

16 AT7700126

SGAE BER. No. 2529

RT-98/75

OKTOBER 1975

Berichte der
Österreichischen Studiengesellschaft
für Atomenergie Ges. m. b. H.
Forschungszentrum Seibersdorf

HELIUMVERSUCHSKREISLAUF MIT SPANNBETONBEHÄLTER

HEINZ SCHMIDL

SGAE Ber.No. 2529

RT-96/75

Oktober 1975

HELIUMVERSUCHSKREISLAUF MIT SPANNBETONBEHÄLTER

Heinz Schmidl

vorgelegt auf der
39. Physikertagung 1975, München
gemeinsame Tagung mit der
Österreichischen Physikalischen Gesellschaft und der
Schweizerischen Physikalischen Gesellschaft vom
1. bis 5. September 1975

Österreichische
Studiengesellschaft für Atomenergie
Ges.m.b.H.
Lenaugasse 10 A-1082 Wien
INSTITUT FÜR REAKTORTECHNIK
Forschungszentrum Seibersdorf

HELIUMVERSUCHSKREISLAUF MIT SPANNBETONBEHÄLTERKurzfassung

Im vorliegenden Bericht wird kurz über die gesamten bis jetzt geleisteten Arbeiten am Projekt Spannbetonbehälter-Heliumversuchsstand berichtet. Er umfaßt somit den Aufbau des Spannbetonbehälters, die Instrumentierung desselben, die elektronische Datenverarbeitung, Entwicklungsarbeiten an den Heliumkomponenten sowie die Prüfprogramme.

HIGH TEMPERATURE HELIUM TEST RIG WITH PRESTRESSED CONCRETE PRESSURE VESSELAbstract

The report is given a short description of the joint project prestressed concrete vessel - helium test station as there is the building up of the concrete structure, the system of instrumentation, the data processing, the development of the helium components as well as the testing programs.

Fachkategorien: E 11, E 13

Deskriptoren: PRESTRESSED CONCRETE/PRESSURE VESSEL/
COMPONENTS FOR HTGR/HTGR TYPE REACTORS/
POWER REACTORS/PWR TYPE/STEAM GENERATORS

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. GRUNDSÄTZLICHES	1
2. AUFGABENSTELLUNG	2
3. DURCHFÜHRUNG	3
4. SPANNBETONBEHÄLTER MIT HEISSER DICHTHAUT	5
5. HOCHTEMPERATURKONZEPT	9
LITERATURVERZEICHNIS	

1. GRUNDSÄTZLICHES

Die Österreichische Studiengesellschaft für Atomenergie (SGAE), insbesondere das Institut für Reaktortechnik (RT) im Forschungszentrum Seibersdorf, hat es sich seit langem zur Aufgabe gesetzt, die Österreichische Industrie in ihrem Konkurrenzkampf auf dem Gebiet der Kerntechnik nach Kräften zu unterstützen. Einer der Wege, die dabei beschritten wurden, ist die Abwicklung von Gemeinschaftsprojekten zwischen SGAE und Industriepartnern.

In diesem Sinne wurde 1969 das Gemeinschaftsprojekt Spannbetonbehälter-Heliumversuchsstand begonnen, wobei natürlich auf langjährige Vorarbeiten und ein beträchtliches know-how der SGAE und der Partner zurückgegriffen werden konnte.

Am Gemeinschaftsprojekt sind folgende Firmen beteiligt:

Reaktorbau Forschungs- und Baugesellschaft m.b.H. & Co.(RFB)
getragen von den Firmen:

Ed. Ast & Co., Ingenieure, Bauunternehmung
Ing. Mayreder, Kraus & Co., Baugesellschaft
Allgemeine Baugesellschaft A. Porr AG.
H. Rella & Co., Baugesellschaft
Universale, Hoch- und Tiefbau AG.

Felten & Guilleaume, Fabrik elektrischer Apparate AG.

