

Deel 1

Expert III systeem voor ovenoptimalisatie

Samenvatting

TCKI heeft in afstemming met TNO, in opdracht van KNB en SenterNovem, onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om het energieverbruik van tunnelovens te minimaliseren bij sterk wisselende ovenproducties. Productiewisselingen zoals bijvoorbeeld productsoort-wisseling en schuiftempowisselingen blijken een negatieve invloed te hebben op het oven-energieverbruik per ton product. In de meest ideale vorm zou de oven voortdurend opnieuw moeten worden ingeregeld bij wisselingen. Dit blijkt in de praktijk niet alleen tijdrovend en risicovol te zijn, maar ook zeer complex. Dit is een belangrijke reden waarom in de praktijk dit slechts beperkt (of veelal helemaal niet) gebeurt, met een hoger energieverbruik als gevolg.

Bij steenfabriek Huissenswaard te Angeren heeft TCKI gedurende anderhalf jaar continumetingen uitgevoerd om de procestechnische gedragingen van de tunneloven in verband te brengen met de product- en tempowisselingen. De energiebalans

van de tunneloven raakt verstoord door wisselingen in massadoorzet. Bij een lage ovenproductie kan de post rookgasverliezen verhoudingsgewijs groot worden. Gebleken is dat de zogenaamde specifieke rookgasstroom goed correleert met het gasverbruik van de oven. De specifieke rookgasstroom in [kg rookgas/kg product] is de hoeveelheid rookgassen [kg/h] gedeeld door de productiestroom [kg/h]. Gebleken is dat de tunneloven naar een minimum aardgasverbruik gaat indien de specifieke rookgasstroom ook optimaal is naast een aantal andere voorwaarden. Dit impliceert dat zowel een te lage als een te hoge waarde aanleiding geeft tot een verhoogd ovenverbruik. Tevens is vastgesteld dat naarmate het oventempo daalt, hogere specifieke rookgasstromen optimaal zijn. Bij onderzoek naar de optimale specifieke rookgasstromen per product kan de optimale rookgasstroom worden berekend en gebruikt om de oven te regelen. Bewaken van veilige procesgrenzen (temperaturen, drukken en ovenatmosfeer) blijft daarbij belangrijk.

Hans (J.C.) Marks
en Coen (C.D.) van
Mosseveld, TCKI

Technisch Centrum voor de Keramische Industrie (TCKI) en TNO hebben, in opdracht van VKO, onderzoek uitgevoerd met ondersteuning van SenterNovem bij Steenfabriek Huissenswaard naar mogelijkheden om energie te besparen in het ovenproces. Het gaat hierbij in het bijzonder om besparingsstrategieën, die betrekking hebben op de ovenbesturing die verhoging van het energieverbruik tegengaan bij product- en tempowisselingen. Als gevolg van tempowisselingen kunnen er grote verschillen optreden in productdoorzet door de oven. De complexiteit van het ovenproces maakt het ingewikkeld en risicovol voor een ovenprocesoperator om hier adequaat op te kunnen inspelen door de ovenbesturing te wijzigen bij elke verandering in doorzet. Om de interacties tussen de verschillende ovenparameters goed te kunnen bestuderen heeft TCKI continu-procesmetingen geïnstalleerd in het bedrijf van december 2006 tot december 2008. Naast TCKI meetgegevens is er meetinformatie gebruikt van het uitgebreide Huissenswaard meetsysteem. De metingen hebben zich geconcentreerd op en rondom de oven. Er zijn aardgasstromen, energiestromen in de vorm van rookgassen, warme lucht en elektrische verbruiken geregistreerd bij oven, droger en warmtekracht-installatie.

In dit artikel (deel 1) worden de belangrijkste bevindingen van het onderzoek beschreven. Het gaat hierbij om verschuivingen die plaatsvinden in de oven energiebalans in relatie tot tempowisselingen in de oven, en een procesgrootte die een belangrijke rol speelt in de optimalisering van het aardgasverbruik bij tempowisselingen. Tot slot wordt de expert III regelstrategie

beschreven die moet bijdragen tot vermindering van het ovenverbruik bij tempowisselingen. Deel 2 - die zal verschijnen in de volgende uitgave van KGK - begint met een uitleg wat de oven procesgrootte 'Rookgas APR' inhoudt en hoe deze zich gedraagt in relatie tot het oventempo. Daarnaast wordt uitgelegd op welke manier de rookgas APR kan worden gebruikt om het

aardgasverbruik van de tunneloven te optimaliseren. Tenslotte volgt een beschrijving van een Expert III-regelstrategie en de mogelijkheden voor energiebesparing.

