

Van verre is de hoge schoorsteen van het Ir. D.F. Woudagemaal te zien. Ook in het logo van dit mooie cultuurerfgoed komt dit zo kenmerkende onderdeel uit het tijdperk van de stoombemaling dominant terug. De inmiddels bijna honderd jaar oude schoorsteen doet nog steeds dienst bij de aanvoer van verbrandingslucht naar de stoomketels en de afvoer van de rookgassen. In het boek “Het ir D. F. Woudagemaal” een levend erfgoed opstroom, is daar ruim aandacht aan besteed. Hoe de schoorsteen lucht aanzuigt en de in de vuurgang van de stoomketel geproduceerde rookgassen afvoert is minder bekend, daarom in deze Gemail-aflevering een nadere technische uiteenzetting van hoe de schoorsteen is samengesteld en de werking ervan.



Schoorsteen

Bij het Wouda gemaal staat voor de afvoer van de rookgassen een 60 meter hoge schoorsteen gebouwd. De schoorsteen is zo hoog om voor de toevoer van voldoende verbrandingslucht en de afvoer van de geproduceerde rookgassen met daarin de roet- en asdeeltjes te zorgen en over een zo groot mogelijk oppervlak te verspreiden. Zou dit niet gebeuren, dan zou het gemaal en de machinistenwoningen in de rook van de eigen stoomketels staan.

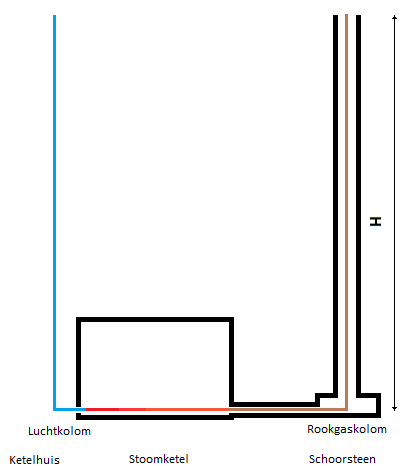
De hoofdreden voor de grote hoogte is echter de trek. Hoe hoger de schoorsteen hoe groter de trek en zoveel te meer lucht komt er per tijdseenheid beschikbaar voor de verbranding van vroeger de steenkool en nu de stookolie. Met de trek van de schoorsteen wordt de wrijvingsweerstand van de rookgassen in de stoomketel

zoals bijvoorbeeld de vlampijpen en oververhitter maar ook in het rookkanaal en de schoorsteen zelf overwonnen.

Bij het Woudagemaal werden tijdens het kolenstookbedrijf zogenoemde blaasmachines gebruikt. Deze door een kleine stoommachine aangedreven ventilatoren zorgden voor de luchttoevoer onder de vuurrooster en hielpen de schoorsteen bij de aanvoer van verbrandingslucht. Tegenwoordig zijn dit onder de vloerplaat weggewerkte elektrisch aangedreven ventilatoren, één bij elke set van twee branders.

Werking van de schoorsteen

De trek ontstaat door het verschil in gewicht van de warme rookgaskolom in de schoorsteen en die van de relatief koude luchtkolom in het ketelhuis. Hierbij geldt dat hoe warmer de gassen in de schoorsteen en hoe



hoger deze is, des te beter is de trek is. De dichtheid of volumieke massa (soortelijk gewicht) neemt af bij het stijgen van de temperatuur en is omgekeerd evenredig aan de volumetoename. Daarenboven neemt de volumieke massa toe bij het stijgen van de luchtdruk. De wat oudere lezers herkennen dit van vroeger als in de herfst de kachel werd aangemaakt. De huiskamer of de keuken stond dan eerst vol rook. De schoorsteen was vochtig en koud terwijl de luchtdruk het ook liet afweten. Met een flink vuur van droog rijshout of een aanmaakturf met petroleum werd vaak het initiële trekprobleem opgelost dan wel geminimaliseerd. Om dezelfde reden zit in de schoorsteen van het Woudagemaal een luik. Bij het onder stoom brengen van het gemaal in het verleden werd eerst een hoeveelheid droog (rij)s)hout via die opening aangevoerd en in brand gestoken. Pas als de schoorsteen was opgewarmd werd een vuur in een of

meerdere ketels aangelegd en kon met de stoom productie worden begonnen.