Vereinigte Edelstahlwerke AG. (VEW) (früher: Gebr. Böhler & Co. AG.
und Schoeller-Bleckmann-
Stahlwerke AG.)

Vereinigte Österreichische Eisen- u. Stahlwerke-Alpine Montanges.

Simmering-Graz-Pauker AG.
für Maschinen-, Kessel- und Waggonbau

Waagner-Biro AG.

Österreichische Studiengesellschaft für
Atomenergie Ges.m.b.H..

2. AUFGABENSTELLUNG [1 - 6]

Um der obgenannten Aufgabe gerecht zu werden, wurde die Errichtung und die Testung eines Reaktor-Spannbetonbehältermodells unter realistischen Betriebsbedingungen für gasgekühlte Hochtemperaturreaktoren in Angriff genommen. Dazu gehören Entwicklung und Erprobung von hitzebeständigen Betonsorten für Behälter und Wärmeisolierung, einer im direkten Kontakt mit dem Kühlmittel stehenden (heißen) Dichthaut, einschließlich der Penetrationen; eines Behälterdeckels mit neuartiger Niederhaltung, der auch für Leichtwasserreaktoren verwendbar ist und eines regelbaren Heiz-Kühlsystems für den Spannbeton. Der Auslegung wurde ein Betriebsdruck von 100 atü und eine Maximaltemperatur der Dichthaut von 300°C zugrundegelegt.

Weiters stellt die Entwicklung und die Erprobung einiger Komponenten des Wärmeübertragungssystems von gasgekühlten Hochtemperaturreaktoren für realistische Betriebsbedingungen eine wesentliche Aufgabe dar, insbesondere

der Dampferzeuger, als wichtige Komponente bei indirektem Kreislauf [7, 8]

der Rekuperator, als wichtige Komponente bei Kreislauf mit direkt geschalteter Gasturbine, und das Gasreinigungssystem.

Vorgesehen sind schließlich auch Testmöglichkeiten für sonstige Hochtemperaturkomponenten, wie z.B. bei der Untersuchung von

technologischen Problemen der Prozeßwärme bei hohen Temperaturen, sowie

neuartige Konzepte von Brennelementen von gasgekühlten Brutreaktoren.

Es handelt sich dabei um Vorkehrungen für eventuelle spätere Erweiterungen des Projekts. Es ist dazu eine Gastemperatur von 1000°C am Austritt aus der elektrischen Heizstrecke anzustreben. Ferner ist im Behälter ausreichend Raum für Versuchseinsätze vorgesehen.

3. DURCHFÜHRUNG [9 - 12]

Entsprechend dem vorgegebenen Programm, dessen Durchführung sich über einen längeren Zeitraum erstreckt, erscheint es zweckmäßig, den Arbeitsablauf in drei aufeinanderfolgende Abschnitte zu gliedern, die wie folgt, definiert werden können.

1. Auslegung, Konstruktion und Bau des Spannbetonbehälters

In dieser Phase wird der eigentliche Spannbetonbehälter errichtet. Dabei sind den Beton und den Isolierbeton betreffende Entwicklungsarbeiten vorab und parallel zur Errichtung durchzuführen und die gesamte Instrumentierung des Behälters vorzunehmen, wobei ebenfalls die Meßtechnik weit über den derzeitigen Stand der Technik vorangetrieben werden muß.

In dieser Phase müssen umfangreiche Vorarbeiten für die weiteren Phasen begonnen und teilweise auch schon abgeschlossen werden.

2. Versuchsbetrieb am Spannbetonbehälter-Helium-Versuchsstand

In dieser Phase wird die thermische Stabilität des Spannbetonbehälters ohne und mit Innendruck sowie bei Außentemperatur, als auch bei 300°C getestet, wobei sowohl auf die Verwendung für gasgekühlte Hochtemperaturreaktoren, als auch für Leichtwasserreaktoren gezielt werden soll.

Die Fertigung der Komponenten, die in der anschließenden Phase eingesetzt werden sollen, muß während dieser zweiten Phase erfolgen.

