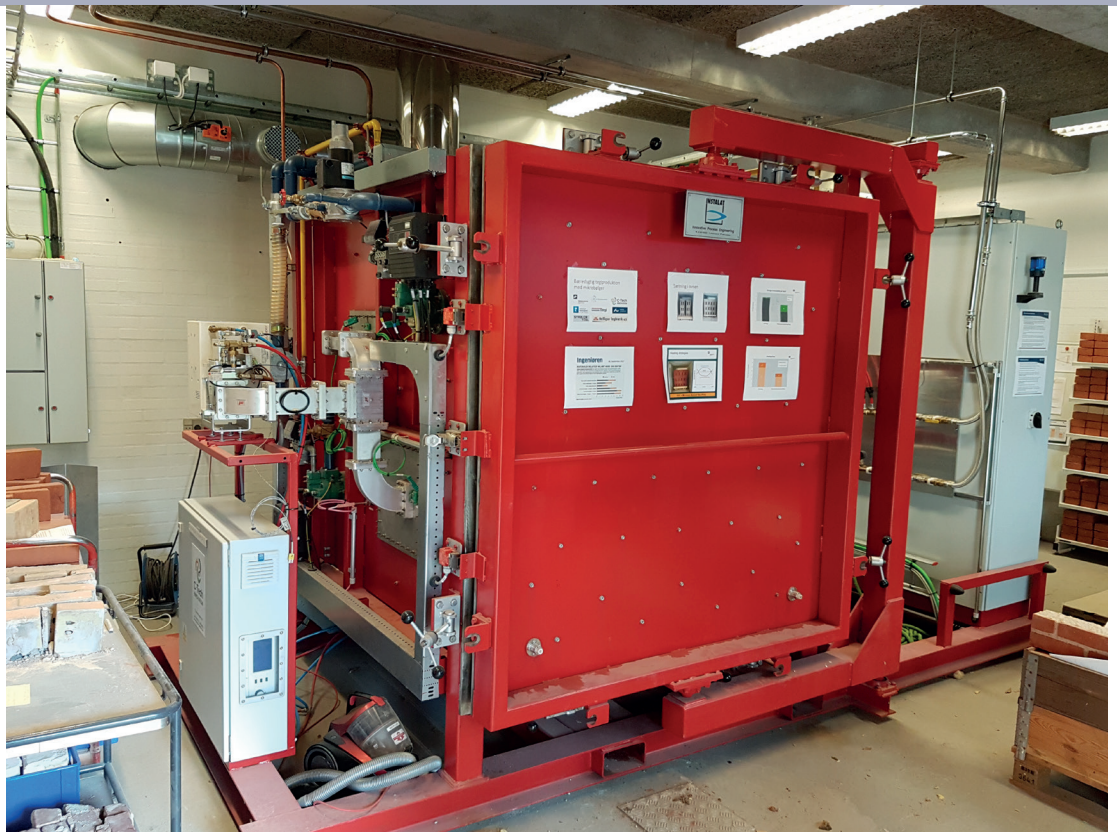


Microgolf-ondersteund (op)stoken in de keramische industrie



Afbeelding 1: Periodieke oven met microgolf-bronnen bij DTI

Stan Aben, TCKI

In het vorige nummer van KGK werd een onderzoek gepresenteerd naar de invloed van het stoken met alternatieve brandstoffen, op de procesvoering, het uiterlijk en de kwaliteit van verschillende keramische (bouw)materialen. De vereniging Koninklijke Nederlandse Bouwkera- miek (KNB) gaf opdracht voor dit onderzoek, dat in het kader van de verduurzamingsopgave is uitgevoerd, op initiatief van haar stuurgroep E&M (Energie & Milieu), en met financiële onder- steuning van de provincie Gelderland. Parallel is ook onderzoek uitgevoerd naar de inzet van microgolf-ondersteund stoken ('Microwave-Assisted Gas Firing', MAGF) bij het bakken en met name in het opwarmtraject van metsel- en straatbakstenen en dakpannen.