De trek in een schoorsteen kan men berekenen met behulp van de volgende formule.

$$D = 355 * H * \left(\frac{T_s - T_1}{T_s * T_1} \right) \text{ kg/m}^2$$

Hierbij is:

D : het theoretisch drukverschil ter plaatse van het rooster uitgedrukt in kg/m^2 ($1 \text{ kg/m}^2 = 1 \text{ mm waterkolom}$)

H : de hoogte van de schoorsteen uitgedrukt in m

T_s : de absolute temperatuur aan de voet van de schoorsteen uitgedrukt in K

T_1 : de absolute temperatuur van de aangezogen lucht in het ketel uitgedrukt in K

Bij het ir D.F. Woudagemaal bedraagt onder normale atmosferische omstandigheden, een buitentemperatuur van 20° C en een rookgassentemperatuur bij de voet van de schoorsteen van 300° C de theoretische trek ongeveer $35,5 \text{ mm wk}$.

$$D = 355 * 60 * \left(\frac{573 - 293}{573 * 293} \right) = 35.5 \text{ mm wk}$$

In de hierna volgende tabel is aangegeven wat de invloed is van de lucht temperatuur de heersende luchtdruk en de temperatuur van de rookgaskolom op de trek. De opgegeven waarden gelden voor 1 meter schoorsteenhoogte en moeten bij het Woudagemaal dus met 60 worden vermenigvuldigd.

Barometerstand in mm kwik	Luchttemperatuur in ° C.	Temperatuur aan voet schoorsteen				
		100° C	200° C	300° C	400° C	500° C
700	0	0,321	0,508	0,629	0,714	0,777
	15	0,259	0,446	0,567	0,652	0,715
	30	0,201	0,388	0,509	0,594	0,657
730	0	0,327	0,523	0,650	0,739	0,786
	15	0,272	0,468	0,595	0,684	0,751
	30	0,205	0,401	0,528	0,617	0,684
760 (normaal)	0	0,347	0,551	0,682	0,775	0,843
	15	0,280	0,484	0,615	0,708	0,776
	30	0,217	0,421	0,552	0,645	0,713

Theoretische schoorsteentrek in (mm wk) bij verschillende omstandigheden

De berekende theoretische trek wordt gebruikt om de rookgassen snelheid te geven, we noemen dat snelheidshoogte, en het overwinnen van de wrijving die de lucht en de rookgassen ondervinden in het pad van van de stookplaats naar het bovenste puntje van de schoorsteen. Hierbij is de wrijving over het brandstofbed /rooster dominant en voor de stoker van weleer een reden om hieraan de grootst mogelijke zorg te besteden.

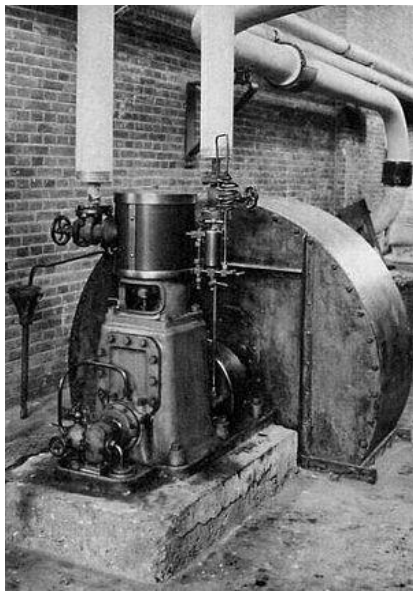


Meterbord met informatie over de trek en de temperaturen van stoom rookgassen

De hierna volgende overzicht geeft een indruk waar de berekende of theoretische trek in opgaat.

- Brandstofbed/roosters 6-8 mm wk
- Vuurgang en rookkanalen 3-5 mm wk
- Vlampijpen 3-6 mm wk
- Schoorsteen 2-3 mm wk
- Oververhitter 6-8 mm wk
- Versnellen van de lucht/gasstroom 1-2 mm wk

Uit efficiëntie-overwegingen (benutting van de thermische energie) worden de rookgassen zover als mogelijk in de stoomketel afgekoeld d.w.z. overgedragen aan het water en de stoom en is er dus een relatief hoge schoorsteen nodig. Om extreem hoge schoorstenen te voorkomen en toch de maximale hoeveelheid energie uit de brandstof te halen worden ventilatoren toegepast. Bij het Woudagemaal werden tijdens het



Blaasmachine (verwijderd uit gemaal)

kolenstookbedrijf zogenoemde blaasmachines gebruikt. Deze door een kleine stoommachines aangedreven ventilatoren zorgden voor de luchttoevoer onder de vuurroosters en hielpen de schoorsteen bij de aanvoer van verbrandingslucht. Tegenwoordig zijn dit onder de vloerplaat weggewerkte elektrisch aangedreven ventilatoren, één bij elke set van twee branders. In vaktermen spreekt men dan over "onderwind". Deze blaasmachines hielpen als het ware de schoorsteen de lucht door de roosters te trekken. Soms werd een deel van deze lucht bij de vuurbrug dus pas aan het einde van de roosters aangevoerd. Deze secundaire lucht zorgde voor het goed uitbranden van de gassen die vrijkomen bij voornamelijk gasrijke steenkool. Secundaire lucht werd ook via een opening met een schuifje in de vuurdeur toegelaten, of bij het opwerpen van verse steenkool. Bij de huidige stookinrichting wordt vanwege het ontbreken van een brandwerk (voorplaat, rooster, vuurdeur, asdeur en vuurbrug) niet meer gesproken over primaire en secundaire lucht. Wel is er een ventilator die zorgt voor het aandrijving van de retarder op de brander en de verdeling van de brandstof en lucht bij de brandermond. De rest van de

lucht wordt als gevolg van de schoorsteentrek door een zogenoemd (gefixeerd) luchtregister aangetrokken. Dit luchtregister zorgt evenals de retarder voor een kurkentrekker-vormige beweging van de vlam en hete gasstroom in de vuurgang.

