

Warmtebenutting uit de koelzone van een tunneloven

Bij de productie van baksteen wordt de warmte uit de koelzone van de tunneloven zo goed mogelijk herbenut in de droogkamers, voor het drogen van de vormelingen. Dit drogen vindt doorgaans plaats gedurende vijf dagen per week. Het bakken van de stenen vindt echter continu plaats, gedurende zeven dagen per week, omdat de tunneloven niet eenvoudig kan worden gestopt en gestart. Door deze wijze van produceren ontstaat een verschil in het aanbod van warmte uit de oven en de vraag naar warmte vanuit de droogkamers. Recent is door Solutherm en TCKI in opdracht van RVO onderzocht of er mogelijkheden zijn om vraag en aanbod van warmte beter op elkaar af te stemmen, bijvoorbeeld door het bufferen van warmte in de steenpakketten in de koelzone van de tunneloven.

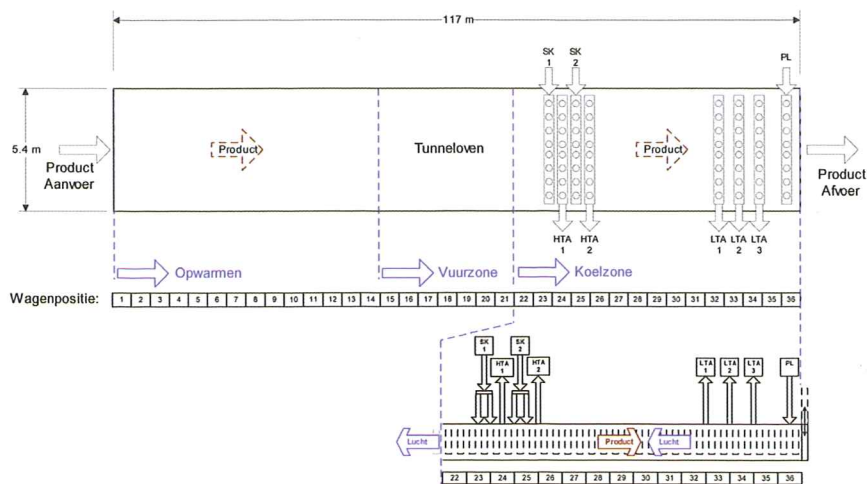
Dr.ir. J.L. Nijdam en
ir. P. Jellema, Solutherm B.V.,
ig. B. Mentink, TCKI

Dit is in principe mogelijk als een tunneloven gedurende langere tijd niet op maximale capaciteit draait. Onder die conditie is de afkoelsnelheid van producten bij de kwartssprongtemperatuur (573°C) namelijk lager dan maximaal toelaatbaar wordt geacht. Het is dan mogelijk om bij verlaagde warmtevraag vanuit de droogkamers (weekend) het overschot uit de oven tijdelijk op te slaan in de steenpakketten in de koelzone van de oven. Wanneer na het weekend de warmtevraag vanuit de droogkamers weer toeneemt, kan de opgeslagen warmte worden aangewend om dan aan de tijdelijk verhoogde vraag te voldoen. Om te onderzoeken binnen welke grenzen dit

mogelijk is, is door Solutherm een thermisch rekenmodel ontwikkeld waarmee het weekverloop van het warmte-aanbod uit de tunnelovens betrouwbaar en realistisch kan worden voorspeld. Dit nieuwe model is gevalideerd aan de hand van metingen, die zijn uitgevoerd door TCKI bij steenfabriek Engels te Helden-Panningen.