Toepassing van MAGF betekent een gedeeltelijke elek- trificatie van het stookproces en een vermindering van het gasverbruik. Hierbij kunnen de producten door de interactie tussen de microgolven en de klei, van bin- nenuit worden opgewarmd. Hierdoor ontstaan minder

spanningen in de producten en kan sneller worden opgewarmd. Zodoende kan niet alleen het gebruik van aardgas, maar ondanks het toenemend elektrici- teitsverbruik, mogelijk ook het totale energieverbruik worden gereduceerd. Onderzocht is of deze techniek



Afbeelding 2: Gehanteerde zetwijzen voor Dikformaat (DF), Waalformaat (WF) en dakpannen

succesvol kan worden ingezet, en welke besparingen in de praktijk kunnen worden verwacht. Wederom is hierbij het behoud van uiterlijke en kwalitatieve kenmerken van de verschillende keramische producten, en de spreiding daarin, een belangrijk uitgangspunt geweest.

Microwave-Assisted Gas Firing

De warmteoverdracht bij het gebruik van microgolven is direct, en wijkt daarmee af van de warmtegeleiding-gecontroleerde warmteoverdracht bij conventionele manieren van stoken. De mate waarin opwarming plaatsvindt is echter niet eenduidig, doordat de componenten in de kleirecepturen in verschillende mate gevoelig zijn voor interactie met microgolven. Met name de aanwezigheid van fysisch en chemisch gebonden water in de kristalstructuur (van klei) zorgt voor een hoge gevoeligheid. Voor veelvoorkomende kleimineralen als kaoliniet, montmorilloniet en muscoviet/illiet is de bijdrage van fysisch en chemisch gebonden water temperatuurafhankelijk, maar in algemene zin het grootst in het lagere temperatuurbereik. Op hogere temperaturen wordt het water door ontleding uit de structuur gestookt. Voor de tevens stralingsgevoelige en veel in klei voorkomende ijzeroxiden geldt daarentegen dat de gevoeligheid stabiel is over vrijwel het gehele temperatuurbereik. Als (zeer) hoge temperaturen worden bereikt, kan ook het ontstaan van smelt als gevolg van het sinterproces de gevoeligheid doen toenemen. In bepaalde gevallen kan dit leiden tot plaatselijke en ongecontroleerde opwarming en verdere smeltvorming, het zogenaamde thermische run off effect. In de praktijk betekent dit dat het vermogen van de microgolf-bronnen voortdurend moet worden aangepast.

Opzet onderzoek

Voor het onderzoek zijn vier producten geselecteerd op basis van producttype en grondstofsamenstelling. Bij het maken van de selectie zijn enkel producten beschouwd, die in de praktijk in relatief grote en dichte ovenpakketten worden gestookt, omdat hiervan kan worden verwacht dat met MAGF de grootste winst kan worden behaald.

Vier geselecteerde producten:

1. Dikformaat vormbak-sraatsteen o.b.v. een gemodificeerde rivierklei-receptuur
2. Dikformaat handvorm-metselbaksteen o.b.v. een Eifel-Westerwaldklei-receptuur
3. Waalformaat strengpers-metselbaksteen o.b.v. een zeelei-receptuur
4. Dakpan, model VH, o.b.v. een gemodificeerde rivierklei-receptuur, oxiderend gestookt

De vier producten zijn in de laboratorium-gasoven van TCKI gestookt met aardgas, waarbij een stookcurve met een zo kort mogelijk opwarmtraject is ontwikkeld. Vervolgens zijn alle producten met dezelfde stookcurve met propaan gestookt bij Danish Technological Institute (DTI in Denemarken), waarna, waar mogelijk, een verdere optimalisatie/verkortening heeft plaatsgevonden met toepassing van microgolfondersteuning (afbeelding 1). Tijdens alle stokingen is een vooraf bepaalde zetwijze gehanteerd (afbeelding 2) en zijn alle producten genummerd. Tevens zijn tijdens alle stokingen de temperatuur (in de atmosfeer en op verschillende vaste plekken in de lading) en het energieverbruik gemonitord. Na het uitvoeren van de stookproeven is een selectie van de producten door TCKI ter controle geanalyseerd op uiterlijk en kwaliteit.

