

Abrasief waterstraalsnijden

Betere precisie door technologieontwikkeling

Andre Hoogstrate

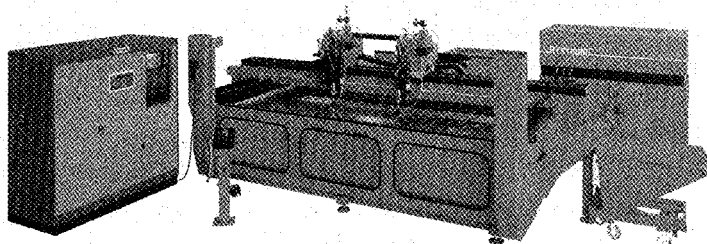
Hoge-druk abrasief waterstraalsnijden wordt vaak in een adem genoemd met CO₂-lasersnijden en plasma-snijden. Als zodanig wordt het proces ingedeeld in de categorie minder nauwkeurige plaatbewerkingsmethoden. In de meeste industriële toepassingen is dit ook inderdaad het geval, zodat deze indeling niet onterecht is. Uit onderzoek aan de Technische Universiteit Delft blijkt echter dat de potentiële mogelijkheden van hoge-druk abrasief waterstraalsnijden nog bij lange na niet ten volle is benut.

Historie

Hoge druk waterstraalapparatuur werd ontwikkeld rond 1900. De eerste ontwikkelingen van het hoge druk waterstralen werden toegepast in de (goud)mijnindustrie om rotsachtig materiaal te verpulveren en weg te spoelen naar een zeefinstallatie om het vrijkomende goudstof te scheiden van het rotsmateriaal.

Ontwikkelingen aan de Universiteit van Tokio en Michigan in de beginjaren '60 op het gebied van waterstraal snijden met water zonder toevoegingen, leidden tot de eerste industriële applicatie voor het bewerken van karton met behulp van een hogedruk waterstraal bij Alton Boxboard in 1972. Vanaf die tijd werden hogedruk waterstralen vooral gebruikt voor het bewerken van zachte materialen als hout, karton en leer. Ook worden er in de begintijd experimenten gedaan om hardere en taaiere materialen te snijden. Bekend zijn toe-

passingen om steen en graniet vorm te geven. Zelfs werden binnen de US Airforce hogedruk waterstralen gebruikt om kritieke onderdelen voor gevechtsvliegtuigen uit titanium te snijden. De geringe afnamesnelheid stond een brede introductie in de bewerkingsindustrie nog in de weg. De grote doorbraak van het hogedruk waterstralen voor het bewerken van metaalachtige materialen kwam met de toevoeging van abrasieve korrels aan de hoge druk waterstraal in 1980. Drie jaar later werden de eerste commercieel verkrijgbare abrasieve waterstraalsnijmachine geïnstalleerd. Het abrasieve materiaal werd pas na de vorming van de pure waterstraal aan de straal toegevoegd, het zogenaamde 'entrainment' systeem. Een methode die ook vandaag nog de meest toegepaste is. De toevoeging van abrasief materiaal vergrootte de toepassingsmogelijkheden van het waterstraalbewerken aanzienlijk, waardoor ook machines werden gebouwd, zie figuur 1. Zowel de reeks van materialen, de dikte, alsmede de maximum snijsnelheid waarmee de materialen bewerkt konden worden, werd zodanig uitgebreid dat van een nieuwe technologie gesproken kan worden: abrasief waterstraalsnijden.

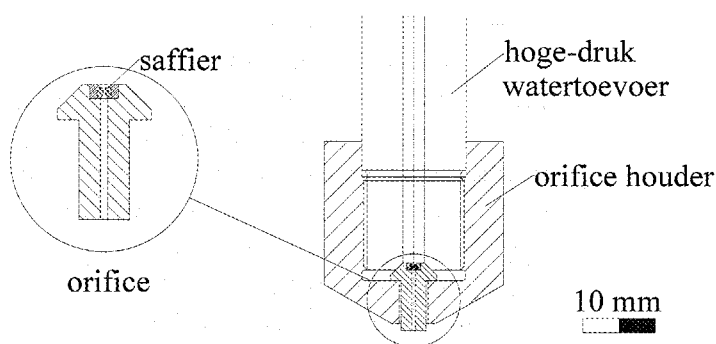


Figuur 1. Voorbeeld van een waterstraalsnijinstallatie (Bystronic).

