

OVER DE VERTRAGINGEN  
IN HET  
**SMELT-, VRIES- EN KOOKPUNT DER LICCHAMEN,**  
MET DE  
DAARUIT VOORTVLOEIJENDE BELANGRIJKE VER-  
SCHIJNSELS EN TOEPASSINGEN;  
DOOR  
**D'. VAN DEN BROEK.**  
(*Vervolg en slot van bladz. 214.*)

In den loop van het vorige jaar heeft DUFOUR weder een nieuw onderzoek bekend gemaakt, hetwelk zich gedeeltelijk sluit aan het vermelde van DONNY aangaande de vertraging van het kookpunt in luchtvrij water, doch anderdeels eenige gewigtige nieuwe feiten bevat. Hierbij heeft hij water,

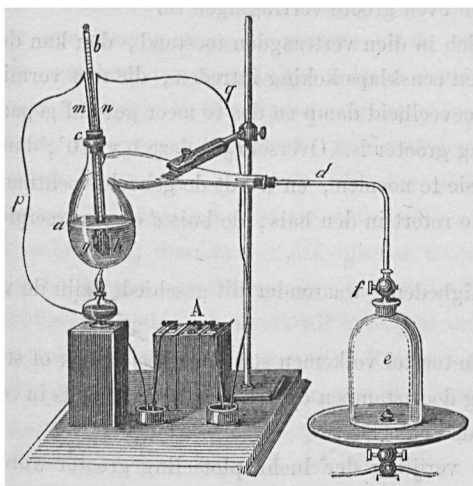


Fig. 3.

waarbij een weinig zwavelzuur gevoegd was, in eene retort gebragt, die in verband stond met eenen recipient met manometer, waarin hij de lucht met eene pomp verwijderen kon. De toestel in nevenstaande fig. 3, waarmede ik sommige zijner proeven met gelijken uitslag heb herhaald, zal de zaak duidelijk maken.

In het eenigzins zure

vocht van retort *a* dompelt de bol van den thermometer *b*, die luchtdigt door de kurk *c* gaat. Door middel van de buis *d* is de retort verbonden met den recipient *e*, voorzien van de kraan *f*, waardoor dus de gemeenschap tusschen den recipient en de retort kan afgesloten worden. De manometer, die de mate van verijling der lucht aangeeft, bevindt zich zoo als gewoonlijk aan de luchtpomp zelve.

1. Wordt het vocht in de retort verhit tot bijna het gewone kookpunt, laat men het eenigzins afkoelen, en brengt men het daarop door uitpompen der lucht onder mindere drukking, dan begint het altijd juist te koken op de temperatuur, waarop dit volgens de wet van DALTON moet plaats hebben.

2. Laat men daarentegen het vocht eerst eenigen tijd koken vóór men de buis *d* aanzet, dan treedt vertraging in het kookpunt onder deze mindere drukking in, die des te aanmerkelijker wordt, zoodat het vocht een des te grooter aantal graden boven de temperatuur waarop het volgens de wet koken moest verhit is, naarmate dit vooraf koken meermalen heeft plaats gegrepen. Op deze wijze heeft DUFLOU tot 30° vertraging in het kookpunt verkregen.

3. Bevinden zich vaste lichamen, vooral weder poreuze, maar ook metaaldraden en glas, in het vocht, dan duurt het veel langer en moet het een groot aantal malen meer worden uitgekookt, alvorens eenige vertraging begint waargenomen te worden; doch ten slotte worden al deze lichamen onwerkzaam, en stellen zich even groote vertragingen in.

4. Bevindt het vocht zich in dien vertraagden toestand, dan kan door verschillende omstandigheden eensklaps koking intreden, die met vorming van eene des te grootere hoeveelheid damp en des te meer geweld gepaard gaat, naarmate de vertraging grooter is. Overschrijdt deze b.v. 10°, dan is het reeds eene ware explosie te noemen, en wordt de geheele vochtmassa geheel of gedeeltelijk uit de retort in den hals, de buis *d* en den recipient geworpen.

De voornaamste omstandigheden, waaronder dit geschiedt, zijn de volgende:

Ten eerste is, wanneer de toestel volkomen stil staat, een schok of stoot tegen de retort, eene trilling door stampen op den grond, soms zelfs in eene andere kamer, daarvoor reeds voldoende.

Ten tweede wanneer de verijling der lucht plotseling grooter wordt, hetgeen men het best doet door de kraan *f* van den recipient eerst af

te sluiten, en vervolgens de lucht in den laatsten door eenige pompslagen nog meer te verijlen. Draait men daarop de kraan snel geheel open, dan wordt al het vocht uit de retort meestal op eenmaal tegen den kurk en in den hals geworpen; en dikwijls met eenen slag, die haar dreigt te verbrijzelen.