Tunneloven

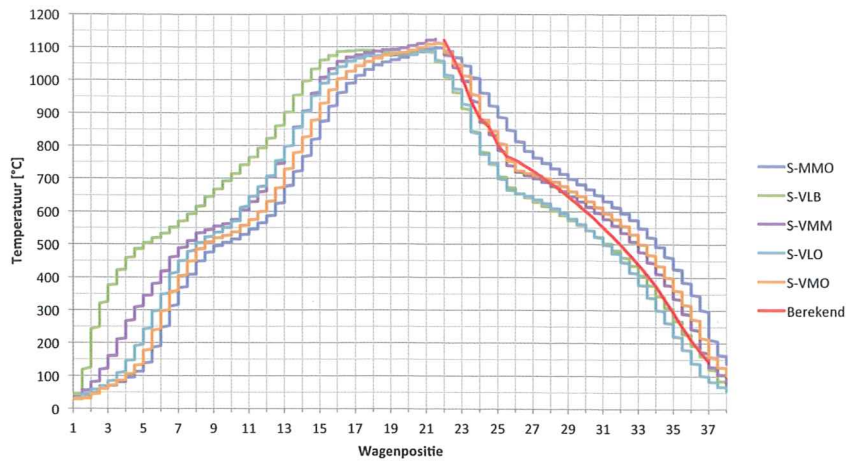
Een tunneloven bestaat in essentie uit drie achtereenvolgende zones: de opwarmzone, de vuurzone en de koelzone. In de opwarmzone en vuurzone van de tunneloven wordt verwarmd met aardgasbranders. De warmte die daarbij wordt overgedragen aan de steenmassa en ovenwagens, wordt afgevoerd in de koelzone. Deze koeling vindt plaats door middel van lucht, zodat de producten met voldoende lage uitrijtemperatuur worden afgevoerd uit de oven. Het koelproces bepaalt tevens de koelsnelheid van de producten rond de kwartssprong. Sturing van deze procesparameters vindt plaats door luchttemperatuurmetingen en debietsregelingen van luchtaanvoer en -afvoerpunten op de koelzone, zoals schematisch is weergegeven in figuur 1.



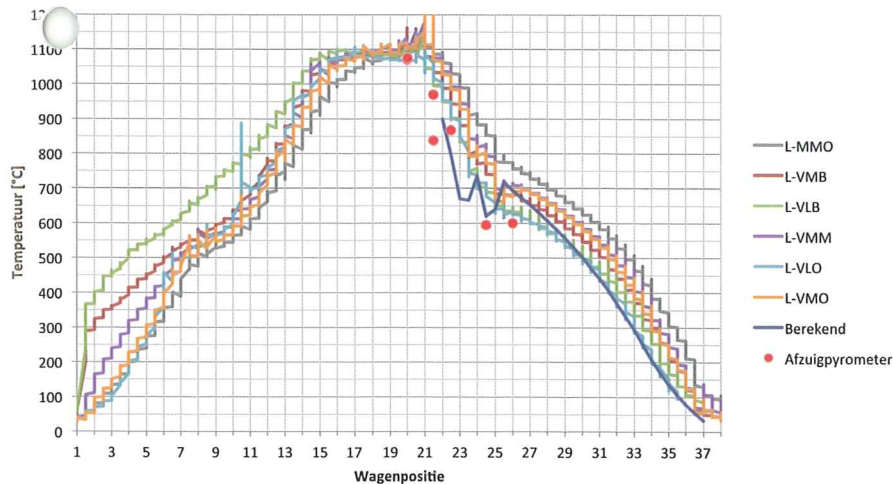
Figuur 1: Bovenaanzicht van een tunneloven en zijaanzicht van de koelzone, met producttoevoer links en afvoer rechts. De koelzone omvat wagenposities 22 tot en met 36. Met pijlen is aangegeven waar lucht wordt toegevoerd naar of afgevoerd van de koelzone. PL: Primaire lucht, LTA: Laag Temperatuur Afzuiging, HTA: Hoog Temperatuur afzuiging, SK: Snelkoeling

Het temperatuurverloop van producten in de koelzone kan dus worden beïnvloed door de luchtinjectiepunten, Snelkoeling 1 en 2 (SK1, SK2) en Primaire lucht (PL) en de afzuigpunten Hoog Temperatuur Afzuiging 1 en 2 (HTA1, HTA2) en de Laag Temperatuur Afzuigpunten (LTA1, LTA2, LTA3).