Stookproeven met MAGF

In algemene zin kan worden gesteld dat de toepassing van MAGF in het keramische bakproces, zoals dit door DTI is uitgevoerd, voor alle producten leidt tot een verkorting van de stookcurve en een besparing op het gasverbruik en het totale energieverbruik, terwijl het elektriciteitsverbruik daarbij drastisch toeneemt. De besparingen worden met name gerealiseerd door het beperken van de na-ijling van temperatuur in de ovenpakketten en de daaraan gekoppelde mogelijkheid tot het verhogen van de opwarmsnelheid en het inkorten van aanhoudtijd in het opwarmtraject. Daar waar het totale energieverbruik slechts beperkt kon worden gereduceerd is in ieder geval sprake van elektrificatie van een significant deel van het oorspronkelijke gasverbruik.

Deze besparingen zijn het grootst bij producten welke in een dichte zetwijze werden gestookt, zoals de dikformaat vormbak-straatsteen o.b.v. een gemodificeerde rivierklei-receptuur (afbeelding 3). Bij producten die in een meer open zetwijze zijn gestookt, zoals de Waalformaat strengpers-metselbaksteen o.b.v. een zeelei-receptuur (afbeelding 4), is de invloed van warmteoverdracht door convectie naar verhouding groter en zijn de te behalen energiebesparingen geringer. In het opwarmtraject van de producten met meer kaolinitische klei is duidelijk te zien dat de temperatuurstijging in de kern van de lading, vóór het bereiken van 600 °C onder invloed van de energiebehoefte voor de ontleding van kaoliniet wordt vertraagd. Een verdere optimalisatie van de microgolf-ondersteuning zal gekoppeld aan dit soort mineraalomzettingen nog kunnen leiden tot extra verkorting van het opwarmtraject en mogelijk ook energiebesparing.

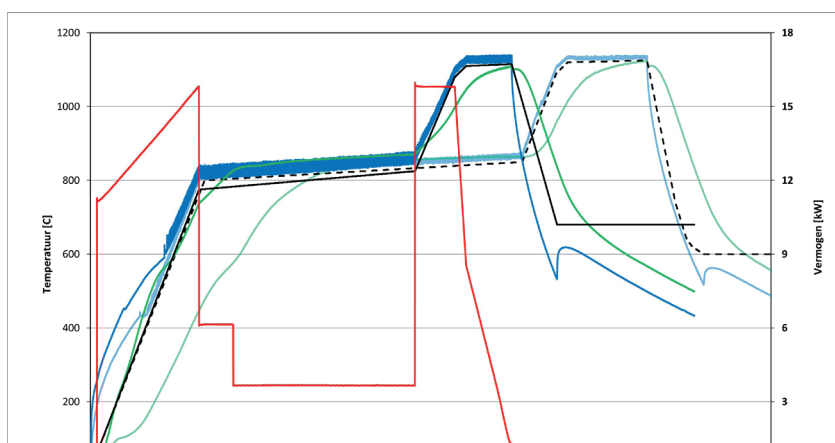
Incorrect gebruik van MAGF in de praktijk zal echter risico's met zich meebrengen. Voorbeelden hiervan zijn scheurvorming door een te hoog MAGF-vermogen en overmatige opwarming van de productkernen tijdens de opwarming. Daarnaast geldt dat bij producten met een beperkte thermische stabiliteit en/of producten die op de limiet worden gestookt, de toepassing van MAGF op toptemperatuur kan leiden tot ongewenst vergaande sintering. Dit kan resulteren in inhomogeniteit in productkleur en -kwaliteit, en in het ergste geval ook in het vast smelten van de producten. Dit zal met name bij de productie van straatstenen aan de orde kunnen zijn.