Om deze reden gelukt het dan ook niet het vocht in den gewenschten vertraagden toestand te verkrijgen, wanneer men, om het oorspronkelijk onder mindere drukking te brengen, met de kraan *f* open, de lucht te snel uit den recipient uitpompt. Integendeel moet men iederen pompslag zeer langzaam en voorzigtig doen; want het vocht is in dien verhitten toestand een waar kruidje roer-mij-niet, hetwelk bij de minste plotseling te sterke verijling sterk gaat koken, alvorens nog de vertraging bereikt is, die het kan vertoonen. Men bereikt dan ook beter zijn doel en stelt de zeer langzaam en rustig voortgaande verijling in de retort gemakkelijker in door de kraan *f* gesloten te houden, eerst de lucht uit den recipient te pompen, en daarop door zeer langzaam en voorzigtig open draaijen der kraan *f* de lucht in de retort zelve in de verijling te doen deelen. Blijft het vocht dan rustig staan, terwijl het b.v. meer dan 10° vertraagd is, sluit men dan weder de kraan, doet nog eenige pompslagen meer en opent nu de kraan op eenmaal geheel, dan mist het zelden het vocht met explosie te zien naar boven geworpen worden.

Ten derde door twee platinaplaten als elektroden in het vocht te plaatsen, het daarmede weder zoo lang te laten uitkoken totdat zij geen koking meer opwekken, en op die platen, als de vertraging verkregen is, eensklaps waterstof- en zuurstofgas te laten ontwikkelen. Ook die platen ziet men in den toestel in onze figuur aangebragt in *g* en *h*; de dikke koperdraden *m* en *n*, waaraan zij vastzitten, gaan met den thermometer luchtdigt door de kurk der retort, en zijn verder door de draden *p* en *q* met de beide polen van de galvanische batterij A verbonden. Laat men den stroom door het vocht gaan, dan komt er dadelijk van de beide platen te gelijk met het gas eene hevige opwelling met opvolgende sterke schuim, enkel om het gedeelte der platen, hetwelk uit het vocht uitsteekt; bij 15 à 20° vertraging geschiedt dit weder met een sterken schok en geweldige beweging. Laat men den stroom vooraf doorgaan, dan kan men nimmer eenige vertraging in het kookpunt verkrijgen, hoe herhaald en langdurig het vocht ook is uitgekookt, maar begint het steeds dadelijk op de temperatuur, die met de verijling correspondeert, te koken.

Is er eenmaal lucht van de platen opgestegen, dan moet men ze weder eenigen tijd mede uitkoken, alvorens zij op nieuw uit zich zelve onwerkzaam geworden zijn; en wel des te langer, naarmate zij langer water ontleed hebben. Dit alles is nog in sterkere mate het geval met de negatieve elektrode, van welke zich de waterstof, en dus in denzelfden tijd een dubbel volumen gas, ontwikkelt, dan met de positieve. Breekt men den stroom af, dan houdt het koken niet dadelijk, maar dan eerst op, wanneer al het gas, dat de platen nog bedekte, is opgestegen. Het duurt dan ook langer om de negatieve elektrode. Zijn de elektroden twee koperplaten, dan komt er alleen opwelling en schuim aan de negatieve elektrode. Om de positieve is daarvan niets waar te nemen; deze ontwikkelt in dit geval ook niets geen gas, want de zuurstof verbindt zich met het koper. Zijn de koperplaten weder uit zich zelve onwerkzaam geworden, en laat men dan den stroom in omgekeerde rigting doorgaan, dan is de koking alleen aan de plaat, die eerst positieve elektrode was, en alstoen niets vertoonde.

Ofschoon hetzelfde reeds uit de vorige onderzoekingen van DUFLOU was gebleken, toonen deze proeven op de meest duidelijke en nog veel treffender wijze aan, hoezeer lucht, die zich op vaste oppervlakten ontwikkelt, zonder uitzondering dadelijk de koking voortbrengt, alle vertraging onmogelijk maakt en die ook onmiddellijk doet ophouden.