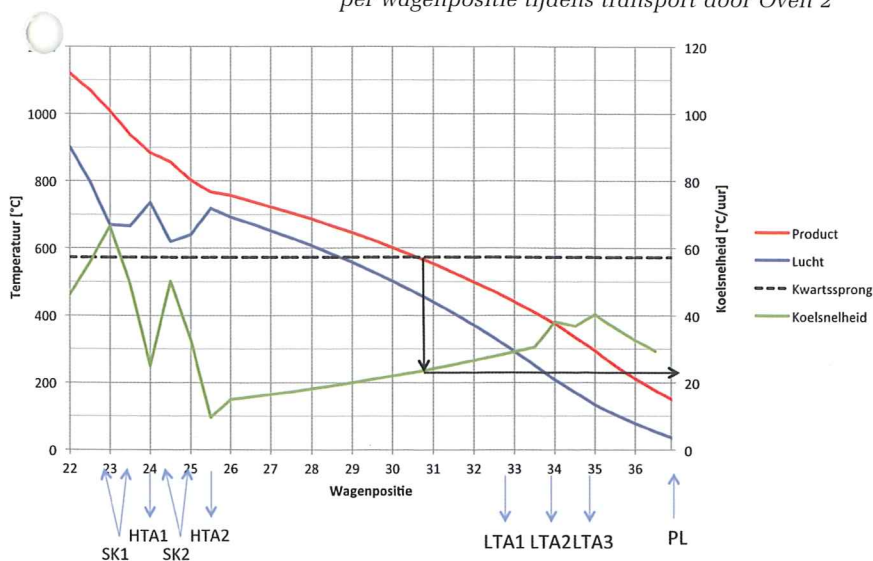
In de koelzone van de tunneloven bevinden zich vijftien ovenwagens (positie 22 tot en met 36), met elk twee stapels stenen. De ovenwagens schuiven na een bepaald tijdsinterval (de schuiftijd) een halve wagenpositie richting ovenuitgang (naar rechts in figuur 1) en worden continu horizontaal doorstroomd in tegenstroom met de schuifrichting (naar links).



Figuur 2: Gemeten (Datapaq) en berekende temperaturen van producten tijdens transport door Oven 2. Meetlocatie op wagen aangeduid V (Voor), M (Midden), L (Links), B (Boven), O (Onder)



Figuur 3: Gemeten (Datapaq en afsuigpyrometer) en berekende temperaturen van de luchtstroom per wagenpositie tijdens transport door Oven 2



Figuur 4: Temperaturen van lucht en product (linker verticale as) en productkoelsnelheid (rechter as) tijdens nominale productie, met 65 min schuiftijd

Modellering

Van de warmteoverdrachtsprocessen in de koelzone is een dynamisch rekenmodel ontwikkeld, dat per stapel de product- en luchttemperaturen als functie van plaats en tijd bepaalt. De ovensettings (toevoer- en afzuigstromen, schuiftijd) kunnen in het model vrij worden aangepast, zodat de invloed van wijzigende oveninstellingen op producttemperaturen geanalyseerd kan worden.

Ter validatie zijn in september 2014 door TCKI temperatuurmetingen uitgevoerd aan Oven 2 van steënfabriek Engels te Helden-Panningen, door middel van een zogenoemde Datapaq meting, waarbij diverse temperatuuropnemers zijn gekoppeld aan een meetwagen. De meetwagen is vervolgens met de normale productie meegevoerd door de tunneloven, waarna de temperaturen zijn uitgelezen.

De modelberekeningen (rode lijn) en de gemeten temperaturen van de stenen zijn weergegeven in figuur 2.

De gemeten en berekende producttemperaturen komen goed overeen. Voor wat betreft de metingen blijkt verder dat de locatie VLB (voor, links-boven) sneller van temperatuur verandert dan locatie MMO (midden, midden-onder). De luchtsnelheid op locatie VLB is kennelijk hoger dan op locatie MMO.

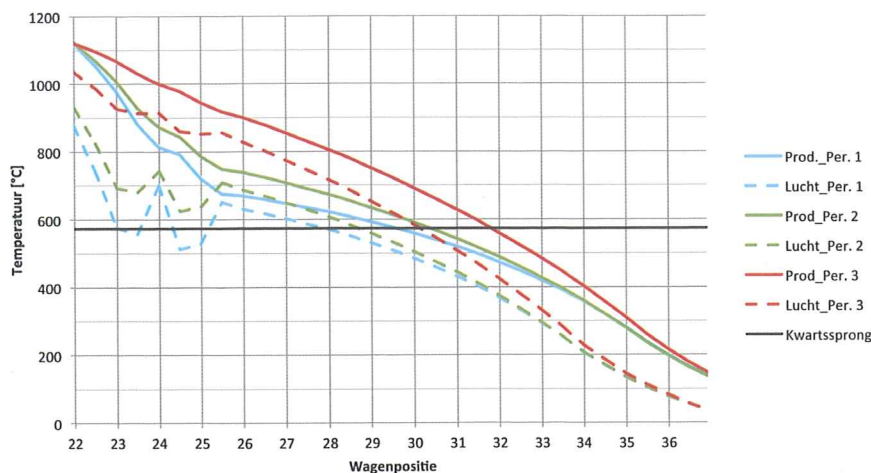
De luchttemperaturen in de oven zijn niet alleen gemeten met thermokoppels, maar tevens door middel van zogenoemde afsuigpyrometers die, in tegenstelling tot thermokoppels, niet gevoelig zijn voor meetafwijkingen bij hoge temperatuur door straling. De gemeten en berekende luchttemperaturen (blauwe lijn) zijn weergegeven in figuur 3.