Vorming van de abrasieve waterstraal

De abrasieve waterstraal wordt in twee stappen gemaakt.

In de eerste stap wordt puur water door middel van een pomp (intensifier), op een druk van circa 400 MPa (4000 bar) gebracht. Het water treedt naar buiten via een mondstuk (orifice) zie figuur 2, dat bestaat uit een saffier- of diamant voorzien van een gat met een diameter tussen de 0,1 en de 0,3 mm. De door dit gat geperste schoonwaterstraal heeft een snelheid van circa 850 m/s.



Figuur 2. Constructie van een straalvormer voor puur waterstraal bewerken

In de tweede stap komt de waterstraal in de mengkamer. Door interactie met de omringende lucht sleept de waterstraal lucht met zich mee, waardoor onderdruk ontstaat in de mengkamer. Deze onderdruk veroorzaakt een luchtstroom die als drager fungeert voor de toevoer van abrasief materiaal. Een abrasief doseereenheid zorgt voor een regelbare en constante toevoer van abrasief materiaal naar de waterstraal. De meest toegepaste soort abrasief is granaatzand, wat grotendeels bestaat uit ijzeroxides, zowel Fe(II) als Fe(III) oxides. De gebruikte korrelgrootte is circa 100 μ m in een dosering van 250 gr/min. Deze abrasieve deeltjes worden door de waterstraal versneld tot een snelheid van 250 tot 300 m/s. Tenslotte wordt de abrasieve waterstraal in een focusseerbuis gefocusseerd tot een coherente straal met een gedefinieerde diameter, die in de praktijk tussen 0,8 en 1,1 mm ligt.

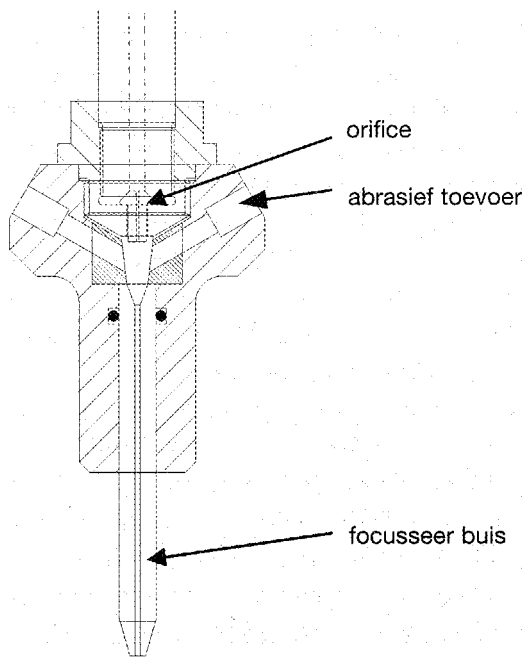
Stabiliteit van de straal

Een goede uitlijning tussen de waterstraal en de focusseerbuis is van essentieel belang voor het goed functioneren van de abrasieve waterstraal-snij-installaties. Een slechte uitlijning kan de straalintensiteit en daarmee de doordringdiepte van de straal in het werkstuk met wel 30% reduceren. Bovendien heeft een slechte uitlijning onregelmatige slijtage van de focusseerbuis tot gevolg en is aanleiding tot een drastische verkorting van de levensduur tot een kwart van de mogelijke levensduur bij juiste uitlijning.

De focusseerbuis is dus een essentieel deel voor de straalvorming, het is echter tevens het meest slijtage-gevoelige onderdeel van het totale systeem, waarmee de abrasieve waterstraal gegenereerd wordt. Het is dan ook niet verwonderlijk dat er de laatste jaren veel aandacht geschonken is aan de ontwikkeling van slijtvaste materialen die toegepast kunnen worden als focusseerbuis materiaal. De ontwikkeling van focusseerbuis materiaal met een hogere slijtagebestendigheid kan geïllustreerd worden met het volgende feit: Aan het begin van dit onderzoek (1994) bedroeg de levensduur van de hardmetalen focusseerbuisen circa 4 tot 8 uur, afhankelijk van de gewenste snedekwaliteit. Aan het eind van dit onderzoek (1998), is de levensduur van de focusseerbuisen toegenomen tot circa 100 uur, door toepassing van nieuwe, gesinterde slijtvaste materialen. Deze verminderde slijtagegevoeligheid leidt direct tot een verbetering van de straalvorm over langere periodes.