Hoeveelheid lucht en snelheid

Door professor ir J.C. Dijkhoorn, de ontwerper van de technische installaties van het gemaal, is aangegeven dat de stoomketels in het gemaal maximaal 14.650 kg stoom per uur diende te produceren. Hiervoor zou met een verdampingsvoud van 10 ongeveer 1440 kg steenkool per uur verstoekt moeten worden in de 5 Piedboeuf stoomketels. Voor de verbranding van elke kg steenkool is 16,60 Nm³ lucht ¹nodig of bij deze steenkool hoeveelheid 23904 Nm³/h. Omgerekend naar een ketelhuis temperatuur van 20° C is dat 25655 m³/h of 7,12 m³/s.

¹ Met de uitdrukking Normaal kubieke meter (Nm³) wordt het volume van een gas aangegeven die het heeft bij een temperatuur van nul graden Celsius en onder absolute druk van 1,01325 bar

In de voet van de schoorsteen waar de temperatuur zoals in het eerder gegeven voorbeeld 300° C is als gevolg van de uitzetting de rookgassen het debiet 13,93 m³/s. In de doorsnede van de schoorsteenvoet betekent dit een gassnelheid van 0,45 m/s. Boven in de schoorsteen waar de temperatuur met 60° C is gedaald en de doorsnede aanzienlijk kleiner is bedraagt deze snelheid 2,93 m³/s. In vakliteratuur wordt een maximale waarde van 7 m³/s aangehouden.

Bouwkundige constructie

De schoorsteen van het Woudagemaal is opgebouwd uit speciale holle bouwstenen. Deze zogenoemde radiaalstenen zijn hol omdat hiermee de schoorsteen wordt geïsoleerd, dus minder afkoelt en een betere trek



Radiaal stenen

wordt bereikt. Desondanks koelt de schoorsteen ongeveer 1° C per meter af in het concrete geval dus 60 graden. Omdat de radius van de doorsnede naar boven toe veranderd (kleiner wordt) moet ook de vorm van deze speciale steen met het toenemen van de hoogte veranderen.

De schacht bestaat uit een buitenpijp van 60 meter lang en een binnenpijp van 20 meter. De binnenpijp staat los van de buitenpijp en wordt opgeofferd aan het zwaveligzuur (H₂SO₃) dat in de rookgassen voor komt. In steenkool maar ook in de heden ten dage toegepaste stookolie bij het gemaal zit zwavel. Samen met de tijdens de verbranding gevormde waterdamp kan dit neerslaan op

koude vlakken en het hiervoor aangeduide agressieve zuur vormen. De binnenpijp wordt van tijd vervangen en voorkomt dat de constructie wordt aangetast en de hele schoorsteen vervangen moet worden. De inwendige diameter van de schoorsteen is aan de basis 6,25 m. Bovenaan is de inwendige diameter nog slechts 2,35 m. Het muurwerk van de schacht is aan de basis breder dan bovenaan immers hier moet het grootse gewicht en moment, de kracht die de schoorsteen om wil laten vallen, worden opgevangen. Om de schoorsteen zijn in de jaren vijftig van de vorige eeuw stalen trekbanden aangebracht. Deze trekbanden dienen om het verband van het metselwerk in stand te houden.



Inspectiedeur schoorsteen



Begraven rookgaskanalen (op de schoorsteen de bliksemafleider)

Boven het maaiveld is aan de achterzijde van de schoorsteen een deurtje aangebracht waarmee men zich toegang tot het inwendige van de schoorsteen en de rookkanalen kan verschaffen voor inspectie werkzaamheden het verwijderen van vliegias en om in de schoorsteen een vuur te kunnen stoken voor het ingang zetten van de trek bij het opstoken van de stoomketels.

De rookgaskanalen zijn gemetseld en deels in maar voor het overgrote deel onder het maaiveld en de vloer van in het ketelhuis weggewerkt. Buiten het ketelhuis zijn de kanalen afgedekt met aarde en graszoden. Bij het opstoken moeten ook deze kanalen eerst worden opgewarmd. In die fase wordt de trek enigszins belemmeren. Bij de schoorsteen zie je aan de bovenrand een verbreding van het metselwerk. Dit wordt gedaan om de rookgassen met behulp van de langsstromende lucht beter te verspreiden