer av vattenskräpningsand) samarbetat för att hitta en lösning på hur abrasivmedlet ska kunna återvinnas. I vattenskräpningsprocessen slås sanden sönder på grund av det höga vattentrycket samt då sanden träffar skärytan. Det innebär att delar av sanden förstörs medan vissa sandkorn som slås sönder blir vassa, vilket är positivt eftersom dessa sandkorn bidrar till en högre hastighet på skärningen. Water Jet Sweden och GMA Garnet Scandinavian AB har utvecklat en metod som dels återvinner sanden som inte är förstörd och dels rensar bort skärslammet. Swedish Waterjet Lab utförde tillsammans med kunskapsorganisationen Swerea IVF ett oberoende test av den återvunna sanden för att undersöka dess kvalitet och skärbarhet. Resultatet var att den återvunna sanden höll högre kvalitet än ursprungssanden (BTH, 2010).

## **2.5 Tryckhöjning av vatten och beskrivning av maskinkomponenter**

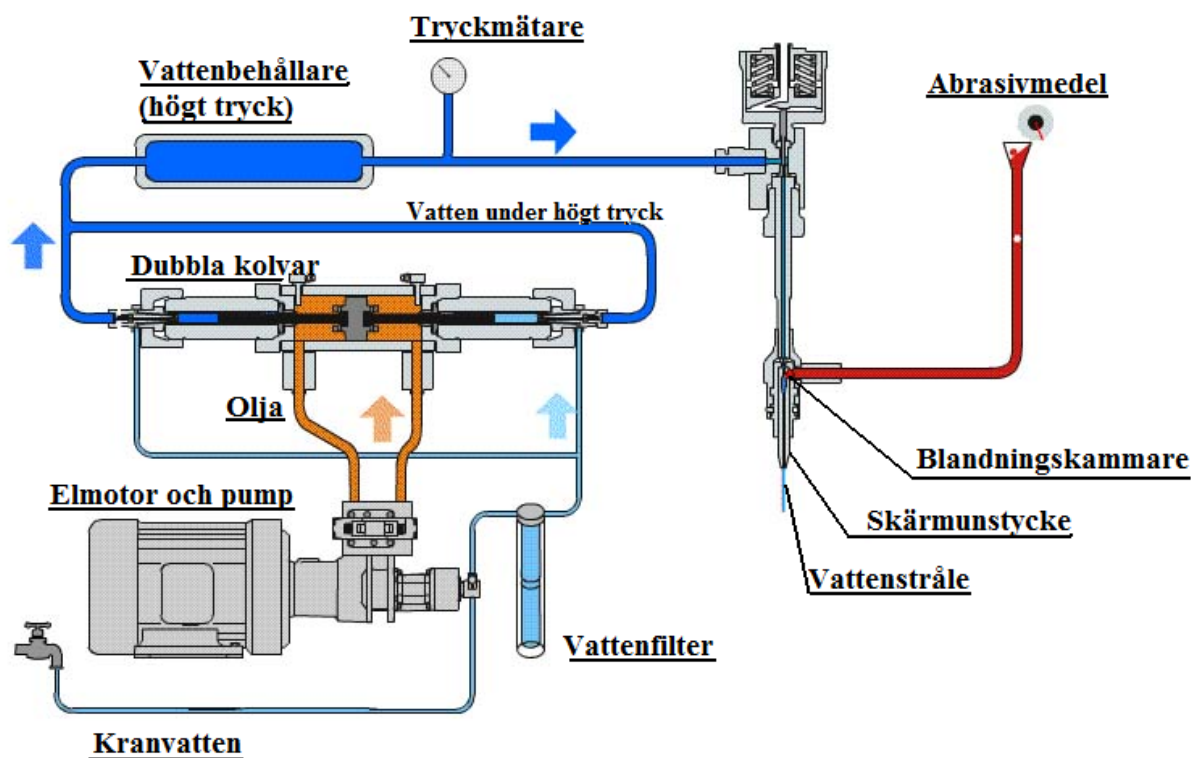
Vattenskräpningsmaskinen har tre huvudsakliga komponenter; en pump som tar in kranvatten, filtrerar det och skapar ett högt tryck, munstycket dit vattnet transporteras (se figur 1) samt ett styrsystem. Den sistnämnda tillåter numerisk kontroll av skäraren och sköts av en tekniker.

Teknologin som vattenskräpnings tillämpar har vatten under högtryck som källa för skärprocessen. Trycket i sig följer en klassisk fysikalisk princip om tryckökning; en kolv med oljetryck på ena sidan och liten area översätts till ett högt tryck på vattnet på andra sidan kolven. Typiskt oljetryck ligger på cirka 20 MPa, med ett areaförhållande på 20:1 i, vilket resulterar i ett vattentryck på 400 MPa (Eurocutting, 2010). Trycket är således direkt proportionellt mot proportionen mellan de olika areorna (Hydroprocess, 2010). Vattnets

komprimering resulterar visserligen i en ökning av dess temperatur med cirka 60 grader Celsius från rumstemperatur, vilket är en obetydlig skillnad och som därför inte påverkar arbetsmaterialet termiskt (A.M Hoogstrate et al, 2006). Tryck över 400 MPa diskuteras i avsnitt 5.3.

För att minimera slitage på kolven på grund av en ojämn vattenström ser man till att ta bort existerande luftbubblor. Vattnet ackumuleras sedan i en vattenbehållare under högt tryck för att jämna ut strömmen för slutfärd mot skärmunstycket.

När vattentrycket definieras som 400 MPa är det ett medeltal, då trycket skapas av en kolv som pumpar olja. Kolven rör sig fram och tillbaka och skapar ett varierande tryck, vilket gör att man kan läsa av ett fluktuerande tryckvärde (A. Cornier). Nedan visas figur 1, som demonstrerar principen och de ingående komponenterna. För att byta mellan abrasiv skärning och ren vattenskärning kan maskinteknikern enkelt koppla loss flödet av abrasivmedel samt byta munstycke.



**Figur 1.** Schematisk bild över vattenskärningsprincipen, från vatteninlopp till pump och filter, ackumulator och slutligen skärmunstycket.

**Källa :** Arts et Métiers ParisTech

## 2.6 Tank

För att få stopp på en stråle med en hastighet på upp till 1000 m/s krävs ett underlag som kan absorbera energi utan att själv förstöras. Materialet placeras i maskinen ovanför en tank, som innehåller vatten. Ett djup på cirka 80 cm räcker normalt för att stoppa strålen, men är inte så praktiskt då det resulterar i en stor mängd vatten som ska filtreras (A. Cornier). Att ha ett fast material är inte heller önskvärt då den lätt förstörs. En lösning som användes på Arts et Métiers ParisTech i Chambéry är man låtit fylla tanken med små hårda kulor, som vid kontakt med vattenstrålen skjuts undan och cirkulerar i behållaren. Varje enskild kula är således i kontakt med strålen under en väldigt kort tid, vilket effektivt skingrar den höga energin, se figur 2 nedan.



**Figur2.** Tank uttömd på vatten, med kulor för energiskingring under stenskivan som ska skäras.

**Källa:** Arts et Métiers ParisTech, Chambéry

## 2.7 Munstycket

Munstycket är den del som vattnet flödar ut ur på materialet. I munstycket sitter en ventil som styrs med tryckluft som öppnar för vattnet. Vattnet kommer sedan ner till antingen en diamant eller en safir med ett hål i, i storleksordningen 0.25 millimeter, som utgör diametern på strålen. Här uppnår vattnet en hastighet på cirka 1000 m/s. Munstycket får inte sitta mer än 100 cm ovanför arbetsstycket, eftersom längre avstånd inte ger vattentrycket tillräckligt hög effekt för att skära i material och dessutom skulle strålen spridas för mycket (P. Clementz).