In sommige grafieken zijn getallen weggelaten omdat het bedrijfsspecifieke informatie betreft.

Dynamische ovenenergiebalans

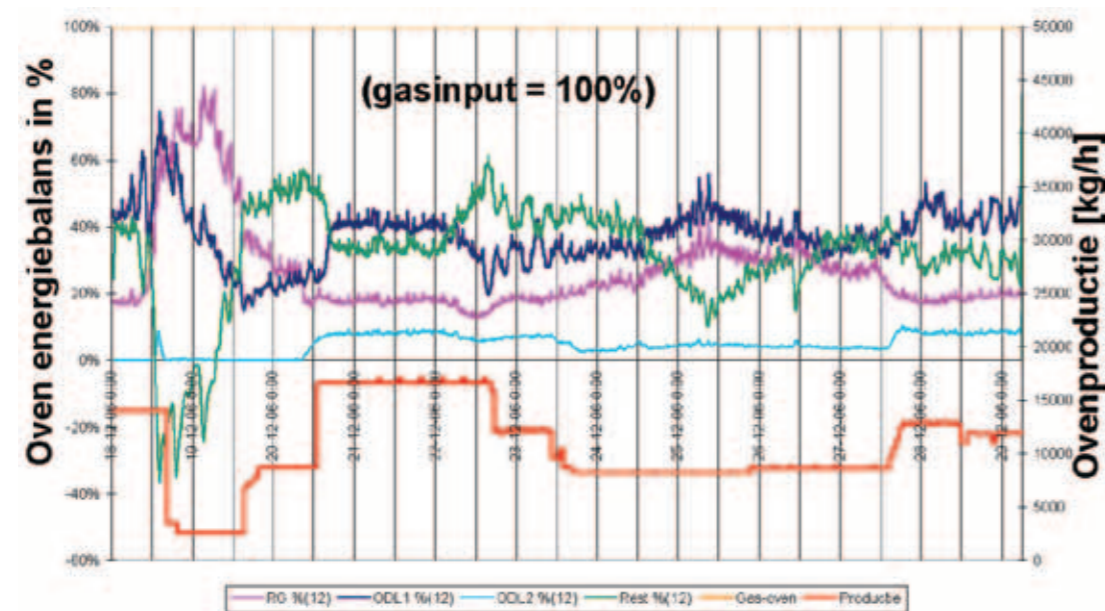
Een tunneloven is een energiesysteem waarvoor de algemene natuurkundige wet van behoud van energie van toepassing is. Elk moment dat een hoeveelheid energie de oven ingaat in de vorm van aardgas en elektriciteit is gelijk aan de stromen die de oven uitgaan (alleen warmtestromen). Warmtebuffereffecten moeten in dit verband eveneens gezien worden als in- of uitgaande stroom. Er is sprake van warmtebuffering bij een niet stabiel tunnelovenproces. In de praktijk betekent dit dat stookcurve van de tunneloven in de tijd aan verandering onderhevig is. Een voorbeeld hiervan is een oplopende koelzonetemperatuur. Tempowisselingen in de oven gaan vrijwel altijd gepaard met buffereffecten.

Ovenenergiebalansen zijn op zich niet nieuw. Wat wel nieuw is dat bij het Expert III-project een energiebalans bepaald is op continue tijdbasis. Hiermee konden de balanseffecten bestudeerd worden die optreden bij tempowisselingen of productsoortwisselingen. Dit wordt een dynamische ovenenergiebalans genoemd. Samen met de dynamische balans is het productietempo van de oven bepaald in kg/uur op dezelfde tijdbasis. Hiermee worden de invloeden van tempowisselingen inzichtelijk gemaakt. Ovenenergiebalansen kunnen op verschillende manieren worden uitgedrukt, te weten in kW (=kJ/sec), in normaal kubieke meters aardgas per uur (m_n^3 /uur), in normaal kubieke meters aardgas per ton

product (m_n^3 /ton) of in procenten van de aardgas input (%). In grafiek 1 is een gemeten energiebalans in procenten weergegeven, samen met het productietempo op dezelfde tijdbasis.