Aan de TU-Delft werd tijdens het onderzoek een eigen straalvormer ontwikkeld, zie figuur 3, gebruikmakend van de nieuwe technologie voor de fabricage van slijtvaste focusseerbuisen. Deze nieuwe straalvormer, die een voor-spelbare, constante en reproduceerbare straalvorm garandeert, is gecombineerd met een aan de TU-Delft ontwikkelde zeer nauwkeurige doseereenheid voor abrasief materiaal.

De doseereenheid heeft een tweezijdige materiaaltoevoer. Bij de planning en werkvoorbereiding van snijwerk kan nu, in tegenstelling tot vroeger, rekening gehouden worden met een goed gedefinieerde straaldiameter zodat productie van nauwkeurige onderdelen mogelijk is. Deze ontwikkeling in apparatuur heeft geleid tot een zodanige verhoging van de nauwkeurigheid van het abrasief waterstraal snijproces, dat de toepassingsmogelijkheden enorm zijn uitgebreid, zoals uit de voorbeelden verderop nog zal blijken.



Figuur 3. Constructie van een straalvormer voor het abrasief waterstraalbewerken met twee toevoerkanalen voor abrasief materiaal, ontwikkeld aan de TU-Delft.

Eigenschappen van het snijproces

Abrasief waterstraalsnijden is in de basis een mechanische scheidingstechniek, die qua proces nog het beste te vergelijken is met het slijpproces. Beide maken gebruik van een groot aantal snijkanten, die niet gedefinieerd zijn wat betreft hun geometrie en oriëntatie. Iedere snijkant apart neemt een microspaantje af.

Het belangrijkste verschil tussen het slijpen met een slijpschijf en het abrasief waterstraalsnijden

is dat de slijpkorrels in een slijpschijf gebonden zijn en daardoor onder invloed van het te bewerken materiaal niet van hun baan kunnen afbuigen. Slijpkorrels bij het waterstraalsnijden beschrijven daarentegen geen gebonden baan, zodat het veel moeilijker is producten met nauwkeurige toleranties te realiseren.

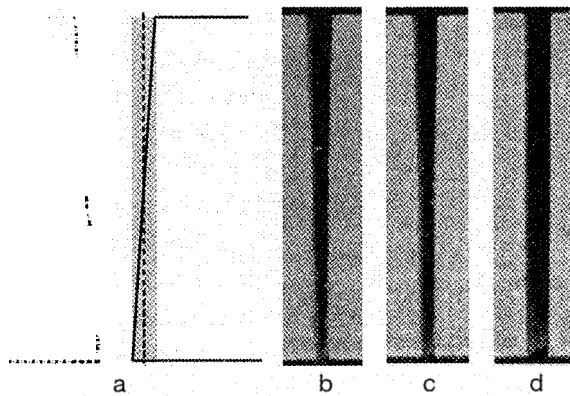
De opvallende voordelen van het abrasief waterstraalsnijden zitten in de combinatie van een aantal specifieke eigenschappen, die nagenoeg allemaal het gevolg zijn van het snijden met één enkele slijpkorrel (en daarvan vele achter elkaar). De belangrijkste eigenschappen worden hieronder kort besproken:

Er is geen sprake van structuurverandering van het materiaal aan de snijrand. Dit in tegenstelling tot andere snijtechnieken, die gebruik maken van een straal, zoals laser- en plasma-snijden. Deze processen veroorzaken aan de snijrand een structuurverandering als gevolg van een door de proceswarmte beïnvloede zone, ook wel heat-affected-zone (HAZ) genoemd.

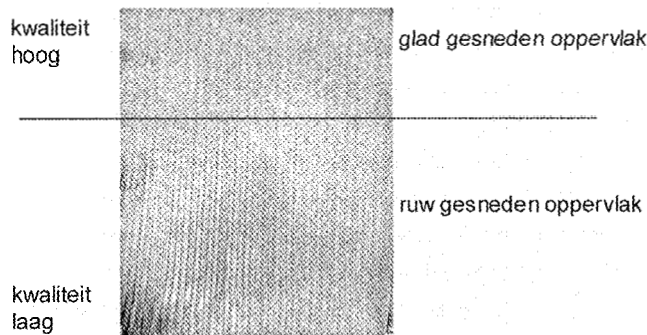
De straaldiameter is gering, circa 0,8 mm, zodat de totale kracht op het werkstuk bijzonder laag is; maximaal 50 N in de richting van de straal en slechts fractie daarvan in de richtingen loodrecht daarop. Hierdoor zijn de eisen aan inklemming minimaal; grotere plaatvormige producten zullen onder invloed van hun eigen gewicht gepositioneerd blijven, zodat inklemming geheel overbodig is.