### **3. Påverkan på bearbetat material**

Vattenstrålen som skapas påverkar inte mikrostrukturen i det bearbetade materialet och lämnar inga restspänningar (Flow, 2010). Då skärningen dessutom sker vid låga temperaturer anses den som en "kall" process", ansedd som den största fördelen. Med låga temperaturer menas de cirka 50 grader Celsius som materialet precis intill skärspåret värms upp till (A. Corner). Man bör dock inte försumma denna värmepåverkan då den kan ha viss effekt på känsliga komponenter, men generellt anses den låg nog för att inte kräva termisk efterbehandling. Dessutom bidrar strålens tunnhet och minimala diameter till hög precision (definierad som reproducerbarheten för skärningen) och litet materialspill. Ytfinheten blir dessutom så bra att efterbearbetning aldrig eller sällan är nödvändig (KMT, 2010), vilket annars skulle utgöra en kostsam och tidskrävande andel av produktionen. Andra fördelar är att metoden är miljövänlig och inte lämnar några farliga gaser under drift.

#### **3.1 Skärbarhet i olika material**

Med vattenskärning kan man skära i nästan alla material. Den stora fördelen jämfört med andra metoder är att man även kan skära i mjuka material. Exempel på material man kan skära i är; stål, rostfritt stål, aluminium, koppar, mässing, kompositer, granit, marmor, kolfiber, glasfiber, glas, plast, papper, gummi, lamellträ och titan, där den sistnämnda anses vara svår att skära med andra metoder på grund av sin hårdhet. Man skär dock olika fort i materialen beroende på parametrar såsom; materialets tjocklek, materialets hållfasthet, vattentryck, vattenflöde och abrasivflöde. Kolfiber är ett material som är väldigt hårt men relativt enkelt att skära i. Material som man inte kan skära i är exempelvis härdat glas (det spricker direkt vid kontakt med strålen), hårda keramiska material och diamant (P. Clementz). Tabell 1 som visar hur fort man kan skära i olika typer av material i varierande tjocklek.

## Skärhastigheter vid olika bearbetningsmaterial och tjocklek

Material	Tjocklek	Skärhastighet	Tryck
Stål	20 mm	35 mm/min	420 MPa
Stål	5 mm	200 mm/min	420 MPa
Titan	20 mm	30 mm/min	420 MPa
Titan	5 mm	140 mm/min	420 MPa
Aluminium	20 mm	75 mm/min	420 MPa
Aluminium	5 mm	350 mm/min	420 MPa

**Tabell 1.** Tabellen visar hur skärhastigheten i stål, titan och aluminium varierar med varierande tjocklek hos arbetstyckena men konstant tryck 420 MPa

**Källa:** KMT-Waterjet

### 4. Miljöpåverkan

Trots att vattenskärningens ingående komponenter endast är vatten och möjligtvis sand, finns det fortfarande faktorer som kan påverka miljön. På besöket på institutet Arts et Métiers ParisTech i Chambéry i Frankrike fick vi demonstrerat hur reningen går till. Avloppssystemet i laboratoriet i Chambéry är direktkopplat till ett lokalt reningsverk, den enda rening som sker är filtrering och återvinning av en del av det vatten som finns i bassängen under skäraren. Man låter dekantera vattnet och slänger sedan bort granat och utskuret material i allmänt avfall. Vid skärning av kretskort eller andra komponenter som kan vara miljöfarliga skickas ett prov av vattenavfallet för laboratorieanalys där det beslutas huruvida det är skadligt eller inte och går sedan vidare med eventuell specialhantering av vattnet.

### 5. Allmänna begränsningar med metoden

Den huvudsakliga begränsningen hos vattenskärning är tjockleken hos materialet, som i kombination med en hög skärhastighet kan leda till en räfflad undersida på materialet, eftersom strålen släpar efter. Detta demonstreras på figur 3, skärriktningen är åt höger. En mer ingående förklaring och lösning på problem presenteras i avsnitt 6.5.

Kvaliteten på ytfinheten och snittet i arbetsstycket beror framför allt på avståndet mellan munstycke och material, materialets hårdhet samt skärhastigheten (A. Cornier). Exempelvis skärs 150 millimeter tjockt stål med en hastighet av endast en millimeter per minut och med

medelmåttig kvalitet, vilket lämnar utrymme åt annan bearbetningsteknik, till exempel gnistbearbetning.

En annan nackdel med vattenskärning är skillnaden i bredden av skärnsnitt som kan uppstå mellan översida och undersida. Om parametrarna för skärningen (skärhastighet och tryck) inte stämmer med materialet och dess tjocklek finns en tendens att spåret smalnar av ju längre strålen tränger ner i materialet. Istället för ett önskat rakt skärspår fås ett spår med kanter som inte är parallella. Andra svårigheter som stötts på är skärning av material som limmats på varandra för att bilda två eller fler lager. Vid Arts et Métiers ParisTech studerades flerlagriga kompositer av bland annat tjockt glas med en tunnare skiva aluminium, koppar, marmor eller trä. Problem uppkom med det senare då träet hade en tendens att låta vatten tränga in mellan glaset och träet. Experimenten gav dock positiva resultat för de andra materialen (A. Cornier).



**Figur 3.** Bilden visar ett fotografi av tvärsnittet efter skärning av en gatsten med tjockleken 150 mm. Den nedre delen är räfflad på grund av en eftersläpande stråle, vilket resulterat i en vågformad yta. Skärriktningen är åt höger.

**Källa:** Arts et Métiers ParisTech, Chambéry

## 6. Nya skärmetoder och teknikförbättringar

I detta avsnitt presenteras nya skärmetoder och teknikförbättringar som utökar tillämpningsområdet hos vattenskärning och effektiviserar den.

### 6.1 Skärning av laminerade material

För att kunna skära i material som kolfiber och glasfiber som är laminat dvs. består av flera lager, uppstår ett problem då man gör hål i materialet. Man får en sprängning i första lagret och efter det första lagret kommer vattnet vilja ta sig vägen ut istället för att penetrera nästa lager, detta leder till sprängningar i materialet. För att lösa detta kan man antingen förborra



där man ska börja gör hålet, eller sänka trycket och använda en ejektor som suger upp abrasivmedlet från blandningskammaren (se avsnitt 2.2) som gör att det första som träffar materialet är ett sandkorn istället för att materialet först träffas på av vatten (P. Clementz).

## **6.2 Hastigare materialpenetrering**

För att komma igenom 20 millimeter aluminium plåt kan det ta upp till en minut om man riktar strålen rakt ner i materialet. För att komma igenom material måste man få bort material, dvs. det material som ska bort måste ut från samma riktning som man sprutar in vattnet. Men om man istället går runt i en liten cirkel, med en radie på en millimeter, lämnas utrymme bakom strålen som är fritt för materialet att spruta ut igenom. Denna metod gör det möjligt att skära igenom 20 millimeter aluminium på endast någon sekund (P. Clementz).