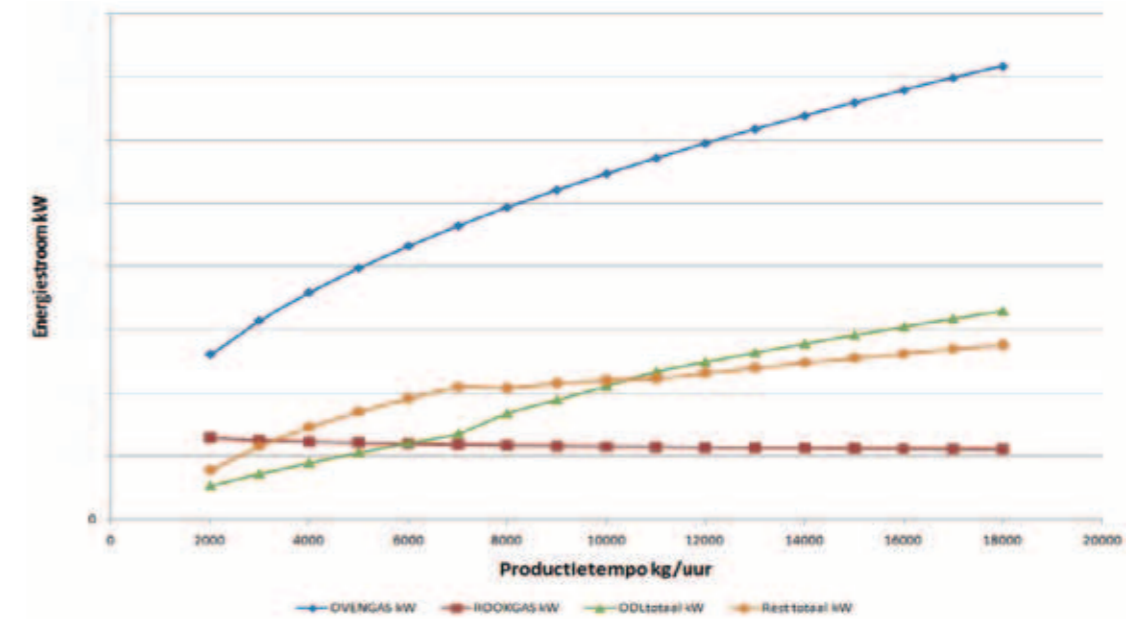
In grafiek 1 staat RG voor rookgassen die naar de schoorsteen gaan. ODL staat voor Oven Droger Lucht. Bij dit bedrijf zijn daarvoor twee leidingen ODL1 en ODL2. GAS-oven staat voor het aardgasverbruik van de oven. Rest staat voor alle niet gemeten energiestromen zoals uitrijverliezen, convectie- en stralingsverliezen van het ovenlichaam en leidingen en netto reactiewarmte als gevolg van chemische omzettingen in de klei. Een laatste onderdeel van de restpost zijn warmtebuffereffecten. De rode lijn geeft het productietempo van de tunneloven weer. De grafiek geeft het verloop weer gedurende een periode van elf dagen dat er tamelijk grote tempowisselingen plaatsvonden. Op het bepaald moment zakt het tempo weg als gevolg van een persstoring.

Deze extreme periode is er uitgelicht om de effecten op de ovenbalans zichtbaar te maken. In de grafiek wordt duidelijk zichtbaar dat bij de sterke sprongwijze daling van het tempo 18/12/2006 het aandeel rookgasverliezen sterk toeneemt tot 80 % van de aardgasinput. Uit het verloop van de restpost (groen) valt af te leiden dat er warmte onttrokken wordt uit de buffers, in dit geval de bakstenen in de oven (veelal koelzone). De restpost is direct na de tempoval negatief, wat duidt op het onttrekken van warmte uit de producten. De energiestroom uit de koelzone (ODL1 en ODL2) daalt verhoudingsgewijs sterk na de tempoval. Wanneer het oventempo daarna weer stijgt, herstellen de balansen zich weer zoals daarvoor. De belangrijkste conclusie uit grafiek 1 is dat met name de rookgasverliezen verhoudingsgewijs sterk toene-



Grafiek 1: Continu oven energiebalans in % t.o.v. de aardgasinput

Grafiek 2: Oven-energiebalans in kW in relatie tot oventempo



men bij verlaging van de oven massadoorzet. Een logisch gevolg van deze conclusie is dat rookgasverliezen kennelijk een belangrijke rol spelen bij het toenemen van de aardgasverbruiken per ton product bij tempoverlagen. Extra aandacht voor rookgasverliezen is kennelijk nodig.

