



Tunnel Boring Machine

T.B.M

ماشین آلات حفاری تونل

ارائه دهندگان

مجید مقیسه

احسان صالحی

پهلبد عصمتی

مصطفی فرازنده

تکنیک حفر تونل

تونلها و فضاهای زیرزمینی برای مقاصد متنوعی ایجاد می‌شود که از آن میان می‌توان موارد زیر را نام برد:

تونل‌های حمل و نقل و دسترسی ، تونل‌های آب بر ، فضاهای زیرزمینی بزرگ (ایستگاه‌های مترو ، نیروگاهها ، انبارهای زیرزمینی و کارگاههای استخراج مواد معدنی).

طراحی هر یک از فضاهای فوق مستلزم دسترسی به داده‌های مناسب و به کارگیری تمهیدات ویژه است. در هر مورد طراح باید ضمن آگاهی دقیق از شرایط زمین ، ابتدا در جهت بهبود کیفیت مصالحی که قرار است تونل در آن حفر شود، اقدام نماید. در بسیاری از زمینها تونل‌های حفر شده نمی‌توانند خودنگهدار باشند و برای پابرجا نگهداشتن آنها باید از حایلهایی استفاده کرد.

به نظر می‌رسد که مهمترین عامل در طراحی تونل ، یا هر فضای زیرزمینی دیگر ، تامین پایداری آن است. قرارگیری این گونه سازه‌ها در میان مصالح طبیعی ، یعنی سنگ و خاک ، باعث شده است که شرایط زمین شناسی نقش اصلی را در پایداری ایفا نمایند.

دستگاه حفار

دستگاه حفار یا **TBM** بر گرفته از نام کامل **Tunnel Boring Machine** مدل **ME 170 SE** در حال حاضر یکی از مدرنترین و پیشرفته ترین نوع حفار در جهان است که در سال ۱۹۹۶ در کارخانه **LOVAT** ساخته شده است.





قطر آن ۴,۳۰ متر و طول دستگاه اصلی ۷,۵ متر و با احتساب قسمت پشتیبانی و تدارکات طول آن برابر ۸۰ متر است. این دستگاه از نوع **EPB** کامل است که براحتی قادر به کار در زیر عمق آب است.



طول قسمت سر مته و پوسته فرورارد ، ۲,۶۰ متر است و ۸ دریچه کنترلی دارد که با باز کردن آنها مواد حفاری شده از سینه تونل از این دریچه ها به نوار نقاله هدایت می شود. سر مته ، بوسیله سه موتور برقی اصلی که قدرت هر کدام حدود ۳۰۰ کیلو وات است و ۱۶ پیستون یا جک به قدرت هر کدام ۱۲۵ تن جمعا " ۲,۰۰۰ تن به حرکت در می آید.



این دستگاه در ضمن حرکت دورانی بوسیله جک ها با فشار زیاد به جلو رانده می شود. نتیجه این دو حرکت ، کندن خاک از سینه تونل است که از طریق دریچه ها به نوار نقاله هدایت می شوند. پوسته ایستگاهی که بعد از سر مته برش قرار دارد محل استقرار اپراتور ماشین حفار می باشد. دستگاه تئودولیت ، کامپیوتر و تمام شاسیها و کلیدهای ماشین حفار در این قسمت تعبیه شده است.

آخرین قسمت اصلی ، شیلد انتهائی نام دارد. دستگاه نصب کننده قطعات پیش ساخته بتنی و پوشش داخلی تونل در این قسمت قرار دارد. مجموع طول این سه قسمت ، ۷,۵ متر و وزن ماشین حدود ۲۳۰ تن می باشد

خاکها و مواد حفاری شده از سینه تونل از طریق دریچه های کنترلی که در کنار سر مته های حفاری تعبیه شده اند به نوار نقاله اولیه که طول آن حدود ۹ متر است هدایت می شود و بعد بوسیله نوار نقاله انتهائی که طول آن حدود ۳۰ متر است به واگنهای حمل خاک ریخته می شود. این واگنها خاکها را به خارج تونل برده و آنها را در محل مخصوصی تخلیه می کنند. خاکهای دپو شده بعداً " بوسیله کامیون به خارج کارگاه حمل می شوند.



پس از حفر ۱,۲۰ متر طول که حجم خاک آن حدود ۱۵ متر مکعب و زمان اجرای آن حدود ۲۰ دقیقه است ، عملیات حفاری متوقف شده و قطعات پیش ساخته بتنی که در کارگاه دیگری تولید و با تریلی به محل حفاری حمل شده ، توسط واگنهای مخصوص حمل **SegmentCar** به داخل تونل و جلوی دستگاه برده می شوند.

سپس این قطعات پیش ساخته به ترتیب توسط دستگاه حمل کننده یا **Erector**، که قادر است ۳۶۰ درجه حول محور خود بچرخد در جای خود قرار گرفته و بلافاصله بوسیله پیچ و مهره های قوسی شکل به قطعات نصب شده قبلی متصل و تثبیت می گردند.





هر رینگ بتنی از ۵ قطعه پیش ساخته بتنی نوع **C,B,A** و یک قطعه کوچک بتنی نوع **K** یا **Key** تشکیل شده است. قطعات اصلی در محور ۶۷۵ درجه و قطعه کلید شامل ۲۲۵ درجه است و به همین جهت ، با تغییر موقعیت نصب قطعه کلید ، می توان جدار تونل را در مسیر مستقیم یا قوسی پوشش نمود.



ضخامت قطعات بتنی ۲۵ سانتی متر و عرض آنها ۱,۲۰ متر است. با توجه به اینکه حفاری ۴,۳۰ متر ، قطر داخلی تونل ۳,۷۰ متر و قطر خارجی ۴,۲۰ متر است بنابراین بین قطر حفاری و قطر خارجی تونل ، پس از نصب قطعات به فاصله ۵ سانتی متر فضای خالی باقی می ماند.

این فضا بوسیله دوغاب سیمانی با فشار پمپ از دستگاه تانکر مخصوص و از طریق سوراخهای مخصوصی که در وسط قطعات پیش ساخته تعبیه شده ، به پشت قطعات تزریق و پر می گردد. دوغاب سیمان یاد شده در خارج تونل تهیه و سپس بوسیله پمپ به تانکر مخصوص تخلیه می گردد.

دور هر قطعه پیش ساخته بتنی ، یک نوار لاستیکی آب بند یا **Gasket** قرار داده می شود بطوریکه با نصب قطعات در کنار یکدیگر هیچگونه درز یا فاصله ای در محل اتصال آنها پیدا نمی شود و آب نمی تواند به خارج از تونل نفوذ نماید.

پس از عملیات نصب ، حفاری تونل مجدداً " شروع و عملیات ساخت تونل دنبال می گردد. ماشین حفار بطور معمولی در دو شیفت کار می کند ، و بطور متوسط روزانه ۲۰ رینگ یا ۲۴ متر طول تونل حفاری و قطعات پیش ساخته آن نصب می شود. در حالت معمولی ، ماشین در هر ۵۵ دقیقه ، ۱,۲۰ متر حفاری و قطعات پیش ساخته بتنی را نصب می کند.

حفاری مهمترین بخش شبکه جمع آوری و هدایت آبهای سطحی یعنی تونل خیام و تونل بهمینار بوسیله این دستگاه انجام گردید که راهبری و اجرای تونل بهمینار تماماً بدست توانمند متخصصان ایرانی انجام پذیرفت.

این ماشین ها تمام مقطعه‌های دایره ای را یک جا حفر می کنند و معمولاً آنها را به نام ماشین های تونل حفر کن می نامند و با علامت اختصاری **T.B.M** که حروف اول نام انگلیسی دستگاه است از آنها نام می برند .
تکامل و گسترش این دستگاه ها سبب شده است که آهنگ پیشروی تونل ها در حد قابل توجهی افزایش یابد.
امروزه در سنگ های نسبتاً سخت نیز برای حفر تونل از این ماشین ها استفاده می کنند.

بعد از سال ها تلاش و ساخت انواعی از این نوع ماشین ها کوشش های بعدی به منظور ساخت ماشین های تمام مقطعی بود که شرایط سخت زمین شناختی قادر به حفر تونل باشد که آهنگ پیشرفت و تکامل در این زمینه در مقایسه با پیشرفت های اولیه این ماشین ها محدود تر است. در واقع شروع این تحقیقات کوشش های رایج در سال ۱۹۵۷ میلادی برای ساخت ماشین هایی بود که بتواند در سنگ های خیلی سخت نیز با راندمان معقول تونل حفر کند.

در آن زمان به تدریج این دستگاه ها سنگین تر و محکم تر شدند و توان آنها نیز افزایش یافت اما پیشرفت آنها در زمینه حفر سنگ های محکم کند است. به عنوان مثال عملکرد نوعی از این دستگاه ها که مجهز به هر دو سیستم برش ناخنی و دسکی بود برای حفر در سنگهای آهکی سیلیتی که در بین آنها لایه هایی با مقاومت **140 Mpa** وجود داشت راضی کننده نبود. سرانجام ناخن ها به طور کلی حذف شد و حفر تونل تنها با استفاده از دیسک های حفر ادامه یافت.

تقسیم بندی ماشین های Tunnel Boring Machine (T.B.M):

1. Open T.B.M

2. Single Shield T.B.M

3. Double Shield T.B.M

قسمت های اصلی این نوع ماشین ها به شرح زیر است:

1. بدنه

2. صفحه حفار

3. ابزار برش

4. چنگ زنها

5. جک های رانش صفحه حفار



August 10, 2003. Photo © Martin Parsons 2003.
<http://www.barp.ca>



August 10, 2003. Photo © Martin Parsons 2003.
<http://www.barp.ca>

نحوه تخلیه مواد حفر شده توسط ماشین :

مواد حفر شده به وسیله سیستم ویزه ای که معمولاً مرکب از سطوح های تعبیه شده پیرامون صفحه حفار است از جلوی جبهه کار جمع آوری شده و به داخل نوار نقاله ای که از داخل دستگاه می گذرد به پشت ماشین هدایت می شود گرچه معمولاً محدودیتی برای ابعاد مواد حفر شده و انتقال آنها وجود ندارد اما اگر ابعاد حفر شده خیلی زیاد باشد ممکن است گیر کنند و عمل انتقال را متوقف سازند.

از طرفی مواد خیلی نرم نیز علاوه بر مشکل تهویه ممکن است مخلوطی را تولید کنند که به شدت ساینده باشند. در بعضی از این نوع ماشین ها در مجاورت صفحه حفار پرده هائی تعبیه می شود که گرد و غبار را می گیرند این ذرات در اثر اسپری آب جدا می شوند.

قیمت این ماشین ها :

قیمت T.B.M گران است و بیشتر به نوع سفارش داده شده به کارخانه سازنده و نوع سنگ های حفر شونده بستگی دارد . ولی در کل قیمت آنها را می توان در حدود ۷ یا ۸ میلیارد تومان در نظر گرفت باید دوباره بگویم که حدود قیمت این است و بسته به شرایط قیمت آنها ممکن است کمتر یا بیشتر باشد.



October 22, 2003. Photo © Martin Parsons 2003.
<http://www.barp.ca>

July 2003. Photo © Martin Parsons 2003.

<http://www.barp.ca>



مقایسه انواع ماشین های حفر تونل (TBM)

جدول - مقایسه مزایا و معایب انواع ماشین های حفر تونل در سنگ

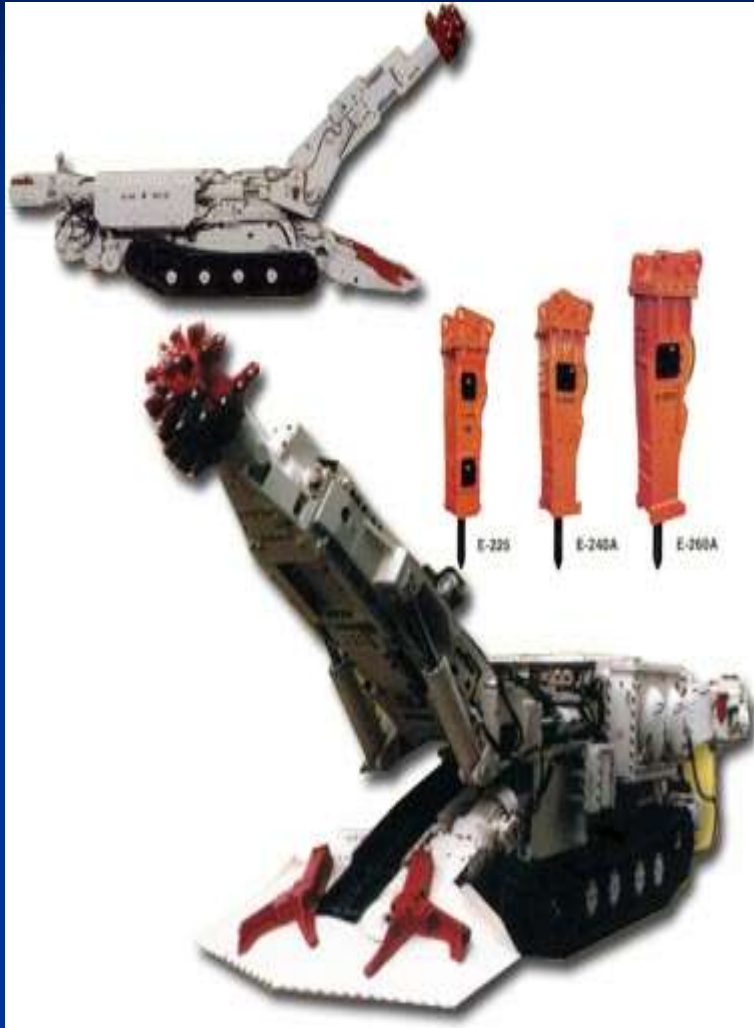
معایب	مزایا	نوع ماشین حفر تونل
<p>۱. عدم امکان پیشروی در سنگهای سست</p> <p>۲. عدم امکان کنترل ریزش سینه کار و فضای حفاری شده</p> <p>۳. اضافه شدن هزینه نگهداری موقت به پروژه</p> <p>۴. اضافه شدن زمان بتن ریزی به مدت زمان حفاری پروژه</p>	<p>۱. هزینه سرمایه گذاری پایین</p> <p>۲. سرعت پیشروی بالا</p> <p>۳. سیستم کاری ساده</p>	<p>ماشین باز</p> <p>Open TBM</p>
<p>۱. نرخ پیشروی کمتر آن نسبت به دو نوع دیگر</p> <p>۲. امکان گیر کردن سیر در مواجهه با همگرایی زیاد زمین</p> <p>۳. نیاز به کارخانه سگمنت</p>	<p>۱. امکان کار در زمینهای ریزشی</p> <p>۲. امکان کنترل نفوذ آب با سیر بسته و پمپاژ</p> <p>۳. نصب همزمان نگهداری نهایی سگمنتی</p> <p>۴. تزریق پشت سگمنت همزمان با اجرا</p>	<p>ماشین تک سپره</p> <p>Single Shield TBM</p>
<p>۱. امکان گیر کردن سیر در مواجهه با همگرایی زیاد زمین و پدیده لهیدگی</p> <p>۲. نیاز به کارخانه سگمنت</p> <p>۳. هزینه سرمایه گذاری بالا</p>	<p>۱. امکان کار در زمینهای ریزشی و مقاوم</p> <p>۲. سرعت پیشروی بالا</p> <p>۳. امکان کنترل نفوذ آب با سیر بسته و پمپاژ</p> <p>۴. نصب همزمان نگهداری نهایی سگمنتی</p> <p>۵. تزریق پشت سگمنت همزمان با اجرا</p>	<p>ماشین سپر تلسکوپی</p> <p>Double Shield TBM</p>

کارخانه ماشین سازی Yasinovatsky (اکراین)

یکی از بزرگترین و تنها تولیدکننده T.B.M رود هدر رایز بویرینگ در اتحاد جماهیر شوروی سابق بوده که دارای کاملترین خط تولید ماشین آلات حفاری می باشد.

کارخانه ماشین سازی Yasinovatsky در شهری به همین نام در ۸۰۰ کیلومتری شرق کیف قرار گرفته است. این کارخانه حدود نیم قرن پیش تأسیس گردیده و در حدود ۱۳۰۰ نفر پرسنل دارد. از محصولات این کارخانه، T.B.M سپر دار، انواع رود هدر، لودر خاک برسر و رایزبورینگ می باشد. بسیاری از تونلها و معادن سراسر شوروی سابق با T.B.M و رودهدرهای ساخت این کارخانه حفاری گردیده است. کیفیت، کارایی و دوام از ویژگیهایی است که باعث موفقیت این دستگاه در ایران گردیده است. دستگاههای این کارخانه علاوه بر کشورهای تازه استقلال یافته به آرژانتین، چکسلواکی، کوبا، آلمان، مصر، بلژیک، کانادا، چین، اسپانیا، انگلستان، مجارستان و ایران فروخته شده است. تا کنون بیش از چهار هزار دستگاه رودهدر، T.B.M و رایزبورینگ توسط کارخانه مذکور تولید گردیده که ۱۱ دستگاه رودهدر آن به ایران فروخته شده است. با توجه به کارایی بسیار خوب و هزینه های نگهداری بسیار پائین، این دستگاهها مورد توجه خاص پیمانکاران قرار گرفته است. امروزه قیمت ماشین آلات در سبد هزینه های پروژه های عمرانی تعیین کننده بوده و سهم عظیمی از بودجه را به خود اختصاص می دهد. با توجه به بهای دستگاههای ساخت کارخانه یاسیناواتایا در مقایسه با مدلهای مشابه و همچنین قابلیت های بسیار بالای این دستگاه از قبیل: ظرفیت حفاری، استحکام، قدرت مانور، موجب شده که کارشناسان شرکت توان کاو ضمن بررسی همه جانبه، این دستگاه را جهت انجام پروژه های حفاری تونل به شرکتهای مختلف پیشنهاد نمایند.

۱- حفاری به روش روتاری یا چرخشی



Road header -

TBM -

Raise Borer -

Drum Cutter -

۲- حفاری به روش انفجاری

Jumbo Drill-

Drill Wagon -

Drilling Rig -

۳- حفاری به روش دستی

- چکش های آبی - بادی

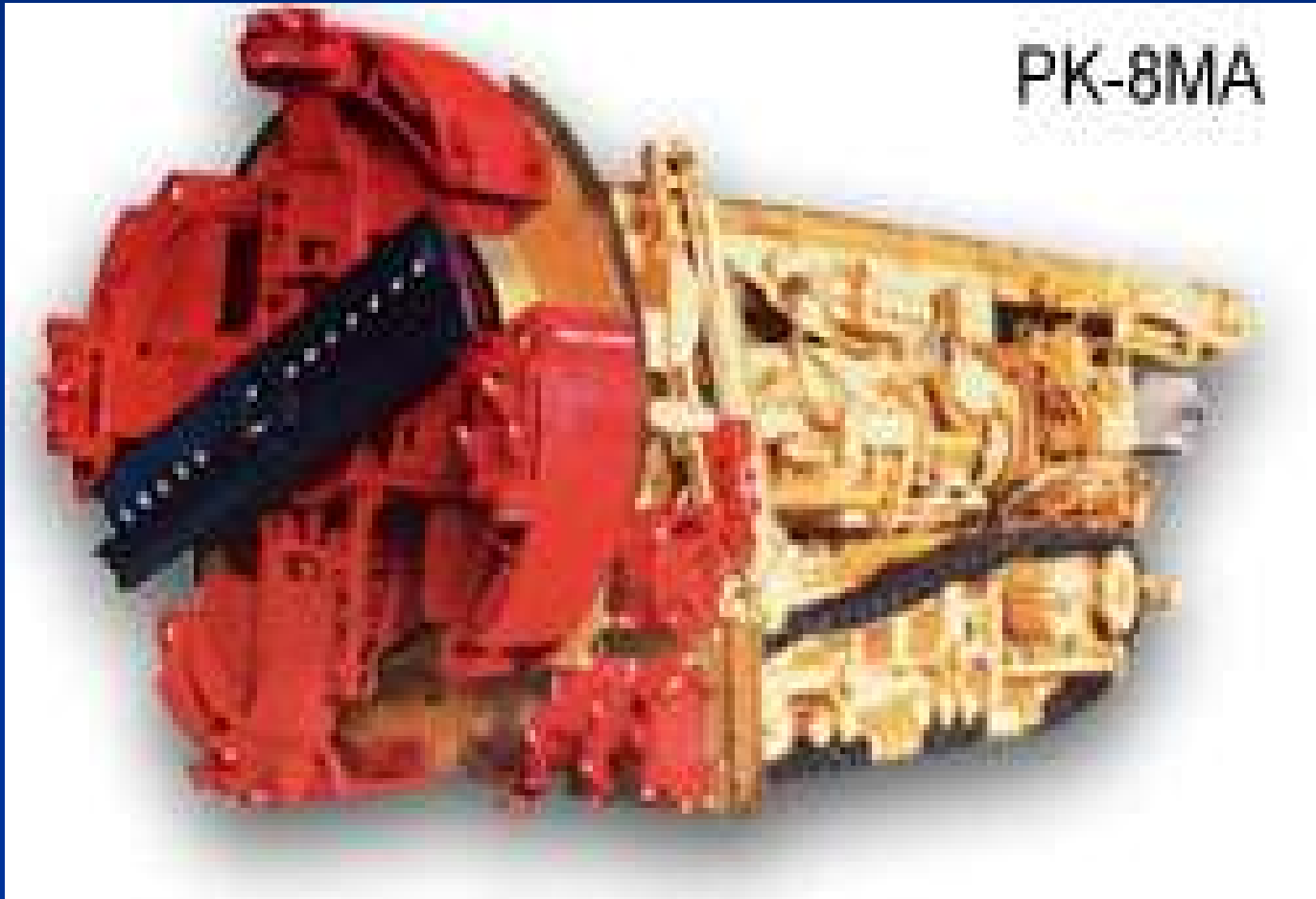
- استاپرهای سقف زن

۴- حفاری به روش تخریبی

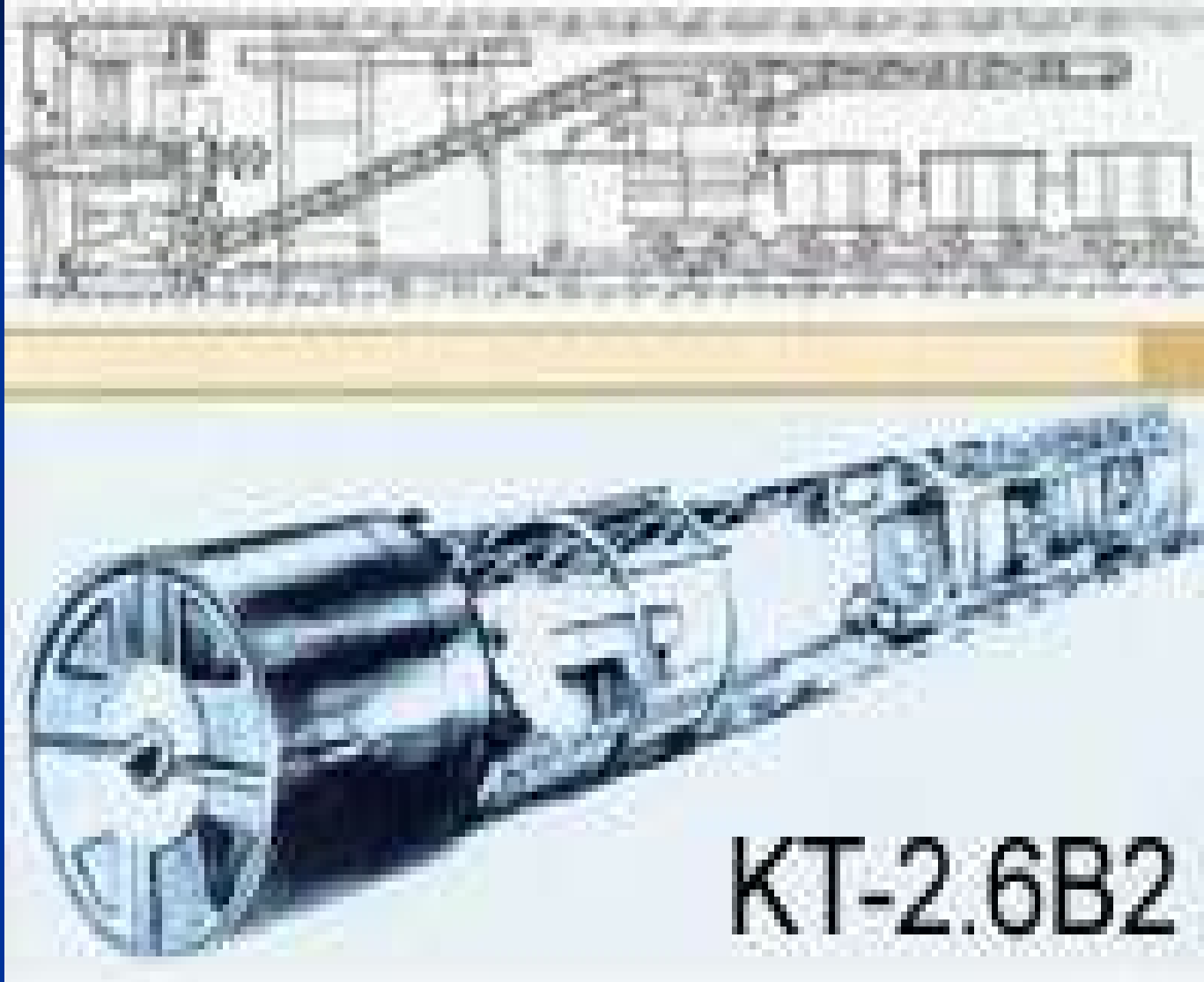
- چکش های هیدرولیکی

- چکش های دستی

دستگاه رودهدر مدل PK-8MA ساخت کارخانه Yasinovatsky (اکراین)



انواع TBM ساخت کارخانه Yasinovatsky



KT-2.6B2 –

KT-5.6E22 –

KT-5.6B21 –

KT1-5.6M –



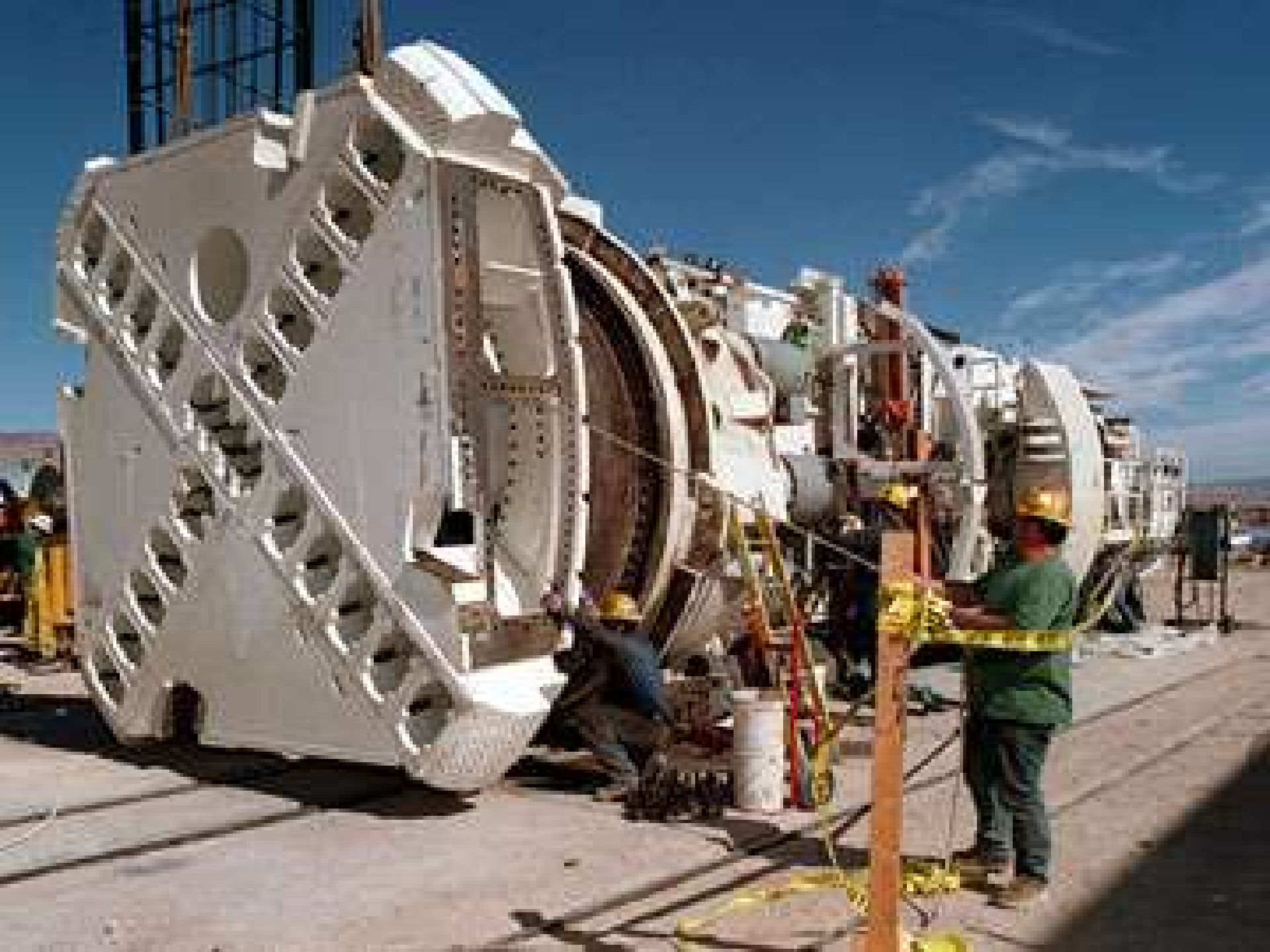
KT-5.6E22



KT-5.6B21

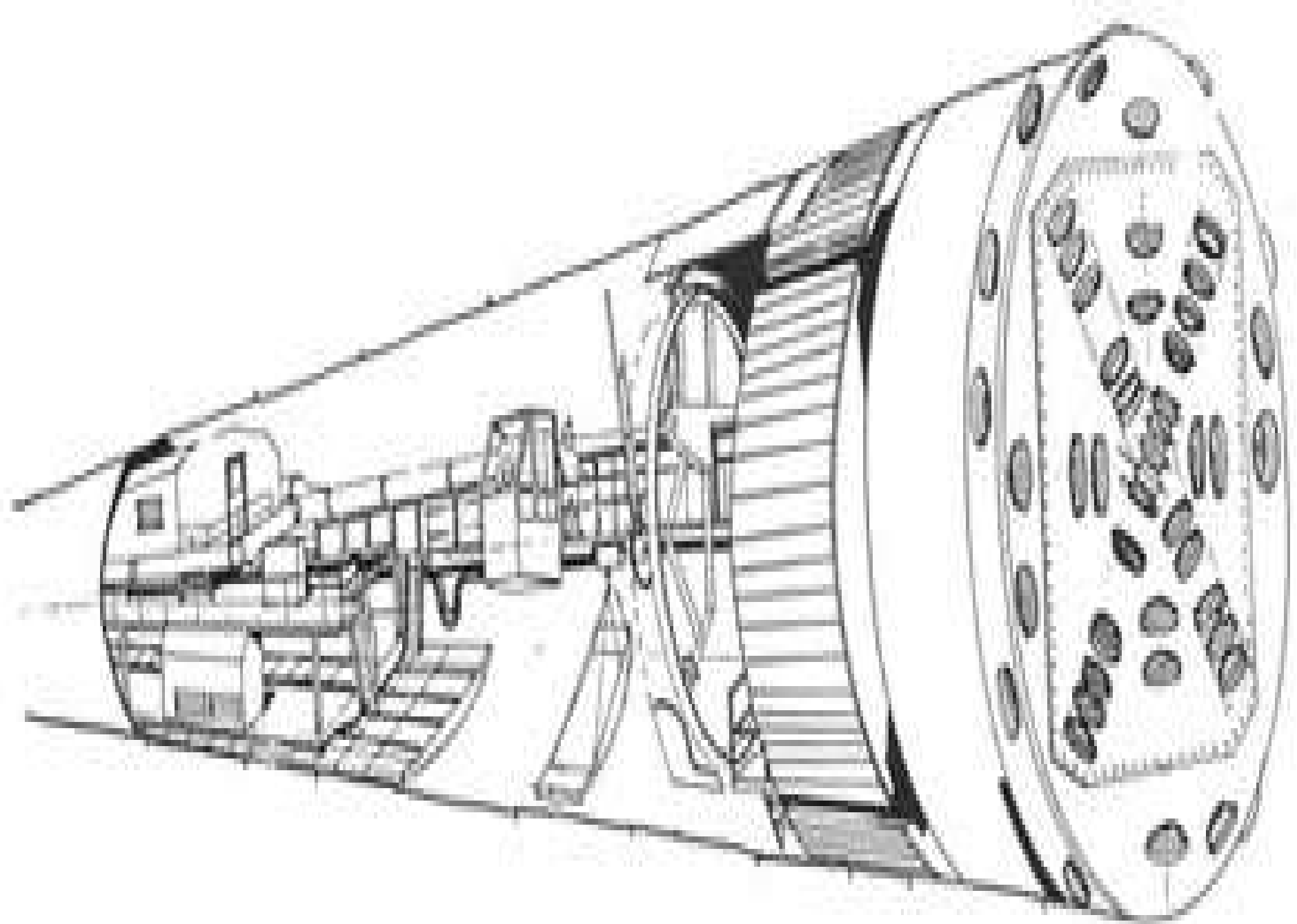


KT1-5.6M





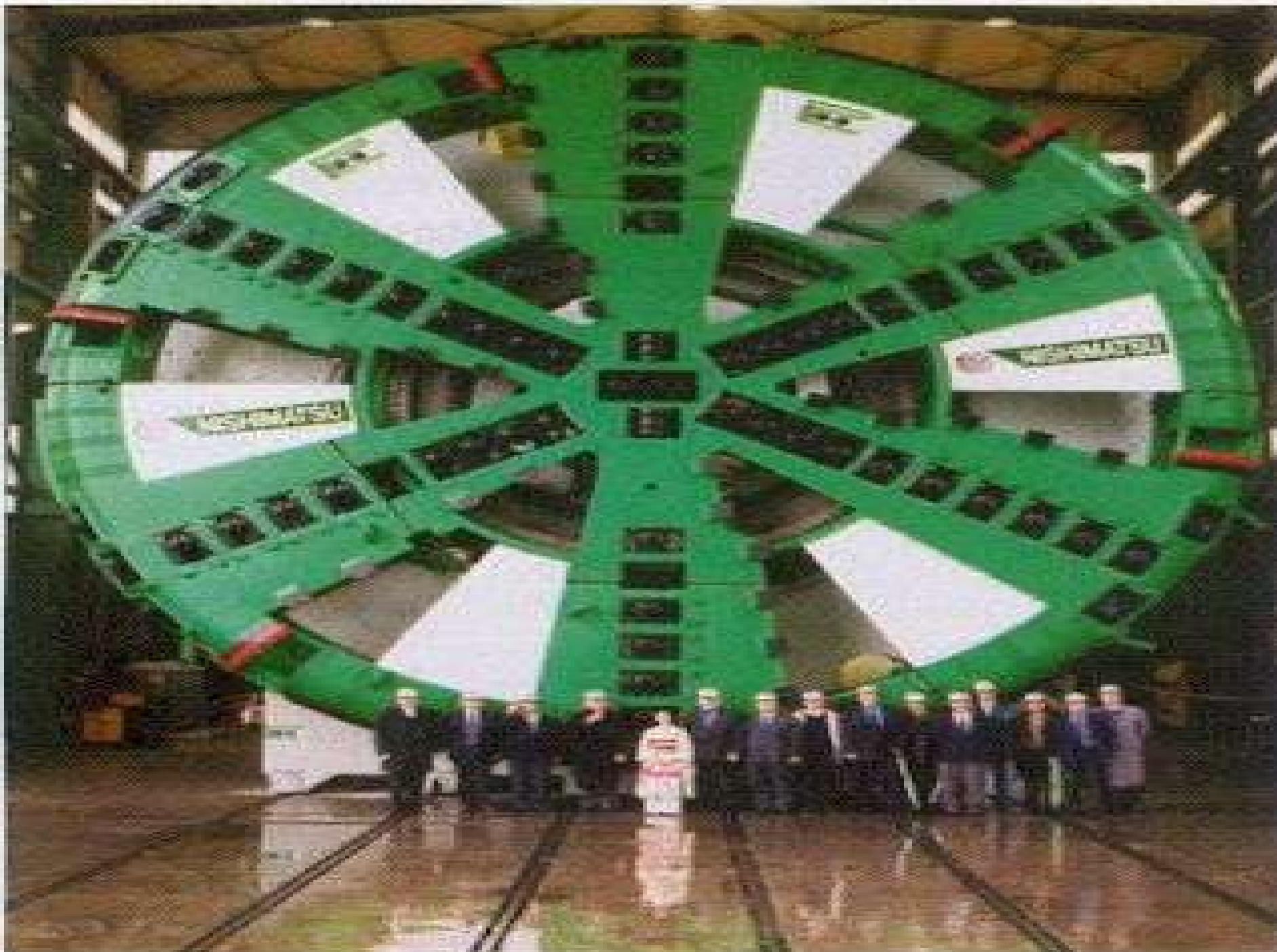


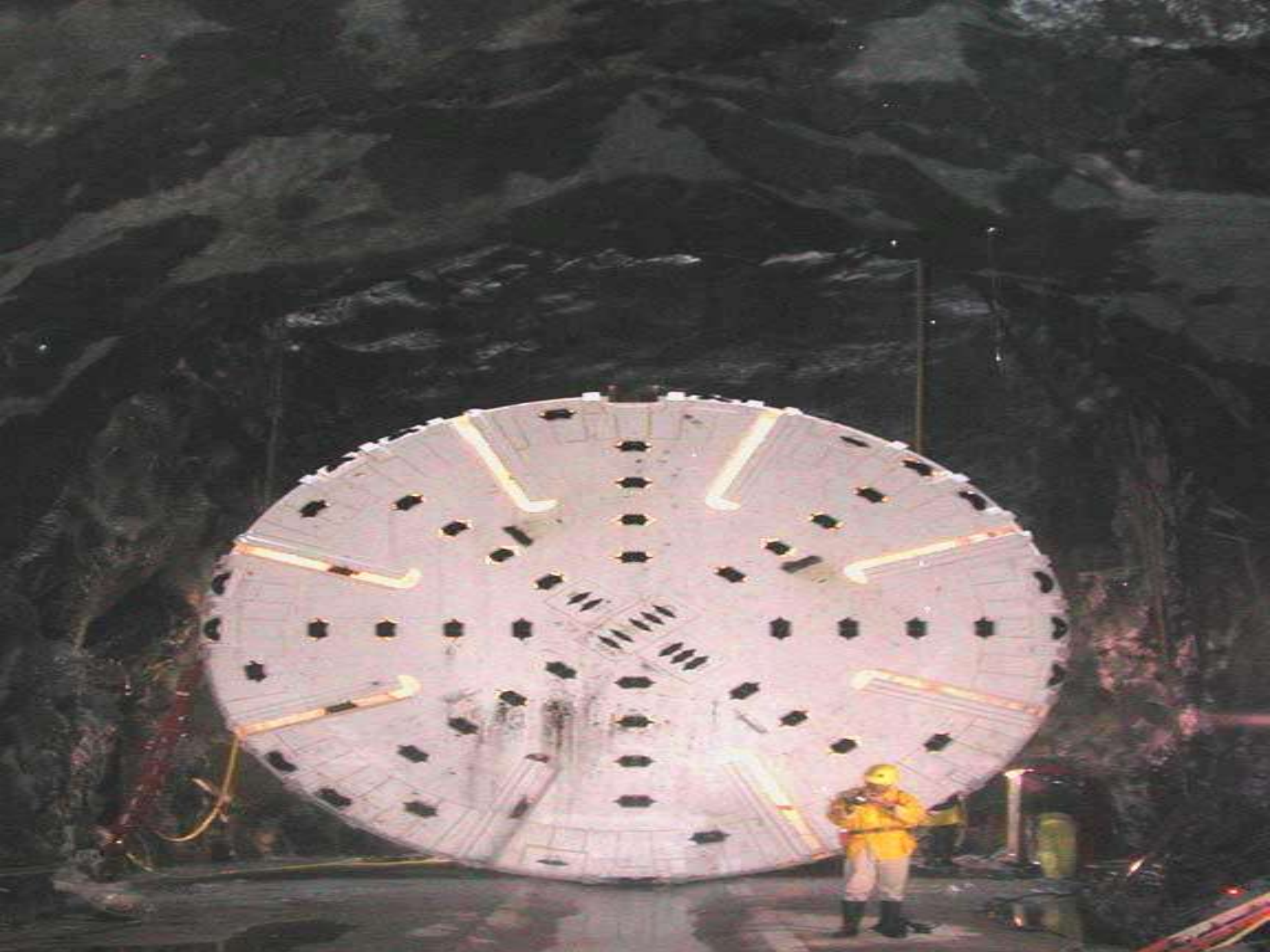














OBAYASHI
M&L
TANK
STORAGE PROJECT
JOHNSON BROS.

HILTI
HILTI

HILTI
HILTI

OBAYASHI
M&L
TANK
STORAGE PROJECT
JOHNSON BROS.

DEMAG 321/321







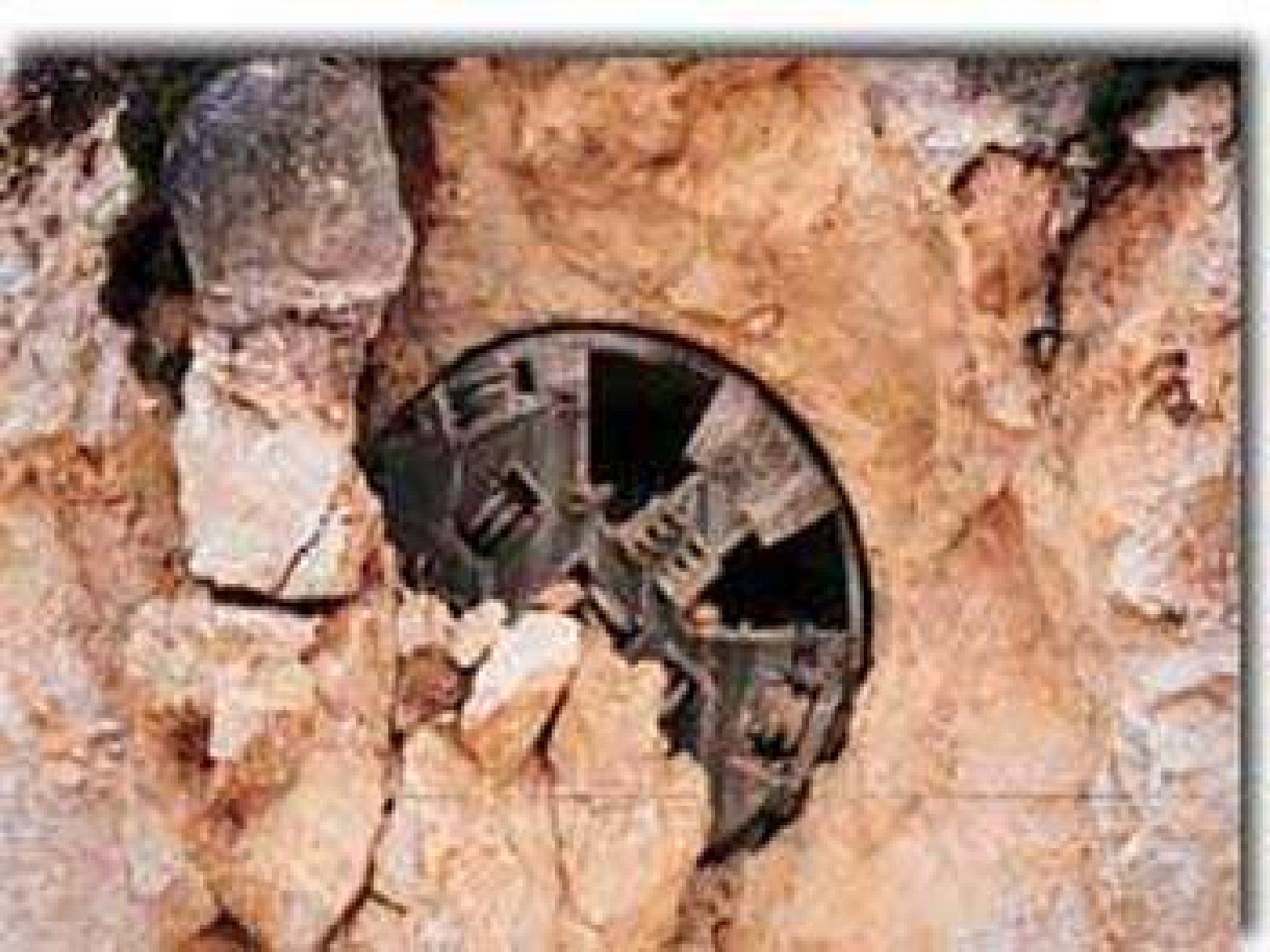






















Consorzio TA

Consorzio Ingegneri

ماہان