## **6.3 Vattentryck över 400 MPa**

En ny teknologi som ett flertal företag använder idag är att arbeta med ett vattentryck på upp till 600 MPa istället för de tidigare mellan 200 och 400 MPa. Några exempel på fördelar som uppstår vid skärning under ultrahögt tryck är att tunn metall kan skäras utan abrasivmedel, kompositer kan skäras utan delaminering, användandet av abrasivmedel kan minskas, skärning av hårdare material såsom keramik görs möjligt samt bättre nyttjande av vattenflödet (M. Hashish, 2009). Vidare kan skärspåren göras djupare samt hastigheten hos skärningen ökas (A.M Hoogstrate et al, 2006). Målet är att få en effektivare process med reducerade kostnader till följd.

Det finns dock ett flertal begränsningar med att arbeta under ultrahögt tryck; vatten är exempelvis relativt svårkomprimerat. För att kunna arbeta under högt tryck sätts stora krav på maskindelarna; valet av material hos vattenbehållaren avgör hur högt vattentryck som kan tillåtas att produceras i maskinen. Typiska material som används för cylindrarna plasticerar vid 1100 MPa, vilket motsvarar ett inre tryck på cirka 400 MPa med en viss säkerhetsfaktor (A.M Hoogstrate et al, 2006). Det finns dock pumpar idag som arbetar kring 600 MPa, vilket kan uppnås genom att förstärka komponenterna genom att exempelvis skapa kvarvarande tryckspänningar i dem. Fler lösningar har varit att konstruera vattenbehållare med flera lager. En annan lösning är att höja vattentrycket i två steg via två förstärkare för att stabilisera trycket på en mellannivå för att sedan låta vattnet nå sin

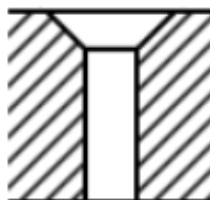
slutgiltiga nivå. Resultatet blir att medelspänningen hos behållarna minskar, vilket ökar livslängden hos behållarna (A.M Hoogstrate et al, 2006).

Det högsta industrialiserade vattenskärarna arbetar idag vid 650 MPa (Flow, 2010). Trycket går att utöka, men vid tryck över 894 MPa övergår vattnet till fast form och fryser. Denna tryckgräns flyttas visserligen upp en aning då komprimeringen som tidigare nämnts ökar vattnets temperatur en aning. Faror finns däremot vid driftstopp då det finns tid för vattnet att sänka temperaturen igen och frysa (A.M Hoogstrate et al, 2006).

Ett amerikanskt företag som lyckats industrialisera ultrahögtryckspumpar är Jet Edge, som i dagsläget har ett flertal olika modeller med varierande tryck. De högsta arbetar vid 600 MPa, cirka 50 procent högre än standardmaskinerna. Företaget har förmått öka produktiviteten hos sina kunder med 40-50 procent för ett flertal material. För att förstå åtgången av resurser hos en vattenskärare på 515 MPa jämfört med en på 414 MPa, utnyttjar den tidigare 30 procent mindre vatten samt effekt och upp till 40 procent mindre abrasivmedel, faktorer som tillsammans leder till en minskning av driftkostnaderna med 40 procent (Jet Edge, 2010).

#### 6.4 Vattenskärningsmaskin i fem axlar

Tidigare har man skärt i XY-plan, men idag finns tekniken av att använda 5-axliga vattenskärare. Kimtech visade upp sin nya 5-axliga vattenskärare på Tekniska Mässan i december 2009 (F. Nyby, 2009). Denna nya teknik ger möjlighet till att vattenskära komplexa detaljer i olika material, man kan exempelvis skära detaljer med färdiga försänkta skruvhål (se figur 4), fogberedda svetskanter och detaljer med snedställd kant, vilket inte kan göras med en vanlig vattenskärare, man kan även skära steglöst i vinklar från 0-45 grader. Eftersom metoden ger fina snittytor är efterbehandling sällan nödvändig.



**Figur 4.** Visar ett försänkt skruvhål, användes för att sänka skruvhatten i materialet.

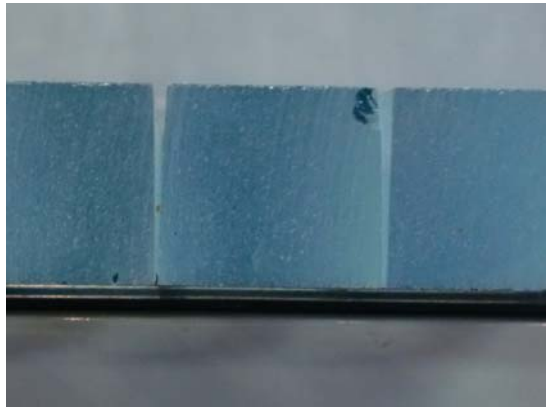
**Källa:** Wikipedia "Countersink"

## 6.5 Vinklat skärmunstycke för eliminering av vinkelfel

När man skär ett snitt i hårt material med vattenskärning förkommer det fall då snittet inte blir helt rakt, eftersom rörelseenergin blir mindre ju längre man tränger in i materialet. Detta fenomen kallas för *taper*, se figur 5 och 6. Taper förkommer i olika varianter; V-format, omvänt, cylindriskt eller triangulärt taper (Omax, 2010). För att eliminera taper har man tidigare förnyat sin utrustning; man byter till ett abrasivmedel med finare korn och högre kvalitet, byter ut hela munstycket eller byter diamanten/safiren som sitter i munstycket.

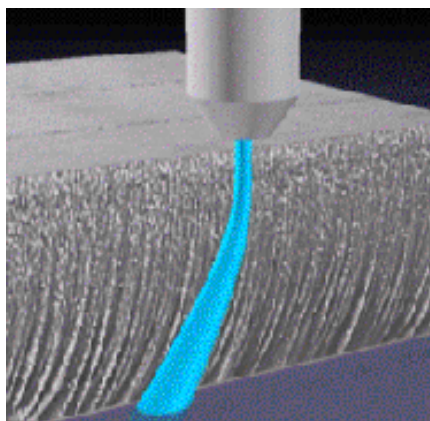
Fenomenet *stream lag* uppkommer då strålen fördröjs, vilket kan ske vid skärning av för tjockt material. Om skärhastigheten är för hög, skapas ett vågmönster som konsekvens (se figur 6).

Nu har det lanserats en ny vattenskärare som kan vinkla munstycket, i storleksordningen 0-0,5 grader, som kan helt och hållet eliminera taper. Det koniska snittet som uppstår av att energin reduceras när man skär in i materialet, elimineras då det vinklade munstycket kompenserar för energireduceringen. Detta gör det möjligt att skära betydligt fortare; skärhastigheten kan ökas mellan 25 och 400 procent (Flow, 2010).



**Figur 5.** Bilden illustrerar v-format *taper* på en 20 mm tjock glasskiva; skärspåret är bredare vid ovasidan och smalnar av längre in i materialet.

**Källa:** Arts et Métiers Paris Tech



**Figur 6.** Demonstration av så kallade *stream lags*, observera att bilden är överdriven för exemplifikation.

**Källa:** Jit Waterjet

## **7. Slitage och nötning av utrustning**

Eftersom man använder högt tryck i vattenskrämningsmaskiner så förekommer slitage på delar av utrustning vilket beskrivs i detta avsnitt.

### **7.1 Munstycket**

Utrustningen som används vid vattenskränning utsätts för stora påfrestningar under drift på grund av de höga tryck som krävs vid skärningen. Munstycket är en av dessa; den utsätts dock inte endast för vatten under högt tryck utan påverkas också av de eroderande abrasivpartiklarna. Efter en tids drift måste munstycket bytas ut då öppningen har undergått deformation och diametern ökat för mycket för att bevara precis skärning. Diametern ökar sällan symmetriskt vilket gör att strålen skär med en förskjutning.