De berekende luchttemperaturen komen goed overeen met de meetwaarden van de afsuigpyrometer. Het verschil tussen de gemeten luchttemperaturen door thermokoppels en de afsuigpyrometer toont aan dat het effect van straling op thermokoppels significant is.

Simulatie warmtebuffering

De berekende temperaturen in de koelzone bij nominale productie en het hiermee samenhangende verloop van de productkoelsnelheid zijn weergegeven in figuur 4.

Uit figuur 4 is af te lezen dat de koelsnelheid bij de kwartssprongtemperatuur bij nominale capaciteit 25 graden per uur bedraagt. Als de productiecapaciteit van een tunneloven langdurig lager is dan nominaal, door verlenging van het schuifinterval, is de koelsnelheid van producten eveneens lager, omdat het temperatuurtraject van de vuurzone tot uittrede in een langere tijd wordt doorlopen. Als de capaciteit bijvoorbeeld langdurig ver-



Figuur 5: Product- en luchttemperaturen bij aanvang Periode 1, 2 en 3

laagd is naar 75 procent van nominaal, dan blijkt uit de simulatieberekeningen dat de koelsnelheid ter plaatse van de kwartssprong reduceert naar 16 graden per uur. Om het warmtebufferpotentieel van de koelzone bij deze verlaagde (75 procent) productiecapaciteit te onderzoeken, is de week verdeeld in drie achtereenvolgende perioden:

Periode	Dagen	Warmtevraag drogerij	Regime koelzone
1	Woensdag t/m vrijdag	Nominaal	Nominaal
2	Zaterdag en zondag	Verlaagd	Bufferen
3	Maandag en dinsdag	Verhoogd	Ontladen

Na Periode 3 volgt wederom Periode 1. De product- en luchttemperaturen in de koelzone wijzigen tijdens de week continu als gevolg van

deze wijzigende instellingen, zoals weergegeven in figuur 5.

Op maandag, bij aanvang van Periode 3, zijn de temperaturen dus relatief hoog, omdat juist daarvoor (Periode 2) warmte is gebufferd. Op woensdag, bij aanvang van Periode 1, zijn de temperaturen juist relatief laag, omdat daarvoor gedurende twee dagen, in Periode 3, extra warmte is onttrokken uit de koelzone. De hoeveelheid gebufferde warmte hangt samen met het oppervlak tussen deze hoogste en laagste producttemperaturen.

Het energiebesparingspotentieel door warmtebuffering bestaat uit de volgende bijdragen:

Extra beschikbaar uit LTA in periode 3	:	0.09 m ³ AE/Ton
Extra beschikbaar uit HTA in periode 3	:	0.93 m ³ AE/Ton
Netto besparing branders Vuurzone t.g.v. verlaagde bijstook	:	0.22 m ³ AE/Ton +
Totale besparing door buffering	:	1.24 m ³ AE/Ton

Conclusies en aanbevelingen

Het ontwikkelde rekenmodel blijkt een betrouwbaar instrument te zijn voor analyse van koelprocessen in de tunnelovens. Met behulp van het model is bepaald dat de buffering van warmte in de koelzone in principe mogelijk is en 1.24 m³ aardgas per ton product kan besparen, door dynamische aanpassing van oveninstellingen. Het rekenmodel is breed toepasbaar en uitbreidbaar en kan ook worden ingezet voor de analyse van andere besparingsmogelijkheden, of voor verdere optimalisatie van tunnelovens. ■