Relatie oven energiebalans en productietempo

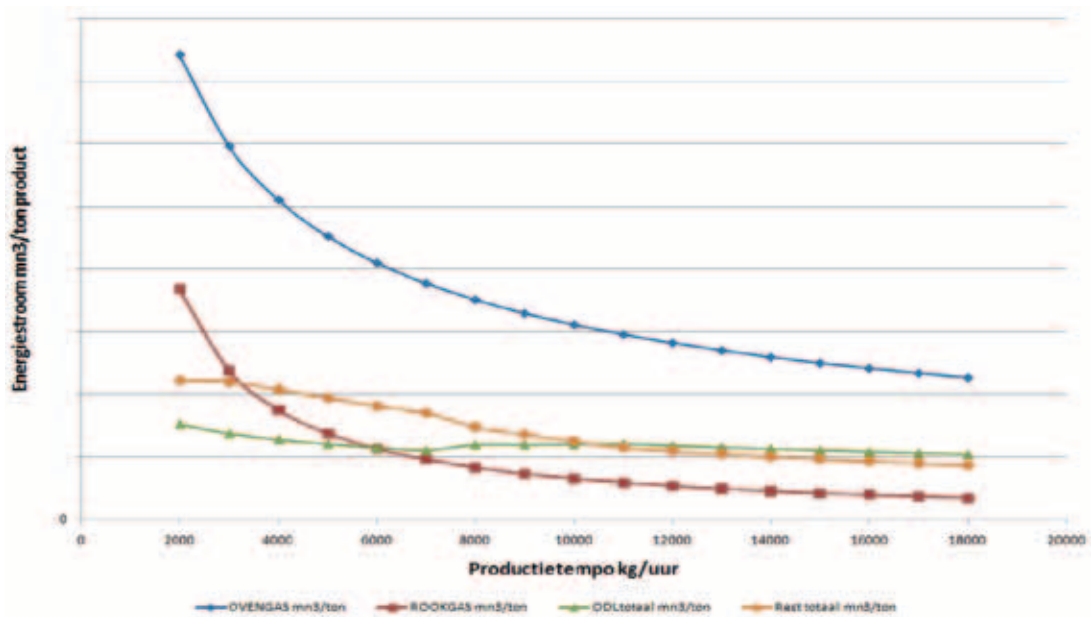
Zoals reeds aangegeven kan de ovenenergiebalans op verschillende manieren worden aangegeven. Op basis van de talrijke metingen en relatiestudie voor de oven van Steenfabriek Huissenswaard is de relatie tussen productietempo en ovenbalans empirisch bepaald een stabiele oven (geen buffereffecten). In de onderstaande grafieken 2 tot en met 4 is deze relatie weergegeven. In verband met vertrouwelijkheid zijn de cijfers bij de Y-as weggelaten. De trend is duidelijk zichtbaar.

Grafiek 2 geeft absolute energiestromen weer in kilowatt. In de grafiek zou kilowatt (kW) te vervangen zijn door normaal kubieke meters aardgas per uur m_n^3 /uur. Beide grootheden zijn qua getalswaarde anders, maar fysisch vergelijkbaar. Uit de blauwe lijn van de gasinput van de oven valt af te leiden dat circa tot de helft van de maximale productie de gasinput min of meer lineair daalt. Daaronder daalt het verbruik meer exponentieel. Opmerkelijk genoeg daalt het rookgasverlies in kW vrijwel niet als het tempo daalt. Er is zelfs sprake van een toename. De energiestroom die beschikbaar komt in de vorm van restwarmte voor de droger (ODL) neemt tot een halvering van de productie vrijwel lineair af. Daaronder zijn enkele knikken in de curve waarneembaar. Dit heeft vooral te maken met het feit dat op bepaalde momenten verschillende koelingen afgeschakeld worden, omdat ze niet meer nodig zijn. De rest-

