



UN LIBRARY

MAY 15 1961



UNITED NATIONS  
CONFERENCE COLLECTION  
ON NEW SOURCES  
OF ENERGY

CONFÉRENCE  
DES NATIONS UNIES  
SUR LES SOURCES NOUVELLES  
D'ÉNERGIE

Distr.  
LIMITED

E/CONF.35/G/44/SUMMARY  
22 April 1961

ENGLISH/FRENCH  
ORIGINAL: ENGLISH

SOLAR ENERGY, WIND POWER AND GEOTHERMAL ENERGY

ÉNERGIE SOLAIRE, ÉNERGIE ÉOLIENNE ET ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE

Agenda item/Point de l'ordre du jour:

II.A.2.(a) -

Harnessing of geothermal energy and geothermal electricity production -  
Methods and equipment for harnessing geothermal energy

Exploitation de l'énergie géothermique et production d'électricité  
au moyen de l'énergie géothermique -  
Procédés d'exploitation de l'énergie géothermique; matériel  
nécessaire

CASING FAILURES IN GEOTHERMAL BORES  
AT WAIRAKEI

By J. H. SMITH, B.E., B.Sc., A.M.I.C.E.,  
A.M.I.Mech.Eng., A.N.Z.I.E.

Geothermal Engineer  
Ministry of Works, New Zealand

RUPTURES DE TUBAGES DANS LES PUITES  
GÉOTHERMIQUES DE WAIRAKEI

Par J. H. SMITH, B.E., B.Sc., A.M.I.C.E.,  
A.M.I.Mech.Eng., A.N.Z.I.E.

Ingénieur spécialisé en travaux géothermiques  
Ministère des travaux publics, Nouvelle-Zélande

PAPERS HAVE BEEN CONTRIBUTED TO THE UNITED NATIONS CONFERENCE ON NEW SOURCES OF ENERGY BY INVITATION AND ARE FOR DISTRIBUTION AS WORKING PAPERS FOR THAT CONFERENCE. THEY ARE PUBLISHED AS PRESENTED BY THE AUTHORS, AND THE CONTENTS AND THE VIEWS EXPRESSED ARE THOSE OF THE AUTHORS.

(See notes overleaf)

LES AUTEURS ONT PRÉSENTÉ SUR INVITATION À LA CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES SUR LES SOURCES NOUVELLES D'ÉNERGIE DES MÉMOIRES QUI SERONT DISTRIBUÉS COMME DOCUMENTS DE TRAVAIL DE LA CONFÉRENCE. CES MÉMOIRES SONT PUBLIÉS TELS QUE LES AUTEURS LES ONT RÉDIGÉS ET LES VUES QU'ILS CONTIENNENT SONT CELLES DES AUTEURS.

(Voir notes au verso)

## NOTES

1. The working languages of the Conference are English and French. All papers contributed are reproduced in one or other of these two languages. Where a paper has been reproduced in both working languages for the convenience of a rapporteur, both language versions are provided as part of the Conference documentation.

2. Where any paper has been contributed in one of the official languages of the UN other than English or French, then it has been made available to the conference in that language. A translation of such papers in either English or French (according to the request of the relevant rapporteur) is provided.

3. Summaries of all papers, as presented by the authors, will be available in both working languages—English and French. Summaries will not include diagrams and photographs and should be read in conjunction with the paper proper, which will bear the same reference number as the summary.

4. Papers and summaries will not be generally available for distribution to other than participants and contributors to the Conference until after the Conference, under publication arrangements to be announced.

1. Les langues de travail de la Conférence sont l'anglais et le français. Tous les mémoires présentés sont reproduits dans l'une ou l'autre de ces deux langues. Lorsqu'un mémoire est reproduit dans les deux langues de travail sur la demande d'un rapporteur, la version anglaise et la version française du mémoire font toutes deux parties de la documentation de la Conférence.

2. Lorsqu'un mémoire est présenté dans une langue officielle de l'ONU autre que l'anglais ou le français, il est publié dans cette langue. Les mémoires appartenant à cette catégorie sont en outre publiés en traduction anglaise ou française (selon la demande du rapporteur chargé du sujet considéré).

