

# The contribution of the Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne on development of prestressed concrete

Autor(en): **Favre, Renaud**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **96 (1978)**

Heft 14

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73667>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

sion) n'ont fait apparaître aucun phénomène particulier. La pression atteinte à la rupture fut égale à 240 kg/cm<sup>2</sup>. Elle se manifesta par la rupture de la peau d'étanchéité de certaines cavités périphériques et par la rupture d'un câble annulaire (fig. 5 et 6).

Pour un grand nombre des câbles annulaires, dans la partie centrale du fût, ainsi que pour les câbles verticaux

situés autour des cavités périphériques, la limite élastique théorique  $\sigma_{0,2}$  fut atteinte, voire même dépassée.

Cette étude se poursuit actuellement par des essais étendus relatifs au comportement des peaux d'étanchéité ancrées dans le béton chaud et soumises à une compression importante.

## The contribution of the Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne on development of prestressed concrete

### Brief historical summary of the institute

In 1853, two professors of the *Academy of Lausanne* and three engineers who had studied in *Paris* founded the «Special Institute of Lausanne» on a private basis. It was incorporated in the Academy of Lausanne in 1869. In 1890 the Academy became the «*University of Lausanne*» and the *technical faculty* became part of the *faculty of science*, under the name «*Institute of Engineering*». In 1946, together with the *Institute of Architecture*, was founded the «*Technical Institute of the University of Lausanne*» (EPUL), official establishment of the county Vaud and autonomous within the university.

As the charge of such an Institute is beyond the means of a county, as large investments are ineluctable if the high standard of the Institute is to be maintained, it changed status in 1969 and became the «*Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne*» (EPFL). That means, as from this date, the EPFL is financed by the Swiss Confederation, in the same way as the «Eidgenössische Technische Hochschule of Zürich» (ETHZ). Consequently, there are two «Swiss Federal Institutes of Technology», one in Zürich, the other in Lausanne. The organization and teaching of these two Institutes are very similar. The main difference lies in the language.

### Activity of the Institute of Reinforced and Prestressed Concrete (IBAP)

This Institute is attached to the *Department of Civil Engineering* and includes about twenty collaborators. It is directed by Professors *R. Favre* and *R. Walther* with the collaboration of Professor *J.-P. Delisle* and dispose of two test slabs. One of these test slabs was created in 1969 by Professor *F. Panchaud* in an entirely air-conditioned hall, adjoining the *Department of Materials* (Fig. 1). The other is under construction and situated on the new premises of the EPF at *Ecublens* (Fig. 2).

The activity of the Institute of Reinforced and Prestressed Concrete is oriented towards both *basic research* and *practical research*. These comply with the demands of the construction industry and include tests on large sized models in the fields of the building trade as well as bridges and nuclear power plants. They nearly always concern prestressed structures. The basic research is directed mainly to study the quality of the works, meaning its behaviour, when in condition of service. For this purpose much research has been undertaken to study the *real deformation at long-term of concrete beams and slabs cast into place, prestressed or not*, as well as on *precast beams, made monolithic after posing*. The *redistribution moments*, the *cracking and evolution of deformation* are studied on large sized models.

### Some recent tests and tests in course

*Experimental study of the behaviour of reinforced and prestressed-continuous concrete slabs, measured after the elasticity and plasticity theory*

Since the *Directive 34 of the norm SIA 162 (1976)* came into force, the application of the theory of plasticity for detailing reinforced and prestressed concrete works is authorized. This is why we made a study of the above-mentioned, so as to obtain basic experimental data on the behaviour of reinforced and prestressed concrete slabs (rotation capacity, redistribution of moments, opening of cracks, size of deflection). Seven continuous slabs (slab strips) of two spans in dimension and equal ultimate charges, were chosen (Fig. 3). Three slabs were detailed according to the elasticity theory ( $EI = \text{const.}$ ) and four according to the

plasticity theory in admitting (in the state of rupture) a transfer of the efforts on support of 30%. The two main parameters have been, first of all, the quantity of steel necessary to cover the bending moment at the intermediate support section, secondly, the degree of prestressing  $\lambda$ .

The slabs detailed according to the plasticity theory behaved in a very satisfactory manner, both in the state of service and state of rupture. In the state of service the largest crack did not exceed 0,3 mm in the reinforced concrete slabs and 0,16 mm in the prestressed concrete slabs. We were able to establish that weak prestressing highly limits larger openings in the cracks and deflections (Fig. 4).