3. Versuchsbetrieb der Gesamtanlage

Zunächst sollen Komponenten von Hochtemperatur-Reaktoren (z.B. Dampferzeuger) entwickelt und getestet werden. Ein

späterer Übergang auf Komponenten, wie sie für die Hochtemperatur-Prozeßwärmeverwertung benötigt werden, ist geplant.

In dieser Phase werden Langzeittests betreffend den Spannbetonbehälter durchgeführt.

4. SPANNBETONBEHÄLTER MIT HEISSE DICHTHAUT [10 - 12]

Durch die Entwicklungstendenzen in der Energieversorgung kommt der Kernenergie wachsende Aktualität zu. Gleichzeitig werden aber die Sicherheitsanforderungen bei der Gewinnung der Kernenergie neu durchdacht mit dem Ziel, diese im Betrieb sauberste Form der Energiegewinnung vom Risiko eines Unfalles und der damit verbundenen Möglichkeit einer Verseuchung der Umwelt zu befreien. Dieser Zielsetzung fügt sich die Entwicklung eines Reaktordruckbehälters aus Spannbeton mit heißer Dichthaut und erhöhter Wandtemperatur sehr gut ein, weil damit das Bruchverhalten der wichtigsten Komponente des Primärkreislaufes eines Kernkraftwerkes, nämlich das des Druckbehälters, wesentlich verbessert wird. Selbst bei extremer Überlastung ist bei einem Spannbetonbehälter ein Sprödbruch ausgeschlossen.

Das Behälterkonzept entstand auf Grund von durchgeführten Analysen möglicher Störfälle von Behältern mit kalter Dichthaut. Die Ergebnisse dieser Analysen sowie die Berücksichtigung der langen Betriebsdauer von 30 bis 40 Jahren, der erforderlichen Betriebszyklen und auch verschiedener Forderungen der im Entstehen begriffenen Normen und Vorschriften haben zu folgenden Anforderungen an das Beton-Holzkühlsystem geführt:

Ausreichend hohe Anzahl zulässiger Lastwechsel bzw. Betriebszyklen, d.h. nur elastische Verformungen der Dichthaut im Normalbetrieb;

Zugänglichkeit der Dichthaut für Inspektion und Reparatur;

keine Relativbewegung der Dichthaut gegenüber dem Isolierbeton;

in keinem Betriebslastfall Zugspannungen in der Dichthaut;
Möglichkeit der Leck-Begrenzung und Auffindung;
keine aktiven Systeme im Primärbereich;
Stabilisierung des Behälters vor Inbetriebnahme.

Im einzelnen auf obige Punkte eingehend, ist folgendes zu sagen:

Um eine hohe Anzahl von Betriebszyklen zu gewährleisten, wird einerseits ein hochfester martensitischer Stahl mit niedriger Wärmedehnung verwendet, andererseits wird der Temperaturunterschied zwischen Dichthaut und Spannbeton durch Erhöhung der Spannbetontemperatur herabgesetzt. Dadurch wird die Amplitude der Zwängspannungen stark vermindert und diese auf den elastischen Bereich begrenzt. Die Spannbetontemperatur kann mit dem eingebauten Heiz-Kühlsystem geregelt und verschiedenen Betriebszyklen angepaßt werden.

Die heiße Dichthaut erfüllt die Bedingungen der Zugänglichkeit, weil die Wärmedämmung außerhalb des Druckraumes, zwischen Dichthaut und Spannbeton, angeordnet ist.

Die Dichthaut ist an ihren Enden voll eingespannt, die Zwängungskräfte aus verhinderter Wärmedehnung werden durch Spannglieder in den Beton geleitet. Die Verankerung mittels Kopfbolzen in den Isolierbeton dient nur der Beulsicherheit.

Der Behälter ist so ausgelegt, daß die Dichthaut im Normalbetrieb immer auf Druck beansprucht wird. Die Druck-Membranspannungen bleiben im elastischen Bereich.