Reeds een aantal jaren geleden is mij eenmaal een verschijnsel voorgekomen, hetwelk ik steeds heb gebragt tot de groep, welke door DONNY in zijn onderzoek vermeld zijn, doch nu bij nader inzien meer tot de zoo pas behandelde van DUFLOU behoort. Eenmaal namelijk water van 50 à 60° in een smal hoog bekerglas onder den recipient der luchtpomp plaatsende, ten einde daarmede de bekende collegieproef te doen, om dit water bij het uitpompen der lucht onder de verminderde drukking op nieuw te zien koken (waarbij de dampbellen natuurlijk niet van den bodem, maar uit de bovenste lagen van het vocht opstijgen), wilde dit koken niet intreden, hoe sterk de lucht ook werd uitgepompt. Het water bleef stil en rustig staan, toen op eenmaal, bij een nieuwen pompslag, zich eene geweldige dampbel aan den bodem van het glas vormde, die de geheele massa water met eenen schok naar boven uit het glas en tegen den recipient aanwierp. Bij nader onderzoek bleek mij, dat dit water reeds een paar uren vóór het collegie in het bekerglas op een zandbad had staan koken, en de amanuensis het daarna tot dat het voor de proef geschikt was had laten afkoelen. Het was derhalve luchtarm water, hetwelk in zijn kookpunt onder verminderde druk-

king reeds een aantal graden vertraagd was, toen eene nieuwe snelle verijling, gepaard met de trilling door het pompen, den ongewonen moleculairen evenwigtstoestand plotseling heeft doen ophouden. De herinnering aan dit verschijnsel heeft mij tot eene andere proef geleid, om bij de vertraging van het kookpunt onder verminderde drukking den invloed te doen zien, die versch van buiten ingebragte vaste lichamen op den toestand van het vocht uitoefenen. Laat men namelijk met eenige droppels zwavelzuur vermengd gedestilleerd water eenige uren lang sterk uitkoken, daarna zoo snel mogelijk tot 50 à 60° afkoelen, plaatst men het vervolgens op de luchtpomp in een kleinen valeylinder (die voor de proef van den val in het luchtledig dient), en legt men op de klepjes van het deksel, hetwelk den cylinder van boven sluit, eenige stukjes platina of ander metaal, dan kan men deze in het water laten vallen. Staat dit water bij eene bepaalde verijling der lucht in den cylinder geheel stil in het glas, dan komt er bij het invallen van een stukje metaal dadelijk een geweldig koken, hetwelk dikwijls zoo stormachtig is, dat een gedeelte van het water uit het glas wordt geworpen.

Wij komen nu tot de reeds meermalen aangehaalde gewigtige toepassing der vertraging van het kookpunt van water, benevens de vermoedelijk daardoor te weeg gebragte belangrijke verschijnselen. Deze toepassing bestaat namelijk hierin, dat deze vertraging in min of meer volledig luchtvrĳ water, vooral onder de in het laatste onderzoek van DUFOUT aangehaalde omstandigheden, welligt eene der voornaamste oorzaken, zoo niet de hoofdoorzaak daarstelt van het springen der stoomketels, en wel eene oorzaak, van welke men sinds dit onderzoek van DONNY wel eenig vermoeden had, doch waarvan de voorstelling thans door het laatste onderzoek van DUFOUT meer helder en goed omschreven is geworden.

Niettegenstaande de vele rampen, welke door het springen van stoomketels zijn voortgebracht, moet men bekennen, dat er geen ongeval bestaat, omtrent welks werkelijke oorzaken men zelfs tot heden nog zoozeer in het duister verkeert. De reden hiervan ligt natuurlijk in groote mate in de omstandigheid, dat men slechts zelden goed te weten komt, welke de juiste toestand van zaken eenigen tijd en vooral eenige oogenblikken vóór het springen geweest is; eensdeels omdat de daarbij tegenwoordig geweest zijnde personen zijn verongelukt, anderdeels omdat zij, behouden gebleven zijnde, dikwijls geene of verkeerde opgaven doen, uit vrees van uithoofde van nalatigheid welligt weggezonden te zullen worden. Maar in de tweede