Energiebesparingen met MAGF

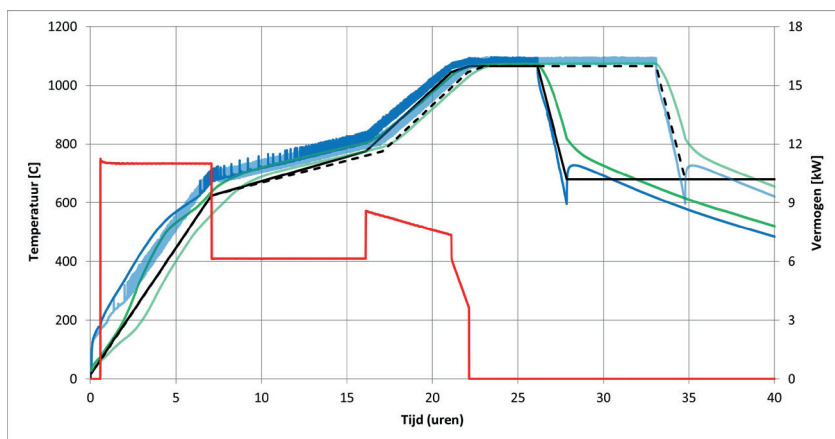
Rekening houdend met de beschreven risico's en belemmeringen voor de praktijk zal MAGF voor specifieke producten niet inzetbaar zijn op toptemperatuur. Desondanks zijn met toepassing van MAGF in het keramische bakproces significante besparingen (circa 30 procent) in het gasverbruik te behalen (tabel 1). Door een deel van het stookproces op deze manier te elektrificeren neemt het elektriciteitsverbruik natuurlijk fors toe. De resultaten laten echter zien dat in de meeste gevallen alsnog een beperkte reductie op het totale energieverbruik kan worden gerealiseerd. Bij producten in een zeer open zetting blijkt de warmteoverdracht door convectie door een goede doorstroming van de pakketten dominant te zijn. De na-ijling van de temperatuur in kern van de pakketten is in deze gevallen, ook zonder de toepassing van MAGF zeer beperkt, waardoor de potentiële energiebesparing kleiner wordt. In extreme gevallen, waarin toch gebruik wordt gemaakt van een aanzienlijke hoeveelheid elektrische energie door toepassing van MAGF, kan het totale energieverbruik toenemen. De grootste energiebesparingen zijn met MAGF te behalen wanneer gebruik wordt gemaakt van zeer dichte zetwijzen (al dan niet in combinatie met een strakke vormgeving). De warmteoverdracht door convectie wordt in deze gevallen het meest belemmerd, waardoor de toegevoegde waarde van directe warmteoverdracht van binnenuit door MAGF optimaal is.

Verdere overwegingen

De stookproeven met MAGF zijn uitgevoerd in een periodieke oven. De daarbij gehanteerde stookcurven waren zeer snel om de toegevoegde waarde van MAGF zo goed mogelijk te onderzoeken. In de praktijk wordt in de meeste gevallen gestookt in tunnelovens, zeker voor de productie van bakstenen. De noodzakelijke energiebalans zorgt ervoor dat in de praktijk veelal gebruik wordt gemaakt van min of meer symmetrische stookcurven waarbij opwarm- en koelnelheden vergelijkbaar zijn. De manier van stoken legt hierin aldus restricties op voor de opwarmsnelheid, waarin met microgolfondersteuning juist de meeste winst kan worden behaald. Ook voor periodieke ovens kunnen zeer snelle stookcurves uitdagend zijn. Echter er bestaan stook-technisch geen restricties ten aanzien van de opwarmsnelheid. Omdat in de praktijk naar