Der Isolierbeton wird zwischen Dichthaut und einer sogenannten Kühlhaut, an der das erste Heiz-Kühlsystem befestigt wird, eingebracht. Bei entsprechender Ausführung bildet diese Kühlhaut eine zweite - kalte - Dichthaut. Im Isolierbeton ist ein Mehrzwecksystem zylindrischer Ausnehmungen angeordnet, das der Austrocknung des Isolierbetons, sowie der Lecksuche dient. Ein eventuell auftretendes Leck ist auf den Isolierbeton begrenzt. Der Isolierbeton stellt eine passive Wärmedämmung dar.

Alle Kühl- und Heizsysteme sind konventioneller Art und außerhalb der Kühlhaut (2. Dichthaut) angeordnet.

Unter Stabilisierung des Behälters verstehen wir, daß Schwinden, Kriechen und Relaxation des Isolier- und Spannbetons bei Inbetriebnahme weitgehend abgeklungen ist. Dazu soll der Behälter nach der Vospannung auf seine Betriebstemperatur von 120°C gebracht werden. Nach Abklingen der erhöhten und beschleunigten Relaxation werden die Spannungsverluste durch Nachspannen ausgeglichen. In der Folge ist während des Betriebes keine nennenswerte Relaxation mehr zu erwarten.

Dem Konzept liegt das Bestreben zugrunde, das wichtigste Glied des Beton -Kühlsystems, nämlich die heiße Dichthaut, soweit wie möglich zu entlasten. Die druckaufnehmende Vorspannung ist nicht Gegenstand unserer Entwicklungsarbeiten.

Die Bauarbeiten am Behälter mußten wegen der ausgiebigen Instrumentierung mit größter Sorgfalt durchgeführt werden.

Parallel zum Bau wurden die betontechnologischen Entwicklungsarbeiten weitergeführt, wobei die für Berechnung und Auslegung erforderlichen Materialkennwerte in den vorgesehenen Temperaturbereichen des Dauerbetriebes völlig neu erarbeitet werden müssen.

Dem Bau des Behälters ist die Errichtung eines Versuchsringes von 1 m Höhe und sonst den gleichen Abmessungen wie der Versuchsbehälter vorausgegangen. Mit diesem Versuchsring wurden mehrere volle Temperaturzyklen gefahren, wobei die Dichthaut Temperaturzwängungen ausgesetzt war, wie sie dem Reaktorstörfall des plötzlichen Druckverlustes entsprechen. Temperaturverlauf und Formänderungen am Baukörper wurden vermessen. An der Dichthaut zeigten sich keinerlei Schäden.

Die Abb. 1 zeigt den letzten Stand des Projektes.

5. HOCHTEMPERATURKONZEPT [7, 8]

Die Aufgabenstellung des vorliegenden Projektes ist, wie bereits erwähnt, nicht nur die Errichtung und Testung eines Reaktor-Spannbetonbehältermodells sondern auch die Entwicklung und Erprobung von Komponenten für gasgekühlte Hochtemperaturreaktoren.

Nach Abschluß der Hochtemperatur-Druckversuche am Behälter, die mit Wasser und Gas durchgeführt werden, wird in den Behälter ein He-Kreislauf eingebaut. Einerseits wird dadurch der Druckbehälter sinngemäß für Untersuchungen mit He-Gas bei 100 atü und 300 bis 1000°C, wie es bei Hochtemperaturreaktoren oder Gasbrütern der Fall ist, verwendet, andererseits ist dadurch eine weitere Testung des Betonbehälters auf längere Zeit eingeleitet.

Das wichtigste Element in diesem Kreislauf ist zunächst der Dampferzeuger. Dieser stellt die Wärmesenke im Spannbetonbehälter-Heliumversuchsstand dar, er hat die Wärmemenge von etwa 1 MW abzuführen. Die Problemkreise solcher Dampferzeuger berühren Gebiete wie Aerodynamik, Akustik, Wärmetechnik, Thermodynamik, Thermohydraulik sowie der Spannungsanalyse, Schwingungslehre und der Werkstoffkunde. Dazu ist die Forderung nach hoher Zuverlässigkeit und räumlicher Kompaktheit zu erfüllen, da heute die Dampferzeuger mit dem Reaktor im Spannbetonbehälter integriert werden.

