

# V. Building under extreme conditions

Objektyp: **Group**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH  
Kongressbericht**

Band (Jahr): **11 (1980)**

PDF erstellt am: **11.08.2024**

## **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.



---

## **WORKING SESSION**

### **V**

#### **Building under Extreme Conditions**

#### **Construire dans des conditions extrêmes**

#### **Bauen unter extremen Bedingungen**

Co-chairmen: Y.M. Giroux, Canada  
I.V. Gramolin, USSR

Introductory Papers: "Building under Extreme Climatic Conditions"  
D.M. Osborne-Moss, Great Britain  
"Building under Extreme Environmental and  
Infrastructural Restrictions"  
K. Mahmood, Pakistan

Coordinator: H.R. Schalcher, Switzerland

Leere Seite  
Blank page  
Page vide

**V****Der Bau der Bergstation der Seilbahn Klein Matterhorn**

The Construction of the Upper Cable Car Station Klein Matterhorn

L'exécution de la station supérieure du téléphérique du Petit Cervin

**PETER BLOETZER**

Dipl. Bauingenieur ETH/SIA

Ingenieurbüro Bloetzer + Pfammatter

Visp, Schweiz

**ZUSAMMENFASSUNG**

Dieser Artikel zeigt am Beispiel der bisher am höchsten gelegenen Baustelle Europas die besonderen Schwierigkeiten beim Bauen unter derart extremen klimatischen Bedingungen, wobei das Hauptgewicht auf den Einfluss der Höhenlage und der Temperatur- und Windverhältnisse auf die Projektierung und Ausführung gelegt wird.

**SUMMARY**

This contribution demonstrates through the example of the highest site in Europe so far the specific problems of construction in high altitudes. Special emphasis is laid on the influence that the height above sea level and the extreme wind and temperature conditions have on the design and the execution of the civil works.

**RESUME**

Cet article présente les problèmes typiques de la construction en haute altitude, en citant l'exemple du chantier le plus haut d'Europe à ce jour. Une attention spéciale est accordée aux aspects de l'altitude élevée et aux conditions de vent et de température, dont les influences sont manifestes sur le projet et l'exécution.



## 1. ALLGEMEINES

### 1.1 Konzession und Baubeschluss

Am 5. Dezember 1965 beschloss die Burgerschaft Zermatt, die Mehrheitsaktionärin der Luftseilbahn Zermatt – Schwarzsee – Klein Matterhorn AG ist, den Bau der Pendelseilbahn Trockener Steg – Klein Matterhorn.

Im Jahr 1969 wurde ein entsprechendes Konzessionsgesuch eingereicht und im darauffolgenden Jahr erteilten die eidgenössischen Behörden die Konzession.

Infolge einer Beschwerde der Stiftung für Landschaftspflege musste die Konzession vorerst sistiert werden und am 17. Dezember 1973 hat sie dann der Bundesrat endgültig in Kraft gesetzt.

### 1.2 Seilbahngebiet

Die Seilbahn Trockener Steg – Klein Matterhorn bildet die Krönung des Seilbahnsystems, das mit dem Plateau Rosa und dem Theodulgletscher eines der welt schönsten Skigebiete von ca. 5.5 km<sup>2</sup> erschliesst. Sie führt von der Station Trockener Steg, die am Fusse des Theodulgletscher auf einer Höhe von 2'945 m gelegen ist, hinauf bis unmittelbar unter den Gipfel des Klein Matterhorn; die Plattform der Bergstation liegt 60 m unter dem Gipfel auf einer Höhe von 3'820 m.ü.M.

### 1.3 Technische Daten

Fahrbahnlänge	: 3'835 m
Höhendifferenz	: 891 m
Mittlere Neigung	: 25 %
Stützen	: 3
Grösstes Spannfeld	: 2'885 m
Kleinstes Spannfeld	: 175 m
Fahrzeuge	: 2 Kabinen mit Fassungsvermögen mit je 100 Personen
Fahrbahngeschwindigkeit	: in den Spannfeldern 10 m/Sek bei Stützenüberfahrt 7 m/Sek
Fahrzeit	: 500 Sek
Förderleistung	: 600 Personen / h
Fahrbahnen	: 2
Tragseile	: je 2

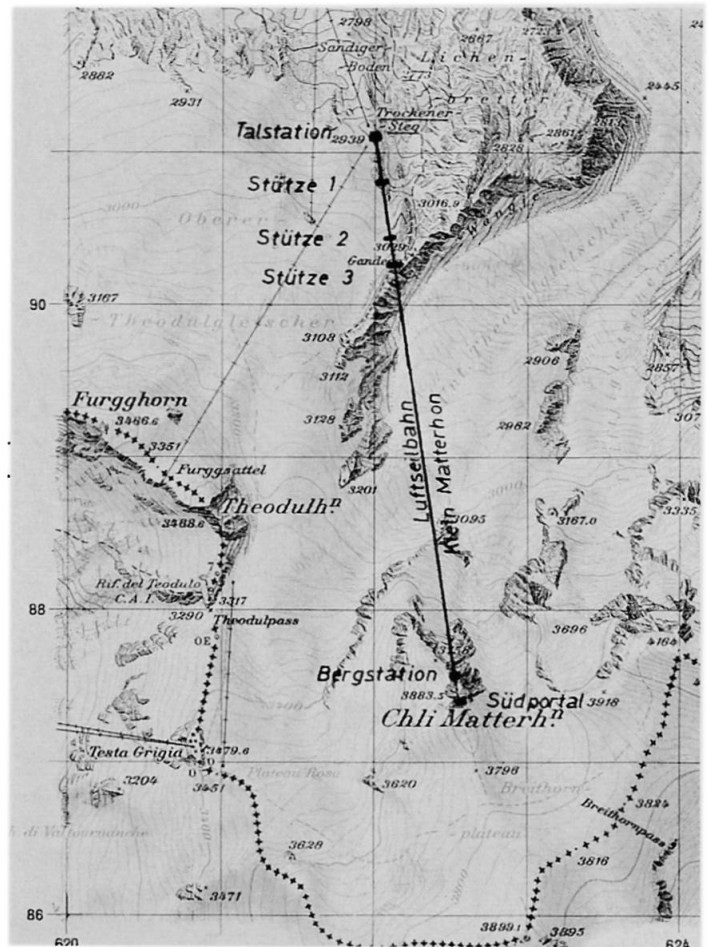


Abbildung 1 : Seilbahngebiet  
Ausschnitt LK 1:50'000



- Durchmesser der Tragseile : 45.2 mm
- Zugseile : je 1
- Durchmesser der Zugseile : 40 mm
- Gegenseile : je 1
- Durchmesser der Gegenseile : 44 mm

## 2. BESCHRIEB DER BERGSTATION

### 2.1 Aufnahmegebäude

Das Aufnahmegebäude der Bergstation Klein Matterhorn ist eine Massivbaukonstruktion in Stahlbetonbauweise, die ab Perrondecke eine maximale Höhe von 18.62 m und eine grösste Breite von 20.26 m aufweist.

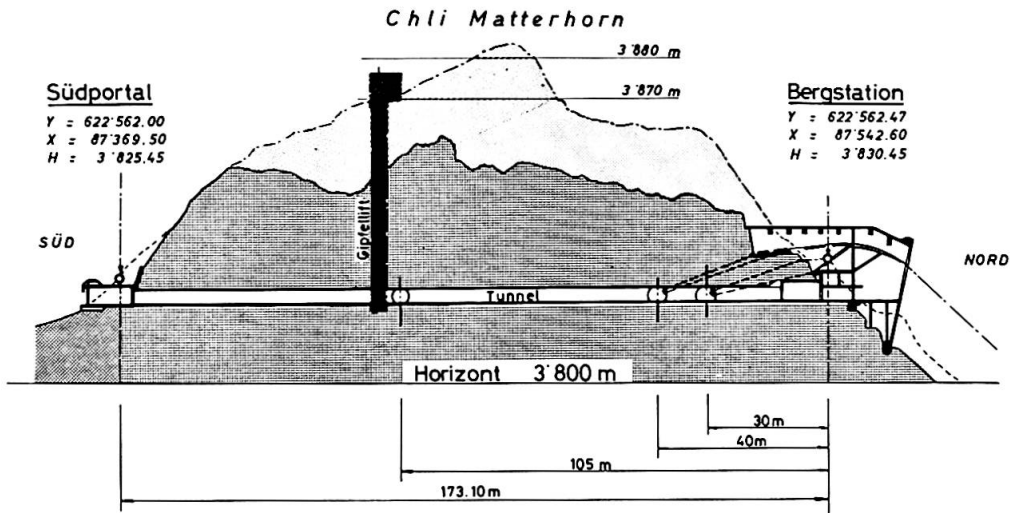


Abbildung 2 : Situation der Bergstation

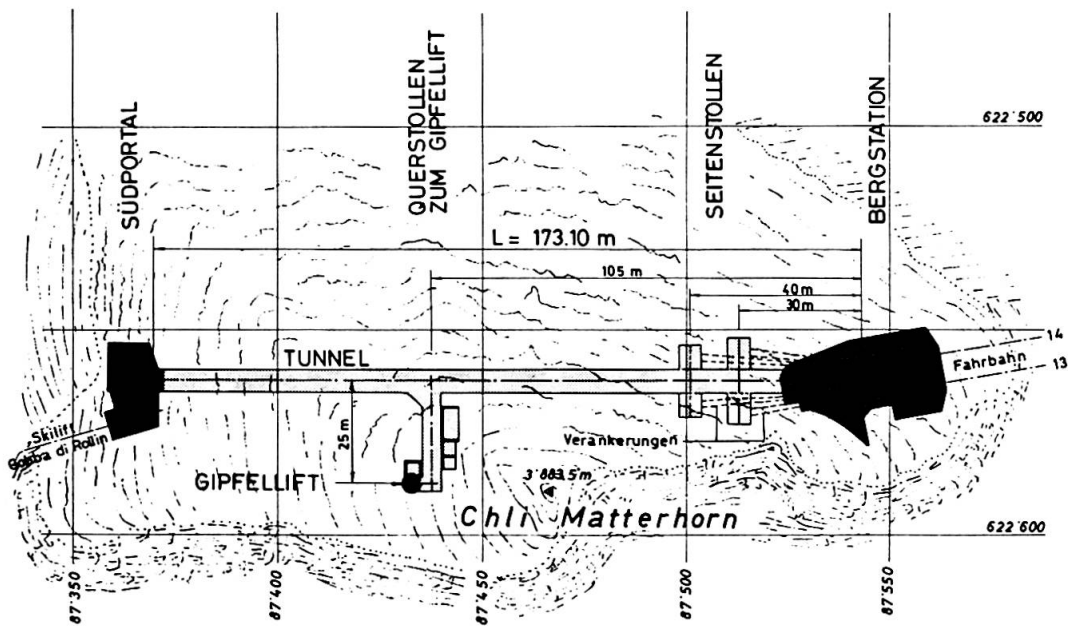


Abbildung 3 : Längsschnitt der Bergstation



## 2.2 Zugangstunnel und Gipfelloift

Vom Aufnahmegebäude führt ein 173.10 m langer Zugangstunnel mit einem Querschnitt von 11.50 m<sup>2</sup> auf das Breithornplateau.

Vom Zugangstunnel zweigt ein Seitenstollen ab mit einem Steigschacht in den ein 10-Personenlift von 52 m Höhe eingebaut ist.

Mit diesem Lift können die Touristen auf eine kleine Aussichtsterrasse gelangen, die in unmittelbarer Nähe des Gipfels angelegt ist.

## 2.3 Seilverankerung

Um eine einwandfreie Seilverankerung sicherzustellen, wurden vom Zugangstunnel ausgehend beidseitig zwei Querstollen ausgebrochen, in denen die Ankerplatten der Trag-, Zug-, und Hilfsseilverankerungen angebracht sind.

Dies ermöglicht eine dauernde einwandfreie Kontrolle der Verankerung sowie dank einer entsprechenden Dimensionierung ein Auswechseln der Spannkabel ohne Betriebseinstellung.

## 3. UMWELTBEDINGUNGEN

### 3.1 Höhenlage

Die Baustelle der Bergstation Klein Matterhorn wurde von der Tagespresse als "Baustelle der Superlative" bezeichnet. Sicher ist, dass es sich um eine Baustelle mit extremen Verhältnissen handelte. Aufgrund der Höhenlage liegt die 0-Grad-Grenze praktisch ganzjährig unterhalb der Bergstation, so dass sich diese in der Permafrostzone befindet.

Die extreme Höhenlage der Baustelle hat an alle Beteiligten besondere Anforderungen gestellt. Das Arbeiten auf dieser Höhe fordert infolge des geringen Sauerstoffgehaltes der Luft vom Herz- und Kreislaufsystem viel grössere Leistungen als dies im Flachland der Fall ist. Dazu kommen die extremen Temperaturschwankungen, je nach Witterungsverhältnissen und ausserdem die psychische Belastung infolge von Abgeschiedenheit und Angst vor Gesundheitsschäden sowie dem Fehlen der gewohnten Freizeitgestaltung. Kopfschmerzen und Schlaflosigkeit sind die normalen Begleiterscheinungen des Arbeitens in dieser Höhenlage.

### 3.2 Temperaturen und Windverhältnisse

Neben der Höhenlage waren es insbesondere die Temperaturverhältnisse, die sämtliche Bauarbeiten, insbesondere aber das Betonieren erheblich erschweren.

In Abb. 4 sind vergleichsweise Ausschnitte aus den Temperaturdiagrammen der Monate Mai, Juli und November des Jahres 1979 angegeben.

Die Temperaturverhältnisse entsprechen etwa dem, was vorausgesehen werden konnte auf Grund der Klimadaten der Wetterstation Plateau Rosa, 3'488 m.ü.M. Die Extremwerte der Lufttemperatur in den Jahren 1966 bis 1975 wurden wie folgt angegeben:

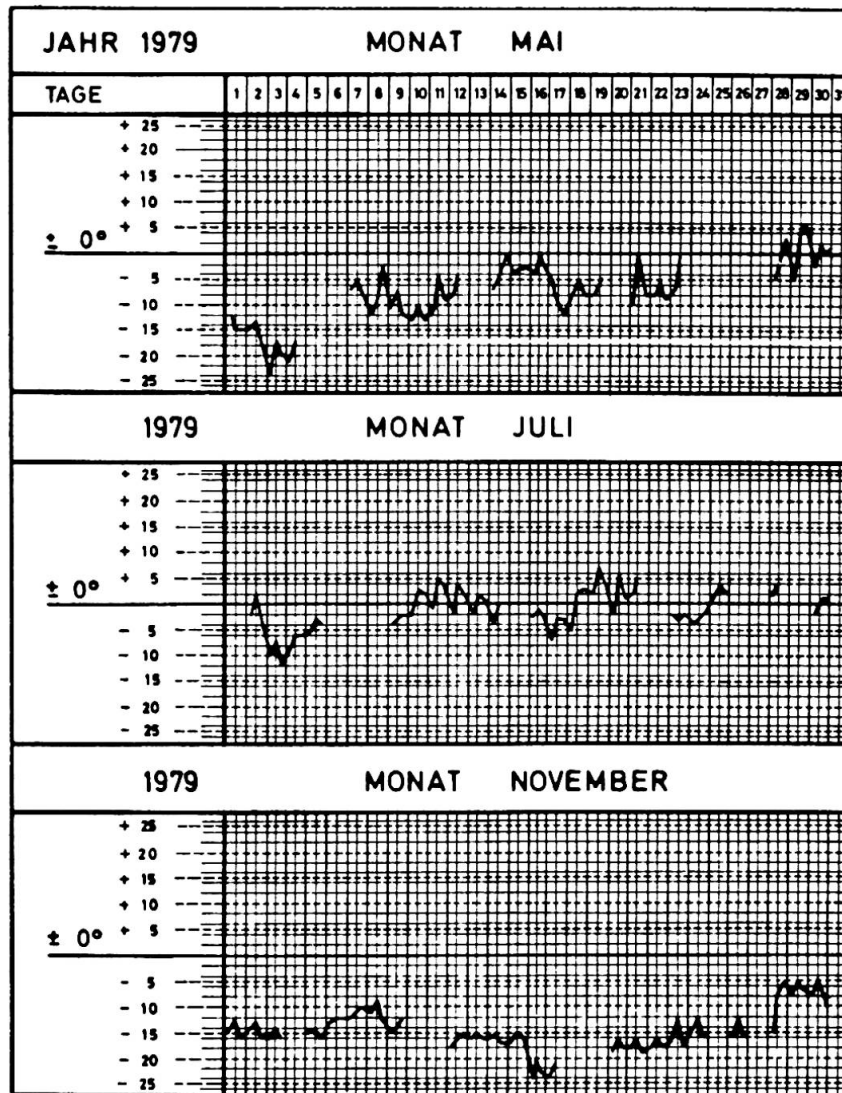


Abbildung 4 : Ausschnitte aus den Diagrammen der Tagestemperaturen der Monate Mai, Juli und November 1979

Monatsmittel der Lufttemperaturen: (Wetterstation Plateau Rosa)

	<u>Höchstes</u>	<u>Mittleres</u>	<u>Tiefstes</u>
Mai	- 2.3°	- 4.72°	- 6.6°
Juni	0.3°	- 1.76°	- 3.3°
Juli	3.5°	+ 0.84°	- 1.0°
August	2.0°	+ 0.69°	- 1.1°
September	0.1°	- 1.35°	- 5.7°

Maximale und minimale Temperaturen:

	<u>Maximum</u>	<u>Minimum</u>
Mai	9.9°	- 14.8°
Juni	9.0°	- 13.8°
Juli	11.5°	- 10.0°
August	10.0°	- 12.4°
September	6.4°	- 14.6°

Die höchsten Temperaturen wurden meistens nachmittags um 15.00 Uhr, die tiefsten um 03.00 Uhr bis 06.00 Uhr gemessen.

Eine weitere erhebliche Belastung der Bauarbeiten bedeuteten die extremen Windverhältnisse. Windgeschwindigkeiten von über 80 Std/km konnten beinahe jede Woche registriert werden.

Vergleichsweise seien die Tage angegeben, während der infolge hoher Windgeschwindigkeiten (über 80 Std/km) oder schlechter Witterung keine Heli-Transporte durchgeführt werden konnten, oder diese unterbrochen werden mussten.

Baujahr	Arbeitstage	Kein Flugwetter	Teilweise Flugwetter
1976	112 ab 19.7.	30	19
1977	217	46	26
1978	197	39	37
1979	102 bis 4.6.	27	22

#### 4. BAUPROGRAMM

Das nachfolgende Balkendiagramm zeigt das Bauprogramm der Baustelle Bergstation Klein Matterhorn auf.

Arbeitsbeschreibung	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Projektierung	[ ]		[ ]				
Ausschreibung	[ ]		[ ]				
Installation der Baustelle			[ ]				
Tunnelausbruch			[ ]				
Felsausbruch Bergstation				[ ]			
Fundamente / Stahlkonstruktion					[ ]		
Seilzug					[ ]		
Betonarbeiten Bergstation					[ ]	[ ]	
Innenausbau						[ ]	
Fertigstellungsarbeiten							[ ]
Inbetriebnahme d. prov. Bahn						[ ]	
Inbetriebnahme							[ ]

Abbildung 5 : Bauprogramm



## 5. INSTALLATIONEN UND TRANSPORTE

### 5.1 Installationen

Als Installationsplatz für die Baustelle kam nur der Uebergangsbereich zwischen Breithornplateau und Südflanke des Klein Matterhorn, in unmittelbarer Nähe des Südportals des Zugangstunnels in Frage.

Hier wurden die Baubaracke mit Schlaf-, Aufenthalts- und Kücheneinrichtungen sowie die Wassertanks, Kompressoren und Notstromgruppen installiert. Für den Transport dieser Anlage wurde ein Helikopter des Typs Puma SA 330 eingesetzt, der auch in dieser Höhenlage noch eine zulässige Nutzlast von über 1 Tonne aufweist.

### 5.2 Transportkonzept

Das Hauptproblem war die Versorgung der Baustelle mit Baumaterialien, Wasser sowie mit den täglichen Versorgungsgütern für die Belegschaft.

In der Projektierungsphase standen zwei grundlegend verschiedene Versorgungs- und Transportkonzepte in Auswahl. Das erste sah den Bau einer Materialseilbahn vor, von Trockener Steg bis zur Baustelle Klein Matterhorn; und das zweite sah eine Bauausführung in zwei Etappen vor; eine erste Etappe bestehend aus dem Bau des Zugangsstollens zur Nordwand in der die eigentliche Bergstation liegt, sowie dem Bau der Fundamente der Bergstation und der Verankerungspoller; eine Zwischenetappe, in der von der Seilbahn-Baufirma die Trag- und Zugseile gespannt und die Seilbahn mit einer provisorischen Personenkabine sowie mit einem Materialtransportgehänge bestückt wurde, und eine zweite Etappe, in der die Betonarbeiten für die Bergstation und die Fertigstellungsarbeiten des Zugangsstollens in Ausführung kamen.

Bauherrschaft und Bauleitung haben sich für die zweite Variante entschieden. Der Hauptgrund für diese Wahl lag darin, dass auch beim Bau einer Materialseilbahn vorerst ein Zugang zu deren Bergstation hätte ausgesprengt werden müssen, und dass auch so erhebliche Verankerungs- und Fundationsarbeiten erforderlich gewesen wären, die nur mit Heli-Transporten ausgeführt werden konnten.

In der gesamten ersten Bauetappe musste die Baustelle mit Heli-Transporten versorgt werden. Zum Einsatz kamen Helikopter vom Typ Lama der Air-Zermatt. Insgesamt wurden diese bis zur Inbetriebnahme der Seilbahn während total ca. 1900 Flugstunden eingesetzt.

## 6. AUSFUEHRUNGSPROBLEME

### 6.1 Belegschaft

Die nachfolgende Tabelle zeigt den Bestand der Belegschaft während der Baujahre 1978 und 1979



### 6.2 Betonierarbeiten

Um auf dieser Höhe bei teilweise sehr tiefen Temperaturen eine einwandfreie Betonqualität erreichen zu können, wurde ein BH HPC 300 verwendet mit 2 % Frostschutz. Die Zuschlagsstoffe wurden je nach Temperaturverhältnissen aufgewärmt. Der Beton, dessen Aufbereitung im Bereiche der Talstation Trockener Steg erfolgte, wurde mit doppelwandigen, isolierten Behältern per Heli eingeflogen bzw. mit der Seilbahn antransportiert. Der Temperaturabfall bei

Jahr		1978																																	
Tage		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	TOTAL		
JANUAR																																			
FEBRUAR																																			
MÄRZ																																			
APRIL					7	11	11	10				13	13	16	12	12			18	18	15	16	16	10		18	20	21	20	16				304	
MAI		17	17	17		12			14	15	15	14			12	15	15	15	7		13	14	14		14	12		18	19	19				407	
JUNI		16	18	9		9	12	13	12	12			8	8	9	9	5		7	8	11	8	8				8	7	8	7	7			230	
JULI		5	9	9	9	11	11			10	11	10	11	10	8			8	8	8	9	8				8	7	8	8	7	4	7		204	
AUGUST		7	7	7	7	4	1	7	6	7	6	6	2	1										6	6	6	4	4	2	7	9	7	8	127	
SEPTEMBER		8	3		8	9	8	8	8	4		8	8	9	9	10			7	7	7	7	7			7	7	6	6	6			167		
OKTOBER		7	8	8	8	7	2	7	8	8	8	8			8	8	7	8	8					8	8	8	8			10	7			175	
NOVEMBER		8	8			8	8	8	8	6			7	7	8	8			9	10	10	9	7				7	7	8	5			163		
DEZEMBER		5		2	4	4	3	1					2	3	3	2	2		1	2	3	3	3										43		

Jahr		1979																																
Tage		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	TOTAL	
JANUAR																			7	7	7	7			2	2	3	3	3		5	5	5	63
FEBRUAR		4	4			4	4	4	4	4			4	4	4	4			4	4	4	4			4	4	4		4	8	4			84
MÄRZ		4	4			4	4	2	2	2			4	5	5	5					12	17	17	17			17	21	20	19	19			205
APRIL				26	24	24	25	25	7	21	21	20	20	21			1	10	10	10	10			23	19	16	16	16	6	16			390	
MAI		18	14	16	17			20	19	19	17	20	5		16	15	14	16	13	15		19	16	17				15	12	10	12		357	
JUNI		13	6		10	10	10	11	11	12			16	11	17			1	10	11	12	9	9	7		8	9	9	9	11	3		235	
JULI			8	7	8	10	9			11	10	11	10	11	6			8	14	12	10	11	1		8	16	13	13	17	13	16	20	278	
AUGUST		10	10	6		7	7	7	7	5			5	8			9	10	13		10	8	9	12	11	9		13	19	15	12		245	
SEPTEMBER				11	11	12	13	11	8		14	18	14	16	12	8	1	8	10	12	10	13	6		14	14	11	15	13				275	
OKTOBER		20	17	17	14	14	7		15	1																								105
NOVEMBER																																		
DEZEMBER																																		

Abbildung 6 : Bestand der Belegschaft 1978 und 1979

Transporten mit unisolierten Behältern wurde durch Versuche festgestellt, die Isolation wurde sodann so festgelegt, dass der Temperaturabfall während eines Helikoptertransportes 3° Celsius und während einer Seilbahnfahrt 6° Celsius nicht überstieg. Im weiteren wurde, um die Baustelle zu schützen, das Stahllehrgerüst ausserhalb der äusseren Schalung montiert und über die Bergstationsdecke hochgezogen, so dass ein Zwischenraum entstand, und dieser mit einer zusätzlichen Schalung abgedeckt werden konnte. Damit wurde erreicht, dass die Baustelle nach drei Seiten und nach oben hin durch die Schalung, bzw. durch die bereits erstellten Bauteile abgeschlossen war. Je nach Bedarf konnte auch die Nordseite zusätzlich mit Plachen verschlossen werden.

Dadurch wurden die sonst notwendigen Schneeräumungsarbeiten auf ein Minimum reduziert. Zusätzlich ermöglichte dies soweit notwendig, den Einsatz von Heissluft-Heizanlagen, um das Abbinden des Betons sicherzustellen.

Mit diesen Massnahmen wurde eine mittlere Betonfestigkeit von  $\beta_w 28 = 300$  kp/cm<sup>2</sup> erreicht.

Die Betonprüfung erfolgte durch regelmässige Entnahme von Probewürfeln, die auf der Baustelle gelagert wurden und per Heli zum Prüflabor geflogen wurden. Diese Betonprüfmassnahmen wurden durch zusätzliche Kernbohrungen überprüft. Das gleiche Betonmaterial ergab je nach dem, ob in der Talstation bei 2'945 m oder auf der Bergstation auf 3'820 m eingebracht, eine mittlere Festigkeitsdifferenz von 100 kp/cm<sup>2</sup>.

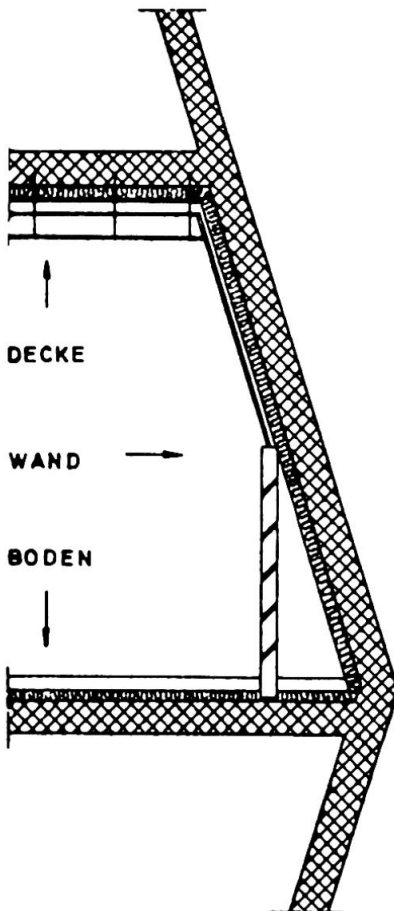
### 6.3 Felsanker

Zur Sicherung des Felsausbruchbereichs mussten Felsanker eingesetzt werden, dabei haben sich Zwei-Komponenten-Kunstharzanker im Gegensatz zu Spreizhül- senanker gut bewährt.

#### 6.4 Isolation im Uebergang zwischen Kalt- und Warmbereich

Im Uebergang zwischen Kalt- und Warmbereich wurde eine Wärmeisolation angebracht um ein Auftauen der vorhandenen Eislinen zu verhindern.

Als Isolationsmaterial wurde Foamglas, bzw. Styrofoam verwendet.



##### Deckenisolation

- 80mm dicke Foamglasplatten mit Foamglaskleber geklebt und mechanisch befestigt.
- Deckenverkleidung Nordfichtentäfer 13 mm stark, mit Nut und Kamm, mit Unterkonstruktion ca. 25cm heruntergehängt

##### Wandisolation

- 120 mm dicke, gefälzte Styrofoamplatten mechanisch befestigt.
- Dampfbremse Kaltbitumenüberstich 2-3 mm dick
- Vormauerung
- Verputz

##### Bodenisolation

- 50 mm dicke, gefälzte Styrofoamplatten punktwise geklebt, mechanisch befestigt.
- Dampfbremse 1 Lage Dachpappe Alu 10 B
- Trennschicht 1 Lage Plastikfolie
- Zementüberzug

Abbildung 7 : Detail Wärmeisolation im Uebergangsbereich zwischen Kalt- und Warmbereich

#### 6.5 Bohrarbeiten im Permafrostbereich

Die Bohrarbeiten über Tag wurden durch den Permafrost in keiner Weise erschwert. Im Stollen musste nach anfänglichen Versuchen infolge Eisbildung, auf die Nassbohrung verzichtet werden; es wurden Absaugvorrichtungen an den Bohrgeräten sowie Schutzmasken eingesetzt.

#### 6.6 Eisbildungen

Im Fundamentbereich trat, wenn infolge Wetterumsturz nicht unmittelbar nach dem Ausbruch betoniert werden konnte, eine starke Eisbildung auf; innert Wochenfrist bildete sich jeweils eine Eisschicht von einigen cm Stärke. Im Ausbruch für das Pollerfundament bildete sich in der Zeit von anfangs Dezember bis Ende April eine Eisschicht von ca. 1.50 m Stärke und im Bereich zwischen Baubaracke und Südflanke des Klein Matterhorn musste jährlich eine ca. 1 m starke Eisschicht entfernt werden.

Das Gros des Eisschichten wurde mit mechanischen Abbaugeräten entfernt; die unterste Schicht musste jeweils mit den Gasflammen aufgetaut werden.





## 7. SCHLUSSBEMERKUNGEN

Nachdem die Bauarbeiten mit Ausnahme des Gipfelliftes im Spätherbst 1979 weitgehend zum Abschluss kamen und die Seilbahn am 23. Dezember 1979 in Betrieb genommen werden konnte, muss festgestellt werden, dass sich die auf der höchsten Baustelle Europas angewandten Bauverfahren bewährt haben. Das Bauvorhaben hat an alle Beteiligten hohe Anforderungen gestellt und zum guten Gelingen hat eine einwandfreie Zusammenarbeit wesentlich beigetragen.

**V****Lessons to be learned from Deep Gold Mining in South Africa**

Expériences des travaux dans les mines d'or en Afrique du Sud

Erfahrungen beim Arbeiten in den Goldminen in Südafrika

**K.G. WITTHAUS, R.J. LABURN**

Watermeyer, Legge, Diesold & Uhlmann

Consulting Engineers

Johannesburg, RSA

**SUMMARY**

The greatest problems arising from working in extremely hot and humid conditions are centred around man's physical limitations in working in such environments. Experiences and practice in South Africa's deep gold mines can be beneficial to those having to undertake work in very hot humid conditions.

**RESUME**

Les plus graves problèmes dans l'exécution de travaux en atmosphère extrêmement chaude et humide sont fonction des limites physiques humaines. Les expériences gagnées dans les mines d'or de l'Afrique du Sud peuvent servir à d'autres qui sont obligés d'exécuter des travaux de génie civil dans des conditions de climat chaud et humide.

**ZUSAMMENFASSUNG**

Die schwierigsten Probleme bei der Ausführung von Arbeiten unter extrem heissen und feuchten Umweltbedingungen bilden die Grenzen der physischen Belastbarkeit der beteiligten Menschen. Entsprechende Erfahrungen aus den unterirdischen Goldminen in Südafrika geben wertvolle Hinweise für jene, die in heiss-feuchten Verhältnissen Bauarbeiten ausführen müssen.



## 1. INTRODUCTION

Deep-level gold mining in South Africa is a large and comparatively difficult engineering operation which involves mining narrow ore bodies in hard rock at great depths. Unusual problems, such as rock fracture, and the control and casting of concrete at high temperatures, are not dealt with in this paper largely because, relatively speaking, they pale into insignificance when contrasted against the major problem of the limitations of humans to withstand the high temperatures and humidities that are experienced in the deep mines. Accordingly the paper is confined to physiological considerations that limit the ability of men to work, and that possibly endanger their health, when working in hot humid conditions such as are experienced deep underground.

The industry is the most highly centralized mining operation in the world. Some 100 million metric tons of rock are broken out and hoisted from the gold mines each year from an average depth of 1.5 kilometres below surface, to produce over 700 metric tons of gold and substantial quantities of uranium oxide each year. The mines consume over one sixth of all the power requirements of the African continent and, in addition to hoisting rock, the mine shafts provide about 300 million man kilometres of transport a year in lowering and raising workers to and from underground.

The gold bearing strata (or "reefs" as they are known colloquially) were first mined where they outcropped by individual diggers. The inclined reefs for the greater part ran to considerable depths below surface and large sums of risk capital, a high degree of technical knowledge and considerable resources were vital to the successful exploitation of the ore bodies. In consequence, the small entrepreneurs were soon replaced by privately owned corporations with strong financial, administrative and technical resources that evolved into a co-operative "group system" of which The Chamber of Mines is an integral part. Its research laboratories, the largest such private organisation in the Southern Hemisphere, are concerned with mining technology, human resources, environmental engineering, mining operations, metallurgy and engineering and assist greatly in keeping the gold mining industry in South Africa in the forefront of technical development.

## 2. THE PROBLEMS OF DEEP-LEVEL MINING

Underground mining can be mechanised only in part and remains highly labour intensive. The reefs extend laterally for many kilometres at a dip angle between 7° and 40° and vary in thickness. Stopping widths in the narrow reefs are typically 1'200 mm but only 900 mm in places. Mining extends to depths of 3'600 m below the surface, at which depth rock temperatures are about 55 °C. Present planning in the industry is for mines to extend to depths where rock temperatures will be as high as 63 °C.

The ambient temperature underground is largely dependent upon the rock temperature and when it exceeds 35 °C, thermal control underground is essential to prevent men from suffering heat exhaustion and heat stroke. About 10 tons of air per ton of rock broken is circulated to alleviate working conditions, but in spite of this, difficulty is experienced in maintaining temperatures at which men can work safely for long periods in still air. Worker's health and the environment in which they work and live has always been of the greatest concern and is one of the most severe problems facing the industry. The earliest health problem encountered centred around respiratory diseases especially pneumoconiosis and pneumonia. Fine silica-dust, from dry drilling preparatory to blasting, was a



major problem in former years and the cause of pneumoconiosis and thanks to better accommodation, better feeding and better medical treatment, pneumonia has also become an insignificant factor in the health of miners. The health problems facing the industry today are those which result from having to mine at very deep levels.

### 3. PHYSIOLOGICAL CONSIDERATIONS

Why do the environmental conditions in deep mines pose such a threat to the health of the worker?

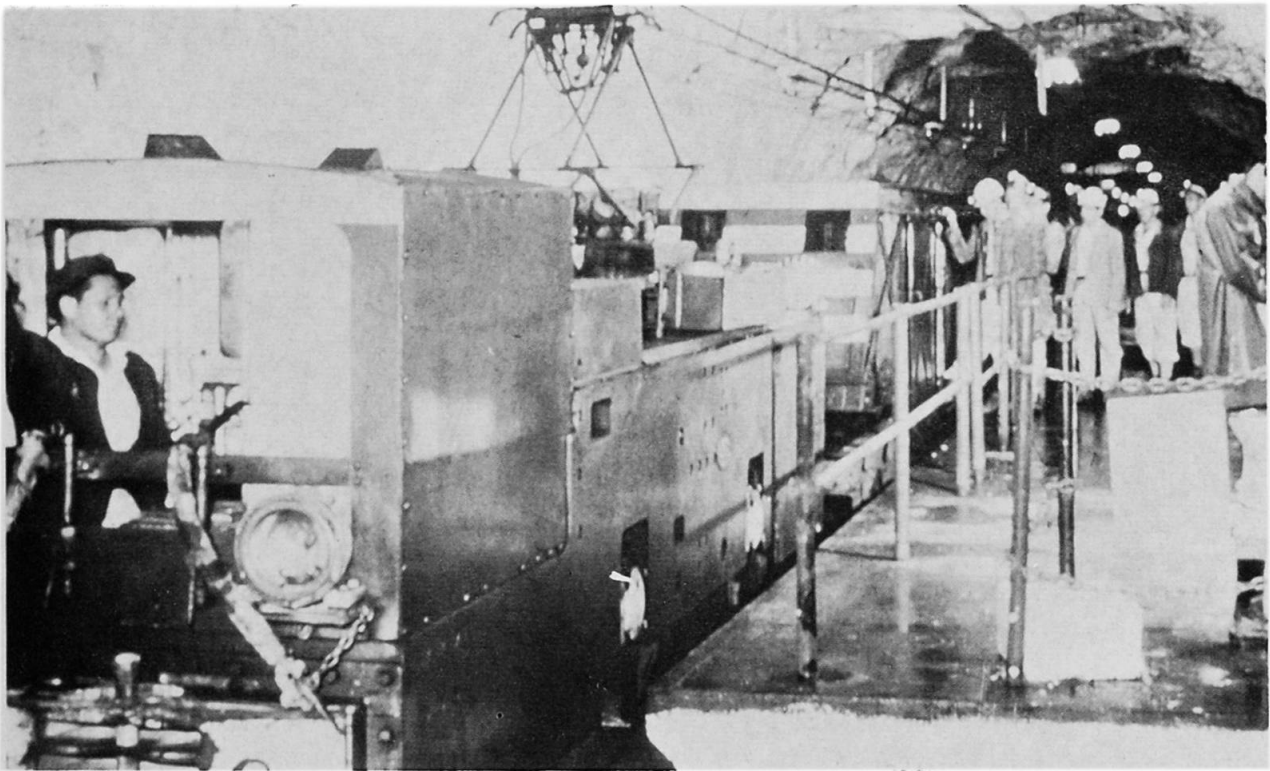
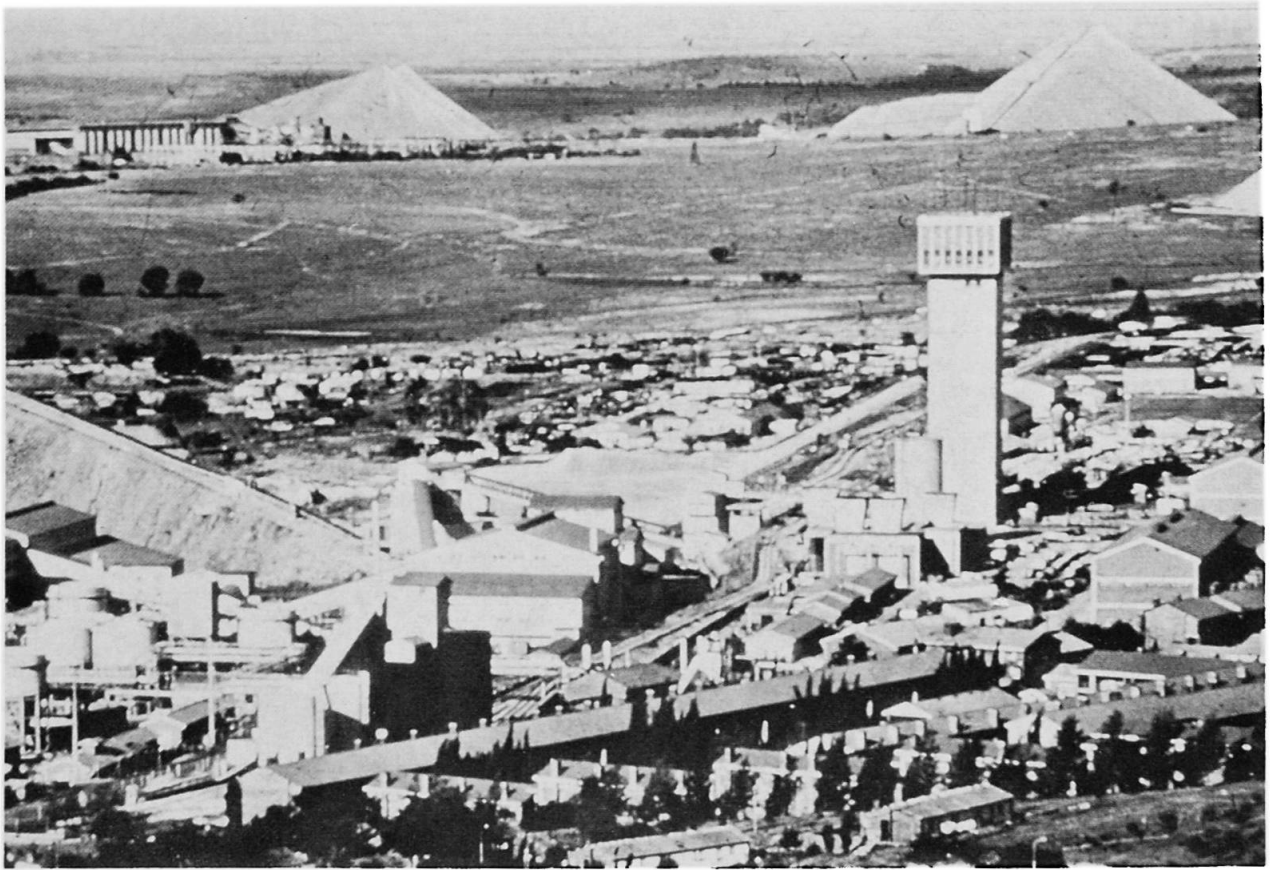
Under normal resting conditions man's body temperature remains constant and varies between the narrow limits of 36.5° and 37° only. As both hot and cold environments are threats to his existence, he is equipped with mechanisms to control body temperature within set limits: if cold, blood flow to peripheral skin areas is curbed, and shivering results in heat production: if hot, skin blood flow is greatly increased and sweating with a skin temperature of about 35 °C provides for evaporative heat loss from the body.

All physical activity produces heat, and body temperature rises if this heat is not dissipated by the body, normally by evaporation of sweat. Evaporation of 1 ml of sweat represents a loss of about 2'400 joules from the body. In hot conditions working men may produce up to 2 l of sweat per hour. Evaporation of sweat is greatly assisted by air movement around the body, and is severely impaired by high humidity. The data in the table below give an indication of the relationships between work rate, wet-bulb temperature, air speed and acclimatization (see later) which determine heat tolerance in the mines.

<u>Wet bulb</u> °C	<u>Air speed</u>	<u>Safe work rate</u>
27	still air	hard even if not acclimatized
	Acclimatization essential	
28	still air	hard
31	still air	moderate
31	1,2 m/s	hard
32	2 m/s	hard

A moderate rise in body temperature usually accompanies severe exercise or strenuous work but this poses no threat to the body. However, when conditions become so extreme that the body is unable to equal the heat production by heat loss, the mechanisms that promote heat loss reach their limit and the body temperature rises precipitously and heat stroke results. Heat stroke is often fatal and is characterised by a body temperature of over 41 °C and usually an absence of sweating.

The most severe natural climatic conditions occurring on the surface (humid tropical areas) have a maximum wet-bulb temperature of about 30 °C with 31 °C or 32 °C being exceptional. Hard work involves a metabolic heat production rate of 500 watts and hard-working men must lose this heat by evaporation of sweat to the surrounding air at this rate if body temperatures are not to rise unduly. So wet-bulb temperature and air velocity are the two environmental parameters of greatest importance.





When working in the sun, an additional heat load of 100 watts or more may be imposed upon men, and the dry-bulb temperatures are often high, causing added strain on the individual and reducing his ability to work effectively.

#### 4. INFLUENCE OF DEPTH ON AIR TEMPERATURES

The ability of air to remove heat from a deep mine is severely restricted because of the increase in temperature as a result of auto-compression of the air descending the mine, where energy (in the earth's gravitational field) is converted into thermal energy. The increase in wet-bulb temperature due to auto-compression during the summer months is about 4 °C/km of depth, so it can be appreciated that the wet-bulb temperature of air increases by about 12 °C when delivered from the surface down the depths of 3'000 m. When the wet-bulb temperature of the air reaching any level exceeds about 23 °C, refrigeration of the air is necessary if wet-bulb temperatures are to be kept below 28 °C. For South African conditions this means that refrigeration becomes necessary at depths greater than about 1'500 m under which condition in still air practically all fit, healthy men are able to work with negligible risk even if they are not acclimatized.

#### 5. SOLUTIONS

It is clear that the only feasible solutions are those that ease the physiological stress of the worker underground.

##### 5.1 Reduction of Wet-Bulb Temperatures

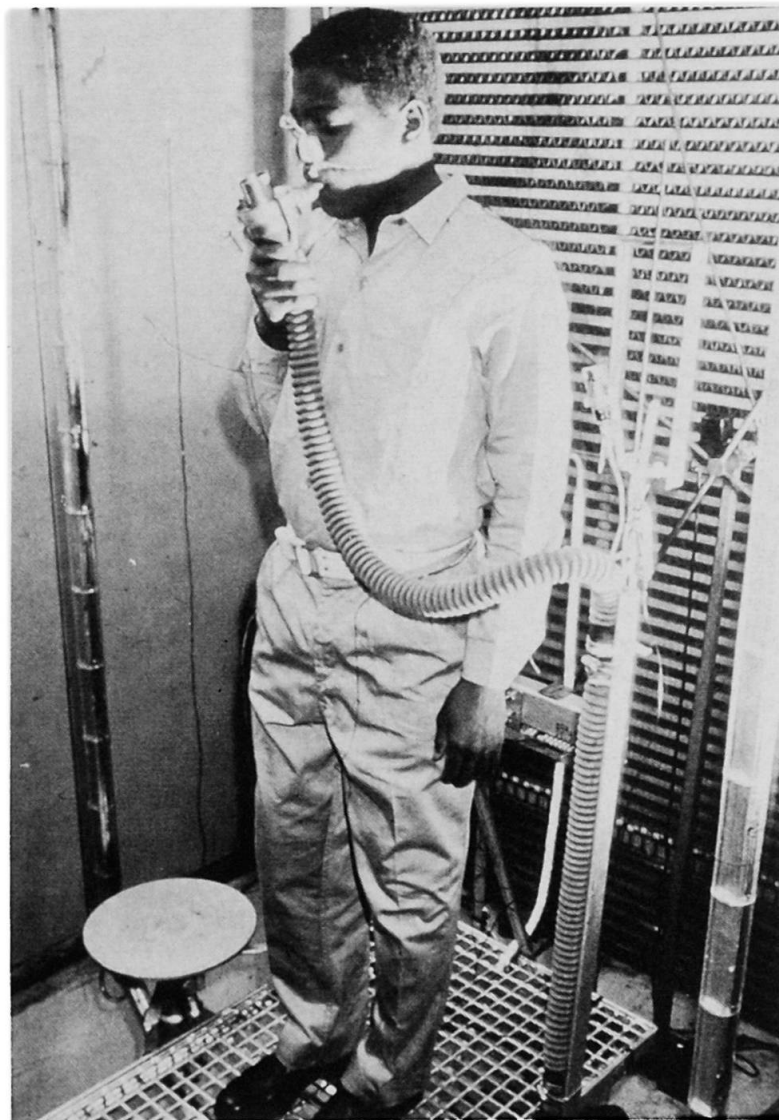
- All incoming ventilation air must be refrigerated before entering the working places in order to remove the heat of auto-compression. Evaporation of sweat is dependent upon air velocities surrounding the workers, so air speeds must be kept above 1 m/sec in work places.
- Service water used underground for drilling and dust suppression, if refrigerated, makes a substantial contribution to reducing temperatures in work places. In many deep mines unrefrigerated service water would reach the stope face at typically 30-35 °C and it is not possible to maintain cool air conditions when the free water on the rock floor is so hot. The temperature of this free water must be reduced and the logical way to do this is to refrigerate the service water before it is used.
- Since the amount of cooling that can be distributed with water is vastly greater than with air (per unit volume) it becomes feasible for mines to locate some or all of their refrigeration plant on the surface rather than underground.

##### 5.2 Acclimatization of Workers

The ultimate aim in deep-level mining is the creation of air conditions in working places in which the risk of heat stroke is negligible and the effects of heat stress on productivity are minimal. A wet-bulb temperature of 28 °C would ensure this but this goal is always achievable economically.

In addition to modifying and improving the environmental conditions under which men are required to work deep down underground, it is also necessary and most beneficial to acclimatize men before they are sent underground. Acclimatization involves training men to work at progressively higher work rates. The heart beat for unacclimatized men increases continuously during a 4 hour work shift and may finally reach values in excess of 160 beats/min, whereas those who are fully ac-







climatized and given adequate water during similar work periods, have heart rates below 120 beats/min. This indicates how acclimatization improves the ability to men to work with greatly reduced strain. Acclimatized men have higher sweat rates than their non-acclimatized counterparts and are able to sweat for many hours longer, and have for the same work rate and environmental conditions, body temperatures that are controlled at a lower body temperature. This acclimatization greatly improves the physiological responses to working in heat and humidity.

Men returning from leave and novices or new recruits are required to spend up to 5 days in surface acclimatization centres. For reasons that are not known, the administration of ascorbic acid (Vitamin C) enhances the acclimatization process. It is possible to acclimatize 96% of the men within 5 days with the taking of ascorbic acid, and some are even acclimatized in 3 days whereas without ascorbic acid only 80% of the men are acclimatized in 8 days.

Once heat-acclimatized, returnees from leave or absence are very quickly re-acclimatized, It is remarkable how readily potentially heat tolerant persons can become acclimatized to the relatively severe underground heat and humidity conditions.

Particular attention is paid to developing and refining heat tolerance tests. Individuals differ in their tolerance to heat stress e.g. low tolerance can be expected from individual with either low or excessive body mass (less than 45 kg or over 100 kg), from those who are under 18 or over 45 years of age, from those with low physical working capacities, from those subjected to drug treatment or abuse (including alcohol intoxication) and from those suffering from dehydration, malnutrition or other diseases. Such men are excluded from employment in hot conditions underground.

In the heat tolerance tests presently being used highly heat-tolerant individuals are identified and allowed to proceed to normal underground duties without undergoing acclimatization. By adhering to precautions during their first few days underground, these men become acclimatized naturally and show no risk of developing high body temperatures or heat stroke.

The excellent progress made in acclimatization of miners and in developing tests to identify heat intolerant men has reduced the annual incidence of fatal heat stroke in the mines from 100 in 100'000 in 1930 to 1 in 300'000 today.

#### Intake of Water

In earlier years, miners considered it unwise to drink any fluid while underground. However if they are to stave off heat exhaustion and heat stroke by sweating, it is essential that the fluid loss consequent on sweating is replaced. Salt tablets are not recommended as they give too much salt at a time and men should rather be encouraged to use sufficient salt at meal times.

Men have had to be trained to drink correctly. Experiments have shown that the most sensible way of taking in fluids when working hard or in hot conditions is to swallow small amounts (200 ml - 300 ml) at frequent intervals (15 - 30 minutes). Men who perform moderate or hard physical work in hot or humid conditions should be provided with at least 3 l of drinking water over an 8 hour shift.

The effects of dehydration are, at best, to decrease incentive and productivity, and at worst, fatal. Dehydration causes a depletion of blood volume and to maintain blood flow through active tissue, heart rate is forced to increase. More





serious is the problem of heat dissipation during dehydration, as with the lower blood volume, blood flow to the skin is compromised and heat dissipation from the body surface is greatly decreased.

In effect, dehydration reverses the effects of heat acclimatization; hot and humid conditions cannot be tolerated, the body's circulatory system is put under stress and physical work capacity diminishes. Thus, when water is withheld or not available to men in a dehydrated condition, there is a very severe danger of developing heat stroke.

The psychological effects of dehydration are as serious as the physiological ones. Men, when dehydrated, become morose, aggressive and disobedient, in addition to fairly obvious signs of fatigue.

### 5.3 Micro-Climate Cooling Systems

As the gold mines go deeper, they will reach a depth at which, even with greatly increased expenditure on conventional ventilation and refrigeration, it will be impossible to keep the wet-bulb temperature in all working places below 32 °C or even 34 °C or 35 °C. It is impossible to acclimatize men for anything more than light work at these temperatures and either the method of mining must change to one that eliminates all but light work, or unconventional methods for cooling mine workers must be adopted. Accordingly, micro-climate cooling systems for men have been investigated.

The concept of micro-climate cooling of workmen is not new. For example, liquid conditioned suits were modified for the cooling of astronauts in the Apollo series of space explorations. The liquid conditioned suits are connected to a source of cooled water by means of a trailing hose, which would present difficulties underground. These suits are also relatively expensive and not particularly robust.

It was decided to investigate a different micro-climate cooling system, consisting of a waistcoat containing plastic pockets of water. The waistcoat contains 4 to 5 kg of water and is worn under a outer protective jacket that serves also to insulate the inner jacket against heat pick-up from the atmosphere. The water in the inner jacket is frozen and the suit is then worn by the workmen over a woollen vest. The water in the waistcoat acts as a heat sink and the phase change from ice to water provides considerable cooling so that 5 kg of water would protect a man working moderately hard for about 4 hours in severe heat and humidity. The advantages of this system are that the workmen are completely mobile and the costs of the waistcoats are not exorbitant. In both the liquid-conditioned garment and the prefrozen waistcoat the trunk is covered to just below the rib margin and the arms and legs are left unencumbered. Thus the garments interfere minimally with the men when they move about or work.

Tests showed that the liquid-conditioned garment protected the workmen completely against temperatures up to 34 °C in that their body temperatures and heart rates were the same as those measured when they worked under comfortable air conditions. The pre-frozen jackets gave good protection at 32 °C and considerable protection at 34 °C, although the protection was not quite as good as that provided by the liquid-conditioned garment. Two pre-frozen jackets were needed for a 6 hour shift. The preliminary trial at 36 °C wet-bulb temperature indicated that these systems give good protection to the workmen even in such exceedingly severe, hot, humid conditions.

The psychological benefit of these cooling systems is note-worthy. The men were highly co-operative and in good humour even at the end of the shift. This contrasted markedly with the exhaustion and bad temper of men after a shift without micro-climate cooling at 34 °C wet-bulb temperature. A large scale trial in a hot mine over a period of several months proved that micro-climate jackets for workmen are indeed a practical proposition to counteract intense heat.

The pre-frozen jackets have also been used in extremely hot, humid conditions in a copper mine in Zambia where men drive mechanical loaders in wet-bulb temperatures as high as 38 °C.

Subsequent tests have shown that dry ice (solid CO<sub>2</sub>) is even better than frozen water in the jackets.

From these trials, it is clear that micro-climate systems have an important role in the mining industry.

## 6. CONCLUSION

The climatic conditions prevailing deep underground in gold mines in South Africa are extremely severe by comparison with natural hot and humid conditions that can be expected in the earth's surface. Although deep-level mining may be remote from most building and construction situations, the lessons learned from underground working are relevant when personnel are required to do physical work in hot humid conditions.

The risk of death or severe injury due to heat exhaustion or heat stroke is too great to be ignored in very hot climates and positive steps, particularly in regard to pre-selecting those people having the natural capacity or potential to heat tolerance, and to acclimatize those who are potentially suitable. Insistence on the drinking of adequate quantities of water, proper diet and regular medical examination cannot be over-emphasised.

The authors wish to thank the Chamber of Mines of South Africa and Dr. A. Whillier in particular, for assistance in the preparation of this paper. Their publications have been used very freely.

## REFERENCES

- 1 Dr. A. Whillier: Recent advances in the cooling of deep mines in South Africa, 11th Commonwealth Mining Congress Hong Kong 1978
- 2 Dr. C.H. Wyndham: The Physiological and Psychological effects of heat. Chapter 7 in Text Book on Mine Ventilation - The Mine Ventilation Society of South Africa 1974.
- 3 Chamber of Mines of South Africa: Monthly Reports.

Leere Seite  
Blank page  
Page vide

**V****Betontechnologische und klimatische Besonderheiten beim Bauen in heissen Ländern**

Concrete-technological and climatic peculiarities for construction work in hot regions

Technologie du béton et particularités climatiques dans les pays chauds

**K. ALTMANN**

Prof. Dr. -Ing.

Technische Universität Berlin

Berlin (West)

**ZUSAMMENFASSUNG**

Am Beispiel des Grossflughafens Jeddah, Saudi Arabien, werden die beim Bauen in heissen Ländern beachtenswerten betontechnologischen und klimatischen Besonderheiten geschildert. Aus den dort in Feldversuchen gewonnenen Ausdehnungskoeffizienten und Schwindmassen lassen sich in Verbindung mit den mehrjährigen Klimamessdaten die zu erwartenden Betonverformungen angeben, die unter solchen Bedingungen sehr hohe Werte annehmen können.

**SUMMARY**

The airport of Jeddah in Saudi Arabia serves as a typical example of the principal concrete-technological and climatic peculiarities for construction work in hot regions. By means of the coefficients of expansion and the shrinkage values ascertained in field tests there, the concrete deformations to be expected can be determined on the basis of the climatic data recorded over a period of several years. These deformations can be very considerable under such conditions.

**RESUME**

Le grand aéroport de Djeddah, en Arabie Saoudite, illustre les particularités remarquables que présente la construction en béton dans les pays chauds. Les coefficients de dilatation et de retrait obtenus à la suite d'essais réalisés sur le chantier à Djeddah permettent, en liaison avec les relevés climatiques établis au cours de plusieurs années, d'indiquer les déformations prévisibles du béton; celles-ci peuvent atteindre, dans de telles conditions, un niveau très élevé.



## 1. EINLEITUNG

Das Bauen in heißen Ländern erfordert eine stärkere Beachtung der dort herrschenden Klimabedingungen als dies in dem gemäßigten Klima der meisten Industrieländer notwendig und üblich ist. Viele Baustoffeigenschaften werden unter der Einwirkung von stärkerer Sonneneinstrahlung, höheren Lufttemperaturen und Windgeschwindigkeiten sowie extremen Luftfeuchtigkeitsschwankungen verändert. Bei dem Baustoff Beton zählen dazu u. a. die Wärme- und Feuchtigkeitsdehnungen von aus ihm hergestellten Bauteilen. Die dadurch entstehenden Beanspruchungen entsprechen nicht den gebräuchlichen Normvorschriften, da diese auf Untersuchungen bei gemäßigtem Klima beruhen.

In dem folgendem Bericht sollen am Beispiel des Flughafenneubaus Jeddah in Saudi Arabien einige typische Probleme beim Erstellen von Betonbauwerken aufgezeigt und aufgrund von dort ausgeführten Messungen die zu erwartenden Betonverformungen angegeben werden.

## 2. BAUSTELLENBEDINGUNGEN

Der Flughafen wird in der Nähe der Hafenstadt Jeddah auf einem etwa 30 km breiten, flachen Küstenstreifen entlang des Roten Meeres gebaut. Das wüstenartige Gelände besitzt wegen des nur an wenigen Stunden im Jahr fallenden Regens praktisch keine Vegetation. Ein aus nördlichen Richtungen während des Tages wehender lebhafter Wind mit einer Geschwindigkeit von selten weniger als 10 m/s kann deshalb ungehindert auf die Betonflächen einwirken.

Außer dem Beton für die Start- und Landebahnen wurden für die Abfertigungs- und Versorgungsbauten einige 100.000 m<sup>3</sup> Beton benötigt, der als Pumpbeton einzubauen war. Die Betonbereitung geschieht zum großen Teil in üblichen Baustellenmischanlagen; für besondere Konstruktionsteile aber auch in einem Fertigteilwerk. Zwischen den Mischanlagen und dem Einbauort liegen meist Entfernungen von etwa 5 km, die der Frischbeton in Fahrzeugmischern transportiert werden muß.

Die seit zwei Jahren lückenlos vorliegenden Wetterbeobachtungen auf der Baustelle zeigen eine während des ganzen Jahres ziemlich gleichbleibende Sonnenscheindauer von annähernd 10 bis 12 Stunden je Tag.

Die Lufttemperaturen erreichen im Winter Tageshöchstwerte von 30° C bis 35° C und im Sommer von 35° C bis 42° C. An einzelnen Tagen sind jedoch auch Höchstwerte von 48° C gemessen worden. Zur Nacht kühlt sich die Luft um etwa 10 bis 15 K ab.

Die Luftfeuchtigkeit liegt das ganze Jahr über nachts nahe dem Sättigungspunkt. Sie fällt mit Sonnenaufgang auf Werte zwischen 50 % und 20 % relativer Feuchtigkeit ab. Im Winter ist die Luft am Tage meist trockener als im Sommer. In einigen Sommerwochen sinkt die Luftfeuchtigkeit auch am Tage nicht unter 70 % r. F. ab.

## 3. BETONTECHNOLOGISCHE BESONDERHEITEN

Als Zuschlag für den Beton wird ein in Baustellennähe natürlich vorkommendes loses Erosionsprodukt aus Granit verwendet, das wegen der geringen Regenmengen in kantiger und splittiger Form

mit einem hohen Feinkornanteil entstanden ist und sich in den Gebirgstälern abgelagert hat. Der Wassermangel erzwingt eine trockene Zuschlagaufbereitung, so daß bei der Trennung in einzelne Korngruppen der hohe Feinkornanteil praktischerhalten bleibt und sich vorwiegend im Sand wiederfindet. Dies ist mit beachtlichem Aufwand allenfalls durch eine Windsichtung der Zuschläge zu umgehen. Eine weitere Verschlechterung des Kornaufbaus kann durch das Anwehen von Feinstsand durch den dort vorherrschenden kräftigen, zu Sandstürmen neigenden Wind entstehen. Ein solcherart zusammengesetzter Zuschlag führt bekanntlich zu einem hohen Wasseranspruch, der dann zwangsläufig den Zementgehalt im Beton anwachsen läßt.

Die Zuschlagtemperaturen erreichen in den Sommermonaten Werte von mehr als 50° C. Auch der Zement und das Anmachwasser übersteigen in ihren Temperaturen die für den Frischbeton nach den international üblichen Normvorschriften geforderte Höchsttemperatur von 30° C. Diese geforderte Höchsttemperatur des Frischbetons kann z. B. mit Hilfe von auf + 5° C abgekühltem Anmachwasser knapp unterschritten werden. Die Transportzeit und die unvermeidlichen Verzögerungen bei der Annahme des Betons aus den Fahrzeugmischern in Verbindung mit hoher Lufttemperatur und starker Sonnenstrahlung läßt die Frischbetontemperatur im Fahrzeugmischer jedoch leicht wieder über die 30° C-Marke ansteigen. Dem dadurch hervorgerufenen schnelleren Ansteifen des Betons kann durch Zugabe von Zusatzmitteln begegnet werden. Die Wirkung von Zusatzmitteln ist jedoch bei diesen Temperaturen nicht immer eindeutig und sicher vorhersehbar. Hier mangelt es noch an aussagefähigen Untersuchungsergebnissen, die das Verhalten von Zusatzmitteln unter solchen Temperaturbedingungen zutreffend beschreiben.

#### 4. BETONVERFORMUNGEN

##### 4.1 Schwinden

Die hohe Lufttemperatur, starke Sonneneinstrahlung, der fehlende Regen bewirken in Verbindung mit dem ständigen Wind sowie zeitweise sehr geringer Luftfeuchtigkeit eine rasche Austrocknung der Betonbauteile und lassen ein hohes Schwindmaß erwarten. Eine schon für gemäßigttes Klima geforderte Nachbehandlung des Betons ist deshalb unter diesen Bedingungen besonders wichtig, zumal die geschilderte wasser- und zementreiche Mischung das Schwinden noch begünstigt. Der Wassermangel und der ständige Wind setzen einer wünschenswerten Nachbehandlung jedoch in der Praxis enge Grenzen. In bestimmten Anwendungsfällen bleiben nur die einen Kunststoff-film bildenden Aufsprühmittel, die je nach Dampfdurchlässigkeit des Films eine Verringerung der abdampfenden Wassermenge bewirken. Je undurchlässiger der Film umso langsamer ist seine Abwitterung, so daß sein Einsatz auf Betonoberflächen beschränkt bleibt, die für eine spätere Bekleidung keine Haftfähigkeit besitzen müssen.

Unter diesen Bedingungen können z. B., die in den Deutschen Normen vorgegebenen Schwindmaße dort nicht gelten. Es war deshalb in Feldversuchen, die möglichst den Baustellenbedingungen angepaßt waren, zu klären, in welchem Maße der Beton schwindet und welchen Einfluß verschiedene Nachbehandlungs- und Lagerungsmethoden auf das Schwindverhalten und seine Zeitabhängigkeit haben.





Die Ergebnisse der auf dem Baustellengelände in Zusammenarbeit mit der HOCHTIEF AG durchgeführten Schwindmessungen zeigt Bild 1

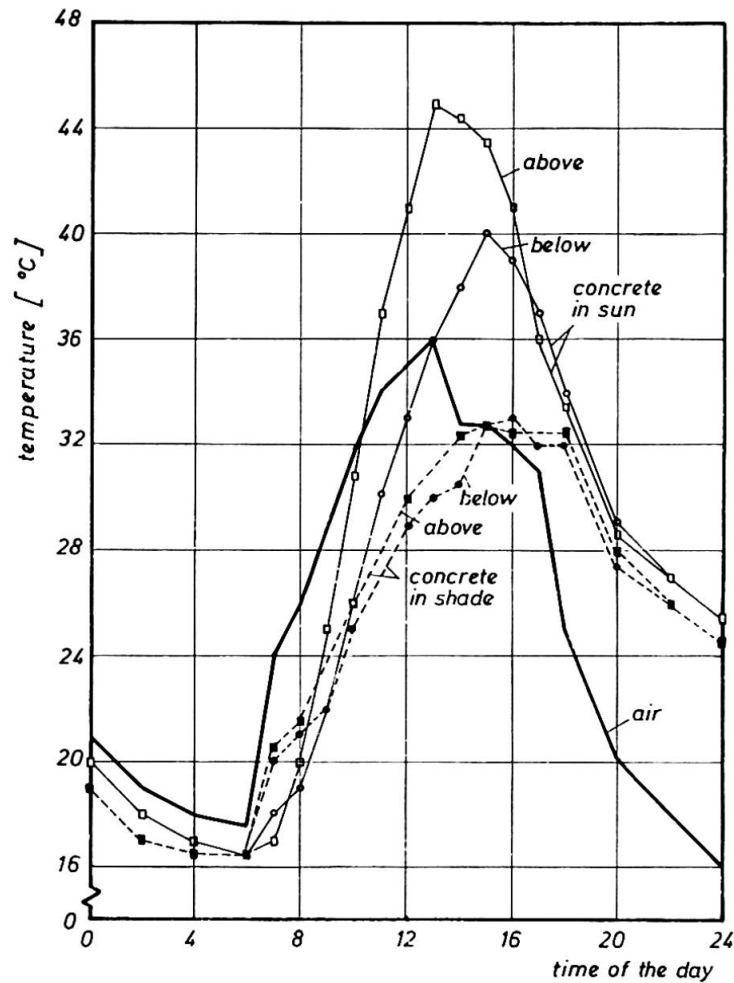


Fig. 1 Shrinkage of concrete specimens 100 x 50 x 12 cm in different kinds of curing and storing in Jeddah. Water/cement-ratio 0,59; cementcontent 380 kg/m<sup>3</sup>

Danach beginnen die in der Sonne gelagerten und an der Oberfläche mit einem Film geschützten A-Proben gegenüber den B-Proben mit gleicher Nachbehandlung, aber im Schatten gelagert, etwa 2 Tage früher zu schwinden. Sie erreichen bis zum einmalig eingetretenen Regen nach etwa 300 Tagen ein um nahezu 1/3 höheres Schwindmaß. Die Sonneneinstrahlung bewirkt offensichtlich eine intensivere und schnellere Austrocknung der Kapillarporen in den A-Proben.

Das Feuchthalten der Betonoberflächen in den ersten 5 Tagen bei den C-Proben läßt das Schwinden nach dem 3. Tag praktisch zum Stillstand kommen. Erst wenn die feuchte Abdeckung entfernt wird, schwinden diese der Sonne ausgesetzten Körper in ähnlicher Zeitabhängigkeit wie die anderen Körper. Ein Feuchthalten des Betons im jungen Alter bewirkt also einen besseren Schutz gegen das Wasserverdunsten und damit gegen das gefährliche Schwinden als ein zu diesem Zweck aufgesprühter Film.

Eine noch bessere Wirkung wird jedoch durch die Verhinderung der Sonneneinstrahlung erzielt, wie die Schwindwerte der B-Körper zeigen. Den Einfluß der Sonneneinstrahlung auf die Erwärmung des Betons in solchen heißen Ländern gibt Bild 2 wieder.

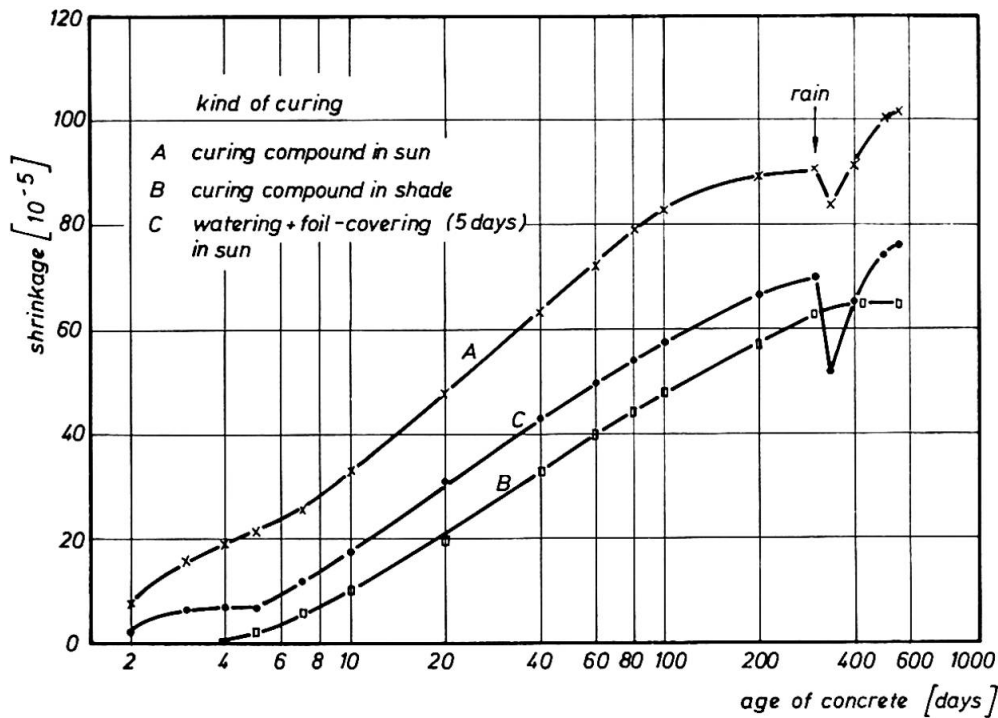


Fig. 2 Temperatures from air and concrete specimens 100 x 50 x 20 cm, placed in sun or in shade, during 8 th March 1978

Dort sind die Oberflächentemperaturen an der Ober- und Unterseite der Körper A und B sowie die Lufttemperatur während eines vollen Tages aufgetragen. Infolge von Sonneneinstrahlung steigen die Temperaturen der A-Körper um bis zu 9 K über die Höchstwerte der Lufttemperatur an. Die vor Sonneneinstrahlung geschützten B-Proben bleiben dagegen in ihren Temperaturen knapp unterhalb von denen der Luft. Die zusätzliche Erwärmung der A-Körper führt zu ihrer vermehrten Austrocknung und erklärt das höhere Schwindmaß.

Das Endschwindmaß ist nach 2 Jahren Versuchsdauer allenfalls von den vor Regenwasser geschützten B-Körpern bei etwa  $65 \cdot 10^{-5}$  erreicht. Das infolge von Regenwasser eingetretene Vorübergehende Quellen der A- und C-Körper führt zwar zu einem erneuten Anstieg der Schwindkurven, es kann jedoch auch für diese Körper ein Endschwindmaß von etwa  $105 \cdot 10^{-5}$  bzw.  $80 \cdot 10^{-5}$  abgeschätzt werden. Diese Werte übertreffen die z. B. in den Deutschen Normen enthaltenen Endschwindmaße um mehr als 100 %.

#### 4.2 Wärmedehnung

Die Höhe der Wärmedehnung eines Körpers ist durch seinen linearen Ausdehnungskoeffizienten und die Temperaturänderung bestimmt. Mit dem bei Laboruntersuchungen an dem in Jeddah verwendeten Beton festgestellten linearen Ausdehnungskoeffizienten von  $1,3 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ ,





der für einen mittleren Betonfeuchtigkeitsgehalt gilt, können die zu erwartenden Betonverformungen abgeschätzt werden, wenn die möglichen Temperaturschwankungen bekannt sind. Innerhalb eines Jahres war an dünnen Betonplatten eine größte mittlere Temperaturänderung von 30 K gefunden worden. Die größte gemessene tägliche Temperaturänderung betrug dagegen nur 24 K. Da jedoch die Bauteile im allgemeinen bei einer höheren als der gemessenen Minimaltemperatur hergestellt werden, ist dadurch mit Dehnungen bzw. Stauchungen von höchstens  $20 \times 10^{-5}$  zu rechnen. Dieser Wert liegt nur unwesentlich über dem z. B. in der Deutschen Norm vorgesehenen Wert, so daß die Wärmedehnungen keiner besonderen Beachtung bedürfen.

**V****Airport Construction in Zaïre**

Construction d'aéroports au Zaïre

Flughafenbau in Zaïre

**D.K. DORAN**

Civil and Structural Design Department  
George Wimpey Ltd.  
London, GB

**P.J. GROSE**

Civil and Structural Design Department  
George Wimpey Ltd.  
London, GB

**B. KOLSKI**

Civil and Structural Design Department  
George Wimpey Ltd.  
London, GB

**SUMMARY**

This article describes various stages of a contract for upgrading of six airports in Zaire, carried out under unusually difficult equatorial conditions in remote areas. The contract demanded particular design, logistic planning and coordination during construction. The following aspects were considered: completion time, climatic conditions, topographical characteristics, restricted local resources of materials, transportation between sites by restricted barge — road — rail facilities, limited local handling and communication services, etc. An optimum organisation enabled the planned completion to be achieved.

**RESUME**

Cet article décrit différentes étapes dans l'exécution d'un projet pour la remise en état de six aéroports au Zaire. Ce travail a été réalisé dans des conditions équatoriales extrêmement difficiles et en des endroits difficilement accessibles du pays. Ce marché a nécessité des solutions très particulières quant à la conception, le planning logistique et la coordination générale des travaux de construction. Les aspects suivants ont été considérés: délai d'exécution, conditions climatiques, caractéristiques topographiques et géotechniques, limite des ressources locales en matériels et matériaux, système de transport encore peu développé, combinant les voies fluviales, les pistes, les chemins de fer, les installations portuaires et ferroviaires limitées. Une organisation optimale a permis l'exécution de tous les travaux dans les délais prévus.

**ZUSAMMENFASSUNG**

Dieser Bericht beschreibt die verschiedenen Stadien eines Vertrages über den Aufbau von sechs Flughäfen in Zaire, durchgeführt unter ungewöhnlich schwierigen äquatorialen Bedingungen in entlegenen Gebieten des Landes. Der Vertrag erforderte spezielle Entwürfe, Logistik-Planung und Koordination während des Baues. Folgende Gesichtspunkte wurden in Betracht gezogen: Vollendungszeit, klimatische Bedingungen, topographische Eigenschaften, beschränkte örtliche Bezugsquellen von Material, Transport zwischen den Baustellen unter eingeschränkten Schleppkahn-, Strassen- und Eisenbahneinrichtungen, begrenzte örtliche Beförderungs- und Vermittlungseinrichtungen usw. Eine optimale Organisation hat die Ausführung aller Arbeiten termingerecht ermöglicht.

## 1. INTRODUCTION

One of Zaire's biggest problems is that of internal communications. The great river Zaire encircles the major part of the country, consisting of impenetrable rain-forests astride the equator and this serves together with numerous tributaries as the main highway for much of the country. About 1950 internal air routes were opened up and have been improved from time to time, but the subsequent progress in jet age aircraft meant that the existing facilities were inadequate to cope with the increased transportation demands. In consequence the government of Zaire decided to proceed on an economical basis of the modernisation of existing provincial city airports in the interior with the country for use by modern planes such as the Boeing 737, Caravelle SE 10 and Lockheed C 130.

Initially site investigations, topographical and geological surveys, surveys of the existing runways and buildings and the investigation of the local material resources for runway construction were carried out together with preliminary design proposals and cost estimates for 9 airports.

From this information the Zaire government selected six airports for development. George Wimpey & Co. Ltd. were awarded a civil engineering and buildings contract in September 1973 for the airports at Mbandaka, Gemena, Kisangani, Kindu, Kananga and Mbuji-Mayi. See Appendix 1 for geographical layout.

The principal aspects of the construction of these airports are described in the subsequent text.

## 2. SITE INVESTIGATION

The initial general geophysical surveys including geological, climatic and borehole records were available from the local government resources. The subsoil to subgrade level, i.e. formation level can be broadly classified as predominantly lateritic material varying in quality from clayey to rock laterite and a silty sandy clay. Depending on the quality of this data further borehole and soils data was obtained from trialholes and tests of representative samples carried out in local laboratories or where necessary in U.K.

In cases where indigenous soil did not meet the specification or could not be brought into specification by normal site methods, such as selective mixing, compaction and drainage, prospecting for alternative materials in the particular localities were extensively carried out.

For this purpose special geological and soils engineers were brought from U.K. The geologists were essentially concerned with finding potential rock quarries to provide suitable aggregate for the construction and this often involved exploration of distant areas in almost impenetrable jungle. At Mbandaka, for example, no suitable stone aggregate could be found and consequently the aggregate (approx. 30000 Tonnes) had to be brought by river barges from the Kinshasa area a distance of about 600 km. At Kindu suitable rock was found about 40 km away in a waterlogged jungle area with a most difficult access but adjacent to an existing railway which was used for the transport of stone. In all cases a fully operational quarry was established with the necessary drilling and blasting equipment, crushers, screening and handling plant together with provision of access roads.

### 3. PLANNING

The geographical position of the six airports naturally led to a split of the construction operation into two groups with Kisangani, Gemena, Mbandaka in the north and Kananga, Mbuji-Mayi, Kindu in the south (see Appendix 1). As the airport sites were hundreds of kilometres apart and it was the intention to move construction equipment in sequence from one site to another, it was also essential to carry out a detailed study of the river, rail, road and airline systems together with port and railhead facilities to ensure that the selected equipment could be efficiently transported by these systems. In order to meet the contract target date of completion on an economical basis and to make the most efficient use of key personnel and equipment it was decided to carry out the work using simultaneously two basic teams each constructing three airports within a three year period.

The planning of the construction methods was controlled by existing environmental and infrastructural limitations, as already highlighted in the "SUMMARY" paragraph and the logistic and strategic situation of the worksites. The selection of construction plant and equipment was dictated by the restrictions of available handling facilities at the ports, transportation by meter railways, by river barges, existing road system and bridges, etc. The transport limitations regarding weight and size prevented the choice of larger and more efficient equipment, e.g. rubber tyred scrapers, etc.

In principle the planning was prepared on the basis that movement of construction equipment from U.K. through the single port of arrival at Maladi along the tortuous and limited system of rail and river transport of the country for thousands of kilometres was scheduled so as not to overload the available facilities. The sequence of movement in equipment and construction material was arranged to ensure continuity of work on each site.

### 4. DESIGN AND CONSTRUCTION TECHNIQUE

In consideration of economical aspects, classification of anticipated traffic, subsoil conditions, resources of local construction material and suitable operational plant requirements it was decided to adopt a flexible pavement for the runways, taxiways and aprons using a Marshall Asphalt surface. The layout of the airport with navigational aids and the design of the pavements and associated work were carried out to the required international standards, where relevant, and in particular with Annex 14 to the "International Civil Aviation Organization Standards (I.C.A.O), British Standard Codes and Practices and Civil Aviation Authority methods".

The basic features of the layouts comprise:-

- Runway 2200 m long (2000 at Gemena and Mbuji-Mayi) x 45 m wide
- Overrun/Undershoot 100 m long
- Clear strip 150 m wide
- Apron about 1400 m<sup>2</sup>
- Surface and subsoil drainage system
- Airfield lighting system with standby power generators and substations
- New or renovated terminal buildings

- Fire stations
- Provision for navigational aids
- Communication system

The design of the flexible runway pavement was based on the maximum take-off weight of the Boeing 737 requiring a Load Classification Number of 40 to an average thickness of 400 mm required for adequate wheelload-spreading in order not to overstress the subgrade. The designed typical pavement consisted of the following layers laid over the formation level:- 150 mm subbase, 100 mm water bound material, 50 mm dense bitumen macadam, 60 mm Marshall asphalt base course and 40 mm Marshall asphalt wearing course.

Where possible the existing construction was incorporated in the new structure either by reprocessing and reuse of the base material or in some cases by new construction being overlaid on the existing. Construction thickness varied depending on soil conditions and the type of materials available from indigenous sources.

In situ California Bearing Ratio was used as a measure of strength of the individual layers, e.g.

- C.B.R. of 15 for formation compacted at 95% density, liquid limit  $\leq$  17%, plastic limit  $\leq$  7%, plastic index  $\leq$  12%
- C.B.R. of 25 for subbase
- C.B.R. of 60 for base

In all cases design was based on a construction sequence which would enable a minimum of half the original runway length to remain operational. Temporary hardstandings and aprons were provided so that although aircraft were limited in the weight that could be carried, the continuous operation of all airfields was maintained throughout the construction.

One of the major problems encountered was construction during wet weather with tropical rains. The rainy seasons varied throughout the vast country and the construction programme at individual airports was phased in such a manner that the construction stages most vulnerable to wet condition could be completed during the intermittent dry periods. Nevertheless this could not always be achieved but was effectively overcome by timely provision of temporary drainage system, by selection of alternative suitable materials particularly for the formation level and subbase and by special protective measures to keep the individual layers dry and to prevent from ponding and saturation of the subgrade.

In view of the heavy tropical rainfalls and high ground water level an extensive permanent drainage system was introduced for the surface and subsoil water. The drainage system incorporated, where necessary, precast concrete slot drains at the edge of pavement, french drains, Armco pipes, open lined channels, culverts and main stabilised ditches along both sides of the clear strip - all interconnected for discharge at suitable points into the adjacent natural water courses of the open countryside.

At Mbandaka, Kindu, Gemena and Mbuji-Mayi great difficulties were experienced in providing alternative drainage systems and emergency measures in view of the highly progressive erosion and waterlogging of the soft lateritic-clayey ground adjacent to the runways and due to deteriorated subsoil drainage discovered during excavation and grading work. The clear strips between the runway and



open ditches were cleared of jungle vegetation, regraded to falls and protected from erosion by planting of Paspalum grass.

The detail construction programme and sequence of construction together with construction technique for the individual sites had to be suitably revised from time to time in order to ensure effective continuity of work in consideration of the encountered problems deriving mainly from the weather conditions, transport problems, provision of suitable construction materials, national shortage of cement and fuel, maintenance of plant and equipment and many other local particular difficulties.

It should be mentioned that all the construction plant and equipment together with spares had to be imported from U.K. and the duration of supply by sea and internal transport averaged about 6 months. In critical construction stages the supply was overcome by special charter planes directly to construction sites from U.K. as well as national airlines - in total approximately 100 charters.

Another significant feature of the project was the problem of dealing with infestation by termites and woodworm of the timber structure in the terminal and other ancillary buildings. A team of specialists from U.K. surveyed the affected structures and effectively carried out any necessary protective measures.

## 5. MATERIALS AND PROCUREMENT

The rate of progress necessary to maintain the 12 month construction plan for each airport demanded a rate of supply of all materials well in excess of the production by local resources.

Supplies of bulk materials, fuel and bitumen were arranged from international suppliers and imported to the Country. Cement was arranged from three manufacturers within the Country with whom a supply programme was agreed to suit our needs.

For the terminal buildings, in some cases refurbished and extended, the finishing materials such as tiling, electrical and plumbing fittings, glass etc. were imported. Where new buildings were required these were imported from the U.K. as prefabricated steel complete with all furnishing, this achieving the rapid construction necessary.

The transport of all materials from the port of arrival was handled by a team of Wimpey staff with a representative resident at all strategic and transshipment points. These ports were all in radio communication with the central base and maintained a close cooperation with managers of the various transport authorities.

## 6. CONTRACT ORGANISATION

The contract was served by a small project team in the London office of Wimpey who coordinated the completion of detailed design, procurement of materials, supply of equipment and personnel to the main programme. This team called on the services of the various specialist departments such as Plant, Transport, Personnel, Procurement, Shipping etc. as necessary.

In Zaire a central base was set up in the capital Kinshasa through which everything was received as the international sea and air services went through this city. To ensure good communication with each of the construction sites a radio network was installed and three small twin engined aircraft maintained a daily service for the transport of staff mail and essential spares for construction equipment from the central store in Kinshasa.

The central base also controlled the finances, general planning on a monthly basis and procurement of materials that were available within the country.

Each site was controlled by a Project Manager supported with a team of engineers, foremen and administrators from the U.K., controlling the labour force recruited from over the whole country. Where possible experienced tradesmen and operators were recruited in the local areas of each site. If sufficient numbers were not available, the locals were supplemented by recruiting outside the area. Where special trades were required, in plant operation and maintenance and electrical installation for instance, additional expatriate staff were used and national staff trained on site for this work. Expatriate staff, including the specialists, reached a maximum of approximately 200 men and the national labour reached 1800 men.

To house the expatriates a demountable prefabricated camp was used and moved from site to site. This camp included cooking, medical and recreational facilities.

The problem of different languages had to be overcome by the use of interpreters recruited locally. After the initial months of the contract a number of the U.K. staff had obtained sufficient knowledge of the local languages to deal with most matters without use of an interpreter.

## 7. QUALITY CONTROL

The site staff included engineers and technical assistants with the responsibility for quality control of soils, aggregate, concrete and asphalt mixes continuously at all stages of the construction operations.

Two field laboratories were set up on each site - one for soils and concrete and one for asphalt. All materials and construction elements were subject to regular test procedures laid down by Wimpey in compliance with the specification requirements. Reports on these tests were returned to London for overall control and record purposes. The tests were all witnessed by representatives of the Client.

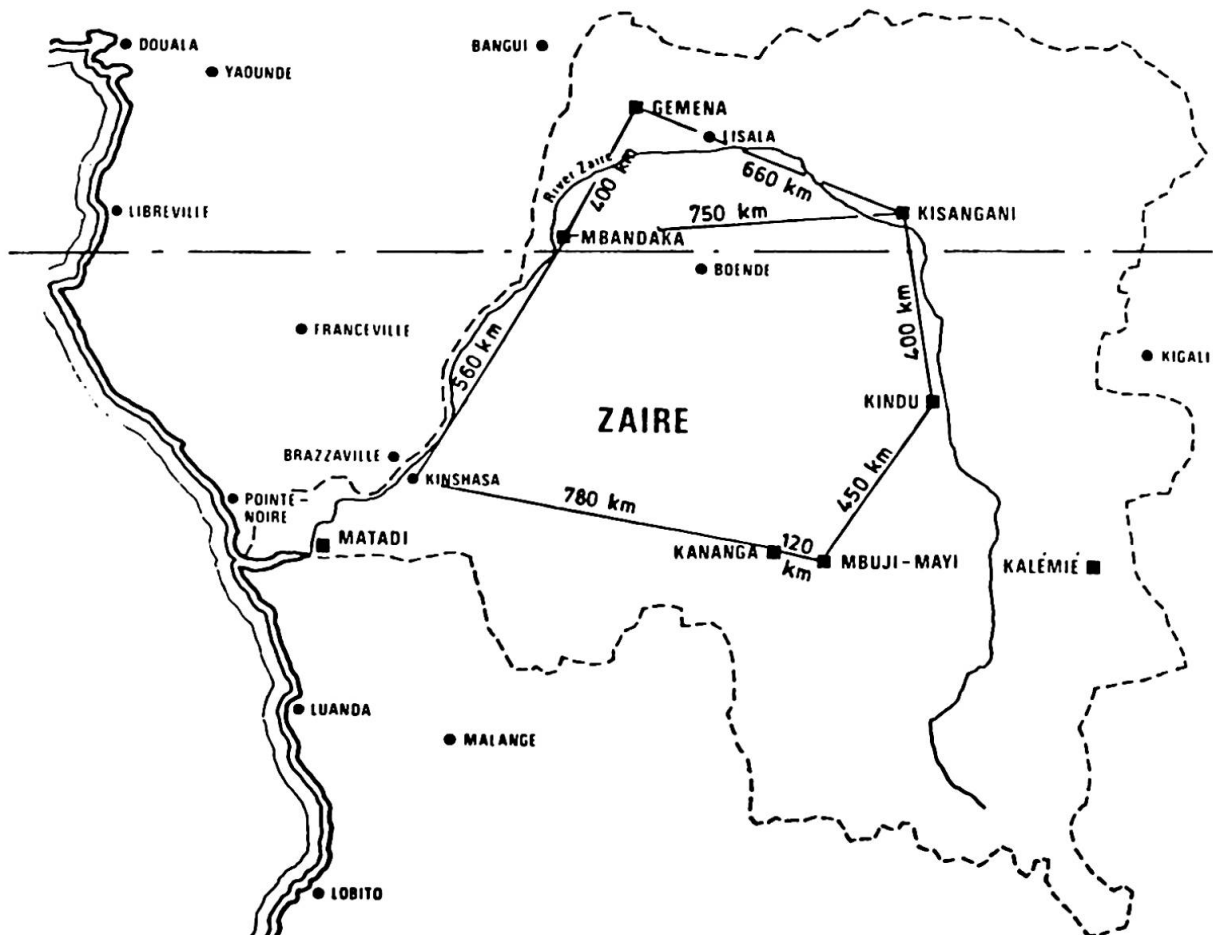
Basically the tests comprised:-

- for soils - gradings, liquid limits, plastic limits, moisture content, C.B.R. in situ and laboratory, sampling in situ, dry densities, etc.
- for concrete - gradings, cube strength, flakiness, elongation, aggregate crushing values, slump tests, compacting factors, concrete mixes, etc.
- for asphalt - bitumen densities, binder recovery tests, gradings, mixes for dense bitumen macadam and mixes for Marshall asphalt, etc.

The quality engineers were also constantly involved in exploration of suitable soils and aggregate resources from the vicinity of the construction sites. In some instances samples were sent to Wimpey Main Laboratories in U.K. for special tests.

8. GENERAL DATA

Earthworks	800,000 m <sup>3</sup>	
Asphalt Placed	205,000 tonnes	
Sand/Stone. Crushed	400,000 tonnes	
Wimpey Staff	140 No.	
Specialist Staff	30 No.	
Local Staff	1,800 No.	
Camp Living Units	180 No.	
Transport Vehicles	165 No.	Maximum size 6 x 4 tipping trucks of 15 tonne capacity.
Construction Plant (approx. 20,000 tonnes)	300 Items	Maximum size. 100 tonne per hour stone crushing plants.



**Airport construction in Zaire**

**Layout**



Leere Seite  
Blank page  
Page vide

**V****Bridges in Tropical Developing Countries in the South Pacific Area**

Ponts dans les régions en voie de développement du Pacifique du Sud

Brückenbau in Entwicklungsgebieten im Südlichen Pazifik

**JOHN SNELLING**

Director

Cameron, McNamara &amp; Partners Pty. Ltd.

Brisbane, Australia

**SUMMARY**

Economic, climatic and resource constraints in the construction of bridges in developing countries in the South Pacific Area are described.

**RESUME**

L'article décrit les contraintes économiques, climatologiques et de ressources en relation avec la construction de ponts dans les régions en voie de développement du Pacifique du Sud.

**ZUSAMMENFASSUNG**

Die wirtschaftlichen und klimatischen Randbedingungen sowie die Probleme bei der Beschaffung der Baustoffe beim Brückenbau in Entwicklungsgebieten im Südlichen Pazifik werden beschrieben.



## 1. INTRODUCTION

Northern Australia, Papua New Guinea and the adjacent Pacific Islands have a number of common features apart from geographical location. They are all tropical and are undeveloped areas. However within these areas are large variations in climate and in degree of undevelopment. But most important, they all have limited funds for development and all these factors have a material bearing on the appropriate form of bridging.

## 2. STANDARDS

The establishment of a road network generates a considerable increase in traffic. The dilemma is whether to stretch scarce resources on a rudimentary system which will soon be inadequate or build less but better. Bridges are expensive items in any road network and their construction entails special consideration.

It is unlikely that a bridge constructed for expected traffic in the near future will be adequate for traffic in 30 years time, and it is uneconomic to expend extra funds now to cater for an uncertain expectation. On the other hand an absolutely minimum expenditure is short sighted economy. For example: there is a universal demand for increased vehicle loadings and in these areas where railway construction is unlikely there are tremendous pressures to carry bulk materials in heavier vehicles. In small span bridging a 30% increase in live loading may increase the total cost by only 3%. An increase in horizontal forces will have a greater cost effect. So for short spans it is false economy to use low design loadings. In longer spans the increase in cost may be more significant.

Another dilemma is whether a single lane, double lanes, or a single lane for later widening on substructure built now for double lanes is warranted. The expected period of time until widening is a major consideration along with foundation costs as money is locked up in unused structure and when the bridge is finally deemed inadequate, reconstruction may be to another standard or the bridge may be wanted in another position.

Double lane bridges have better overload capacities than single lane bridges but cannot be justified on this count alone for very low traffic levels.

## 3. FLOODS

The region includes some of the wettest areas in the world and some very dry, but in all cases peak flood runoffs are invariably much greater than in temperate climates. Table I showing typical flood runoff figures may illustrate this.

It can be seen that not only are frequent floods of much greater magnitude than in temperate climates, but that in these tropical areas there is sometimes a much greater difference in size between less frequent floods and the more frequent. Thus with limited budgets it is not always possible to

TABLE I

Location	Climate	Flood Runoff-Comparable Catchment (1)	Ratio. 100 year Flood to Mean Annual Flood (2)
Solomon Is. Guadalcanal	Very High Rainfall	300	3
Papua New Guinea (North)	High Rainfall - Low Variability	100	2.7
Papua New Guinea (South)	High Rainfall Variable	90	3
North Australia	Monsoonal	100	6
North Australia	Cyclonic	90	6
Central Australia	Semi Desert	50	5
U.K.	Cool Temperate	20	2.5 (3)
USA Washington State	Cool Temperate	20-30	2.5 (4)

- (1) 100 year return flood from 100 sq km (typical values) - m<sup>3</sup>/sec.
- (2)  $Q_{100}/Q_2$  from 100 sq km
- (3) From Nash & Shaw - "River Flood Hydrology" - I.C.E. Lond. 1965
- (4) From "Magnitude & Frequency of Floods in the USA" - U.S. Geology Survey 1964.

construct bridges clear of flood waters and the art is to position bridges to obtain the best serviceability in terms of period of inundation on each particular route.

Once the decision is made to build submersible bridges, bed and bank scour, approach road erosion, river flow obstruction, river debris obstruction and buoyancy all become significant design considerations. In certain areas, design to prevent the collection of debris is of paramount importance (Fig. 1,2) and a bridge with deck level at a height at which a flood persists will cause more difficulty than a lower one over which the rising flood clears debris. The immersed structure must be shaped not to entrap debris, or if above flood, the spans long enough to clear the expected debris size (Fig.3).

#### 4. TEMPERATURE

Temperature range in parts of the wet tropics is small allowing a reduction in the frequency of expansion joints with consequent benefits to cost and earthquake resistance.

In semi-desert areas the range is considerable and joint detailing and bridge articulation is critical. Elements such as approach slabs need to be anchored to the bridge to prevent incremental "walking" off the bridge.

#### 5. MATERIALS

All steel is imported and containerisation of shipping has placed a further restriction on the transport of long items.

Cement must also be imported and is of varying quality depending on origin and age. Concrete aggregates from desert areas have to be checked for alkali reactivity and placing concrete in extreme hot and dry or continuously wet conditions requires special techniques.

Where possible, it is desirable to employ local materials, and some timbers are suitable for bridges. In very wet climates fungal deterioration increases maintenance costs and in Australia, precautions have to be taken against termite

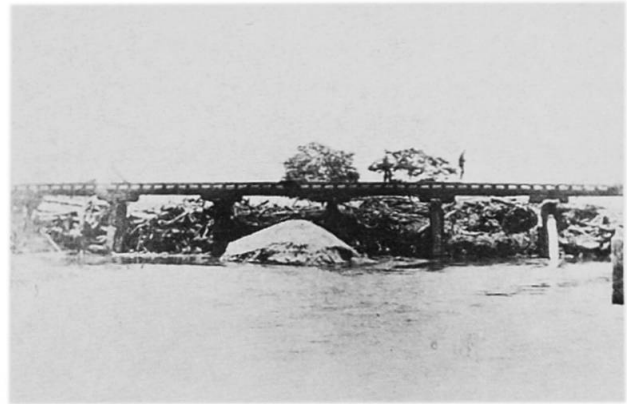


Figure 1  
Spans too small



Figure 2  
Spans too small  
Deck at flood peak



Figure 3  
End scour after waterway blockage.



attack. Nevertheless, the use of local timber may provide a short to medium term bridge until traffic warrants reconstruction. (Fig.4)

## 6. LABOUR & EQUIPMENT RESOURCES

The labour force ranges from highly experienced and competent in North Australia, to uneven standards in the islands. Large equipment is not present and if introduced may not be able to be readily transported to the construction site. Design needs to take cognisance of these factors.



Figure 4  
Submersible bridge replacing  
lower timber bridge



Figure 5

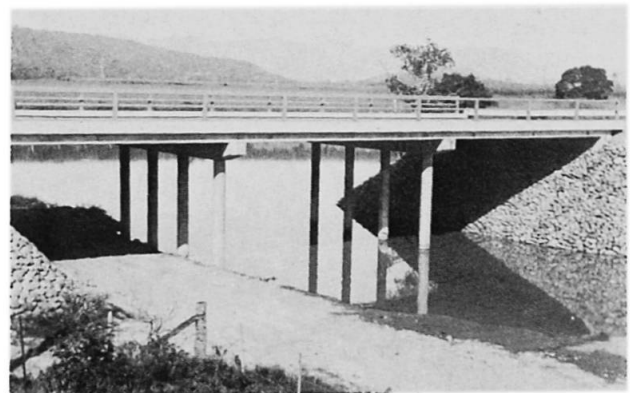


Figure 6

## 7. CONCLUSION

The type of bridge that results is frequently a small span (6-20m) reinforced cast insitu concrete slab; or a deck of prestressed concrete precast slabs (Fig.5,6) or a composite reinforced concrete deck with plated universal beam girders. Piers are frequently headstocks on steel or reinforced concrete piles or reinforced concrete columns. Geometric complications are avoided, and site construction details are as simple as possible.

### References

Cameron, I.G., McNamara, R.G. "Low Cost Roads - A Design Philosophy" ANZAAS 42 Congress Port Moresby, 1970.

Irish, J.L., Cameron, I.G. "Review of Regional Flood Frequency Techniques and their Relevance to Queensland Flood Conditions" Symposium on Flood Frequency, Inst. Eng. Aust., Brisbane 1975.

Snelling, J. & Boyce, W.H. "Bridges Subjected to Earthquake or Flood - A Design Approach" International Conference on Engineering for Protection from Natural Disasters. A.I.T. Bangkok, 1980.

**V****Errichtung der Hangbrücke Puchreit**

Construction of the hillside bridge Puchreit

Réalisation du pont de Puchreit

**ERNST ROUBIN**

Dipl. -Ing., Mitglied des Vorstandes

A. Porr AG

Wien, Oesterreich

**ZUSAMMENFASSUNG**

Extreme geologische und morphologische Bedingungen, ausserordentlich kurze Terminvorgaben bei überwiegend klimatisch alpinen Verhältnissen sowie grosse mess- und bautechnische Anforderungen an Planende und Ausführende wurden beim Bau der Hangbrücke Puchreit – L 32 unter Anwendung der Segmentbauweise bewältigt.

**SUMMARY**

Problems such as extremely difficult geological conditions, very short periods allowed for completion under conditions of Alpine climate as well as substantial surveying and construction requirements to be made by designers and contractors were solved in the construction of the hillside bridge Puchreit – L 32 by use of the „segment method“.

**RESUME**

Des conditions géologiques extrêmement difficiles, des délais d'exécution très courts dans des conditions climatiques alpines, ainsi que de grandes exigences de construction et d'arpentage ont posé des problèmes complexes au bureau d'ingénieur et à l'entreprise de construction; ceux-ci ont été résolus lors de la construction du pont de Puchreit en utilisant la méthode de construction par voussoirs pré-fabriqués.





## 1. ALLGEMEINES

Die Strecke Rennweg-Gmünd durch das Liesertal, stellt aus topographischer und geologischer Sicht den wahrscheinlich schwierigsten Autobahnteilabschnitt in Österreich dar. Trotzdem wurden in dieser etwa 16 km langen Teilstrecke der Tauernautobahn Brückenobjekte mit zusammen fast 8 km Länge in einer außergewöhnlich kurzen Bauzeit von weniger als 3 Jahren errichtet.

Mit 29,758 m<sup>2</sup> Brückenfläche und 1167 m Länge ist die Hangbrücke Puchreit eines der größten Objekte des Liesertals.

## 2. GEOLOGIE UND GRÜNDUNG

Die Trasse verläuft in einem Bogen mit veränderlicher Krümmung, wobei der Mindestradius 1500 m beträgt.

Das Objekt weist 22 Felder mit einer Regelstützweite von 55 m auf. Bedingt durch die steilen Talflanken könnten bereits geringe Veränderungen der Hangbelastung zu Rutschungen führen. Aus diesem Grunde galt die gewählte Trasse vor etwa 10 Jahren noch als unrealisierbar. Erst die moderne Ankertechnik ermöglicht durch die Rückverhängung der Fundierung in stabile, tiefer liegende Baugrundbereiche die Sicherung der Bauwerke.

Voraussetzung hierfür ist die sorgfältige Bauführung und die laufende Überprüfbarkeit des Effektes der Sicherungsmaßnahmen über einen Zeitraum von mehreren Jahren.



Bild 1    Geländeform

Bei der Planung der Gründung der Ausführungsvariante wurde diesem Umstand Rechnung getragen, indem die Brunnen bis an die Geländeoberfläche gezogen und erst über dem Gelände durch einen Verbindungsriegel mit den beiden aufgehenden Pfeilern zu einem biegesteifen Rahmen verbunden wurden. Dadurch konnten nicht nur die Voreinschnitte wesentlich verkleinert werden, sondern auch der Großteil der Ankerköpfe permanent zugänglich innerhalb des Hohlrostes an den Brunnenoberkanten angeordnet werden.

Im allgemeinen konnten im Liesertal die Aufschließungsstraßen, die bei größeren Objekten mehrere Kilometer lang sind, mit Raupen aus dem Überlagerungsmaterial herausgeschoben werden.

Der Bereich der Hangbrücke Puchreit weist jedoch besonders steile Talflanken auf, die in weiten Bereichen keine Überlagerung mit Lokermassen haben. Die Baustraßen mußten weitgehendst aus dem Fels gesprengt werden oder bedingten aufwendige Krainerwände und auch Felsankerungen.

Zusätzlich erschwerend war, daß die Planien zur Brunnenherstellung für die berg- bzw. talseitigen Pfeiler Höhenunterschiede bis zu 12 m aufwiesen und damit zum Teil getrennte Zufahrten notwendig machten. Um keine zeitliche Instabilität des Hanges zu bewirken, durfte der Aushub des zweiten, bergseitigen Brunnens eines Pfeilerpaares erst nach der Auffüllung des ersten, talseitigen mit Kernbeton in Angriff genommen werden.

Vor dem Einbringen des Kernbetons mußte die ingenieur-geologische und bodenmechanische Beurteilung der Brunnenaufstandsfläche durch Experten eingeholt werden.

Die dabei aufgetretenen Schwierigkeiten bzw. Entscheidungen führten wiederholt zu für die Bauausführung uneinbringlichen Zeitverlusten.

Die erreichten Leistungen lagen zwischen mindestens 26 und maximal 88 Laufmeter Brunnen je Monat. Pro Abschlag wurden 1,5 bis 2 m im Mittel erreicht.

Die Pfeiler, insgesamt 1960 Laufmeter, wurden in Gleitbauweise hergestellt. Die mittlere Gleitleistung betrug 5,4 m pro Tag.

### 3. ÜBERBAU

Extreme Bedingungen in terminlicher Hinsicht waren vom Bauherrn für die Fertigstellung des Objektes vorgegeben worden.

Bei dieser Baustelle, die in über 900 m Seehöhe lag, mußte mit lange dauernden strengen winterlichen Kälteperioden aber auch mit schnellen Wetterstürzen gerechnet werden. Die konventionelle Herstellung in Ortbeton hätte durch die notwendige Einstellung der Arbeiten bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt zu unlösbaren Terminproblemen geführt. Sie konnten nur durch die Anwendung der Segmentbauweise gemeistert werden.

In einer eigenen Halle wurden querschnittsbreite Brückenfertigteile produziert und auf Lager gelegt, während die Gründungs- und Unterbauarbeiten im Gange waren.

Als der Unterbau den nötigen Vorlauf erreicht hatte, wurden die Fertigteile nach dem Prinzip des Freivorbaues mit einem oben fahrenden Versetzgerät montiert.



**Bild 2** Pfeilerfuß mit Zufahrtsstraßen  
(von der Brücke aus nach unten gesehen)

Auf diese Weise wurden bis zu 83 Elemente, d.h. 268 m Tragwerk in einem Monat hergestellt.

Sowohl die Produktion als auch die Montage der Fertigteile ist als nahezu witterungsunabhängig zu bezeichnen. Lediglich bei langanhaltenden Temperaturen unter  $-8^{\circ}\text{C}$  wurden die Montagearbeiten aus personellen Gründen unterbrochen.

Durch die Beheizung der Fugenbereiche mit einer eigens entwickelten elektrischen Widerstandsheizung, die in den Segmenten einbetoniert war, hätten von Seite der Technologie her gesehen auch tiefere Temperaturen bewältigt werden können.

Um den Termin halten zu können, war es notwendig, je Woche die Segmente für ein Brückenfeld, also 17 Segmente, zu produzieren. Dies bedeutete die Installation von vier Betonierzellen mit stationären Außenschalungen sowie ausfahr- und einziehbaren Innenschalungen aus Stahl, die mit zwei Verteilermasten mit Pumpbeton versorgt wurden. Durch Anwärmen des Frischbetons bzw. durch Bedampfen der Schalungen wurde der Abbinde- und Erhärtungsvorgang soweit beschleunigt, daß nach der Einarbeitungsphase je Tag vier Regelelemente und als Spitzenleistung sogar 77 Elemente pro Monat erzeugt und auf Lager gelegt werden konnten.

Die richtige Lage der Segmente zueinander wurde bei der Produktion durch ein EDV-unterstütztes Meßprogramm gewährleistet. Die Vermessung mußte äußerst exakt durchgeführt werden, da sich jeder Lagefehler eines Elementes auf die nächsten Fugen fortgepflanzt und entsprechend addiert hätte.

Mit Hilfe des EDV-Programmes konnte bei eingetretenen Streuungen die erforderlichen Korrekturen schon bei der Produktion der nächsten Segmente berücksichtigt werden. Um jedoch auch die Lage der Pfeilerköpfe bzw. der definitiven Lager in Relation zum Tragwerk justieren zu können, waren eigene Maßnahmen erforderlich.



Bild 3 Montage der Brückenfertigteile (Segmente)

Allein durch ungleichmäßige Erwärmung der bis 80 m hohen Pfeiler finden Bewegungen der Pfeilerköpfe, die mehrere cm betragen, statt. Die Last des fertigen Waagebalkens, also von 17 Segmenten, mit dem Zentralfuß des Versetzgerüsts betrug ca. 1150 t, sie wurde vorerst von vier Stellingpressen übernommen. Zwei waren am Pfeiler selbst und zwei auf einer Stahlkonsole postiert, um den wirksamen Hebelsarm zu vergrößern. Auf den Pressen wurden allseitig verschiebliche Teflonlager aufgebracht. Die definitiven Lager waren zwar schon auf dem Pfeilerkopf fertig versetzt, hatten aber mit dem Tragwerk noch keine Verbindung.

Für die horizontale Fixierung des Tragwerkes wurde eine Erdbebensicherung, verbunden mit einer Verschiebeanlage, installiert. Damit war es möglich, mit dem Waagebalken in Relation zu den definitiven Lagern Verschiebungen und Drehungen in je 3 Richtungen auszuführen und ihn in seine exakte Endposition zu bringen.





Danach konnte lagerichtig an den bereits fertigen Brückenabschnitt, durch Schließen der verbleibenden Fuge mit Ortbeton und Spannen der Kontinuitätskabel, angekoppelt werden.

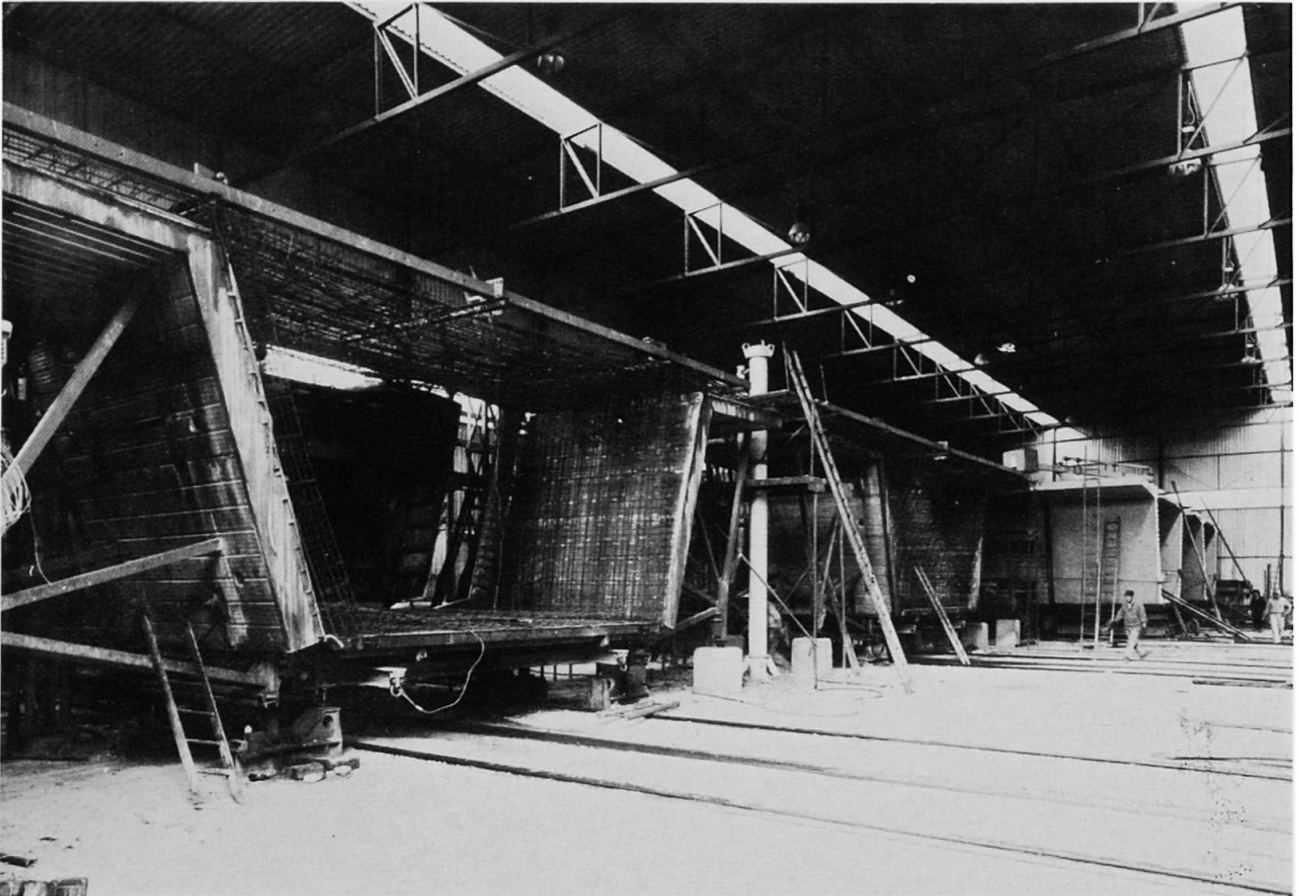


Bild 4 Fertigung der Brückensegmente

#### 4. SCHLUSSWORT

Extrem waren bei diesem Objekt die geologischen und morphologischen Bedingungen, die Terminvorgaben bei Berücksichtigung der tatsächlich aufgetretenen alpinen, klimatischen Verhältnisse, sowie die meß- und bautechnischen Anforderungen an den Ausführenden. Die positive Abwicklung des Bauvorhabens in technischer und terminlicher Hinsicht ist gelungen, der finanzielle Erfolg, also die Honorierung der Bewältigung der erwähnten extremen Bedingungen durch den Bauherrn blieb jedoch versagt.

**V****Ouvrage du franchissement de l'Azergues**

Strassenüberführung über das Val d'Azergues

Crossing over the Valley of Azergues

**MICHEL RIMBOEUF**

Ingénieur TP de l'Etat  
Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes  
Bagneux, France

**CHARLES SALZMANN**

Ing. dipl. EPFZ  
Bureau d'Etudes Techniques C.D.C.  
Valence, France

**RESUME**

Cet ouvrage porte l'Autoroute Paris-Lyon (32 000 véhicules/jour). A la suite de la corrosion des câbles (7% de câbles cassés) il a été nécessaire de choisir entre une réparation et une reconstruction. C'est cette dernière qui a été retenue pour assurer la meilleure durabilité. Une solution originale permet de minimiser la gêne apportée au trafic.

**ZUSAMMENFASSUNG**

Diese vorgespannte Balkenbrücke trägt die Autobahn Paris-Lyon (32 000 Fahrzeuge pro Tag). Infolge der Spannkabelkorrosion (7% zerrissene Kabel) war es nötig zwischen Verstärkung und Wiederaufbau auszuwählen. Diese letzte Lösung wurde vorgezogen, da sie eine bessere Sicherheit und Dauerhaftigkeit zu besserem Preis sicherte. Eine originelle Lösung stört den Verkehr am wenigsten.

**SUMMARY**

The bridge bears the Paris-Lyon motorway (32 000 vehicles per day). Due to corrosion of tendons (7% broken tendons) it was necessary to choose between a repair and a reconstruction. The latter solution was preferred in order to assure the best durability. An original solution reduces inconvenience to the traffic flow.





## 2. PRESENTATION DES PROBLEMES

### 2.1. Etat de l'ouvrage principal

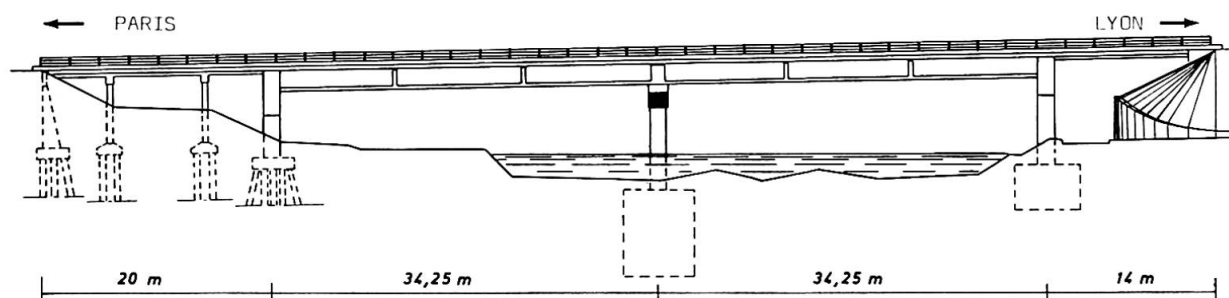
La surveillance réglementaire de l'ouvrage (minimum une visite approfondie tous les cinq ans) a permis de déceler l'apparition de petits désordres dès 1972 (fissures longitudinales dans les talons de poutre, efflorescences). A la visite de 1977 les désordres se sont aggravés en apparence.

Il a été effectué une campagne de gammagraphies (radiographie du béton) sur l'ensemble des câbles des poutres porteuses. Les résultats ont été les suivants :

Nombre total de câbles . . . . .	160
Nombre total de câbles gammagraphiés . . . . .	144
Nombre de câbles impossible à observer . . . . .	16
Nombre de câbles bien injectés . . . . .	16
Nombre de câbles partiellement injectés . . . . .	38
Nombre de câbles sans injection . . . . .	90
Nombre de câbles non tendus et sans injection . .	10

En ce qui concerne les câbles non tendus, leur répartition par travée est la suivante :

- Travées Nord-Est 4 (deux poutres avec deux câbles chacune)
- Travées Sud-Est ; Nord-Ouest ; Sud-Ouest : 2 par travée.



Pour les câbles constatés non tendus des saignées ont permis l'observation du phénomène. A la saignée, il a pu être constaté que les gaines étaient pleines d'eau dont l'analyse chimique a été la suivante :

pH de l'eau : 3,9  
 Cl : 24 mg/litre  
 Fe (soluble) : 0,75 mg/litre  
 Extraits secs : 0,53 gramme/litre  
 Oxyde de fer Fe 2 O3 : 44 % de l'extrait sec.

La cause principale des désordres provient du fait que, en 1962, la technique d'injection des câbles de précontrainte était rudimentaire, que les cachetages des ancrages des câbles relevés de même que la chape d'étanchéité ont été défectueux. Les câbles se sont remplis d'eau saturée de chlorure de calcium utilisée comme sels de déverglaçage par le service hivernal.

L'ouvrage calculé et réalisé pour recevoir trois voies de circulation n'en porte, jusqu'à présent que deux. Peut-être est-ce la raison du fait qu'aucun désordre mettant en cause la sécurité de l'ouvrage ne se soit manifesté. Cet ouvrage est en haute surveillance depuis 1977.

### 2.2. Le maintien du trafic

Le trafic actuel est très important :

- trafic moyen annuel : 35 000 véhicules par jour (dont 7 000 poids lourds)
- trafic de pointe : 90 000 véhicules par jour (dont 7 000 poids lourds) répartis en 60 000 dans un sens et 30 000 dans l'autre
- trafic moyen des semaines les moins chargées : 30 000 véhicules par jour.

Dans ces conditions, il est prévu à court terme d'aménager cette section d'autoroute à 2 fois 3 voies dans chaque sens. Il était en conséquence nécessaire d'intervenir sur l'ouvrage et toute intervention impliquait des interruptions plus ou moins importantes de trafic.

Deux mesures étaient envisageables :

- l'interruption totale du trafic ; cette solution était délicate car l'autoroute est dans cette section entre la Saône et la voie ferrée Paris-Lyon et les franchissements ne sont pas adaptés aux trafics à écouler. De plus la seule voie que l'on pouvait utiliser est la R.N. 6 qui est normalement interdite aux poids lourds car elle traverse de nombreuses agglomérations ;
- le basculement du trafic qui était possible car chaque chaussée est portée par un tablier indépendant de l'autre. Il était donc possible d'envisager la circulation en sens opposé sur 2 voies d'une même chaussée mais seulement pendant 2 fois 3 semaines par an (en permettant la circulation normale aux week-end d'extrémité) et 3 fois 1 semaine (du lundi 9 h au vendredi 16 h).

Il est à noter que parallèlement à l'intervention sur l'ouvrage principal des travaux de renforcement des ouvrages d'accès ont été entrepris. Ces travaux avaient notamment pour but de mettre en conformité des dispositifs de sécurité de l'ensemble des ouvrages.

### 3. SOLUTIONS ENVISAGÉES

L'inspection des appuis et des fondations ont mis en évidence leur bon état, le problème se limite donc aux seuls tabliers.

Deux solutions ont été étudiées de manière très approfondie pour arriver à assurer la sécurité de l'ouvrage ; la réparation ou la reconstruction.

#### 3.1. La réparation

##### Solutions étudiées

- a) Renforcement par précontrainte extérieure après création d'entretoises-points d'appuis et renforcement des talons de poutre.
- b) Renforcement par éléments porteurs complémentaires en béton précontraint ou en métal.

Ces solutions nécessitaient parallèlement la réinjection des câbles pour tenter d'arrêter la corrosion.

##### Conséquences sur le trafic

Pour les deux solutions toutes les opérations devaient se faire par l'intrados. Elles nécessitaient des interruptions très courtes du trafic mais le caractère aléatoire des durées des travaux posait un problème.

Les travaux auraient dû subir de multiples arrêts pour que les interruptions de trafic se fassent aux périodes de faible circulation ce qui aurait augmenté le coût des travaux.

#### 3.2. La reconstruction

##### Solutions étudiées

- a) Démolition d'un tablier et reconstruction selon les moyens traditionnels.
- b) Construction d'un nouveau tablier sur appuis provisoires à côté de l'ouvrage, démolition du tablier ancien le plus proche et ripage du nouveau tablier, construction du 2ème nouveau tablier sur les mêmes appuis provisoires, démolition du 2ème tablier ancien et ripage de l'ensemble des deux nouveaux tabliers en position définitive.
- c) Construction des tabliers nouveaux sous les tabliers anciens à une longueur légèrement plus faible, ripage d'un tablier ancien sur une aire de démolition, élévation d'un tablier nouveau et adjonction d'abouts précontraints pour arriver à la longueur nécessaire et même opération pour l'autre tablier.

##### Conséquences sur le trafic

Cette solution était incompatible avec les impératifs de maintien de la circulation.

Cette solution était séduisante mais la dernière opération qui nécessitait une coupure brève de la circulation (une nuit) était très délicate car compte tenu des dévers des tabliers le ripage comportait un mouvement horizontal et un mouvement vertical et tout incident entraînait la coupure totale du trafic.

Cette solution minimisait les basculements de trafic mais son coût était nettement plus élevé que celui des autres solutions.



d) Construction des tabliers nouveaux de part et d'autre des tabliers anciens, démolition rapide d'un tablier ancien, ripage du tablier nouveau situé du même côté et même opération pour l'autre tablier. Cette solution est semblable à la solution b, ci-dessus mais double les appuis provisoires.

Cette solution présentait un risque car le basculement de circulation nécessaire était limité à 3 semaines.

#### 4. SOLUTION RETENUE

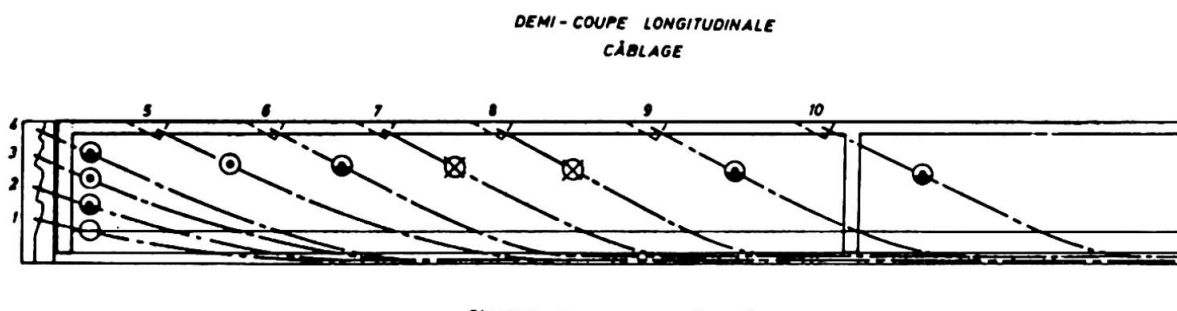
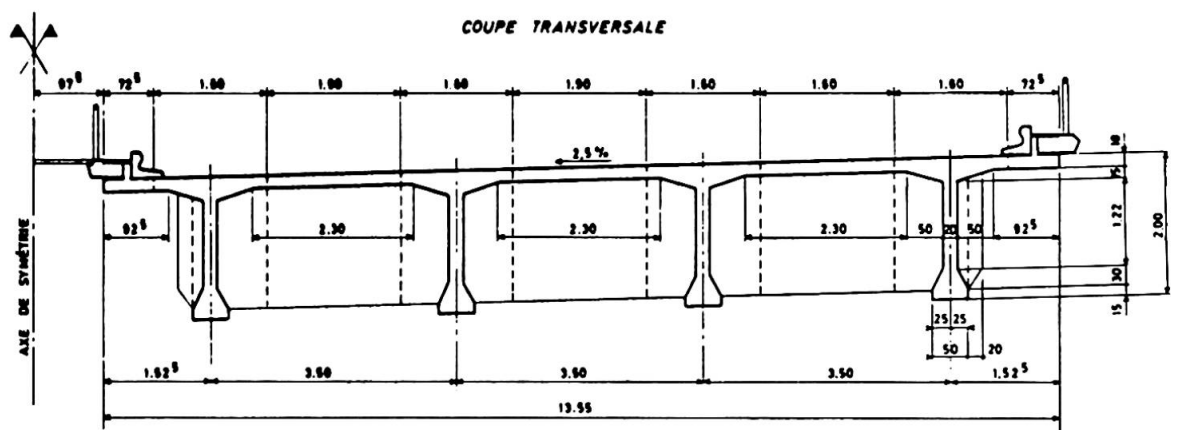
C'est la dernière solution présentée ci-dessus qui a été retenue car son coût était raisonnable et les aléas concernant l'écoulement du trafic étaient modérés.

Actuellement le tablier Ouest a été ainsi reconstruit. Le nouveau tablier a été entièrement construit sur appuis provisoires, équipements compris. Après démolition de l'ancien tablier Ouest, il a été ripé et il ne restait à mettre que les joints de chaussée et la couche de roulement. Cette opération a été réalisée en mars 1980 et le basculement de trafic n'a été que de 16 jours. Durant ce basculement les trafics enregistrés ont été de 32 310 véhicules par jour en moyenne.

#### 5. CONCLUSIONS

En conclusion, nous pouvons mettre en évidence deux points intéressants :

- La totalité des travaux a été estimée au début de 1980 à 9 000 000 F TTC dont 90 % pour le remplacement du tablier. Ce prix est voisin des coûts des solutions de réparation mais il permet de disposer d'un ouvrage neuf dont la longévité sera sans nul doute supérieure à celle d'un ouvrage réparé.
- Ce problème nous a permis de faire le tour des solutions envisageables dans un tel cas. En plus des études faites par la Société Concessionnaire, il a été lancé un concours entre diverses entreprises pour proposer des solutions tant de réparation que de reconstruction. Enfin une solution a déjà en partie été mise en œuvre avec succès car les basculements de circulation déjà effectués n'ont entraîné qu'un faible ralentissement du trafic sans qu'aucun bouchon ne se soit formé.



Résultats des gammagraphies d'une poutre

- Câble non gammagraphié
 ⊙ Gaine non injectée
 ⊗ Injection partielle
 ⊗ Câble détendu

**V****Installing Prestressing Tendons in Arduous Conditions**

Travaux de précontrainte dans des conditions extrêmes

Vorspannarbeiten unter schwierigen Bedingungen

**G.R. SIDES**

Ph.D. F.I.C.E.  
Simonbuild Ltd.  
Stockport, England

**H.R. MÜLLER**

dipl. Ing. ETH  
Stahlton AG  
Zürich, Switzerland

**SUMMARY**

Prestressing operations require care and expertise even in the best working conditions. This article describes such activities afloat, 24 hours a day, in the winter months and in conjunction with slipforming operations during the construction of the 67 m high towers of the Cormorant 'A' oil production platform.

**RESUME**

Même dans des conditions optimales, les travaux de précontrainte nécessitent une grande expérience et une prudence extrême. Cet article montre les problèmes spéciaux – travaux en mer, 24 heures par jour, en hiver, coffrages glissants – rencontrés lors de l'exécution des travaux de précontrainte pour la construction de la plate-forme de pétrole Cormorant 'A', de 67 m de hauteur.

**ZUSAMMENFASSUNG**

Vorspannarbeiten verlangen selbst unter optimalen Bedingungen grosse Erfahrung und äusserste Vorsicht. Dieser Beitrag beschreibt solche Arbeiten auf offener See, im 24 h – Takt, während des Winters und im Zusammenhang mit dem Gleitschalverfahren beim Bau der 67 m hohen Erdölplattform Cormoran 'A'.



## INTRODUCTION

"Arduous" is defined in the Collins English Dictionary as :-

"requiring great physical or mental effort"

Thus arduous conditions can result from circumstances which require great physical or mental effort. Where circumstances require that both efforts occur simultaneously it must be recognised that the threshold of effort at which "arduous conditions" become "impossible conditions" is significantly reduced.

In conditions of combined physical and mental effort much can be done in a construction environment to alleviate the physical conditions. Preparation and thought also need to be directed to reducing the mental strain to ensure that the Works are completed on time and to the required standard of quality.

In particular the need to work to a very strict programme which must be met regardless of weather conditions adds to the required mental effort.

Failure to appreciate at an early stage the effects of the combination of physical and mental effort, and failure to ensure that all possible pressures, whether mental or physical, are alleviated will result in unsatisfactory workmanship, delays to the planned programme and, in the ultimate, technical failure.

### 1. THE WORKS

The Main Contract was for the construction by Sir Robert McAlpine & Sons Ltd., and Sea Tank Company of Paris of the North Sea oil production platform Cormorant 'A' for Shell Esso, fig. 1. The Main Contract programme required that the platform was completed and delivered to suit the North Sea weather window, i. e. a limited period in the summer months. Failure to meet this "window" would mean that oil production from the Cormorant 'A' platform would be delayed by 12 months, which possibility was unthinkable.

The Sub-contract was to install the prestressing tendons in each of the four 67m high towers whilst the towers were being constructed by the slipforming process, fig. 2. These Sub-contract works were completed by BBRV Marine which is a joint venture of the BBRV Licensees in Scandinavia (A/S Strangbetong), Switzerland (Stahlton AG) and the United Kingdom (Simonbuild Ltd).

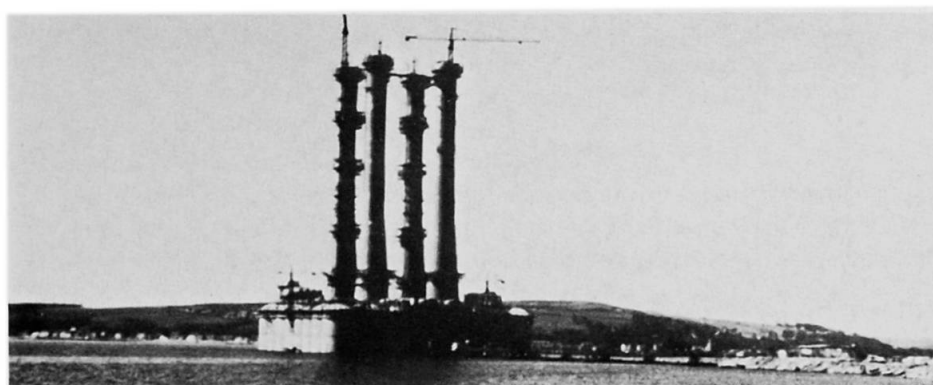


Fig. 1 The Cormorant 'A' Oil Production Platform.

## 2. THE TECHNICAL REQUIREMENTS

Slipforming has been extensively used in offshore concrete gravity platforms. New methods of placing and anchoring tendons for post-tensioning have been developed especially for the vertical tendons in the towers. Since wind and wave forces produce significant bending moments in these towers, and since these moments reduce with height, economy requires that the number of prestressing cables should be successively reduced to match the bending moment diagram.

The problems encountered in the conventional installation of prestressing tendons in slipformed towers are :-

- The additional operation of installing prestressing tendons after completion of the associated slipforming which can lead to an extra item on the critical path.
- The above operation requires the erection of another working platform additional to the one already present for slipforming.
- The constructional difficulties and the programme consequences of forming the internal buttresses at each tendon termination level after the completion of the slide.

Thus the major requirement which was achieved by the special procedures adopted in the Cormorant Platform Towers was to install and anchor 256 No. 375 tonne capacity tendons in the towers whilst they were being slipformed so that on completion of the slipforming operation, and as soon as the tower concrete had reached the required strength the prestressing of the towers could commence. By this method there was also no need for any access to the inside of the towers at any of the 64 tendon fixed end anchorage levels.

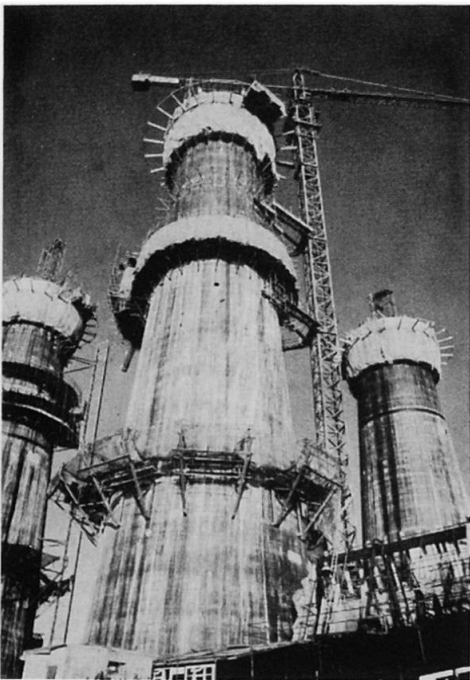


Fig. 2 Slipforming the 67m high towers.

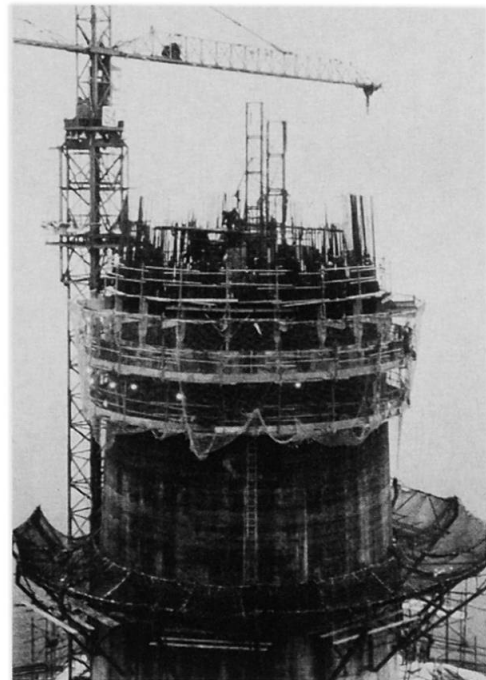


Fig. 3 The slipform platform





The load applied to the slipforming platform during tendon installation was to be kept to a minimum as increased loads would require extra lifting equipment which would cause congestion in an already limited area, fig. 3. It is also important in slipforming to avoid eccentric loads. Thus to lift tendons weighing up to 1.5 tonnes from different points around the slipforming platform would cause unacceptable slipforming conditions.

### 3. THE TECHNICAL SOLUTIONS

The method to avoid these problems whilst allowing the installation of the prestressing tendons during the slipforming process involved fastening an "upper tube unit", fig. 4, onto the top of the ducting at each tendon installation level. This unit was 3m long and incorporated :-

- a conventional end anchor plate at the top end
- a smaller bearing plate at the bottom end to distribute the stresses applied, during the installation of the tendon, to the relatively young concrete of the tower.

The tendon was installed along a tortuous route extending from the platform deck to the slipform platform as shown in fig. 5, by fixing a lifting device (a linear winch) to the top plate when the concrete had been placed to within 0.5m of the upper plate. At this stage the lower plate was 2.5m into the concrete and was bearing on concrete which had achieved sufficient strength to withstand the loads transmitted through the tube unit from the lifting device. When the tendon had been lifted to the correct distance above the top plate of the tube unit, chocks were positioned between the tube unit upper plate and the underside of the tendon fixed anchorage. The lifting device was then removed and the slipforming proceeded, without delay, past and covering the completed fixed end anchorage, fig. 6.

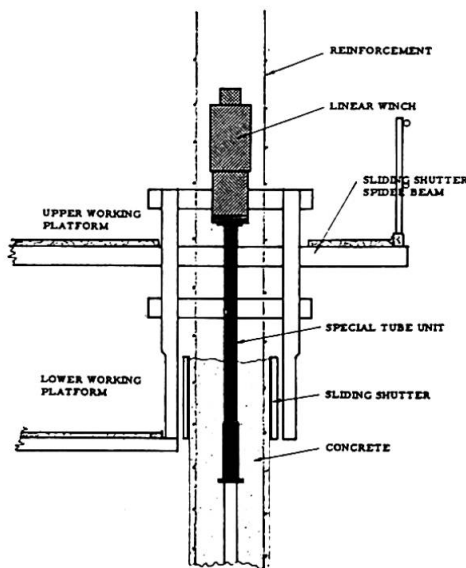


Fig. 4 Tendon lifting arrangements

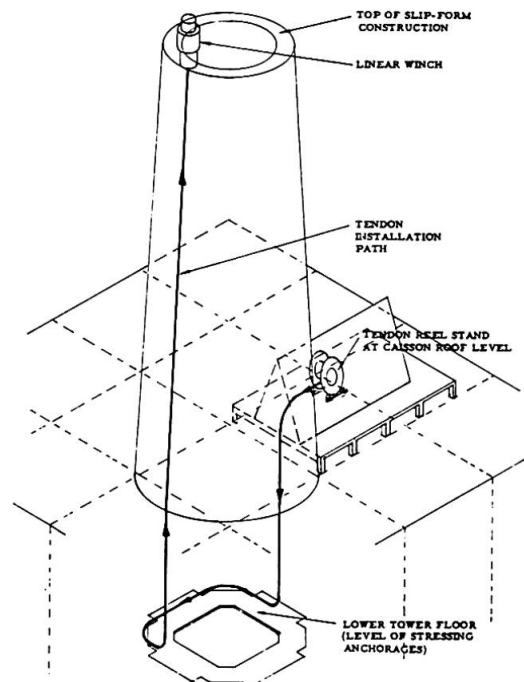


Fig. 5 Tendon installation route

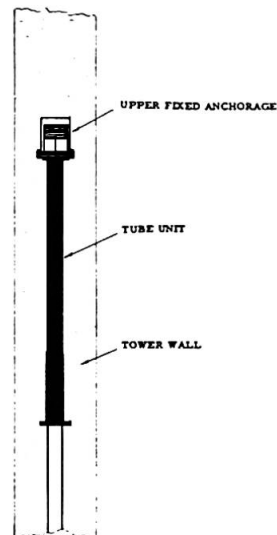


Fig. 6 Tendon fixed anchorage after passage of slipform

#### 4. THE WORKING CONDITIONS

The Main Contract programme required that the tower construction was completed by a specific date and in order to achieve that date the Main Contractor decided to slipform the towers. Thus the above technical solution had to be continuously operable day or night, in any weather condition, and without any doubt whatsoever.

The problems and arduous conditions anticipated and the steps taken to overcome them were :-

##### 4.1 Staff and operative availability

During slipforming operations sufficient experienced staff and operatives from the U.K., Switzerland and Sweden were resident in the site camps to provide three complete teams.

##### 4.2 Double shift working

Two 12 hour shifts were worked each day and as three teams were available this meant each team working four shifts, and on standby for two shifts when changing from day to night or from night to day shifts. Thus arrangements were made for frequent breaks and for a complete spare team to be on standby should the need arise, either for an extra team or an extra individual.



### 4.3 Weather conditions

In the winter months off the West coast of Scotland high winds and low temperatures can be expected. In the event, the average maximum wind speed per shift in the six months duration of the slipforming was 29.9 mph, with recorded wind speeds in excess of 50 mph on 27 different shifts. Similarly temperatures below freezing were encountered on 63% of the shifts worked, with the lowest temperature recorded at the top of the towers being  $-11^{\circ}\text{C}$ .

In anticipation of these conditions the Main Contractor had taken care to ensure that :-

- The site camp was comfortable.
- High quality site meals were provided.
- Protection was provided on the floating platform.
- Protective wind and waterproof clothing was provided.
- Hot drinks were provided at frequent intervals.

### 4.4 Standby equipment

Duplicate installation equipment was in position at each location. Also, spares for all items of plant were stored on the Cormorant 'A' platform, with certain light spares available on each slide platform.

### 4.5 Precautions

Stringent precautions were taken to avoid situations which might cause delay or which might increase difficulties in the execution of the work.

These precautions fall into two main classes :-

Avoidance of difficulty by :

- attention to inspection and control procedures
- equipment maintenance by planning, by adequate numbers of fitters and by adequate availability of spares
- taking precautions to prevent ducts becoming blocked by foreign bodies, by damage and by 'lips' at joints e.g. temporary caps were positioned on the top of the vertical duct sections at all times during the tower construction.

Anticipating problems :

All possible eventualities were considered and catered for before work actually commenced on site, e.g. in order to prevent interruption to slipforming in the event of cable installation being delayed, 1m long duct



extenders were designed and pre-manufactured. This then allowed the level of the top of the duct to be raised and the slipforming to proceed whilst the installation problem was overcome.

## 5. INCENTIVES

As the prime requirement was not to delay the slipforming, the incentive scheme for both operatives and staff was related to slipforming progress, although payments took account of :-

- the remoteness of the site
- the extended periods between week-end leaves
- camp life
- double shift working
- standby requirements

## 6. PROBLEMS

Despite all care in planning, in execution, in inspections, and in the provision of standby arrangements, problems will and do occur when the techniques are innovative and the conditions are so arduous.

For this reason the senior management on the site was and should be of a very high calibre - higher than might be believed if one looked solely at the size of the contracts.

The correctness of this decision is demonstrated by the only major problem which occurred during the execution of the works when a crucial item of specially developed but well tested equipment proved to be unable to continue to work safely and reliably in the extreme environmental conditions. It proved less capable of dealing with and responding to the pressures of the situation than did the operatives.

The problem was appreciated at an early stage and the winches were replaced during the slide by an alternative and, in the event, satisfactory powered pull lifts. The transition was made without causing any delay to the slipforming process.

All other problems which were encountered were overcome by taking advantage of the various standby arrangements.

## 7. CONCLUSION

All 256 BBRV prestressing cables were satisfactorily installed during the slipforming operation without causing any delay to the construction of the towers and immediately on completion of that construction prestressing of the tower tendons was able to commence.

Leere Seite  
Blank page  
Page vide

## Conclusions

### EDMUND HAPPOLD

Professor of Building Engineering  
University of Bath  
Bath, England

When I hear such a range of papers I am always surprised at what my engineering colleagues get up to in their working lives.

Now probably the best definition of civil engineering ever given was Thomas Tredgold's "the art of directing the great sources of power in nature for the use and convenience of man".

Now civil engineering undoubtedly started as construction engineering - the rational analysing and solving of practical problems. It is still true that the ability to construct what is conceived, to be a good contractor, is the core of an engineer's art. Being able to predict physical performance by the use of science came later but it is these two areas of knowledge which enable us to think out what we wish to build before we start to do it - which of course is design.

Now to be responsible for the execution of a project is an immense responsibility since all problems are multifaceted. You have to inter-manipulate between the restraints of climate, site conditions, labour, materials and so on. Often nowadays some of these restraints are extreme because the mineral resources now available are in extreme conditions like the arctic, deep offshore - or because the underdeveloped country is underdeveloped because physical or political problems are so acute.

But it is also true that it is from extreme conditions that answers are produced which are relevant to all situations and I presume this is why this subject was chosen.

The papers you have heard can only touch a small area of this vast field yet all fit clearly in this thread.

The paper on the building of the station on the Matterhorn, with its problems of materials' transportation and climatic change effecting the construction programme and the design; the techniques used to construct Sidehill bridge and the Azergnes bridge are reactions to specific local problems as is the technique developed for installing prestressing tubes during slip forming operations during construction of Cormorant A oil production platform. The paper on how the climatic conditions affect concrete, not only "as placed" but also the monitoring samples, in Jeddah continues the work done by Portland Cement Association as well as others. The paper on bridges in the South Pacific area is broader and relates to





the problems of an underdeveloped area. The one on airport construction in Zaire covers the logistics of planning a very large scale project. The final one on the physiological problems of workers in the deep gold mines in South Africa I found fascinating as it directly relates to the human problems we have to deal with - and which we perhaps do not discuss enough in IABSE.

Yet there is need for much more sharing of information - many more papers - and I hope you will all re-read the excellent papers of Prof Mahmood and David Osborne-Moss and see if you can enlarge our knowledge.

Man's needs are constantly changing. Since the use of energy is probably an indication of the living standards people aspire to they are worth considering.

Using the World Bank classification, the non-communist industrialised countries include only 16 per cent of the world population but consume 57 per cent of the total energy whilst producing only 37 per cent.

The centrally planned economies (including China) comprise 31 per cent of the world population and they use and produce almost the same percentage of total energy.

The developing group of countries, who form more than half the world population, consume less than  $\frac{1}{6}$ th of the total commercial energy which not only gives an indication of the development of new sources of power we require but also reflects the enormous rise in all of the services of modern society which countries aspire to. If we fail to try to satisfy then we will have increasing conflict and civil engineering, like other disciplines, must combat this. The world is knee deep in civil engineering problems and all we need are people willing to pick them up.

My disappointment with this session is not with the papers we have received but with the ones we have not had. Prof Mahmood's paper asks for those studies, which some engineers must be doing, which relate to the organisation of construction in developing countries. If IABSE does not contain these engineers it will decline because it is in the third world that the innovative engineering should come.

Finally we have all enjoyed being in Vienna. You will doubtless have visited the Loretto Chapel in the Augustinerkirche next to the Hofburg and seen the fifty or so silver urns containing the hearts of the Hapsburgs. I think part of our hearts too will remain in this beautiful city.

## Schlussfolgerungen

H.R. SCHALCHER

Dr. -Ing.

Zürich, Schweiz

Diese Arbeitssitzung des IVBH Kongresses in Wien war dem Thema "Bauen unter extremen Bedingungen" gewidmet. Zum besseren Verständnis dieser weitgespannten Problemstellung wurde das Thema in zwei Teile gegliedert: Der erste Teil der Beiträge befasste sich in erster Linie mit extremen klimatischen Randbedingungen, während im zweiten Teil die Einflüsse der technischen, ökonomischen, sozialen und politischen Umweltbedingungen auf das Bauen aufgezeigt wurden.

Als Einleitung zu den Vorträgen erhielten die Autoren des Einführungsberichtes noch einmal die Gelegenheit, ihre Gedanken zu den beiden thematischen Schwerpunkten vorzustellen. Den zwei ersten Referenten gelang es vorzüglich, die besonderen Probleme aufzuzeigen, die bei Bauarbeiten in extremen Höhen über Meer in technischer und menschlicher Hinsicht auftreten: Bauen auf der höchstgelegenen Baustelle in Europa (fast 4'000 m ü.M.), und tief unter der Erde in den Goldminen von Südafrika (3'500 m u.M.). Der dritte Beitrag konzentrierte sich auf ein materialtechnisches Problem, die Betoneinstellung und Qualitätssicherung in heißen Zonen. Allgemeine Aspekte beim Bauen in tropischen Gebieten behandelten die Vorträge über Flughafenbauten in Zaire und über Brückenbauten im südlichen Pazifik, wobei sich gezeigt hat, dass trotz unterschiedlicher Aufgabenstellung sich die aus extremen Randbedingungen ergebenden Probleme bei der Projektierung und Ausführung oft wiederholten. Die drei letzten Referate waren hauptsächlich extremen technischen Randbedingungen gewidmet: Geologische Probleme beim Bau der Hangbrücke Puchreit, verkehrstechnische Randbedingungen bei der Renovation einer Autobahnbrücke in Frankreich und logistische Probleme beim Bau einer Bohrplattform in der Nordsee.

Die sehr vielseitigen Vorträge haben die unendliche Vielschichtigkeit des Themas dieser Arbeitssitzung bestätigt. Es war sicher unmöglich, alle Aspekte des Bauens unter extremen Bedingungen eingehend zu behandeln. Es ist aber gelungen, mit diesen Vorträgen darauf hinzuweisen, dass die besonderen Problemstellungen bei der Verwirklichung eines Bauvorhabens unter schwierigen und unbekanntem Randbedingungen schon sehr frühzeitig analysiert und berücksichtigt werden müssen, d.h. bereits beim Entwurf, und nicht erst während der Ausführung eines Bauwerkes, wo sich solche extremen Randbedingungen mit Sicherheit ohne Rücksicht auf die am Bau Beteiligten auswirken, sofern Konzept, Materialwahl, Baumethoden und Zeitprogramm nicht von Anfang an auf diese Randbedingungen abgestimmt wurden.

Leere Seite  
Blank page  
Page vide