De straal blijft tijdens het snijden redelijk bijeen (coherent), zodat ook werkstukken met grote diktes gesneden kunnen worden. Voor metalen ligt de maximum te snijden dikte rond de 100 mm. Met de juiste straalinstelling zijn echter ook hele dunne werkstukmaterialen zoals glasplaatjes met een dikte van 1 mm goed te snijden.

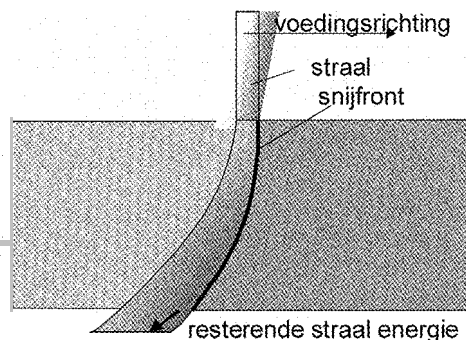
Een laatste belangrijk voordeel is het feit dat een groot aantal verschillende materialen bewerkt kan worden met hetzelfde 'type' abrasieve waterstraal. Dit maakt het waterstraalsnij-



Figuur 4. Schematische doorsnede en drie voorbeeldsnedes die een beeld geven van de rechte van de (door)snede (materiaal: koper, dikte 10mm).



Figuur 5. Zijaanzicht van de snijkant van een snede in 70 mm aluminium.



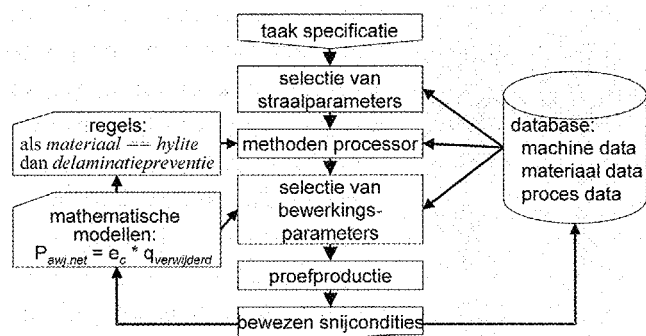
Figuur 6. Straalafbuiging bij het snijproces

den geschikt voor het snijden van laminaatachtige materialen, waarin materialen met sterk uiteenlopende materiaaleigenschappen gecombineerd kunnen zijn tot één werkstukmateriaal.

Kwaliteit van de snede

In een doorsnede loodrecht op de snijrichting zoals weergegeven in figuur 4 is de typische snedevorm in metaalachtige materialen te zien. Afhankelijk van de snijinstellingen zal de snede van boven naar beneden taps toelopen, ook wel V-vormig genoemd, of taps uitlopen, ook wel A-vormig genoemd. In de figuur is te zien, dat door de juiste proces instelling een rechte snede verkregen kan worden. Hier moet echter bij vermeld worden dat de snijsnelheid in sommige gevallen aanzienlijk gereduceerd moet worden om de tapsheid te minimaliseren. Zo is de snijsnelheid van snede d een factor 8 lager in vergelijking met de snijsnelheid van snede b.