Die bisherigen Untersuchungen bzw. Vorarbeiten haben zu einem Konzept des Versuchsdampferzeugers geführt, bei dem auf die repräsentative Ausbildung und die Testbarkeit bei vielfältigen und realistischen Betriebsbedingungen Wert gelegt wurde.

Das Konzept ist durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

1. Wie heute allgemein üblich, weist auch der Versuchsdampferzeuger als Heizfläche querangeströmte, mehrgängige und konzentrisch angeordnete Schraubenrohrzylinder auf, die in einem kreisringförmigen Gaskanal angeordnet sind.
2. Heute werden HTR-Dampferzeuger mit Aufwärts-Wasser/Dampf-Strömung (z.B. General Atomic) und auch solche mit Abwärts-Wasser/Dampf-Strömung (z.B. THTR-Schmehausen) geplant und gebaut. Erfordert die erstgenannte Lösung umständliche Gas-Umlenkungskanäle, so hat man bei der letztgenannten Bedenken bei der Stabilität des Dampferzeugers, besonders bei Teillast. Um beide Möglichkeiten an Versuchsdampferzeugern studieren zu können, wurde die Möglichkeit vorgesehen, durch einen relativ einfachen Umbau beide Störungen (sowohl auf der Wasser/Dampf-, als auch auf der Helium-Seite) realisieren zu können.
3. Als Besonderheit soll der Dampferzeuger zu Schraubenrohrzylindern verschweißte Flossenrohre aufweisen. Dieses Konzept wurde von Waagner-Biro AG. entwickelt, da der Problemkreis der Rohrschwingungen und des frettings (Abriebskorrosion in He-Atmosphäre) in den Rohrhalterungen einer befriedigenden Lösung bedarf. Bei Anwendung vollverschweißter Flossenrohrzylinder wird nicht nur die gasströmungsinduzierte, pulsierende Auftriebskraft auf das Rohr vermindert, da die Zirkulationsbildung um das Rohr weitgehend unterbunden ist, sondern es wird auch die Reibung in der Rohraufhängung weitgehend vermieden.

Der Dampferzeuger liefert überhitzten Dampf von 160 at und 450°C , während das eintretende Speisewasser bei einem Druck von 190 ata eine Temperatur von 250°C hat. Das äußere Dampfsystem muß also die zwischen diesen beiden Zuständen liegende Wärmemenge abführen, wobei das wärmeaufnehmende Kühlwasser seinerseits in einem Luftkühler rückgekühlt wird.

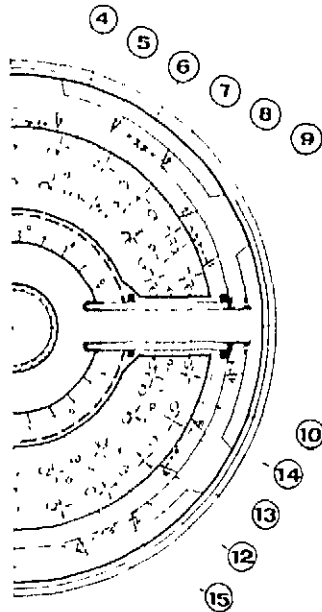
Es wird ferner die Forderung gestellt, Dampfzustand und Speisewassertemperatur in gewissen Grenzen regeln zu können, um das Verhalten des Dampferzeugers bei verschiedenen Drücken, Dampfmenge usw. studieren zu können.