Afbeelding 3: Oorspronkelijke (semi-transparant) en geoptimaliseerde stookcurve en temperatuurregistratie in onder andere de kern van de pakketten (groene lijn) en het vermogen van de microgolf-bronnen (rode lijn) voor straatsteen o.b.v. gemodificeerde rivierklei



Afbeelding 4: Oorspronkelijke (semi-transparant) en geoptimaliseerde stookcurve en temperatuurregistratie in onder andere de kern van de pakketten (groene lijn) en het vermogen van de microgolf-bronnen (rode lijn) voor metselbaksteen o.b.v. zeelei

Type product	Besparing gasverbruik %	Toename elektriciteitsverbruik %	Besparing totale energieverbruik %
Straatsteen, vormbak rivierklei	36	465	9
Metselsteen, handvorm, Westerwald-Eifelklei	30	450	2
Metselsteen, strengpers, zeeklei	15	455	-13
Dakpannen, rood naturel	32	380	6

Tabel 1: Oorspronkelijke (DTI) en gecorrigeerde besparingen

verhouding grotere ovenpakketten worden gestookt in industriële periodieke ovens, is het denkbaar dat met het gebruik van MAGF naar verhouding nog grotere energiebesparingen kunnen worden gerealiseerd. Een uitdaging hierbij zal zijn om de producten in de pakketten homogeen aan te stralen om de run off effecten beperkt te houden.

Om de toepassing van microgolffondersteuning mogelijk te maken in bestaande ovens zullen deze moeten worden aangepast. Om opwarming van het vuurvast te voorkomen moeten kostbare, stralingsgevoelige isolatiematerialen worden toegepast in de oven én de ovenwagens. Tevens moet door het aanbrengen van een stalen kooiconstructie worden voorkomen dat de microgolffstraling uit de ovens kan ontsnappen. Voor bestaande periodieke ovens zullen de benodigde aanpassingen, ondanks de hoge investeringskosten nog relatief eenvoudig uit te voeren zijn. De investeringskosten zullen in praktijksituaties echter meer dan enkele factoren hoger zijn dan geoorloofd is voor een terugverdientijd van vijf jaar, zonder rekening te houden met uitbreiding van het elektriciteitsnetwerk. Hierbij spelen de veranderende gas- en elektriciteitsprijzen een belangrijke rol. Voor (bestaande) tunnelovens is het nog veel complexer en zal er in feite een geheel nieuw ovenconcept moeten worden uitgedacht. Voor het elektrificeren van het productieproces zal in algemene zin gelden dat er zowel binnen als buiten de poort kosten gemaakt dienen te worden om het

benodigde vermogen beschikbaar te krijgen. Voor de capaciteit buiten de poort bestaat een afhankelijkheid van de netwerkbeheerder.

Conclusie

Hoewel het mogelijk is om met toepassing van MAGF aanzienlijke besparingen op het gasverbruik, maar ook op het totale energieverbruik te realiseren, vraagt de implementatie daarvan op industriële schaal momenteel om té hoge investeringen en om een forse uitbreiding van het elektriciteitsnetwerk. Los daarvan zal het implementeren van de MAGF-techniek op termijn het meest realistisch zijn in een bedrijf dat stookt in periodieke ovens, bijvoorbeeld voor de productie van gesmoorde dakpannen. De consequenties van het implementeren van de techniek in smoorprocessen, maar ook andere technische onzekerheden, zullen dan wel verder moeten worden onderzocht. De verwachting is dat andere manieren van het elektrificeren van het stookproces een beter investeringsrendement opleveren dan de toepassing van MAGF. Onderzoek dient verder uit te wijzen welke elektrische stooktechnieken haalbaar zijn met behoud van de productueit en -kwaliteit. Daarnaast zijn er ook mogelijkheden om niet alleen het stookproces maar ook andere onderdelen van het productieproces te elektrificeren. De kansen en mogelijkheden dienen per situatie afzonderlijk beschouwd te worden, rekening houdende met de beschikbare stroomcapaciteit.