Typiska effekter av ett utslitet munstycke är på grund av den större mynningen bredare skärspår (E. Ness, 1995). Det är viktigt att veta hur munstyckena slits ut för att kunna beräkna hur ofta de bör bytas ut innan toleransnivåer överskrids. Det är givetvis även intressant ur kostnadssyn att optimera skärningen genom vetenskap om livslängden. För vidare läsning om slitage av munstycket, hänvisar vi till Eric Ness et al 2005, se källförteckning.

## **7.2 Slitage på grund av ökat tryck**

Vid drift av den gamla vattenskrämaskinen på Arts et Métiers ParisTech visade det sig att ett tryck över 350 MPa slet avsevärt mer på kolvarna som skapar oljetrycket, på grund det ökade antal slag per minut, än om man behöll lägre tryck. Samtidigt gjorde man iakttagelsen på denna maskin att skärhastigheten ökade marginellt; det blev således onödigt att arbeta vid maximalt tryck (400 MPa) och istället nöjde man sig med att arbeta i intervallet 300 till 350 MPa. Dessutom har det visat sig att effektiviteten hos maskinen ökar etappvis; en ökning av trycket står inte i direkt relation till en ökning av skärhastigheten och ger därför varken tekniska eller ekonomiska fördelar, förutsatt att man inte når upp till nästa nivå (A. Cornier).

## **7.3 Pumpen**

Kimtech använder i en av sina 5-axliga skärare en pump med en elmotor på 100 hk. Effekter finns i intervallet 30-200 hk som alla skapar ett tryck på 400 MPa, men pumpar ut olika mycket vatten. Exempelvis kan en elmotor på 100 hk användas för att förse två skärmunstycken. Kimtechs pump består av dubbla hydraulmotorer, en intensifier (kolv som rör sig höger till vänster) som ökar trycket, och en ackumulator som gör att man får jämnare tryck. Igångsättning och avstängning av pumpen står för den största delen av slitaget. Det är således effektivare att ha pumpen gående dygnet runt. I pumpen är det packningar som slits, därför bör man med jämna mellanrum utföra service på pumpen, byta olja osv. Det förekommer slitage på rören, då de böjer sig fram och tillbaka, och kan tillslut spricka sönder. Att skära långsamt över en längre sträcka sliter inte lika mycket på utrustningen till skillnad mot att skära hål i material (P. Clementz).

## **8. Applikationer**

Enligt ett flertal källor vi gått igenom anses vattenskränning vara en mångsidig teknik då den kan skära i de flesta material. För att nämna några industrier, används tekniken inom flygindustrin, bilindustrin, livsmedelsindustrin, allmän verkstadsindustri, plaster och gummi, arkitektur och konst. Den anses snarare som ett komplement än substitut till andra skärmetoder, medan i vissa fall är den klart att föredra, till exempel vid värmekänsliga processer.

Det finns exempelvis mobila vattenskrarare som går att fästa på betongblock som sedan delas upp i mindre bitar. Applikationerna begränsar sig dock inte till skärning, utan en annan viktig industri är återvinning, rengöring och avskrapning. Vi kommer nedan att presentera ett antal applikationer, vissa relativt olika varandra, för att påvisa just teknikens mångsidighet.

## **8.1 Industrier**

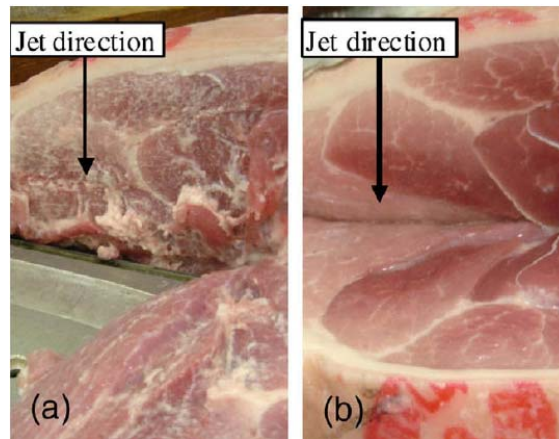
### **8.1.1 Bilindustrin**

Vattenskrarning har länge använts inom bilindustrin, som använder tekniken för att skära paneler, dörrsidor, bilmattor och annan utrustning (Flow, 2010), det vill säga duktila material med hög seghet.

Flexibilitet erhålls då endast omprogrammering krävs när man byter komponent som ska skäras, vilket är fördelaktigt i exempelvis produktionslinor, där flera komponenter produceras. Specifikt i bilindustrin används ofta vattenskraringsboxar dit komponenten förs på rullband. Hårda material såsom kompositer och metaller kräver abrasiv skärning medan det för plaster och skum räcker med ren vattenskrarning. Företaget KMT producerar specifika skarare och delar för bilindustrin och nämner ett antal direkta fördelar av användningen av vattenskrarare inom bilindustrin; hög produktionsflexibilitet, ingen värmepåverkan eller restspänningar, lågt spill tack vare smala skarspår, inte nödvändigt att efterarbeta utskurna delar samt att man inte skadar metallstrukturen (KMT, 2010).

### **8.1.2 Livsmedelsindustrin**

En av tillämpningarna för vattenskrarning är även inom livsmedelsindustrin, där man använder teknologin för att skära kött med ben. I en studie som gjorts för att undersöka abrasiv vattenskrarning som lämplig metod för att skära kött ingick koksalt som abrasivmedel för att inte förorena köttet (J. Wang et al, 2008). Här visar sig vattenstrålens lilla diameter starkt fördelaktig då man undviker att dyrbart kött går till spillo. Tidigare har man dessutom ofta behövt frysa köttet för att lättare kunna skära i det med till exempel en bandsåg, vilket man slipper med vattenskrarning. Alternativet till bandsåg är således ren vattenskrarning för enbart kött och abrasiv skärning för kött med ben (J. Wang et al, 2008). I figur 7 visas skillnaden på kvalitén på utskuret kött med ren respektive abrasiv vattenskrarning. Skarhastigheten är dessutom högre vid den abrasiv skärningen.



**Figur 7.** Skärning av rumstempererat kött med (a) ren vattenskränning med skärhastigheten 33,33 mm/s samt (b) abrasiv skärning med hastigheten 50 mm/s. Abrasivmedel var salt med flödet 3,5 g/s

**Källa:** J. Wang et al 2008

Direkta fördelar med att använda vattenskränning inom livsmedelsindustrin är att man slipper eventuell överföring av bakterier mellan verktyg och produkt, vattenskränningen undviker dessutom tid för slipning, som knivar behöver. Maskinen är dessutom snabbt omställningsbar från ett livsmedel till ett annat. Säkerheten ökar också då den anställde kan fjärrstyra maskinen och inte behöver vara nära skärområdet (Flow, 2010).

### 8.1.3 Övriga industrier och produkter

Vattenskränning tillämpas inom rymdteknik, militären, pappersindustrin mm (Flow, 2010). Produkter som tas fram med vattenskränning är komposit, smycken, glas mm. NCC använder exempelvis vattenskrämare för att skära ut gipskivor till husen.