plaats moet die reden ook gezocht worden in de waarschijnlijk geheel valsche voorstelling, die men vroeger steeds gehad heeft van hetgeen eigenlijk geschiedt, bij het zoo vreeselijk uiteenslaan der ketels, waardoor dikwijls tot verscheiden duizende kilogrammen wegende gedeelten tot op groote hoogten en afstanden worden voortgeslingerd. Bij deze voorstelling lag namelijk het denkbeeld ten gronde, dat de spanning van den stoom, door het niet in orde zijn, het voorbedachtelijk met gewigten overladen, en soms door de werklieden zelfs geheel vastgezet zijn der veiligheidskleppen, tot een voor de wanden des ketels te hoog cijfer gestegen zijnde, deze daardoor eindelijk gebarsten en de ramp op die wijze tot stand gekomen was. Hierbij ging men dus uit van eene trapsgewijs te hoog gestegen spanning; en, ofschoon het gewaagd zou zijn te beweren, dat hierdoor welligt nimmer een ketel werkelijk gesprongen is, pleit niettemin veel vóór de meening, dat de voorname oorzaak eene geheel andere is. Het waarschijnlijkst is namelijk, dat het springen wordt voortgebracht door hetgeen men eene ontploffing of explosie noemt; en deze is altijd het gevolg van het eensklaps ontstaan van eene min of meer aanzienlijke hoeveelheid lucht of damp in eene geslotene ruimte, van welke lucht of damp een oogenblik te voren niets bestond, die meestal door hooge temperatuur bovendien nog eene geweldige spankracht heeft, en welke naar alle zijden plotseling een allerhevigsten schok te weeg brengt, waartegen de wanden der ketels op geen hunner punten bestand zijn. Het is op deze wijze, dat in de scheikundige laboratoria de toestellen uiteenspringen door het daarin ontvlammen van de verschillende soorten van knalgas, dat men mijnen en rotsen laat springen door de ontbranding van fijn buskruid, enz. Deze voorstelling is eene geheel andere; ook de trapsgewijs te hoog stijgende spanning van den stoom wordt op de wanden der ketels wel in alle rigtingen met gelijke sterkte ondervonden, maar er is geen stoomketel, zelfs een geheel nieuwe, welke hier of daar geen zwakker punt heeft; en reeds *à priori* laat zich denken, dat aldaar eindelijk de ketel het eerst zal toegeven, en er eene min of meer belangrijke scheur zal ontstaan, door welke de stoom als uit eene veiligheidsklep ontsnappen zal. Hieruit volgt dus niet de voorstelling van een in alle rigtingen in stukken uiteen springen. Wel zal, zoo als spoedig nader blijken zal, door het ontstaan van die scheur zelve, eene ware explosie kunnen intreden, en hierdoor de ketel opvolgend kunnen springen.

Deze voorstelling steunt bovendien niet op enkele redenering, maar het

regtstreeksch onderzoek heeft de waarheid daarvan ook praktisch aangetoond. In de zitting van den 7den Mei 1855 van de Akademie der Wetenschappen te Parijs, heeft ANDRAUD verslag gegeven van de uitkomst van door hem verrigte proeven met daarvoor vervaardigde metalen vaten, waarin bij de drukking van lucht trapsgewijs regelmatig deed stijgen. Hierbij begint hij met te verklaren, bijzonder getroffen geweest te zijn door het feit, dat de metalen vaten door de toenemende drukking nimmer uit een springen, maar alleen eene scheur verkrijgen, waaruit de lucht ontsnapt. Dit vreeschte bij vaten van 40 Ned. duim middellijn, wier wand slechts 2,05 millim. dik was, eene drukking van 40 atmosferen. Om werkelijk uiteen springen te doen ontstaan, moest hij de drukking eensklaps van 20 tot 200 atmosferen vermeerderen, waarvoor hij eene geschikte inrigting heeft uitgedacht.

Gaat men van deze gegevens uit, dan treedt de voorstelling, dat ketels bij voorkeur zullen moeten springen, wanneer de stoommachine in volle en sterke werking is, meer op den achtergrond, en begint men bij voorraad reeds te vermoeden, dat het onder geheel andere omstandigheden zal kunnen geschieden, waaraan men zonder deze gegevens in het geheel niet zou gedacht hebben. Het heeft lang geduurd en een tal van ketels zijn gesprongen, alvorens dit vermoeden meer algemeen is levendig geworden; de betere narigten, die van tijd tot tijd zijn ingekomen aangaande de omstandigheden, waaronder het springen had plaats gegrepen, hebben dit vermoeden onwillekeurig meer en meer opgewekt, totdat eindelijk DONNY, benevens ook BOUTIGNY en anderen, door hunne onderzoekingen over den spheroidaaltoestand der vochten op verhitte metaalvlakten, aan dit vermoeden eenen vorm hebben gegeven. De door DUFOUR aan het licht gebragte feiten hebben dezen vorm thans nader bepaald en omschreven; en met al deze kennis voorzien willen wij nu de hoofdmeeningen aangaande de oorzaken, benevens de voornaamste gevallen van het springen van ketels, omtrent welke wij geloofwaardige narigten hebben, ten slotte nog kortelijk nagaan.