### Tests on segmental precast beams

Since 1974, theoretical and experimental research has been undertaken to study the *cracking of prestressed beams with the aid of segmental precast units*. This type of construction, which has already been carried out hundreds of times in the execution of bridges, buildings, halls, stadiums, etc, does not need to be introduced here. The objective of this study is to examine the behaviour in the state of service of such constructions, particularly to control the criteria of checking the sections of the joints. These are generally calculated in such a way that under the effect of an unfavorable combination of overload, there is no stress of traction in the joint. Now, we can affirm that the criteria *must be revised*. It is far more important for the quality of the works to behave as favourable as possible under the effect of charges and phenomena at long term (proper weight, permanent overload, prestressing, creep, shrinkage, temperature variations) than to forbid a decompression of the joint under momentary effects of combinations of the live load.

The laboratory tests were undertaken on 3 beams of 8 m in length, submitted to 2000000 cycles of load (Fig. 1). Furthermore, we proceeded to test 7 tiebeams including a joint in the middle between the two precast elements. These tiebeams are prestressed with one or several prestressing cables of different types (strands, wires, thread-bars). As long as the cables are well injected, they serve as reinforcement and limit the opening of cracks in the joint when there is decompression. These cracks close however, as soon as the decompression disappears, that is to say, as soon as the momentary overcharge which develops the decompression, stops working.

### Tests on a nuclear pressure vessel with multiple cavities

In the framework of a study between the *Federal Republic of Germany* and *Switzerland* for development in *nuclear power plants* equipped with a *high temperature reactor with a helium turbine functioning in direct cycle* (Project HHT)<sup>1</sup>, the Office of *Bonnard & Gardel* charged us to undertake tests on a model of 1/20 in scale.

This model of cylindrical form was 195 cm high and 240 cm in diameter, corresponding to 39 m resp. 48 m in actual size. The model was made of microconcrete (the aggregates not exceeding 6 mm). It was prestressed in three dimensions by means of a triple

<sup>1</sup> These studies are the result of an agreement among the Republic of West-Germany, the State of North-Rhineland-Westphalia and Switzerland. They were conducted with the collaboration of the companies: *Brown-Boveri, Sulzer, the Swiss Federal Institute for Reactor Research, Hochtemperaturreaktorbau GmbH, Kernforschungsanlage Jülich GmbH* and *Nukem GmbH*.

system of cables: vertical, hooping and horizontal. These cables numbering 254 were mono-strands non-injected (unbonded).<sup>2</sup> The main objective of the tests was to determine the scheme of ruin and the coefficient of security at rupture of the vessel as well as the limit of elastic and reversible behaviour. The model, built in 1975, was annalized under constant interior working pressure in the cavities and increased up to the point of rupture. The behaviour of the model was globally elastic until an interior pressure ranging from about 120 to 130 kg/cm<sup>2</sup> was reached. This corresponds to

<sup>2</sup>) See: - "Tests on model of a prestressed concrete nuclear pressure vessel with multiple cavities", by R. Favre, M. Koprna, J.-P. Jaccoud, Volume 36-II, The memories of the AIPC;

- "Behaviour of a nuclear pressure vessel model with multiple cavities", by same authors, Publication No. 161 of EPFL.

approximately twice the maximum working pressure of 65 kg/cm<sup>2</sup>. The longterm tests (pressure maintenance) revealed no unusual phenomena. The pressure attained at the time of rupture was 240 kg/cm<sup>2</sup>. The rupture appeared through the braking up of the stanch skin of some of the peripheral cavities and by the rupture of a hooping cable (Fig. 5 and 6). For the majority of the hooping cables, situated in the central section of the vessel, as well as for the vertical cables around the peripheral cavities, the elastic limit was reached or even exceeded.

This study is being continued by extended tests related to the behaviour of the stanch skin, anchored in warm concrete and subject to an important compression.

Adresse de l'Auteur: R. Favre, Professeur à l'EPFL, Institut de béton armé et précontraint, 33, av. de Cour, 1007 Lausanne.

## Beitrag der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt (EMPA) zur Entwicklung der Vorspanntechnik

Von Marc Ladner, Dübendorf

In den letzten Jahren hat in der Entwicklung der Vorspanntechnik eine gewisse *Akzentverschiebung* stattgefunden. Diese spiegelt sich deutlich in der Art der Aufträge wider, welche die EMPA für die angesprochene *Industrie* durchzuführen hatte. Waren vor einigen Jahren auch noch grössere Untersuchungen an Spannbetonbauteilen durchzuführen – etwa an grossen Spannbetonträgern mit Aussparungen im Steg [1] oder an Betongelenken für eine Gerberträgerbrücke –, so konzentrierten sich die Arbeiten in jüngster Zeit hauptsächlich auf die Untersuchung von *grossen Spannmitgliedern* und deren *Verankerungen* auf ihr *Ermüdungsverhalten unter schwingend aufgebracht Belastung* sowie unter *extremen Temperaturbedingungen*. Da diese Probleme nicht spezifisch für den Spannbetonbau sind, sondern sich auch bei all jenen Konstruktionen stellen, bei denen grosse Kräfte mittels Seilen oder Kabeln aufgenommen werden müssen, wie z.B. bei abgespannten Netztragwerken oder Schrägseilbrücken, so ist es wohl kaum verwunderlich, dass sich die Tätigkeit der EMPA auch auf diese Gebiete erweitert hat. Im folgenden soll nun versucht werden, anhand einiger Beispiele diese Entwicklungstendenzen aufzuzeigen.