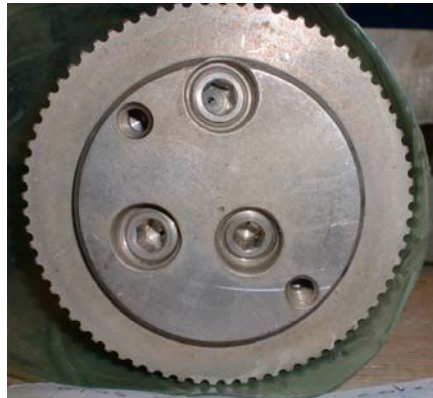
### 8.2 Jet Edge – två mobila vattenskrämare

Det finns idag företag som erbjuder mobila vattenskrämare vilka kan användas bland annat till att skära pipelines och armerad betong. Dessa skrämare är speciellt tillämpbara i värmekänsliga platser eftersom processen inte skapar några gnistor eller lågor. Företaget Jet Edge's produkt *Versacutter* kan monteras för både fast linjär skärning eller för flexibla former för att skära efter andra ytkonturer. Den styrs med hjälp av en fjärrkontroll som manövrerar skärhastighet och riktning, flöde av abrasivmedel samt maskinstart och stopp. Precisionen av mängden abrasivmedel är dessutom väldigt hög vilket ger noggrann skärning. Mängden abrasivmedel som ryms i behållaren uppgår till cirka 180 kg hos *Versacutter* vilket tillåter skärning utan nödvändiga avbrott för påfyllning (Jet Edge, 2010).

### 8.3 Blästring av ytor

Förutom vattenskärning har Jet Edge även specialiserat sig på rengöring och preparering av ytor. Man blästrar för att få bort bland annat målarfärg, plast, epoxi och rost utan att skada underliggande ytor. Samtidigt behandlas automatiskt även underliggande ytor och blir fästbara för nytt material. Produkten *Ultralite-Lance* genomför blästringen för att göra rent igentäppta rör, fartygsdäck och skrov (Jet Edge, 2010). Skillnaden mot skärning är endast de olika munstycken som används (se figur 8) och avsaknaden av abrasivmedel, annars är tekniken densamma.

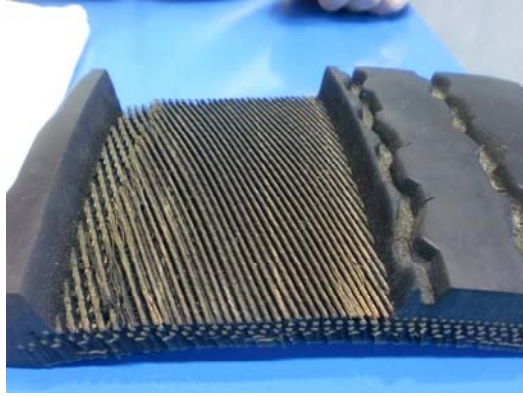
Institutet Arts et Métiers ParisTech i Chambéry i Frankrike fokuserade på rengöring och separering av material. Speciella blästringsmunstycken användes på laboratoriet. Till skillnad från vattenskärning kan man använda flera utmyningar, vinklade i olika riktningar som skapar automatisk rotation av munstycket vid drift och därmed effektiv separering av material i olika lager, se figur 9. Teknikerna vid Arts et Métiers ParisTech arbetade exempelvis med blästring av gamla linoleumgolv vid lägenhetsreovering.



**Figur 8.** Undersidan av ett blästringsmunstycke med fem vinklade mynningar som tillåter autorotation vid drift.

**Källa:** Arts et Métiers ParisTech, Chambéry





**Figur 9.** Separering av gummi från metallband på ett däck för ändamålet att återvinna materialen

**Källa:** Arts et Métiers ParisTech, Chambéry

#### **8.4 Vattenskärning med hög precision**

Problematik med vattenskärning har varit dess bristande precision jämfört med laser. För att reda ut denna nackdel lyckades ett schweiziskt företag år 2008 skapa en abrasiv vattenskarare, *Abrasive-Waterjet-Micromachining (AWJMM)*, med lika hög precision som en laserskarare (ner mot en hundradels millimeter). Den stora fördelen var återigen vattenskarningens avsaknad av temperaturpåverkan på materialet, vilket eliminerade konkurrens från bland annat laserskarning. Positionssystemet riktade framgångsrikt både vatten och abrasivmedel vid ett tryck på cirka 400 MPa (Micro Manufacturing, 2010).

Tekniken används idag inom industrier för komponenter som kräver hög precision, bland annat medicinskt instrument och implantat, urmakeri, motorsport och elektroniska kretskort (Micro Manufacturing, 2010). Figur 10 ger en bra uppfattning om storleken hos skäraren.



**Figur 10.** Bilden illustrerar skärprecisionen i vattenskarning hos maskinen AWMM, storleken på urverket jämförs här med en tändsticka.

**Källa:** Micro Manufacturing

## 9. Jämförelse med laser- och plasmaskärning

### 9.1 Laserskärning

Laserskärning är en skärmetod där en laserstråle används för att hetta upp materialet tillräckligt för det ska smälta eller förgasas. Laserstrålen, som är riktad vinkelrätt mot materialet som ska skäras, framställs av en laserkälla och riktas med hjälp av fiberoptik eller speglar. Laserstrålen fokuseras via en lins till en punkt nära ytan av materialet, här bildas sedan ett smalt snitt då den intensiva ljusstrålen träffar arbetsstycket. Temperaturen i snittet på arbetsstycket kan bli flera tusen grader Celsius. Man rör antingen skärhuvudet eller arbetsstycket i en jämn hastighet för att åstadkomma snittet. Man kan med dagens laserskärningsmaskiner bearbeta upp till 25 mm tjockt stål. Inom industrin är två laserstrålkällor vanligast, koldioxidlasern och YAG-lasern (Laserskärning, 2010).

De material som man kan skära med är; de flesta metaller, plexiglas, plast, trä, läder, tyg mm. Material med olika smältpunkter kan nästan aldrig skäras samtidigt (Jeff Albro). Andra processer man kan använda laser till är borring, gravering och svetsning. Det är svårt att 3D-skära med laser vilket går att göra med vattenskarving. En fördel med laserskärning är att man kan skära i betydligt högre hastighet jämfört med andra metoder, ibland så hög som tiotals meter per minut, detta gör att laserskärning är lämpligast att använda då man ska serietillverka eller stycktillverka en detalj för många olika produkter (Laserskärning, 2010). Man skär bäst med laserskärning i tunnare material. Däremot blir materialet påverkat av värme från laserstrålen, vilket kan resultera i deformation och struktureförändringar i materialet. Detta förekommer aldrig med vattenskarving då man kan kontrollera temperaturen i vattnet (Tesko Laser Division, 2010). Precisionen (se avsnitt 3) i en laserskärare uppgår till 0,05 mm, vilket är bättre än en vattenskarving som har sin precisionstolerans på 0,1 mm. Med laserskärning kan man inte skära flera lager av material, vilket går att göra med vattenskarving.

#### 9.1.1 Laserskärningens och vattenskarvingens miljöperspektiv

När man skär med laser produceras giftiga gaser om man skär i material som vissa typer av metall eller plast, därav är det ur ett miljöperspektiv väldigt svårt att slå vattenskarving då det skärs med något så naturligt och ofarligt som vatten. De resurser som krävs för att underhålla en laserskärare är dessutom miljöfarliga gaser. Den säkerhet och skydd man behöver inom laserskärning är däremot något bättre jämfört med vattenskarving, man

behöver exempelvis inget öronskydd då en laserskärare är relativt tystlåten, till skillnad från vattenskärare som låter väldigt mycket under bearbetning. När man skär i stål med vattenskärning ligger ljudnivån på 100 dB då man inte penetrerat helt genom materialet, och ligger på 90 dB då man penetrerat igenom materialet (P. Clementz). Ljudmätningen är tagen från en meters avstånd. Spillet som förekommer när man skär består mest av damm vilket fordrar att man har en vakuumentextraktion och filtrering. Likt vattenskärning bör man använda glasögon för att skydda ögonen (Tesko Laser Division, 2010).

### **9.1.2 Laserskärningens och vattenskärningens ekonomiska perspektiv**

Priset på en laserskärare är varierande, men börjar från ca 3 miljoner kr, vilket är betydligt dyrare än både vattenskärning och plasmaskärning (se avsnitt 9.2.2). Resurserna som används är olika typer av gaser och utrustning som man kommer behöva förnya/byta ut är munstycket, skyddsglas, optik, smutsfilter och partikelfilter. Om man använder sig av en 1500 watts koldioxidlaser ligger den elektriska effekten på 24-40 kW, lasergaskonsumtionen på 2-16 liter/timmen, och skärgaskonsumtionen på cirka 500-2000 liter/timmen (Tesko Laser Division, 2010). Detta jämförs med en vattenskärare på en 20 kW pump som utnyttjar 22-35 kW elektrisk effekt, vattenkonsumtionen är 10 liter/timmen och abrasivmedelkonsumtionen 350 g/min (KMT), vilket är den dyraste resursen.

Det är ekonomiskt effektivt att skära med laser i tjocklekar mellan 3-10 mm (stål), då det går betydligt fortare än någon annan skärningsmetod, men i tjocklekar över 15 mm är det ineffektivare (Tesko Laser Division, 2010). Med laserskärning behöver man bearbeta snittytan (tidskrävande) vilket inte behövs med vattenskärning.

## **9.2 Plasmaskärning**

Denna process använder en koncentrerad elektriskt ljusbåge mellan skärelektroden och det bearbetade materialet, som smälter materialet med en hög temperatur plasmastråle. Alla elektriskt ledande material kan skäras med plasmaskärning. Tryckluft, och i vissa fall någon annan gas, skär (blåser bort) det upphettade materialet och skapar därmed ett skärsnitt. Temperaturen i ljusbågen kan bli 30 000 grader Celsius (Svetskommissionen, 2010).

Den största fördelen med plasmaskärare är att den är betydligt mycket billigare än andra skärmaskiner. En stor nackdel jämfört med vattenskärning är dock att man ofta får *taper* (vinkelfel i snittytan, se avsnitt 6.5) i materialet. Likt laserskärning så påverkas materialet av

värme under bearbetning som kan resultera i deformation och strukturförändringar. Precision i en plasmaskärare uppgår till 0,35 mm, vilket är betydligt sämre än både vatten- och laserskärare (Tesko Laser Division, 2010). De material som man kan skära med är alla metaller, även kombinationer av metaller med olika smältpunkt och tjocklek som man effektivt kan skära stål i är 25 mm, men det är möjligt att skära i upp till 30 mm (TMK, 2010). Det går inte att skära flera lager av material med plasmaskärning, vilket är möjligt med vattenskarvning.

### **9.2.1 Plasmaskärningens miljöperspektiv**

Plasmaskäraren producerar på samma sätt som laserskäraren giftiga gaser vid skärning av vissa metaller och plast. Plasmaskärarens energitransmission kommer också från elektriskt laddad gas, vilket gör att vattenskarvaren är betydligt miljövänligare än plasma. Plasmaskäraren gör dessutom mycket oljud och lämnar materialspill.

### **9.2.2 Plasmaskärningens och vattenskarvningens ekonomiska perspektiv**

Priset för en ny plasmaskärningsmaskin börjar från 1 miljon kr för ett paket med styrda axlar, arbetsbord och styrsystem. Priset för endast en portabel plasmaskärare är 70 000 kr, vilket är betydligt billigare än en vattenskarvningensmaskin som kostar 1,2 miljoner kr och uppåt (P. Clementz). De resurser som krävs för att underhålla en plasmaskärare är gaser och komprimerad luft, och de delar som behöver bytas ut är munstycket och ändspetsen (Jeff Albro). Effekten i en 300 amperes plasmaskärare är cirka 55 kW.

## **10. Forskning och utveckling**

För att förstå tekniken bättre har vi valt att redogöra för dess utveckling och se var i forskningen man ligger till idag och vilka framsteg som gjorts.

Aktuellt arbetar ett fåtal företag med 5-axliga vattenskarvare, ultrahögt tryck och kontroll av taper, bland dessa finns två företag, amerikanska Jet Edge och italienska Technocut. Vi påminner om att taper var den specifika egenskapen att materialet istället för ett rakt skärspår under vissa omständigheter får en oönskad konisk form. Företagen har inlett ett samarbete och attackerar problemet tillsammans (Free Press Release, 2010). Forskning om

ultrahögt tryck är intressant då, liksom tidigare diskuterats, Jet Edge visat att man kan minska driftkostnaderna samtidigt som produktiviteten ökar.

Såsom presenterats i avsnitt 8.4, är en annan attraktiv ny teknik precisionsskärning, där Schweiz är ledande, vilket bekräftas av tidigare verkställande direktör och styrelseordförande på det franska företaget Weber Lubrifiants. Själv nämner han (liksom sin kollega Alain Cornier på Arts et Métiers ParisTech i Chambéry) att Frankrike överlag inte avancerar inom vattenskarving, på grund av konkurrerande grannländer. I Schweiz fokuserar man även på optimering av kvalitén på ytor för att minimera efterbehandling.

Ytterligare exempel på forskning som bedrivs är i Tyskland, där man utreder om det går att tillämpa vattenskarving inom biomedicin. Forskare försöker se ifall de kan tillverka skruvar av skelettben med hjälp av vattenskarving för att ersätta titan i benproteser (D. Weber, 2010).

### **10.1 Industrin i Frankrike**

Tillämpningarna hos vattenskarving i Frankrike skiljer sig någorlunda från övriga Europa. I Frankrike är teknologin betydligt mer vanlig inom livsmedelsindustrin och läderindustri än i verkstadsindustri. Framför allt är vattenskarving välanpassat för massproduktion för de tidigare nämnda. Livsmedelsindustrin använder främst tekniken för att skära fisk, bakverk och frysta produkter. Nischerna i Frankrike ligger i skärning av marmor och läder (A. Cornier).

Efter besöket hos Arts et Métiers ParisTech i Chambéry framgick det att deras aktiviteter avslutningsvis mestadels handlade om återvinning, men på grund av bristande intresse hos företag att investera i dyr arbetskraft hos maskintekniker och utrustning för återvinning lades verksamheten ner. Utvecklingen för vattenskarving har på senare år minskat i Frankrike, inom både användning såväl som forskning. Företagen i Frankrike är tyvärr föga intresserade av tekniken med ultrahögt tryck, på grund investeringsbehovet och de kostnader som tillkommer (A. Cornier).

## 10.2 Industrin i Sverige

I Sverige ser man ljust på framtiden inom vattenskarvning. Man har två starka producenter för vattenskarvare som har tillgång till den allra senaste tekniken och samarbete med lokala forskningsinstitut, Swedish Waterjet och Kimtech. I verkstadsindustrier där det tidigare endast var laserskarvning man använde sig av, börjar man se vattenskarvning mer och mer. Jorma Lustig från Järfälla Profilt teknik AB påstår att det alltid finns en framtid i vattenskarvning inom verkstadsindustrin i Sverige; *”Man tänker inte i banorna på outsourcing av tillverkning av detaljdelar till lågkostnadsländer då man oftast vill vara nära produktionen och ha tillgång till produkten så snabbt som möjligt, vilket görs bäst lokalt”* (J. Lustig).

På Blekinge Tekniska Högskola bedrivs idag en verksamhet som forskar inom vattenskarvning och tittar på nya möjligheter för att kunna utveckla den. Sweden Waterjet Lab (SWL) är ett företag som fungerar som en plattform där industri, samhälle och högskola får möjlighet till att bedriva samverkansprojekt. I laboratoriet finns utrustning för att utföra och analysera skärtester. Detta görs både åt företag som är nyfikna på vattenskarvningstekniken, åt företag som redan är kompetenta inom teknikområdet och för forskare och studenter vid högskolor. Vi har inte haft möjlighet att ta oss dit men har haft kontakt med grundaren och föreståndaren, Anders Jönsson, som har beskrivit organisationen åt oss. Det finns inte många liknande organisationer runt om i världen, SWL kopplar industrin till den senaste forskningen som görs inom vattenskarvning, på samma sätt kopplar den behovet från industrin för att hitta fokusområden att bedriva forskning inom.

Runt om i världen diskuteras det idag mycket om att skära med vattenskarvning i över 400 MPa. Det senaste kommer från det ledande företaget Flow International Corporation som utvecklat en vattenskarvare som kan skära i 940 MPa, men det vanligaste samtalsämnet i omvärlden handlar just nu om 600 MPa. I Sverige är man dock skeptisk till att skära med 600 MPa tryck. Man anser att tekniken inte riktigt är färdigutvecklad för att tillämpas i industrier. Det sätter otroligt höga krav på utrustningen och rent ekonomiskt kräver det för stora investeringar. Man behöver en pump som ska klara av att producera det höga trycket samtidigt som man behöver rör som kan klara av att passera vattnet. I Sverige tror man att det höga trycket kommer leda till mer slitage på utrustningen och kortare service intervall (D. Andreas).

## 11. Slutsats och diskussion

### 11.1 Slutsats

Vi har i denna rapport presenterat teknologin bakom vattenskärning, närmare bestämt två olika tekniker, abrasiv samt ren vattenskärning. Vi har även påvisat de för- och nackdelar som uppkommer samt begränsningar och genom ett flertal exempel på applikationer visat att tekniken verkligen är mångsidig. Även om man tidigare inte lyckats erhålla samma låga toleranser som hos laserskärning, kan vi konstatera att tekniken används idag i högsta grad både kompletterar men även konkurrerar med laser. Högprecisions-skärning tillsammans med avsaknad av värmepåverkan är minst sagt intressant.

Vattenskärningsindustrin innefattar många olika företag som skiljer sig i storlek. Det finns flera områden för dessa att fokusera sig på. Ett schweiziskt företag inriktar sig på precisionsskärning, amerikanska Flow på ett flertal applikationer såsom ultrahögt tryck, tillsammans med Jet Edge. Tekniken används inom många olika industrier och begränsningarna av applikationer inom vattenskärning är få.

De slutsatser vi drar är att vattenskärning är en tillverknings- och bearbetningsmetod som erbjuder flexibel och enkel skärning med relativt få nackdelar och minimal påverkan på materialet. Problem med exempelvis taper har man lyckats kompensera för genom att vinkla strålen eller anpassa skärhastigheten. Det är lätt att skära i material då de kräver okomplicerad fixering och det är smidigt för teknikern att koppla på eller av abrasivmedel efter önskemål. Tekniken framkallar inga ångor eller gnistor vilket bidrar till en behagligare och säkrare arbetsmiljö. Den är utöver det miljövänlig till den grad att endast vatten och abrasivmedel används, med undantag för skärning av miljöfarligt material i sig. Det pågår forskning och utveckling av teknologin på flera olika håll, och nya applikationer dyker ständigt upp. För tillfället är ultrahögt tryck mest intressant, som tillsammans med 5-axliga maskiner och högprecisions-skärning utgör några exempel.

Vi drar slutsatsen att tillämpningarna för vattenskärning ser olika ut i Sverige och Frankrike, främst eftersom Sverige ligger före i tekniken men också på grund av få satsningar i Frankrike. Det har varit svårt för Frankrike att konkurrera med länder (Tyskland och Schweiz) där industrierna är väletablerade. Det är dock intressant att tekniken används brett inom livsmedelsindustrin snarare än verksstadsindustri där andra länder är ledande.

## **11.2 Diskussion**

Jämfört med andra metoder är vattenskärning en universell skärningsmetod som kan klara av att skära det mesta, oavsett tjocklek. Icke-metaller och kompositer är några av de material man inte kan skära med plasma- eller laserskärning. Den allra bästa fördelen är dock att man inte behöver om bearbeta skärytan då vattenskärning skapar tillräckligt fina ytor i första snittet. Dessutom påverkas inte materialet av någon termisk effekt som deformerar arbetsstycket. Men, alla skärningsmetoder har sitt respektive område då det är bäst att använda. Det är bäst att applicera laserskärning till skärning av platt stål av tunnare tjocklek pga. snabbheten. När det gäller vattenskärning är det bäst att applicera det till skärning av hårdare material som sten, keramik, och metaller av bredare tjocklek men även av skärning av varierande detaljer i olika material. Plasmaskärning är ett mycket billigare alternativ som även är en snabb skärningsteknik inom sitt område. Det går inte att säga att en teknik är bättre än den andra då alla har sina för- och nackdelar.

## **11.3 Kritisk granskning av eget arbete**

För att begrunda jämförelserna mot laserskärning bättre hade fler intervjuer kunnat genomföras med företag som har laserskärning som kärnkompetens. En del av syftet var att jämföra tekniken med fler skärmetoder och för att få mer trovärdiga resultat hade det varit nyttigt att vända sig till dem. Vi valde dock att fokusera oss på vattenskärning eftersom huvudsyftet trots allt var att förstå den tekniken och dess tillämpningsområden. Primärkällor (vattenskärarföretag) radar givetvis upp fördelar med vattenskärning av egenintresse, men utelämnar gärna nackdelar.

## **11.4 Förslag till fortsatt arbete**

Inom ramen för fortsatt arbete kan skärning under ultrahögt tryck granskas. Det har hos Jet Edge redan visat sig effektivt och då det finns ett flertal tidigare vetenskapliga artiklar som behandlar ämnet finns utrymme för en fördjupning i dess möjligheter och begränsningar.

En annan utgångspunkt skulle kunna vara att studera precisionsskärning, då den största nackdel hos vattenskärning gentemot laserskärning har varit en större diameter på strålen.



### **11.5 Egna reflektioner**

Vattenskärning i sig är väldigt omfattande och det finns många vetenskapliga artiklar och specifik forskning inom tekniken tillgängligt elektroniskt. Tekniken är relativt okomplicerad men bidrar ändå med många fördelar. Detta mestadels tack vare sin mångsidighet och talrika fördelar, framförallt inom materialpåverkan där den lämpar sig bra för produktion av känsliga komponenter men även för skärning i värmekänsliga områden då det är en kall process och inte skapar några gnistor. Den helhetsbild vi får är att tekniken inte nödvändigtvis konkurrerar ut laser- eller plasmaskärning, utan kan också fungera som ett komplement.

# Källförteckning

## Litteratur

Walin, Lars (1986), Utlands Rapport, Sveriges Tekniska Attachéer, *Abrasive jet – vattenskärning med slipmedel*

Öjmertz, Christian (2004). Swedish Waterjet Association, *Konstruera för vattenskärning*

## Vetenskapliga artiklar

Hashish, Mohamed (2009), Flow International Cooperation, *Observations on Cutting With 600-MPa Waterjets*

Hoogstrate, A.M et al (2006), Delft University of Technology och University of Magdeburg, *High Performance Cutting with Abrasive Waterjets beyond 400 MPa*

Ness, Eric et al (1995), The Dow Chemical Company, *Abrasion and erosion of hard materials related to wear in the abrasive waterjet*

Olle, Nygren och Flinkfeldt, Jan (2000), Luleå Tekniska Universitet, *Förbättrad arbetsmiljö vid abrasiv vattenskärning*

Pi, Vu Ngoc et al (2009), Thai Nguyen University of Technology, *A study on nozzle wear modelling in Abrasive Waterjet Cutting*

Shipway, P.H. et al (2004), University of Nottingham, *Characteristics of the surface of a titanium alloy following milling with abrasive waterjets*

Wang J. et al (2008), University of New South Wales, *Cutting meat with bone using an ultrahigh pressure abrasive waterjet*

## Tidningsartiklar

Nyby, Fredrik (2009). Skribent texttanken, Produktion för affärer. *Vattenskärning med nästan oändlig mångsidighet*

Tillgänglig (Elektroniskt): <<http://www.proaffarer.se/common/article.aspx?id=8139> > (2010-06-22)

*Water Jet Manufacturers Tecnocut, Jet Edge Announce Strategic R&D Partnership*

Tillgänglig (Elektroniskt):

<<http://www.free-press-release.com/news-water-jet-manufacturers-tecnocut-jet-edge-announce-strategic-r-d-partnership-1265662686.html>>

(2010-04-20)

## Elektroniska resurser

Albro, Jeff. Personlig hemsida (Elektronisk), Tillgänglig:

<<http://www.jeffalbro.net/cnc/2d-comparison/>> (2010-04-23)

Blekinge Tekniska Högskola (BTH), (Elektronisk) Tillgänglig:

<<http://www.bth.se/hle/provision.nsf/sidor/hallbar-utveckling-av-vattenskarteknik>> (2010-04-23)

Eurocutting, (Elektronisk) Tillgänglig:

<<http://www.eurocutting.com/>>(2010-03-22)

FedTech, (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://www.fedtech.com/compare.html>> (2010-04-23)

Flow International Corporation, (Elektronisk) Tillgänglig:

<<http://www.flowcorp.com/waterjet-products.cfm?id=162>> (2010-04-23)

<<http://www.flowcorp.com/waterjet-products.cfm?id=565>> (2010-04-23)

<<http://www.flowcorp.com/waterjet-products.cfm?id=855>> (2010-04-23)

<<http://www.flowcorp.com/waterjet-applications.cfm?id=224>> (2010-04-23)

<<http://www.flowcorp.com/waterjet-resources.cfm?id=343>> (2010-02-22)

<<http://www.flowcorp.com/about-flow.cfm>> (2010-02-22)

<<http://www.flowcorp.com/waterjet-applications.cfm?id=220>> (2010-04-20)

<<http://www.flowcorp.com/waterjet-applications.cfm?id=225>> (2010-04-20)

HydroProcess, (Elektronisk) Tillgänglig:

<<http://www.hydroprocess.fr/amplification-pression.php>> (2010-03-03)

Jet Edge, (Elektronisk) Tillgänglig:

<[http://www.jetedge.com/content.cfm?fuseaction=dsp\\_products\\_detail&product\\_ID=120](http://www.jetedge.com/content.cfm?fuseaction=dsp_products_detail&product_ID=120)>  
(2010-03-21)

<[http://www.jetedge.com/content.cfm?fuseaction=dsp\\_products\\_detail&product\\_ID=97](http://www.jetedge.com/content.cfm?fuseaction=dsp_products_detail&product_ID=97)>  
(2010-03-21)

[http://www.jetedge.com/content.cfm?fuseaction=dsp\\_applications\\_cleaning](http://www.jetedge.com/content.cfm?fuseaction=dsp_applications_cleaning) hämtad (2010-04-05)

[http://www.jetedge.com/content.cfm?fuseaction=dsp\\_products\\_detail&product\\_ID=94](http://www.jetedge.com/content.cfm?fuseaction=dsp_products_detail&product_ID=94)  
hämtad (2010-03-21)

Jit Waterjet, (Elektronisk) Tillgänglig:

<<http://www.jitwaterjet.com/Stock/WaterJetLag.gif>> (2010-05-23)

KMT Group (Elektronisk) Tillgänglig:

<[http://www.kmtgroup.com/opencms/en\\_UK/waterjet\\_systems/resources/processes/downloads/KMT\\_technology\\_description\\_ENG.pdf](http://www.kmtgroup.com/opencms/en_UK/waterjet_systems/resources/processes/downloads/KMT_technology_description_ENG.pdf)> 2010-03-12

KMT Waterjet, (Elektronisk) Tillgänglig:

<<http://www.kmtwaterjet.com/waterjet-vs-plasma.aspx>> (2010-04-23)

<<http://www.kmt-waterjet.com/automotive.aspx>> (2010-04-23)

Laserskärning (Elektroniskt)

Tillgänglig: < <http://www.laserskaerning.se/>> (2010-04-25)

Mat-Cut,(Elektronisk) Tillgänglig:

<[http://www.mat-cut.com/en/jet\\_d\\_eau.htm](http://www.mat-cut.com/en/jet_d_eau.htm)> (2010-03-16)

Micro Manufacturing, (Elektronisk) Tillgänglig:

<<http://www.micromanufacturing.com/showthread.php?p=669>> (2010-03-22)

Omax, Precision Abrasive Waterjet Systems, (Elektronisk) Tillgänglig:

<<http://www.omax.com/taper.php>> (2010-04-23)

TESKO Laser Division, (Elektronisk) Tillgänglig:

<[http://www.teskolaser.com/waterjet\\_cutting.html](http://www.teskolaser.com/waterjet_cutting.html)> (2010-04-23)

Svetskommissionen (Elektroniskt) Tillgänglig: <

<http://www.svets.se/tekniskinfo/termiskskarning/plasmaskarning.4.ec944110677af1e8380009776.htm>> (2010-04-25)

Swedish Waterjet Lab, bilden på framsidan (Elektroniskt) Tillgänglig:

<<http://www.waterjet-lab.se/vattensk%E4rning.html>> (2010-05-23)

Wikipedia (Elektronisk) Tillgänglig:

<<http://en.wikipedia.org/wiki/Countersink>>(2010-06-22)

## **Intervjuer**

Clementz, Per. Utvecklingskonsult, Kimtech AB, intervju 2010-04-13

Cornier, Alain. Chef, Arts et Métiers ParisTech Chambéry, intervju 2010-04-02

Cuvelier, Thomas, ingenjör på Flow Corporation, telefonintervju 2010-03-15

Dolk, Andreas. Produktionsansvarig, Kimtech AB, telefonintervju 2010-04-16

Jönsson, Anders. Föreståndare, Swedish Waterjet Lab, telefonintervju 2010-04-21

Lustig, Jorma. VD, Järfälla Profilt teknik AB, intervju 2010-04-14

Weber, Daniel, före detta VD Weber Lubrifiants, telefonintervju, 2010-04-19