Ook kwaliteit van het gesneden vlak varieert over de snedediepte. Bovenaan is het gesneden oppervlak glad, onderaan gegolfd. Dit golfpatroon is karakteristiek voor straalnijprocessen en ontstaat doordat de straal aan de onderzijde nait ten opzichte van de bovenzijde. In figuur 5 zijn aan de onderzijde duidelijk de sporen van de naloop te zien, die ontstaan door de straalafbuiging zoals weergegeven in figuur 6. Hieruit blijkt dat het niet mogelijk om over "de snedekwaliteit" te spreken. Beter is het te spreken over de minimum eisen die aan het gesneden oppervlak gesteld worden. In de praktijk zijn de eisen aan de snijkant veelal niet functioneel bepaald, maar is het visuele aspect belangrijk. Dit betekent dat de naloop niet al te duidelijk zichtbaar mag zijn. Hierdoor is het moeilijk de eisen waaraan het product moet voldoen vooraf goed te definiëren op een wijze, die ook achteraf te controleren valt. Door de geringe mogelijkheden om gesneden kanten goed te definiëren ontstaan moeilijkheden bij het vertalen van productspecificaties naar procescondities. Uit het onderzoek is naar voren gekomen



Figuur 7. Schematische weergave van de ontwikkelde werkvoorbereidingsmethode voor het waterstraalsnijden.

dat het toekennen van een kwaliteitscijfer op een schaal tussen 1 en 10, waarbij 1 staat voor een lage kwaliteit en 10 voor hoge kwaliteit een goed hulpmiddel kan zijn bij de communicatie tussen klant en producent.

Ter ondersteuning van de werkvoorbereiding van het hoge druk abrasief waterstraal bewerken is tijdens het onderzoek een werkvoorbereidingsmethode, zie figuur:7, ontwikkeld om de ontwerper te ondersteunen in het kiezen van de juiste parameters, zie tabel 1. De keuze van de parameters hangt af van de mogelijkheden van de machine, de gewenste kwaliteit en het beschikbaar gestelde budget.

Toepassingsmogelijkheden abrasief waterstraalsnijden

De eigenschappen van het abrasief waterstraalsnijden maken het proces bijzonder interessant in drie specifieke toepassingsgebieden:

Als alternatief voor het frezen of vonkverspanen bij het bewerken van dikke plaatmaterialen.

Typische toepassingsvoorbeelden worden nu al in de industrie gevonden voor het snijden van aluminium en RVS in plaatdiktes vanaf 10 mm. Een bijkomend voordeel ten opzichte van frezen is het zeer dicht nesten (naast elkaar plaatsen) van producten op een plaat. De onderlinge afstand tussen de producten hoeft niet meer dan 3 mm te bedragen, zodat het basismateriaal optimaal gebruikt wordt.

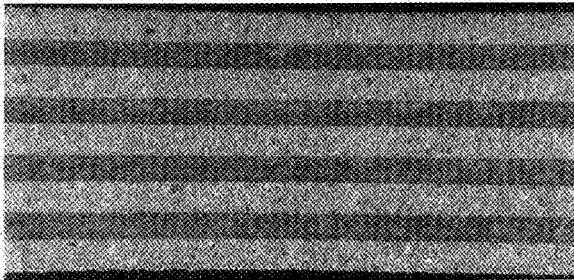
Als uniek proces om nieuwe, hoogwaardige materialen vorm te geven. Hierbij moet gedacht worden aan de groeiende groep veelbelovende materialen zoals vezelversterkte kunststoffen en vezel-metaallaminaten. Deze laatst genoemde categorie materialen worden gevormd door afwisselend basismaterialen met een metallische en een niet metallische structuur en met uiteenlopende eigenschappen, te stapelen om op deze wijze de eigenschappen van deze materialen te combineren. Een voorbeeld hiervan is het aan de TU-Delft ontwikkelde Glare, dat uit elkaar afwisselde lagen aluminium en glasvezel bestaat, bijeen gehouden door een epoxy-laag waarin de glasvezels ingebed liggen. Deze combinatie geeft een licht, stijf materiaal met minimale kerfwerking en scheurgroei eigenschappen. Traditionele bewerkingsprocessen hebben grote moeite met het bewerken van deze materialen. Een voorbeeld van het gesneden oppervlak is te zien in figuur 8.

Als uniek proces om geometrieën in conventionele of geavanceerde materialen te realiseren die tot voor kort nagenoeg onmogelijk waren.

Hierdoor is de ontwerprijheid voor ontwerpers verder toegenomen. Ter illustratie het ontwerp van een verend lagerschaaltje waarvan de veerelementjes een breedte van 0.2 mm hebben.