### Prüfeinrichtungen und Versuche

Im Jahr 1969 wurde an der EMPA eine Versuchseinrichtung entwickelt, die es erstmals erlaubte, *Ermüdungsversuche mit Schwingweiten von bis zu 2,5 MN bei Oberlasten von bis zu 6,7 MN mit einer Frequenz von 4,2 Hz* aufzubringen. Eine ausführliche Beschreibung dieser Anlage ist in [2] gegeben. Mit Hilfe dieser Anlage war es möglich, dass Hi-AM (High-Amplitude)-Verankerungssystem bei Paralleldrahtbündeln und bei Litzenbündeln, das für die *Rheinbrücke Mannheim-Ludwigshafen* und für die *Überdachung der Olympia-Sportstätte in München* zur Ausführung gelangte, auf sein Ermüdungsverhalten wirklichkeitsnah zu untersuchen [3, 4, 5].

Ausser diesen Ermüdungsversuchen mussten auch *statische ZerreiBversuche* durchgeführt werden, wobei auch der Nachweis zu erbringen war, dass eine *Alterung* oder eine *chemische Zersetzung des Kunstharzes im Verankerungskopf* die Tragfähigkeit des Verankerungssystems nicht beeinträchtigt. Dazu musste die zur Verfügung stehende Kraftumlenkvorrichtung, mit deren Hilfe die statischen ZerreiBversuche in der vorhandenen 20-MN-Pressen durchgeführt werden, mit einer Heizanlage ausgerüstet werden, mit der die

Temperaturen an den Ankerköpfen der Prüflinge bis auf über 115 °C erhöht werden konnte.

Eine Erweiterung der Ermüdungsprüfanlage wurde dadurch bedingt, dass auch *Randseile der Olympia-Zeltdachkonstruktion* auf Ermüdung zu untersuchen waren, die über einen *Sattel mit geringem Krümmungsradius umgelenkt* waren. Ziel dieser Versuche war es, ein Seil mit grösstmöglicher Steifigkeit zu finden, das sich aber dennoch einigermaßen leicht krümmen liess. Auch in diesem Fall wurde versucht, durch einen geeigneten Ausbau der bestehenden Einrichtung dieser Forderung nachzukommen [2].

Ausser den erwähnten Versuchen wurde auch ein Teil der notwendigen Untersuchungen mit den an der EMPA vorhandenen Einrichtungen vorgenommen, wodurch ein schweizerisches Produkt als erstes Litzenspannverfahren die Zulassung in der Bundesrepublik Deutschland erlangte. Insbesondere gelangten dort auch einige Neuerungen zur Prüfung, zu denen vor allem auch die *Zwischenverankerungen* gehören [6].

Zeitschwingversuche bei Tieftemperaturen (–30 °C) mussten an einem Spannkabel durchgeführt werden, das aus 139 Einzeldrähten  $\varnothing$  6 mm bestand. Da nur wenige Lastwechsel ( $n = 670$ ) zwischen einer Unterlast von  $P_u = 4,95$  MN und einer Oberlast von  $P_o = 5,65$  MN gefordert waren, musste auf die Verwendung der üblichen schnellen Pulsatoren (Frequenz = 4,2 Hz) zur Krafterzeugung verzichtet werden, da das Einstellen der Lastgrenzen mit diesen Geräten nicht ganz einfach ist: Es vergehen nämlich mindestens 10 bis 15 Minuten, bis die Kraftamplitude und die Mittelkraft einigermaßen genau eingestellt werden kann. Für 500 Lastwechsel benötigen aber diese Pulsatoren nur 2 Minuten, so dass diese Zeit kaum ausreicht, um die Kraftgrenzen auch nur einigermaßen zu erreichen. In diesem Fall musste daher auf eine andere Kraftsteuerungseinrichtung, nämlich auf den *Hydro-Pacer*, ausgewichen werden, mit dem bei den angegebenen Kraftgrenzen eine Frequenz von 0,5 Hz erreicht werden konnte. Ausserdem musste bei diesem Versuch eine Kühleinrichtung um den oberen Verankerungskopf und um das Kabel selber gebaut werden, was in Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber unter Beizug einer Spezialfirma bewerkstelligt wurde. Die Kontrolle und Messung sowie die während des Versuches notwendigen Korrekturen der Temperatur wurden von der EMPA übernommen.