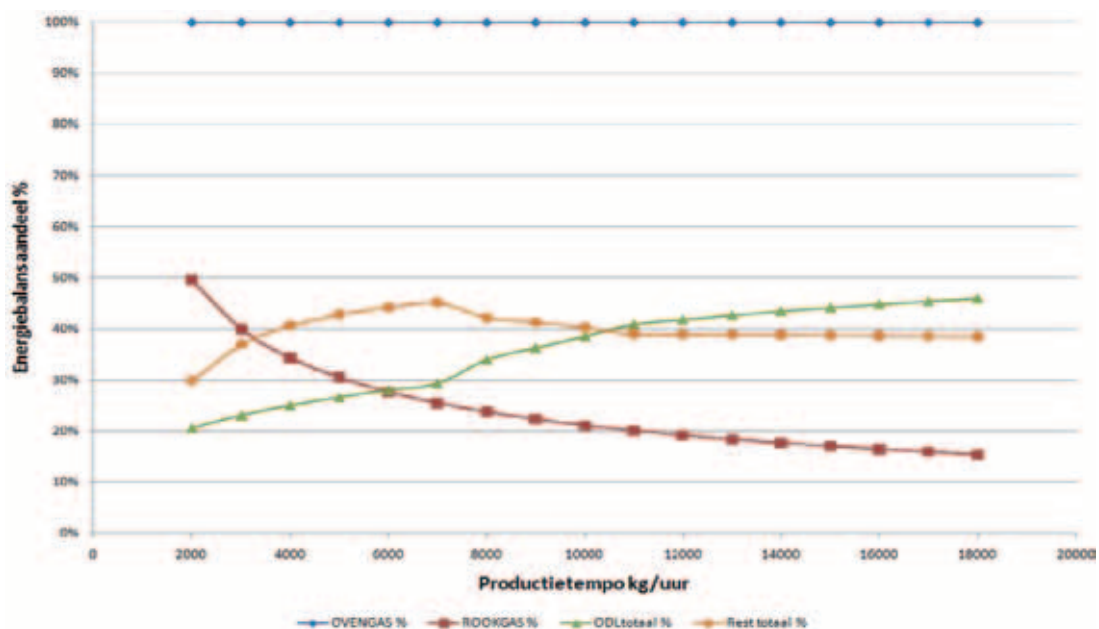
post is de resultante en volgt uit de andere grootheden.

In grafiek 3 is de relatie tussen oventempo en het aardgasverbruik per ton geproduceerde baksteen weergegeven. Het aardgasverbruik neemt exponentieel toe bij lager tempo. Globaal kan worden gesteld dat tot een halvering van het maximum oventempo het specifiek aardgasverbruik lineair toeneemt. Ten opzichte van het verbruik bij maximaal oventempo is het verbruik per ton bij een halvering van de productie met 45 % toegenomen. Bij een kwart van de maximale productie verdubbelt het verbruik (=100 % toename). Grafiek 3 geeft op een duidelijke manier weer welke effecten er voor het energieverbruik optreden indien de tunneloven niet op vol tempo draait. Wel moet hieraan toegevoegd worden dat de bovenstaande relatie gedestilleerd is uit een lange periode (meer dan een jaar), waarbij de verbruiken bij zeer laag tempo gebaseerd zijn op incidenten. Dat betekent dat de tunneloven niet optimaal ingesteld is voor dergelijke lage productievolumina. Bij langdurig lage productievolumina zijn verbeteringen mogelijk door aanpassing van de oveninstellingen. In dezelfde grafiek is te zien dat de curve van het aardgasverbruik het meest correleert met de curve van het rookgasverlies. De invloed van het rookgasverlies op de balans wordt bij lagere volume steeds belangrijker. De groene lijn geeft de hoeveelheid restwarmte van de oven weer die ter beschikking komt aan de droger (ODL). Heel globaal kan worden gesteld dat deze waarde heel licht oploopt bij daling van het productievolume. Wanneer de oven op halve kracht draait is de ODL energiestroom per ton product 15 % hoger dan bij maximale productie. Bij nog lagere productie daalt deze stroom enigszins om daarna weer op te

Grafiek 3: Oven energiebalans in m_n^3/ton in relatie tot oventempo



Grafiek 4: Oven-energiebalans in % in relatie tot oventempo



lopen. Het Expert III-onderzoek leert dat beheersing van de rookgasstroom de beste mogelijkheid is voor optimalisatie van het ovenverbruik bij wisselende oven massadoorzet. De uitkomsten van grafiek 3 bevestigen deze conclusie.

In grafiek 4 is de oven energiebalans weergegeven in % ten opzichte van de gasinput. De blauwe lijn van het ovenaardgasverbruik loopt derhalve ook als een rechte lijn op de 100 %. Bij maximale productie is de post ODL de belangrijkste post op de energiebalans. Ook de restpost is een belangrijke post op de balans. Met het dalen van het oventempo neemt het aandeel rookgassen exponentieel

toe. De post ODL daalt gestaag. De restpost is de resultante van de voorgaande twee om de balans tot 100 % te completeren. Ook in grafiek 4 wordt duidelijk dat de rookgassen een steeds belangrijker aandeel in de energiebalans krijgen. Voor een Expert III-regeling is beperking van het rookgasverlies derhalve een belangrijk instrument.

In het volgende nummer van KGK wordt deel 2 gepubliceerd. ■