Straalparameters	Methode parameters	Bewerkingsparameters
Waterdruk	Boren in vol materiaal	Snijsnelheid gekoppeld aan kwaliteit
Orifice diameter	Inloophmethode in de contour	Compensatie van de naloop
Type en grootte van het abrasief	Versnellen vertragen rond hoeken in de contour	compensatie van detapsheid
Abrasief hoeveelheid		Afstand straalvormer tot per tijdseenheid werkstukmateriaal
Diameter van de focusseerbuis		
Lengte van de focusseerbuis		

Tabel 1. Parameters van het abrasief waterstraalsnijproces



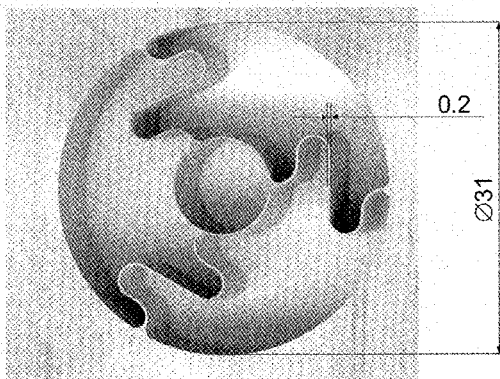
Figuur 8. Voorbeeld van de kwalitatieve kwaliteit van een snede door 5/4 Glare-2, een laminaat met 5 aluminium lagen en 4 tussenliggende glasvezel lagen. Het laminaat heeft een totale dikte van 2,4 mm. De snij-snelheid bedroeg 2 m/min.

Nieuwe mogelijkheden voor ontwerpers

Nieuwe bewerkingstechnieken geven veelal aanleiding tot het uitdenken van nieuwe constructieprincipes. Om optimaal gebruik te kunnen maken van nieuw ontwikkelde technieken is het dus noodzakelijk ontwerpers te informeren over nieuwe constructieprincipes.

Als voorbeeld hiervan de constructie van een verende lagerschaal, zoals weergegeven in figuur 9. Het materiaal is aluminium (51St) met een dikte van 10 mm. De wanddikte van de veerelementjes is 0,2 mm met een afwijking van ± 0.01 mm. De snijtijd voor dit constructie-element is minder dan 5 minuten.

Een conventionele methode om een verende lagerschaal te construeren zal waarschijnlijk



Figuur 9. Verende lagerschaal, gesneden uit aluminium (51St) met een dikte van 10 mm. De wanddikte van de veerelementjes is 0,2 mm met een afwijking van ± 0.01 mm. De snijtijd voor dit constructie-element is minder dan 5 minuten.

gebruik maken een aantal onderdelen van verschillende materialen; bijvoorbeeld een losse binnenring van aluminium, een verende tussenring van rubber en een buitenring. Deze losse onderdelen zouden bovendien nog gemonteerd moeten worden, hetgeen nu niet nodig is..

Conclusie

In de achterliggende jaren is de hogedruk abrasief waterstraalsnijtechniek ontwikkeld van een grove snijtechniek naar een precisiewerking, waarmee moderne materialen met een nauwkeurigheid van enkele honderdsten van een millimeter gesneden kunnen worden. Voorspellingen voor toekomstige ontwikkelingen zijn lastig, maar verwacht wordt, dat de ingezette trend naar hogere nauwkeurigheid nog niet ten einde is.

Toekomstige ontwikkelingen worden verwacht op het gebied van het gebruik van hogere drukken, waardoor de straalintensiteit zal toenemen, zodat het proces verder geminiaturiseerd kan worden. Abrasief waterstraalsnijden met een straaldiameter van 0,3 mm zou in de nabije toekomst mogelijk moeten zijn.

Hierdoor zal de nauwkeurigheid en mogelijkheid van detaillering op het product verder toenemen. Het gebruik van 5-assige snijkoppen met een geavanceerde numerieke besturing zal waarschijnlijk leiden tot een grotere vormvrijheid van het product en een nauwkeurigere compensatie van tapsheid en naloop van de straal. Hierdoor zal de kwaliteit van de snijkant verder verhoogd worden.

Auteursnoot

De auteur ir. A.M. Hoogstrate is werkzaam bij de sectie Productietechniek en -Organisatie, faculteit Ontwerp, Constructie en Productie, TU-Delft, Landbergstraat 3, 2628 CE Delft. Voor specifieke vragen of meer informatie over dit onderwerp kunt u met hem contact opnemen. Telefoon: 015-278 6804, fax: 015-278 3910, e-mail: a.m.hoogstrate@wbmt.tudelft.nl