Der hohe Druck und die Temperatur des Frischdampfes erfordern spezielle Maßnahmen bei der Wärmeabfuhr. Ein Kondensator üblicher Bauart kann weder Drücke von 160 at verkraften, noch dem Dampf die Überhitzungswärme entziehen, und überdies bedeutet die vorgegebene Speisewassertemperatur bei dem dazu verlangten Druck eine sehr starke Unterkühlung des Kondensates. Eine weitere Schwierigkeit ergibt sich mit diesen Auslegungsdaten für die Umwälzpumpe: Die geforderten Betriebsbedingungen liegen weit außerhalb der normalerweise üblichen Grenzen. Es ist deshalb notwendig, den Dampfwärmeentzug in mehreren - einander natürlich beeinflussenden - Verfahrensschritten vorzunehmen.

Dieses Wärmeabfuhrverfahren gestattet die Anwendung von Anlagenteilen, die in der konventionellen Kraftwerkstechnik bereits erprobt sind. Von dieser Seite her sind also keine Schwierigkeiten zu erwarten. Hingegen ist die Regelung dieses äußeren Kreises noch sehr genau zu überlegen, insbesondere im Hinblick auf das Stabilitätsverhalten, da bei der starken Vermaschung der Regelkreise Schwierigkeiten erwarten läßt.

Ein vereinfachtes Schema der Anlage ist in Abb. 2 zu sehen.