3. Des résumés de tous les mémoires, établis par les auteurs eux-mêmes, seront publiés dans les deux langues de travail: anglais et français. Les résumés ne contiendront ni diagrammes ni photographies, et il conviendra de les rapprocher du mémoire lui-même, qui portera le même numéro de référence que le résumé.

4. Les mémoires et les résumés ne pourront en général être distribués à des personnes autres que les participants et les auteurs qu'après la Conférence et selon des modalités de publication qui seront annoncées ultérieurement.

## CASING FAILURES IN GEOTHERMAL BORES AT WAIRAKEI

by

J.H. SMITH B.E., B.Sc., A.M.I.C.E., A.M.I.Mech.E.,  
A.N.Z.I.E.

Geothermal Engineer

Ministry of Works, Wellington, N.Z.

### Summary.

1. Casing failures have occurred due to erosion and thermal effects. Corrosion has been of no consequence even though sulphuretted hydrogen is present in the steam. The highest grade of casing used is API J55.
2. In bores completed with open hole below the production casing (which was the earlier practice) large quantities of rock and grit were frequently ejected on first opening, particularly where the producing formation was not very permeable. The resulting erosion was mainly confined to the upper casing and wellhead. Blockages were frequent. Throttling the discharge was tried but blockages were troublesome.
3. More recent practice is to install slotted casing in the open hole. This has generally proved beneficial but sometimes steam output is less and ejection of sand and grit may continue for a long time.
4. Failures caused by thermal effects are collapse and parting at joints in production casing.

5. Two bores suffered collapse of production casing within the length enclosed by the anchor casing. Detailed investigation of one showed that cement was absent in the region of the collapse and the only feasible explanation for the collapse is that water separated from the cement slurry and was trapped in the annulus between casings. On subsequent heating when the bore was discharged the pressure exerted by the confined water exceeded the collapse resistance of the production casing which was less than the bursting strength of the anchor casing. As a possible safeguard the collapse resistance of production casing should exceed the bursting strength of anchor casing (a practice now adopted) but it is more important to ensure that pockets of confined water do not occur by adoption of good cementing practices.

6. Parting of casing at some joints has occurred in several bores, pulling out occurring when cold water is injected into the bore. When the bore subsequently heats up the casing expands and the end of the casing may foul the coupling due to misalignment. Then the casing becomes gashed. Caliper surveys have shown that at some couplings the end of the casing is squeezed in suggesting that the joint has failed in compression partially or completely. During repair operations absence of cement has been found over a long length embracing a failed joint, or pressure tests and squeeze cementing have indicated absence of cement.

7. With the absence of cement the most likely mode of joint failure is an initial failure in compression and subsequent contraction on cooling permits an easy pull out from the coupling. Some evidence indicates initial failure in tension in some cases.

8. Thermal stresses in casing exist only after bonding of cement becomes effective. The temperature existing at time of bonding is referred to as the neutral temperature. It would vary over the length of the casing.

9. Thermal stresses are transmitted through the cement to an outer casing or to the formation and bond stresses are low even though thermal stress in the casing may be high.

10. The total stress in an uncemented intermediate length of casing must be transmitted to bonded casing above and below it, and if joints occur in this length they may fail.

11. After cementing casing it is subjected to various cycles of heating and cooling - on resumption of drilling, while standing shut after drilling is completed, when discharging, and when cooled during maintenance operations.

12. At Wairakei the extremes of temperature to which casing could be subjected under various conditions are  $20^{\circ}\text{C}$  and  $260^{\circ}\text{C}$ , and they could occur at any depth in the casing.

13. Observations in some bores indicate a neutral temperature of about  $80^{\circ}\text{C}$ . In others it is undoubtedly much higher.

14. If axial movement is prevented the stress in the casing is  $370 \text{ lb/sq.in. per } ^{\circ}\text{C}$  change of temperature and is independent of the length.

15. An analysis is made of the strength of a casing string comprising API  $8\frac{5}{8}"$  J55 36 lb/ft casing with short threads. Significant properties are:-

Minimum joint strength in tension	448,000 lb
Body yield strength in tension	568,000 lb
Body ultimate tensile strength	775,000 lb
Joint strength/body yield strength	0.79

It is assumed that the yield strength and joint strength in compression are equal to the strengths in tension.