Sedert men meer en meer is gaan inzien, dat aan het springen eene werkelijke explosie moest ten gronde liggen, heeft men verschillende omstandigheden als waarschijnlijk voorgesteld, onder welke eensklaps eene aanzienlijke hoeveelheid waterdamp met groote drukking in ketels kan gevormd worden. Bovenal heeft men een hoog gewigt gehecht aan het te veel dalen van het niveau van het water in den ketel, bij nalatigheid in het behoorlijk vullen,

en dit punt bij al hetgeen men verder bedacht heeft op den voorgrond blijven stellen. Daardoor kon namelijk een min of meer groot gedeelte van den ketelwand waartegen de vlam speelt gaan gloeijen; en, behalve dat de weerstand van het ijzer hierdoor alleen reeds tot meer dan  $\frac{1}{2}$  daalt, en er ten tweede hierin een plotselinge scherpe overgang bestaat tusschen het ijzer even boven en onder den waterspiegel, meende men in die gloeiende ijzervlakte nu vooral het middel te zien, om plotseling eene aanzienlijke hoeveelheid water in damp te doen overgaan. Dit kon b. v. doordat het water hiermode in aanraking kwam, hetzij op stoomschepen, die door de overhelling het water in den ketel meer naar de eene of andere zijde doen vloeijen; of, volgens MARESTIER, bij vaststaande ketels, doordat er bij het openen der veiligheidskleppen of het in werking treden der machine eensklaps een gedeelte stoom ontsnapt, daardoor de spanning boven het water aanmerkelijk daalt, dit derhalve stormachtig gaat koken, en aldus eene groote massa water tegen het gloeiend gedeelte wordt opgeworpen. Volgens PERKINS daarentegen vormt zich deze waterdamp in den stoom boven het water zelve, die in deze omstandigheden eene veel hoogere temperatuur dan dit water heeft. Hierbij is nog het denkbeeld gevoegd, dat deze plotselinge daling in de spanning van den stoom aan den ketel eenen schok mededeelt, die ook al krachtig tot het springen kan medewerken. Voorts zijn sommigen van meening, dat ook het water door het gloeiend ijzer kan worden ontleed, en het hierdoor onstane waterstofgas door verbranding in zuurstof ontploft, verder nog dat tegen dat gloeiend ijzer organische stoffen uit het water verkoolen kunnen, en daarbij insgelijks gas- en dampvormige brandbare produkten kunnen leveren.

Eene andere omstandigheid voor het gaan gloeijen van een gedeelte van den ketelwand, die geen te lagen waterstand als vereischte behoeft te doen stellen, is de ketelsteen, die, zoo als bekend is, harde dikke, sterk vastzittende korsten kan vormen, waaronder het ijzer, niet meer met het water in aanraking, dus kan gaan gloeijen. Wordt de vorming van deze korsten dus niet voorkomen, en is men zorgeloos in hare opruiming, dan ontstaan er barsten in, kan het daardoor op het gloeiend gedeelte komende water veel damp vormen, een min of meer groot gedeelte der korsten door den schok van dezen damp van den wand worden losgerukt, en, nu veel gloeiende oppervlakte bloot komende, daardoor in eens eene zeer geweldige dampvorming en explosie plaats grijpen.

Van deze voorstellingen is die van ketels, welke van stand veranderen,

alleen toepasselijk op schepen; en verder is die van den invloed van den ketelsteen het minst onwaarschijnlijk, zoodat er welligt op deze wijze gevallen van springen zijn tot stand gekomen. De voorstelling van verbrandend waterstofgas of andere gassen is niet goed te begrijpen, omdat er geene bron is aan te wijzen van de noodige zuurstof, om die verbranding te doen plaats grijpen. De voorstelling van PERKINS is onwaarschijnlijk, omdat nieuwe dampvorming in den reeds aanwezigen stoom de temperatuur van dezen te veel zou doen dalen, en die van MARESTIER wordt krachtig weersproken door de bekende verschijnsels van den spheroidaaltoestand van water op gloeiende metalen; daaruit moet men besluiten, dat het tegen de gloeiende gedeelten geworpen water daar niet mede in aanraking komt en slechts zeer weinig damp vormt, zoodat hierdoor moeilijk explosie kan worden voortgebracht.

Die verschijnsels van den spheroidaaltoestand hebben dan ook BOUTIGNY en anderen een geheel verschillenden invloed van de gloeiende ijzervlakte doen aannemen om de explosie voort te brengen; te weten dat bij te weinig water in den ketel dit in zijn geheel op die gloeiende vlakte spheroidaal kan worden, en later bij de afkoeling, als derhalve het oogenblik komt dat de spheroidaaltoestand ophoudt, door de daarbij plaats grijpende geweldige dampvorming de explosie kan ontstaan. Deze meening van BOUTIGNY heeft echter niet veel ingang gevonden, omdat men daarbij moeilijk met hem kon aannemen, dat de watermassa in haar geheel eensklaps van den bodem kon worden opgeheven, en die bodem daardoor snel kon gaan gloeien, om de massa bij het terugvallen daarop spheroidaal te doen worden. Iets minder onaannemelijk was het denkbeeld, dat, bij eenigzins langduriger overhelling van den ketel naar ééne zijde op een schip, het weinige water gedeeltelijk van den bodem weggevloeid zijnde, daardoor het drooggelooopen gedeelte gloeiend kon worden, en het water, later hierop terugvloeiende, den spheroidaalstaat verkreeg. Dat was echter alleen weder van toepassing op schepen; en overigens geeft ook geen der gevallen van het springen van ketels alhier iets aan, waaruit men met waarschijnlijkheid tot het bestaan hebben van iets dergelijks zou kunnen besluiten.

De kennis van de aanzienlijke vertraging van het kookpunt van water, welke wij aan DONNY verschuldigd zijn, heeft voor het eerst eene nieuwe rigting gegeven aan de voorstellingen, die men zich vormde ten aanzien der vermoedelijke omstandigheden, waaronder ketels springen. Zij hebben daardoor een belangrijken stap voorwaarts gemaakt, daarin bestaande, dat

men daarbij niet meer het gloeiend worden van een gedeelte der ketels, benevens een te lagen waterstand als onmisbare vereischten heeft behoeven ten gronde te leggen. Als voornaamste toepassing van zijn onderzoek heeft dan ook DONNY zelf reeds gewezen op de nieuwe wijze van verklaring van het springen van ketels, die de door hem verkregen resultaten aan de hand gaven. Evenwel hebben de door DONNY aan het licht gebragte feiten voor de oplossing van het vraagstuk niet de vruchten gedragen, welke hij en anderen daarvan hebben verwacht, omdat zijn onderzoek geene kennis heeft doen verkrijgen van de bijzondere omstandigheden, waardoor deze vertraging in het koken van luchtarm of lucht vrij water eensklaps kan ophouden. Het is nu dit punt, waarover het laatstvermelde onderzoek van DUFOUR meer licht heeft doen opgaan; het laat zich niet ontkennen, dat veel daarvan in het groot op de stoomketels van toepassing is; en wanneer wij thans de voornaamste gevallen van het springen van ketels, van welke wij eenigzins naauwkeurige opgaven bezitten, nog even nagaan, dan komt hier ongetwijfeld veel bij voor, hetwelk het vermoeden sterkt, dat de door DUFOUR aangegeven omstandigheden welligt eene belangrijke rol daarbij gespeeld hebben.

Voor eerst springen bij het aantal gevallen, hetwelk zoowel in het 5<sup>e</sup> deel der *Oeuvres complètes de FRANÇOIS ARAGO* (1855), als in de *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, DINGLER's *Polytechnisch Journal* en andere periodieke schriften is opgegeven, als gewichtige feiten in het oog:

1<sup>o</sup>. dat het grootst aantal ketels gesprongen is, terwijl of de machine tot rust kwam, of dadelijk of eenigen tijd daarna, terwijl er niet gewerkt werd; en daarentegen het zeldzaamst als alles in vollen gang is, en daarbij voortdurend trilt en beweegt;

2<sup>o</sup>. dat er veel meer ketels springen bij vaststaande machines in fabrieken, dan op stoomschepen (GAUDRY, *Traité des machines à vapeur*, II, p. 121);

3<sup>o</sup>. dat, volgens de verzekering van ooggetuigen, in een groot aantal gevallen het vuur op het oogenblik van het springen verminderd was en de ketel iets was afgekoeld;

4<sup>o</sup>. dat bij een ander aantal het springen heeft plaats gehad op het oogenblik, dat de machine in werking werd gesteld, en de stoom derhalve uit den ketel in de stoombuis en den cylinder uitstroomde, of op het oogenblik, dat de veiligheidskleppen geopend werden, en de stoom dus daaruit ontweek, en

5°. dat in weder andere gevallen het springen is zamengevallen met het inpompen van versch water in den ketel, hetwelk natuurlijk weder zijn gewoon luchtgehalte bevatte.

Al deze omstandigheden sluiten zich in hooge mate aan de proeven van DUFOUR in het klein. Wanneer de ketel, buiten werking komende, gaat afkoelen, dan koelt de damp boven het water meer af dan dit laatste, vooreerst omdat de ketel van boven niet is ingemetseld, en ten tweede omdat de capaciteit voor de warmte van het water zoo groot is. Het lang gekookt hebbende en dus luchtarme of luchtvrje water geraakt derhalve in dien nog heeten toestand onder verminderde drukking; in plaats van daardoor sterker te gaan koken, wordt zijn kookpunt vertraagd, en of een schok of andere beweging, of vooral het openen der kleppen of der stoombuis, waardoor de spanning thans eensklaps aanmerkelijk afneemt, doet de vertraging ophouden en er volgt explosie. Vele gevallen geven dan ook deze verminderde drukking in den ketel vóór het springen aan.

Zeër waarschijnlijk komen kleine vertragingen van dezen aard, die het niet tot explosie doen komen, veelvuldiger voor, dan men zou vermoeden; dit moet en kan gemakkelijk worden aangetoond door de voortgezette waarneming der manometers gedurende het afkoelen. Een ingenieur, de heer M. F. CHAVANNES-BURNAT, deelt hieromtrent het volgende mede:

„Twee kleine ketels voor stoommachines van 4 paardenkracht, die slechts zeer weinig water konden bevatten en nagenoeg voortdurend moesten gevoed worden, verontrusteden mij eenigzins, waarom ik ze dikwijls des avonds naging, als het vuur verminderd was. Daarbij heb ik den manometer dikwerf eensklaps zien rijzen, nadat hij reeds meer dan ééne atmosfeer drukking gedaald was; en eenmaal zijn zelfs met eenen stoot de veiligheidskleppen opgeligt. Eenmaal heb ik midden onder het werk snel het vuur laten verwijderen en den ketel goed sluiten, de vensters open zettende om hem des te beter te doen afkoelen. Natuurlijk daalde hierbij de manometer snel, maar daarop kreeg het kwikzilver plotseling een sterken stoot opwaarts, terwijl de ketel en het water nog zeer heet waren. Een ander maal heb ik dien stoot zien komen door eenen hamerslag op den ketel.”

Kleine vertragingen zijn derhalve waarschijnlijk veelvuldig, groote gelukkig zeldzaam, maar mogelijk!

Onder de gevallen, die zich, in hetgeen daarvan wordt opgegeven, het

meest aan waarschijnlijke vertraging van het kookpunt onder verminderde drukking aansluiten, behooren vooral de volgende:

Een korten tijd vóór het springen van den ketel op het stoomschip *le Rapide* te Rochefort, gaf de manometer slechts de halve drukking aan van diegene, welke hij meermalen op andere tijden deed waarnemen (*Annuaire de 1830*).

De ketel op het stoomschip de *Etna* sprong, terwijl de zuiger slechts 18 slagen in de minuut gaf; welk aantal gewoonlijk 20 was (*Annuaire de 1830*).

Te Chiswick sprong den 16 Julij 1855 de ketel op het oogenblik dat de machinist de veiligheidsklep opende. Te Sheffield den 11 Augustus 1854, toen de stoker hetzelfde deed. Op de boot de *Graham* juist toen men 10 kilogr. van de klep had afgenomen. Te Essones, den 8 Februarij 1823, op het oogenblik dat men de twee kleppen te gelijk opende; kort vooraf hadden de werklieden geklaagd, dat de machine langzamer ging dan gewoonlijk. Eenige dagen later was het laatste ook het geval vóór het springen van eenen ketel in eene fabriek op den Boulevard du Mont-Parnasse, te Parijs. Te Lyon gebeurde het juist, toen eene uitlaatkraan geopend werd. Te Gend den 17 Mei 1856 juist toen men de machine in gang wilde stellen (JOBARD).

Op den 4 Maart 1827 zijn op het stoomschip *de Rhône* opvolgend drie der vier op het schip aanwezige ketels gesprongen. In eene mijn te Polgooth sprongen opvolgend twee van de drie. Dit achter elkander springen van een tweede en derde door voorafgaande komt welligt, doordat door het eerste springen de drukking in de volgende insgelijks eensklaps zoo aanzienlijk afneemt. Merkwaardig is, dat lang vóór de nieuwe feiten, welke DUPOUR thans heeft leeren kennen, men reeds zeer de aandacht vestigde op de verschijnsels, welke door hem thans beter zijn verklaard, zonder den waren sleutel daarvoor te kunnen vinden. Om slechts één enkel bewijs hiervan uit de vele te kiezen, lezen wij onder anderen in het aangehaalde werk van ARAGO: „Si, dans un cas extrême, comme celui que je viens de rapporter, l'ouverture d'une soupape peut amener la rupture de la chaudière, il doit arriver fréquemment, que cette ouverture, sans occasionner aucun accident, détermine cependant une augmentation sensible et brusque dans la force élastique de la vapeur. Le phénomène, dans ces limites, peut être étudié sans trop de danger. Je sais, qu'à Lyon l'expérience a été tentée, et que sur une petite chaudière à haute pression, dès qu'on ouvrait un large robinet

de décharge, *la soupape de sûreté se levait*. Je dois dire, qu'à Paris, DULONG et moi, nous avons toujours vu au contraire une diminution de tension accompagner l'ouverture des soupapes; *mais je n'en régarde pas moins l'expérience de Lyon comme certaine*, puisqu'elle a pour garants M. FABAREAU, directeur de l'Ecole de la Martinière, et M. REY, professeur de Chimie." (bl. 129)."

Het is gebleken, en ook de proeven van DUFOUR hebben het doen zien, dat aangezuurd water gemakkelijker in zijn kookpunt vertraagd wordt. In overeenstemming hiermede zijn te Aberdare in Engeland onlangs twee ketels gesprongen, wier water zuur was en de wanden zeer had aangevreten. Mr. FAIRBAIRN heeft de stukken aan de *Philosophical Society* te Manchester vertoond (*Cosmos*, April 1864).

Tegenover dergelijke gevallen worden er nu slechts enkele aangehaald, bij welke op het oogenblik van springen alles juist in vollen gang was, en men de veiligheidskleppen, in plaats van ze te openen, meer dan gewoon bezwaard of zelfs geheel vast bevestigd had. En bovendien blijft het bij deze gevallen dan nog altijd de vraag, of niet eene scheur reeds de eigenlijke explosie is voorafgegaan, en daardoor dus vooraf in den ketel eene plotselinge aanzienlijke vermindering der drukking is ontstaan. Welligt speelt die vooraf ontstane scheur ook eene rol bij die gevallen, waarbij men de gesprongen ketels op vele plaatsen zeer verdund en in slechten staat heeft aangetroffen. ARAGO citeert een schrijven van PERKINS, die hem mededeelt het springen van eenen ketel, waarbij de eigenlijke explosie voorafgegaan werd door een scheur, door welke eerst de stoom in een geweldigen straal ontsnapte. Onmiddellijk daarop kreeg de ketel zulk een verbazenden schok, dat hij in zijn geheel eenige ellen hoog in de lucht werd opgeworpen, en zich aldaar eensklaps in eene bovenste en onderste helft scheidde. De eerste vloog hoog in de lucht op, en de tweede kwam met een geweldigen slag tegen den bodem (bl. 134). In de metaalsmelterij te Pittsburg, in Amerika, is eenmaal het geheele uiteinde van eenen ketel in eens in eene regte lijn onder eene helling van ongeveer 45° door het dak heen en tot op 183 meters afstand weggevlogen. Dit geval is waarschijnlijk meer tot het ontstaan eener scheur dan tot eene explosie terug te brengen.

Ten slotte bespreekt DUFOUR nog de middelen, behalve de reeds algemeen voorgeschrevene, welke het meest afdoende zullen zijn om explosie te voorkomen. Hij vereenigt zich hieromtrent met het reeds door DONNY aangegeven

middel, te weten het voortdurend brengen van lucht in het water; en raadt daarvoor digt bij den wand eene platina-plaat als negatieve elektrode in het water te hebben, den ketelwand zelve als positieve elektrode te doen dienen, en op die wijze met eene galvanische batterij voortdurend eenig waterstofgas van de platina plaat te doen ontwikkelen. Als zoodanig is zijn middel misschien beter dan dat van DONNY zelve, die enkel stroompjes van luchtbelletjes door het water wil doen opstijgen; omdat het tot heden niet zeker is, of lucht alleen wel even goed de vertraging voorkomt, als wanneer zij zich in het vocht van eene vaste vlakke ontwikkelt. Laat men in het vocht in de retort van figuur 3, als het kookpunt onder verminderde drukking vertraagd is, luchtballen alleen opstijgen, dan gaat het water daardoor niet zoo koken, als wel het geval is, wanneer men waterstof- en zuurstofgas van de elektroden laat ontwikkelen.

Ook het in beweging houden van het water in den ketel, zoo als FOGGENDORFF heeft aangeraden, is welligt zeer aan te bevelen.

Utrecht, Maart 1865.

---