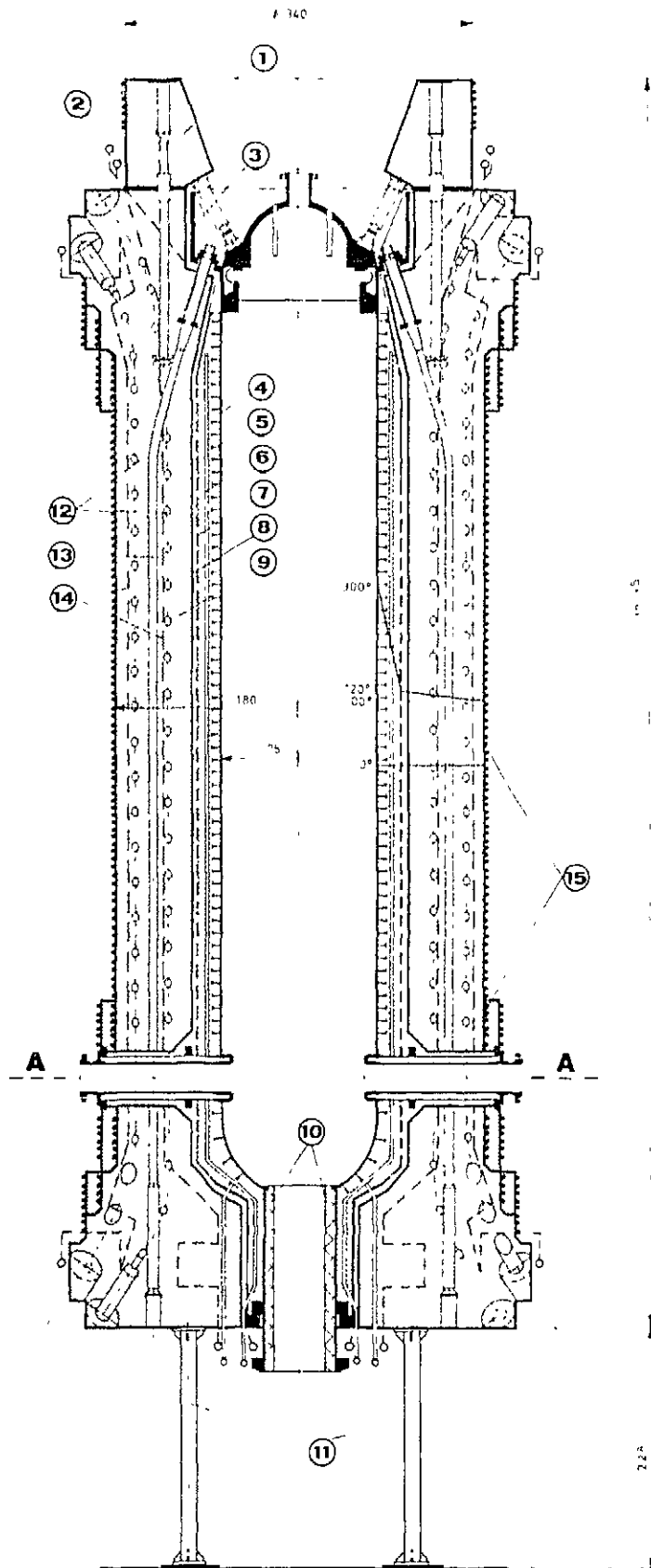
SPANNBETONBEHÄLTER MIT HEISZER DICHTHAUT



SCHNITT A-A

LEGENDE:

- 1 SPANNBETONRING
- 2 GLEITFUGE
- 3 STÜTZRING MIT AUSSTEIFUNG
- 4 HEISZE DICHTHAUT MIT KOPFBOLZEN-DÜBEL
- 5 ISOLIERBETON DRUCKÜBERTRAGEND
- 6 LECKPRÜF- UND ABFUHRSYSTEM
- 7 KÜHLHAUT
- 8 MÖRTELFUGE INJIZIERT
- 9 SPANNBETON
- 10 INNENISOLIERUNG
- 11 STAHLSTÜTZEN
- 12 SPANNGLIED BBRV WENDELFÖRMIG
- 13 SPANNGLIED BBRV LOTRECHT
- 14 HEIZ- UND KÜHL-SYSTEM
- 15 RINGSPANN-BEWehrUNG OYWIDAG



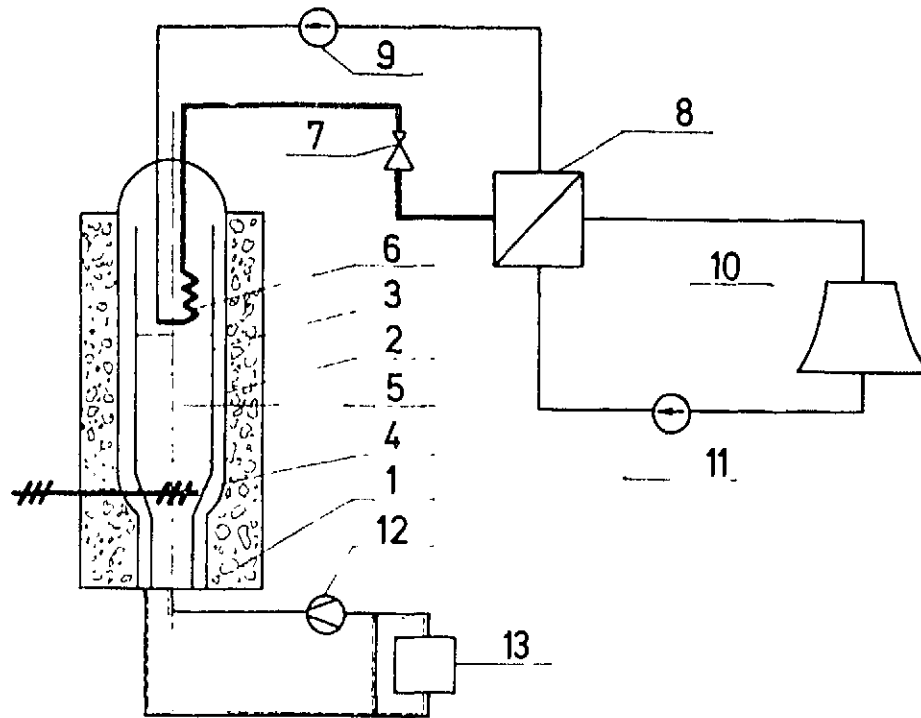


ABB. 2

- 1 Spannbetonbehälter
- 2 Dichthaut
- 3 Strömungskanal
- 4 Elektrische Heizung
- 5 Teststrecke für Komponenten
- 6 Dampferzeuger
- 7 Reduzierstation
- 8 Wärmetauscher
- 9 Druckerhöhungspumpe
- 10 Kühlturm
- 11 Kühlwasserpumpe
- 12 He-Gebälse
- 13 He-Gasreinigung