16. A temperature change of  $149^{\circ}\text{C}$  above or below the neutral temperature would cause a stress of  $55,000 \text{ lb/sq.in.}$  if the proportional limit is not exceeded. The latter is somewhat less than  $55,000 \text{ lb/sq.in.}$  for J55 casing and a temperature change of say  $145^{\circ}\text{C}$  would reach the proportional limit.

17. When the yield strength is reached the elongation is about 0.5%. This would require a temperature change of about  $370^{\circ}\text{C}$  (assuming a thermal coefficient of expansion of  $13.5 \times 10^{-6}$  per  $^{\circ}\text{C}$ ). This is much greater than occurs so the yield stress would not be exceeded.

18. A temperature change of say  $220^{\circ}\text{C}$  would produce a stress lying between the proportional limit and the yield strength.

As the temperature changes, even in extreme cases, should not exceed  $220^{\circ}$  failure in the body of the casing should not occur, nor should the yield strength be exceeded.

19. The joint strength is 79% of the yield strength. Hence a temperature change of  $118^{\circ}\text{C}$  (i.e.  $0.79 \times 149^{\circ}\text{C}$ ) would cause a total stress in the body of the casing equal to the joint strength. Any greater change in temperature would cause failure at the joint.

20. This temperature change is approximately that which would occur for a neutral temperature lying midway between the extremes mentioned in paragraph 12. On this basis the joint would be on the point of failure either in tension or compression. A lower neutral temperature would promote a compression failure when the bore is hot, and vice versa.

21. Lack of initial straightness, or lateral deflection, causes compressive stress to be applied eccentrically and induces high bending stress if the casing is unsupported laterally. The bending stress augments the direct compressive stress and promotes possible joint failure. A thermal compressive stress of 30,000 lb/sq.in. (equivalent to 80°C change of temperature) applied with an eccentricity of 1" would cause a bending stress of about 14,500 lb/sq.in. in the casing referred to above and considered as a short column. For long unsupported lengths the usual considerations for long columns apply.

22. Experience at Wairakei indicates that joint failure does not occur if the annulus is filled with cement. To combat loss of cement slurry to thief formations the use of low density slurry with low water loss properties is beneficial.

23. Otherwise, high strength joints are required. If the casing yields the required joint strength would be lower than in a high strength casing which does not yield. High strength casing may be unsatisfactory if stress corrosion is a factor. Internal upsets at joints are not favoured owing to possibility of enhanced erosion.

24. Possible ways of reducing thermal stress are (a) to circulate hot fluid prior to or after cementing in situations where the formation is naturally cool, or (b) to adopt a stage cementing procedure, cement the lower section of casing and apply a high pull while the upper section is cemented.

---

## RUPTURES DE TUBAGES DANS LES PUITES GEOTHERMIQUES DE WAIRAKEI .

Par J.H. SMITH B.E., B. Sc., A.M.I.C.E., A.M.I. Mech.E., A.N.Z.I.E.  
Ingénieur spécialisé en travaux géothermiques  
Ministère des Travaux Publics, Wellington,  
Nouvelle-Zélande

### Résumé

1. On a observé des ruptures de tubage causées par l'érosion et les sollicitations thermiques. La corrosion n'a présenté aucune importance, bien qu'il y ait de l'hydrogène sulfuré dans la vapeur. La meilleure qualité de tubage dont on se serve est conforme à la norme A.P.I. J 55 .
2. Dans les puits qui se terminent par un trou en pleine roche au-dessous du tubage de production (ce qui se faisait dans le temps) il est arrivé que de grosses quantités de roches et de cailloux soient éjectées dès que l'on ouvrait un passage à l'outil, particulièrement lorsque la formation productrice n'était pas très perméable. L'érosion que ceci provoquait se limitait habituellement à la partie supérieure du tubage et à l'orifice du puits. Les engorgements étaient fréquents. On a essayé la méthode consistant à étrangler l'éruption mais les engorgements restaient gênants.
3. La pratique plus récente consiste à installer des revêtements rainurés dans la partie ouverte du trou. Ceci donne habituellement de bons résultats mais il arrive parfois que la production de vapeur s'en trouve réduite et que les jets de sable et de graviers se poursuivent pendant longtemps.

4. - Les ruptures dues aux sollicitations thermiques sont le bris et la séparation des éléments de tubage de production au niveau des raccords.

5. - Deux puits ont souffert d'un bris du tubage de production sur la longueur protégée par le cuvelage d'ancrage. Une étude détaillée de l'un de ces puits a révélé que le ciment manquait dans la région en cause et il y avait une seule explication possible pour la rupture: l'eau s'était séparée de la bouillie employée pour préparer le ciment et avait été prise dans l'espace annulaire laissé entre les tubages. Lorsque la température montait quand le puits débitait, la pression exercée par l'eau était emprisonnée dépassait la résistance du tubage de production à l'écrasement, laquelle était inférieure à la résistance du tubage d'ancrage à l'éclatement (pratique actuellement adoptée). Le plus important est donc d'éviter la constitution des poches d'eau en adoptant de bonnes techniques de cimentage.

6. - La rupture du tubage à certains raccords s'est produite dans plusieurs puits, avec émission de fragments, à la suite de l'injection d'eau froide. Quand on le chauffe, le tubage se dilate et l'extrémité d'un élément peut aller porter à faux contre le raccord en raison d'un défaut d'alignement, ce qui crée une fente dans cet élément. Les observations faites au calibre ont révélé qu'il y a des accouplements ou des raccords contre lesquels l'extrémité de l'élément de tubage est rétrécie par la compression, ce qui suggère que le raccord a cédé partiellement ou totalement à la compression. Au cours des travaux de réparation, on a découvert que le ciment manquait sur une grande longueur, comportant un raccord ayant cédé, ou bien encore des essais sous pression et le cimentage par injection ont indiqué ce manque de ciment.

7. - Avec l'absence de ciment, la modalité la plus fréquente de rupture d'un raccord est une rupture en compression, suivie d'une contraction lors du refroidissement, ce qui permet au tubage de se dégager facilement du raccord. Il ressort de certaines indications, qu'une rupture à la traction précédait parfois ces incidents.

8. - Les sollicitations thermiques dans le tubage ne se présentent qu'une fois que le ciment se lie. La température qui règne à ce moment est appelée température neutre. Elle varie sur la longueur du tubage.

9. - Les sollicitations thermiques sont transmises à un revêtement extérieur ou à la formation rocheuse traversée, par l'entremise du ciment, et les tensions qui apparaissent dans l'agglomérat sont faibles, bien que ces sollicitations thermiques puissent être élevées pour le tubage.



10. La sollicitation globale qui se manifeste dans une longueur intermédiaire non cimentée du tubage peut être transmise au cuvelage pris dans le ciment situé au-dessus et au-dessous d'elle et si des raccords se trouvent sur cette longueur, il se peut qu'ils cèdent.

11. Le tubage, après avoir été cimenté, est soumis à divers cycles de chauffage et de refroidissement -- quand on reprend le forage, quand on ferme après un forage, pendant la production et, finalement, quand on le laisse refroidir pendant les opérations d'entretien.

12. A Wairakei, les extrêmes de température auxquels le tubage peut être soumis dans diverses conditions sont 20° C et 260° C. Ils peuvent se présenter à tout niveau.

13. Les observations faites dans certains puits indiquent une température neutre de l'ordre de 80° C. Dans d'autres elle est indubitablement beaucoup plus élevée.

14. Si un obstacle quelconque s'oppose au déplacement axial, les sollicitations qui apparaissent dans les éléments de tubage sont de 370 lb/ pouce carré par °C de variation de température et indépendantes de la longueur (26 kg par cm<sup>2</sup>).

15. On présente une analyse de la résistance de la colonne de tubage constituée par des éléments API J55 de 8 5/8" (219 mm) de 36 lbs par pied, avec filetage court. Voici quelques caractéristiques importantes de ces éléments:

Résistance minimum du raccord à la traction:	448.000 lbs (203.208 kg.)
Limite de résistance du corps à la traction:	568.000 lbs (257.639 kg.)
Résistance maximum du corps à la traction:	775.000 lbs (351.532 kg.)
Rapport entre la résistance du raccord et la limite de résistance du corps:	0,79

On admet que la limite de résistance à la traction et la résistance du raccord à la compression sont égales aux résistances à la traction.

16. Une variation de 149° C au-dessus et au-dessous de la température neutre ferait apparaître une sollicitation de 55.000 lb/ pouce<sup>2</sup> (387 kg/cm<sup>2</sup>) si on ne dépassait pas la limite de déformation élastique. Cette dernière est un peu inférieure à 55.000 lb/ pouce carré pour le tubage J55 et une variation de température de 145° C par exemple ferait atteindre cette limite.

17- En fin de limite de déformation élastique, l'allongement est de l'ordre de 0,5%. Ceci exigerait une variation de température d'environ 370°C (en admettant un coefficient thermique de dilatation de  $13,5 \times 10^{-6}$  par °C). Cette valeur dépasse de beaucoup ce qui se produit réellement, si bien qu'on ne dépasserait pas la limite de résistance.

18- Une variation de température de 220°C, par exemple, produirait une sollicitation comprise entre la limite de déformation élastique et la limite de résistance. Pour autant que la variation de température même dans ces cas extrêmes ne doit pas dépasser 220°, toute rupture du corps du tubage doit être exclue et, aussi bien, on ne doit pas dépasser la limite de résistance.

19- La résistance maxima du raccord est égale à 79% de la limite de résistance du corps. En conséquence, une variation de température de 118°C (c'est-à-dire  $0,79 \times 149^\circ\text{C}$ ) ferait apparaître une sollicitation globale égale à cette résistance maxima du raccord dans le corps du tubage. Toute variation de température plus marquée provoquerait une rupture au raccord.

20- Cette variation de température est sensiblement celle qui se produirait si la température neutre se situait à mi-distance entre les extrêmes signalés au paragraphe 12.

Sur la base d'une telle hypothèse, le raccord serait sur le point de céder, soit en traction, soit en compression. Une plus basse valeur de la température neutre provoquerait une rupture par compression, une fois le puits chaud et vice-versa.

21- Tout élément qui n'est pas parfaitement droit au départ, toute déviation latérale, fait agir les sollicitations à la compression d'une manière excentrique, si le tubage n'est pas soutenu latéralement. Le moment de courbure augmente la sollicitation directe à la compression et peut provoquer une rupture du raccord. Une sollicitation thermique à la compression de 30.000 lb/pouce carré, (211 kg/cm<sup>2</sup>), (ce qui équivaut à une variation de température de 80° appliquée avec une excentricité de 1 pouce) (25 mm) est capable de faire apparaître un effort de flexion d'environ 14.500 lb/pouce carré (102 kg/cm<sup>2</sup>) dans le tubage mentionné ci-dessus et considéré comme constituant une colonne courte. Les considérations applicables aux colonnes longues jouent pour les grandes longueurs de colonne sans appui.

22- L'expérience acquise à Wairakei indique qu'il n'y a pas de rupture du tubage si l'espace annulaire est rempli de ciment. Pour éviter les pertes de bouillies de ciment dans des formations susceptibles de les absorber, on leur

donne une faible densité et on les choisit d'un type qui ne perd pas beaucoup son eau.

23. Dans le cas contraire, il faut employer des raccords à grande résistance. Si le tubage se déforme, la résistance de raccord nécessaire sera moindre que pour un tubage à forte résistance qui ne cède pas. Les tubages à grande résistance peuvent être peu satisfaisants si des sollicitations créées par la corrosion jouent un rôle. On recommande d'éviter tout matage à l'intérieur des raccords, étant donné la possibilité de faciliter l'érosion par ce genre de travail.

24. Les méthodes possibles pour réduire les sollicitations thermiques sont (a) la circulation d'un liquide chaud avant ou après le cimentage dans les situations où la formation est naturellement fraîche, ou (b) l'adoption d'une méthode de cimentage à faire par étapes en commençant par la partie inférieure du tubage et en exerçant une forte traction pendant qu'on cimente la partie supérieure.