LITERATURVERZEICHNIS

- 1 Grumm, H.: Vorarbeiten zum Behälter- und Komponentenversuchsstand für gasgekühlte Hochtemperaturreaktoren
Int.TB-Nr.99, IRT, Nov. 1968
- 2 IRT und Industrie: Erster Zwischenbericht zum Gemeinschaftsprojekt Spannbetonbehälter-Heliumversuchsstand (Behälter- und Komponentenversuchsstand für gasgekühlte Hochtemperaturreaktoren)
Int.TB-Nr. 135, IRT, Jänner 1970
- 3 IRT und Industrie: Zweiter Zwischenbericht zum Gemeinschaftsprojekt Spannbetonbehälter-Heliumversuchsstand (Behälter- und Komponentenversuchsstand für gasgekühlte Hochtemperaturreaktoren)
Int.TB-Nr. 161, IRT, Jänner 1971
- 4 IRT und Industrie: Dritter Zwischenbericht zum Gemeinschaftsprojekt Spannbetonbehälter-Heliumversuchsstand (Behälter- und Komponentenversuchsstand für gasgekühlte Hochtemperaturreaktoren)
SGAE-Ber.No.2005, RT-43/72, Febr.1972
- 5 IRT und Industrie: Viertes Zwischenbericht zum Gemeinschaftsprojekt Spannbetonbehälter-Heliumversuchsstand (Behälter- und Komponentenversuchsstand für gasgekühlte Hochtemperaturreaktoren)
SGAE-Ber.No.2125, RT-58/73, Apr. 1973
- 6 IRT und Industrie: Fünfter Zwischenbericht zum Gemeinschaftsprojekt Spannbetonbehälter-Heliumversuchsstand (Behälter- und Komponentenversuchsstand für gasgekühlte Hochtemperaturreaktoren)
SGAE-Ber.No.2292, RT-75/74, Mai 1974

- [7] G. Beckmann,
K. Fritz,
J. Lippitsch: Neue Bauart für Wärmetauscher und
Dampferzeuger
ACHEMA 1973, Frankfurt/M., Juni 1973;
Verfahrenstechnik 7, No.11,
S.322-324 (1973)
- [8] G. Beckmann,
K. Fritz,
H. Lendl,
P.V. Gilli: Flow stability and dynamic behaviour
of nuclear boilers
BNES Symposium on Boiler Dynamics
and Control in Nuclear Power Stations,
London, March 1973, Paper 15
- [9] H. Grumm,
J. Némét,
H. Zemann: Development of a prestressed concrete
vessel with hot liner.
J. Brit.Nucl.Energy Soc., 14, 1, S.57,
(1975)
- [10] J. Némét: Reaktordruckbehälter aus Spannbeton
mit heißer Dichthaut.
1st Intern.Conf.Struct.Mech.in Reactor
Technology, Berlin, Sept. 1971, Paper III, c.
- [11] J. Némét: The Austrian PCRV project with a hot
liner - a status report.
2nd Intern.Conf.Struct.Mech.in Reactor
Technology, Berlin, Sept. 1973, Paper 3/8.
Nucl.Eng.and Des. 29, 2, S. 189 (1974).
- [12] J. Némét,
H. Kopp,
A. Jungmann,
L. Zwingenberger: Safety design of a PCRV with hot liner
and elevated wall temperature.
3rd Intern.Conf.Struct.Mech.in Reactor
Technology, London, Sept.1975, Paper H5/5.



SGAE-Berichte

Eigentümer, Herausgeber, Verleger und Druck:

Österreichische Studiengesellschaft für Atomenergie Ges.m.b.H.

Nach dem Pressegesetz verantwortlich: Prof. Dr. Hans GRÜMM,
alle Lenaugasse 10, 1082 Wien, Tel. (0222) 42 75 11, Telex 7-5400.

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor.