

Modern freeze technology in action as five shafts are sunk at two project sites

Thyssen Schachtbau GmbH, based in Mülheim an der Ruhr, has for the last five years been increasingly engaged in drilling and freeze-shaft sinking operations in the Russian Federation. A whole range of projects of this kind have been delivered during this period. The most notable of these has been a shaft sinking in the Perm region and another in the Volgograd area, both of which were commissioned by the Russian chemical company EuroChem. In the Perm region freeze technology was employed for sinking two potash shafts for the Usolski Potash Combine. The freeze holes employed here were drilled to a depth of 270 m. After the freeze process had been completed the company used an innovative thawing technology for the first time in order to reduce the ice-wall around the

shafts as quickly as possible after the shaft lining had been installed, the aim being to speed up the project's progress. In the province of Volgograd three shafts are currently being sunk at the Gremyachinski GOK potash mining complex, each of these featuring a world record-setting uninterrupted freeze depth of 820 m. In each of the projects completed to date modern and innovative drilling, ground-freezing and thawing technology was successfully employed and as a result the client's requirements were met in full. Thyssen Schachtbau GmbH will continue to develop technical equipment and calculation methods for applications of this kind so that highly challenging shaft construction projects of this type can be successfully delivered in the years ahead.

Moderne Gefriertechnik am Beispiel zweier aktueller Schachtabteufprojekte mit insgesamt fünf Schächten

Die Thyssen Schachtbau GmbH in Mülheim an der Ruhr ist seit fünf Jahren verstärkt mit Bohr- und Gefrierschachtdienstleistungen in der Russischen Föderation vertreten. In dieser Zeit konnten verschiedenste Bohr- und Gefrierschachtprojekte durchgeführt werden. Nennenswert sind insbesondere zwei Projekte, eines aus der Perm-Region und ein weiteres aus der Region Wolgograd, mit denen die Thyssen Schachtbau GmbH vom russischen Chemiekonzern EuroChem beauftragt wurde. In der Perm-Region wurden für Schachtteufarbeiten auf dem Kalisalzbergwerke Usolski Kali-Kombinat zwei Kalischächte gefroren. Die Gefrierbohrungen reichten dabei bis in eine Tiefe von 270 m. Im Anschluss des Gefrierens wurde erstmalig bei der Thyssen Schachtbau GmbH eine innovative Auftautechnologie eingesetzt, um den Frost an den

Schächten nach dem Einbringen des Schachtausbaus schnellstmöglich aufzutauen und damit den Projektfortschritt zu beschleunigen. In der Region Wolgograd werden aktuell auf dem Kalisalzbergwerk Gremjatschinskij GOK drei Kali-Schächte mit einer bisher weltweit nicht erreichten durchgehenden Gefriertiefe von jeweils 820 m gefroren. In allen bisherigen Projekten konnten mit einer modernen und innovativen Bohr-, Gefrier- und Auftautechnik sehr zuverlässig und erfolgreich die Anforderungen der Kunden erfüllt werden. Um weiterhin höchst anspruchsvolle Projekte durchführen zu können, wird die Thyssen Schachtbau GmbH auch zukünftig weiter an der technischen Entwicklung der Ausrüstung sowie an Berechnungsverfahren arbeiten.

1 Introduction

If water-bearing, unstable ground is anticipated during a shaft sinking, the freezing method is today the only way in which the shaft can be constructed in a safe and predictable manner. To achieve this, water horizons around the future shaft column are temporarily frozen solid from a series of freeze holes, thereby creating a solidified and sealed ring of ground.

Over the last five years German-based specialist mining companies like Thyssen Schachtbau have seen an increasing interest in shaft freezing services in the Russian Federation. Against this background the industry has been quick to develop a scientifically-based and innovative technology that allows freeze-shaft

1 Einleitung

Wenn beim Schachtabteufen wasserführendes und nicht standfestes Gebirge zu erwarten ist, ist das Gefrierschachtverfahren die einzige Möglichkeit, den Schacht sicher und kalkulierbar zu teufen. Dabei werden diese Wasserhorizonte im Bereich des zu teufenden Schachts mit Hilfe von Gefrierbohrungen temporär gefroren und damit verfestigt und abgedichtet.

Deutsche Bergbau-Spezialfirmen wie die Thyssen Schachtbau GmbH, Mülheim/Ruhr, erleben seit etwa fünf Jahren ein verstärktes Interesse nach Gefrierschachtbau-Dienstleistungen in der Russischen Föderation. Im Rahmen dieser gesteigerten Nachfrage hat sich innerhalb weniger Jahre eine fundierte und



Fig. 1. Freeze plant at number 1 shaft, Gremyachinski Potash Mine (GOK), Volgograd province
Bild 1. Gefrieranlage am Förderschacht 1 des Kalisalzbergwerks Gremjatschinskij GOK in der Region Wolgograd

sinking projects to be undertaken under the most demanding geological and geotechnical conditions.

The companies that are commissioned to carry out contracts of this kind have a number of new challenges to face. For example, the contractor first has to transport a huge number of components thousands of kilometres all the way from Germany to Russia before work can begin on setting up the freeze plant. Once the equipment has arrived on site it then often has to be assembled and put into operation under the harshest of weather conditions. The sinking crew has to display real dedication and determination to keep the freeze system fully operational in regions that are not only remote but also almost completely lacking in infrastructure. In spite of such obstacles a shaft sinking team working on a project in Volgograd was able to set a new freeze-depth record of 820 m. Another notable first was achieved at a freeze shaft project in the Perm region where an artificial thawing technique was employed for the first time. This resulted in a much reduced project duration at two potash shaft sinkings when compared with the conventional 'natural thaw' process.

2 Projects

2.1 820 m-deep ground freeze at three potash shafts in Volgograd province

In 2008 the Russian chemicals company EuroChem commissioned Thyssen Schachtbau to undertake a ground-freeze operation for number one winding shaft at the Gremyachinski potash mine (GOK) in Volgograd province. In early 2010 the project commenced with the deployment of ten container-mounted freeze machines with a total output of some 4,500 kW and a freeze-depth capability of 520 m.

About two years and 560 m of completed shaft later EuroChem decided on the basis of new geological information to have the freeze-shaft section extended to a depth of 820 m. After in-depth examination of the technical options the decision was

zugleich innovative Entwicklung vollzogen, die es erlaubt, auch geologisch/geotechnisch höchst anspruchsvolle Gefrierschachtprojekte durchzuführen.

Dabei gilt es für die mit entsprechenden Projekten beauftragten Unternehmen, eine Reihe neuer Herausforderungen zu bewältigen. So müssen zahlreiche Komponenten der Gefrieranlage aus Deutschland in die Russische Föderation eingeführt werden und vor ihrem Einsatz zunächst einige Tausend Kilometer Strecke zurücklegen. Ist die Ausrüstung vor Ort, muss sie unter teilweise widrigsten klimatischen Bedingungen montiert und in Betrieb genommen werden. Die Teufmannschaft benötigt viel Einsatzbereitschaft und Beharrlichkeit, um den Gefrierbetrieb auch in entlegenen Regionen mit wenig Infrastruktur aufrecht zu halten. Trotz solcher Hürden ist es gelungen, bei einem Teufprojekt in der Wolgograd-Region in bisher noch nicht erreichte Gefriertiefen von bis zu 820 m vorzustoßen. Mit dem erstmalig bei einem Gefrierschachtprojekt in der Perm-Region angewandten künstlichen Auftaufverfahren, dem Gegenstück zum Gefrieren, konnte darüber hinaus eine erhebliche Reduzierung der Projektdauer zweier zu teufender Kalischächte gegenüber dem natürlichen Auftaufvorgang erreicht werden.

2 Die Projekte

2.1 820 m tiefes Gefrieren dreier Kalischächte in der Wolgograd-Region

Der russische Chemiekonzern EuroChem beauftragte die Thyssen Schachtbau GmbH im Jahr 2008 zunächst mit dem Gefrieren des Förderschachtes 1 auf dem Kalisalzbergwerk Gremjatschinskij GOK in der Region Wolgograd. Anfang des Jahres 2010 konnten zehn containermontierte Gefriermaschinen mit einer Gesamtleistung von ca. 4.500 kW für eine Gefriertiefe von 520 m in Betrieb genommen werden.

Nach etwa zwei Jahren und bereits 560 m fertig geteufte Schachts entschied sich EuroChem, den Gefrierschachtteil aufgrund neuer geologischer Informationen auf 820 m erweitern zu

taken to create a second, somewhat larger freeze wall. The freeze holes for this freeze section were now at a sufficient depth. They were subsequently insulated down to the 600 m level so as to inhibit the expansion of the ice wall in this sector and prevent additional pressure building up on the section of shaft lining that had already been installed. This would also accelerate the ice build-up in the non-frozen ground below the 520 m level. The sinking floor has now reached a depth of about 850 m, proof indeed that the ice wall has remained solid and watertight throughout.

On the strength of this positive experience EuroChem decided that the freeze technique would also be employed for another two shafts at the same site, namely a service shaft and number two winding shaft. Thyssen Schachtbau was awarded the contract to carry out the drilling and ground-freeze operations to a depth of 820 m. The sinking and support work in the service shaft has now been completed to the 570 m level, while parallel operations in the skip shaft have reached the 410 m level.

The deployment of modern and innovative freeze technology has meant that for the two new shafts, and for the second ice wall at number one shaft, freeze machines have been developed and commissioned that can freeze down to much deeper levels than ever before. A freeze plant with a total refrigeration output of 10 MW was set up for this project with the capacity to serve four ice walls at three separate shafts.

2.2 Artificial thawing of two potash shafts in the Perm region

Thyssen Schachtbau's completion of a 20-month ground freeze at two potash shafts for the Usolski Potash Combine in the Perm region marked the first time that a process for the synthetic thawing of the freeze wall had been successfully deployed for the client, ECWK. Data from earlier freeze projects have indicated that the complete natural ground thaw can take several years. With this new technique the thaw-out time was successfully reduced to just six months. As a result, the scheduled injection work at the thawed-out shaft could be brought forward and the overall construction time reduced by several months.

Within a short space of time, and at relatively little cost, the existing freeze plant was converted to operate as a combined freezing and thawing system. Usolski Combine has specified that the newly designed installation should have the capacity to operate as a thawing machine and then switch back again to freezing. The main plant components, such as pipework, pumps, controls, regulating units and measuring systems, could also be re-used. Even the 300 m³ of cooling medium required for the freezing operation and which was still in the system, could be used again as a heat carrier by observing the appropriate temperature limits. The temperature of the heat transfer medium was increased in small stages to +20 °C in order to protect the strata, the shaft lining and the freeze plant equipment itself from excessive levels of stress produced by too large a temperature gradient.

3 Drilling and casing work

The freeze holes required for the ground freeze operation must be positioned very precisely in order to create a fully enclosed ice wall. If the interval between the individual pipes is too great the ice wall will be weakened and there may even be gaps left where

lassen. Nach genauer Prüfung der technischen Möglichkeiten wurde festgelegt, einen zweiten, etwas größeren Gefrierkreis zu erstellen. Die Gefrierbohrungen dieses Gefrierkreises reichten nun bis zur geforderten Teufe. Sie wurden bis in eine Tiefe von 600 m isoliert, um in diesem Teufenbereich das Frostwachstum zu hemmen und somit Zusatzdruck auf den bereits eingebrachten Schachtausbau zu vermeiden. Außerdem konnte dadurch eine Beschleunigung des Frostaufbaus im ungefrorenen Gebirge unterhalb von 520 m erreicht werden. Die Teufsohle steht bis zum heutigen Tage bei ca. 850 m, was für eine solide und wasserdichte Frostwand spricht.

Mit diesen positiven Erfahrungen entschied EuroChem, auch die beiden weiteren zu erstellenden Schächte – einen Service-schacht und den Förderschacht 2 - im Gefrierverfahren zu erstellen. Die Thyssen Schachtbau GmbH erhielt hierfür den Auftrag, die Bohr- und Gefrierarbeiten bis zu einer Teufe von 820 m durchzuführen. Die Teuf- und Ausbauarbeiten sind am Serviceschacht bereits bis ca. 570 m und am Skipschacht 2 bis ca. 410 m erfolgreich durchgeführt worden.

Durch den Einsatz moderner und innovativer Gefriertechnik konnten Gefrieranlagen für die beiden neuen Schächte sowie den zweiten Gefrierkreis am Förderschacht 1 für bisher nicht erreichte Teufen realisiert werden. So entstand für dieses Projekt eine Gefrieranlage mit insgesamt 10 MW Kälteleistung, die vier Gefrierkreise an drei Schächten versorgt.

2.2 Künstliches Auftauen zweier Kalischächte in der Perm-Region

Nach dem Abschluss einer von Thyssen Schachtbau GmbH durchgeführten 20-monatigen Gefrierphase an zwei Kalischächten auf dem Usolski Kali-Kombinat Bergwerk in der Perm-Region, ist für den Auftraggeber ECWK zum ersten Mal erfolgreich ein Verfahren zum künstlichen Auftauen der Frostwände eingesetzt worden. Daten aus früheren Gefrierprojekten belegen, dass das vollständige natürliche Auftauen mehrere Jahre in Anspruch nehmen kann. In diesem Projekt gelang es, die Auftauzeit auf sechs Monate zu verkürzen. Dadurch konnten planmäßige Injektionsarbeiten am aufgetauten Schacht vorgezogen und somit eine mehrmonatige Bauzeitverkürzung erreicht werden.

Mit vergleichsweise geringem Aufwand und innerhalb kurzer Zeit war es möglich, die bestehende Gefrieranlage zu einer kombinierten Auftau- und Gefrieranlage umzufunktionieren. Dem Wunsch des Usolski Kali-Kombinats entsprechend, sollte die neu konzipierte Anlage sowohl auftauen als auch wieder gefrieren können. Die wesentlichen Anlagenkomponenten wie Rohrleitungen, Pumpen, Steuer-, Regel-, und Messtechnik konnten weiter genutzt werden. Sogar die 300 m³ Kälteträger, die sich noch im System befanden und zum Gefrieren des Gebirges gedient hatten, konnten unter der Einhaltung von Temperaturgrenzen als Wärmeträger weiterverwendet werden. Die Temperatur des Wärmeträgers wurde in kleinen Schritten auf +20 °C angehoben, um die durch große Temperaturgefälle bedingten Spannungen im Gebirge, in der Schachtauskleidung und der Gefrieranlagentechnik zu verringern.

3 Bohr- und Verrohrungsarbeiten

Die für das Gefrieren erforderlichen Gefrierlöcher müssen im Gebirge präzise gebohrt werden, um eine geschlossene Frostwand



Fig. 2. Brine pumps for shaft freezing at the Usolski Combine potash mine in the Perm region
Bild 2. Solepumpen zum Gefrieren der Schächte des Kalisalzbergwerks Usolski Kali-Kombinat in der Perm-Region

the ice has not frozen solid, creating zones that are unstable and prone to leakage. The positional accuracy of the holes was controlled using a 'measurement while drilling' system (MWD) that provided data enabling the course of the hole to be corrected if necessary during the drilling operation.

As the freeze pipes are spaced about 1.3 m apart each individual drilling is subject to a relatively small tolerance radius of just 0.6 m. The operation successfully kept within this tolerance over a drilling depth of 820 m. The work had to be undertaken in a very confined space, sometimes with as many as three type RB 50 universal drilling rigs operating simultaneously at the shaft site.

A plastic pipe was inserted into the steel casing of each freeze hole to serve as a down-pipe for the coolant and to promote circulation within the freeze pipes.

4 Freezing and thawing installation

State-of-the-art, containerised modules were used to produce the required refrigeration and/or heating capacity. These units can be transported to their ultimate destination by truck, train or ship. The combined water-cooled and air-cooled systems allow the installation to be employed in practically any climate zone. Like the refrigeration plant, the thawing installation also has to be designed for a high level of flexibility. The thawing machines are therefore also housed in transport containers so that once the freeze operation has been concluded the freeze-plant containers can be replaced with as little modification work as possible, thereby keeping the fitting and assembly effort to a minimum.

Thyssen Schachtbau currently operates a total of 19 ground freeze installations in the Russian Federation. Each container houses between one and six high-performance screw compressors, depending on the individual design. This ensures maximum plant reliability and means that the refrigeration capacity can be adapted to suit a particular set of operating conditions.

aufbauen zu können. Zu große Abstände zwischen den einzelnen Rohren führen zur Schwächung der Frostwand bis hin zu sogenannten Frostfenstern, an denen die Frostwand nicht geschlossen und damit instabil und undicht ist. Mit einer 1m-Bohrloch-Messmethode (MWD) wird während des Bohrens die Lagegenauigkeit kontrolliert und mit diesen Ergebnissen der Bohrlochverlauf ggf. korrigiert.

Da die Gefrierrohre mit einem Abstand von etwa 1,3 m angeordnet sind, ergibt sich ein relativ geringer Toleranzradius von ca. 0,6 m für jede einzelne Bohrung. Es gelang, diese Toleranz auf einer Bohrtiefe von 820 m einzuhalten. Die Bohrarbeiten wurden auf engstem Raum zeitweise mit bis zu drei Bohranlagen vom Typ RB 50 gleichzeitig an einem Schachtstandort ausgeführt.

Ein Kunststoffrohr, welches in die Stahlverrohrung der Gefrierbohrungen eingehängt wird, dient als Fallrohr für den Kälte-träger und ermöglicht so dessen Zirkulation im Gefrierrohr.

4 Die Gefrier- und Auftauanlagen

Für die Produktion der erforderlichen Kälte bzw. Wärme werden hochmoderne modular aufgebaute Container-Gefrieranlagen eingesetzt. Sie können per LKW, Zug oder Schiff ihre Bestimmungsorte erreichen. Die Kombination aus wasser- und luftgekühlten Anlagen erlaubt den Einsatz in nahezu allen Klimazonen. Genau wie bei der Kälteerzeugung ist auch bei den Auftauanlagen ein hohes Maß an Flexibilität wichtig. Um nach dem Gefrierprozess die Gefriercontainer ohne große Umbaumaßnahmen ersetzen zu können und somit den Montageaufwand sehr gering zu halten, sind die Auftauanlagen ebenfalls in Containerbauweise ausgeführt.

Die Thyssen Schachtbau GmbH betreibt derzeit insgesamt 19 Gefrieranlagen in der Russischen Föderation. Jeder Container beinhaltet - je nach Bauart - zwischen eins und sechs leistungsstarke Schraubenverdichter. Das gewährleistet eine hohe Betriebs-

On site the machines are operated, maintained and monitored by a mixed team of German and Russian personnel qualified in electrical, communications and refrigeration engineering. Part of the freeze plant uses economiser technology to regulate the compressor output as a function of the outside temperature. This system automatically adjusts the output to ensure that the optimal compressor performance is maintained according to the time of day and season of the year. This is an important factor, given the large amounts of energy required for the shaft freeze operation.

5 Measurement and data collection

Measurement technology and data collection and analysis play an important role in freeze shaft sinking. Accurate and reliable measurements, combined with an extensive data gathering and analysis programme, are essential for predicting and monitoring the freeze-wall build-up and adapting it if necessary to the system parameters so as to keep the freeze zone in an optimum state. A comprehensive data archive is also very useful when undertaking projects of this kind.

The freeze machines operated by Thyssen Schachtbau are managed from a central control and monitoring station. This can be carried out remotely for any installation site in the world. The plant is controlled 24 hours a day by on-site staff, who receive remote support from colleagues at the home base in Mülheim so that appropriate intervention can be taken at any time in the event of a malfunction. The plant personnel can also be sent error messages by SMS via the mobile phone network, a facility that helps reduce the reaction times.

All the data are combined together in the central control room and are archived electronically several times a day. As well as monitoring the flowmeters, pressure gauges and temperature sensors in the surface and sub-surface pipes the system also uses radar measurement to keep a check on the fill levels in the compensation tanks. All the machine and pump data are measured and presented on display screens.

Fibre optic sensors have proved extremely important for measuring the strata temperature over the freeze shaft column. This requires cased measurement holes to be drilled at four points set at different distances from the shaft axis. These holes are also filled with a coolant so as to create a direct connection with the pipe wall and hence with the strata. Measurements obtained from the fibre optic sensors can provide useful data from the strata even before the freeze operation commences. This information is used to generate a reliable temperature profile that serves as a basis for further calculations.

One particular advantage of the fibre optic cables is that they can record the rock temperature in chosen depth increments. The fact that the measurement holes are distributed in a ring around the shaft column ensures an optimal, all-round monitoring of the freeze shaft temperature. Careful observation of temperature trends also means that external influences, such as local groundwater flows, do not go unnoticed and can be taken into account as part of the plant control and analysis process.

cherheit und die Gefrierleistung kann beliebig an die geforderten Betriebsbedingungen angepasst werden. Den Betrieb, die Wartung und die Überwachung der Anlagen vor Ort übernimmt qualifiziertes Personal aus den Bereichen Kälte-, Elektro- und Kommunikationstechnik, das aus russischen und deutschen Mitarbeitern zusammengestellt ist. Ein Teil der Gefrieranlagen arbeitet mit Economizer-Technik, die in Abhängigkeit von der Außentemperatur die Verdichterleistung regelt. Dadurch wird automatisch zu jeder Tages- und Jahreszeit eine optimale Verdichterleistung eingestellt. Dies ist angesichts der hohen erforderlichen Energiemengen beim Schachtgefrieren von besonderem Interesse.

5 Messtechnik und Datenerfassung

Messtechnik sowie Datenerfassung und –auswertung sind wichtige Elemente im Gefrierschachtbau. Nur eine präzise und zuverlässige Messtechnik, gepaart mit einer umfangreichen Datenerfassung und –auswertung, ermöglicht es, die Frostentwicklung zuverlässig vorauszuberechnen, sie zu beobachten und ggf. Anlagenparameter anzupassen, um eine optimale Frostwand zu erhalten. Hilfreich für die Bearbeitung solcher Projekte ist zudem ein umfangreiches Datenarchiv.

Die von der Thyssen Schachtbau GmbH betriebenen Gefrieranlagen werden von einer Mess- und Leitwarte zentral gesteuert und überwacht. Dies kann per Fernzugriff weltweit erfolgen. Die Anlage wird 24 Stunden am Tag von den Mitarbeitern vor Ort kontrolliert. Unterstützt werden sie dabei durch den Fernzugriff der Kollegen von der Heimatbasis in Mülheim, sodass im Falle einer Störung jederzeit entsprechend eingegriffen werden kann. Störungsmeldungen werden darüber hinaus sofort per Kurznachricht über das Mobilfunknetz an die zuständigen Mitarbeiter versandt, was zu einer Verkürzung der Reaktionszeiten führt.

Alle Daten laufen in der Mess- und Leitwarte zusammen und werden mehrmals am Tag elektronisch archiviert. Neben Durchfluss-, Druck- und Temperaturmessgeräten in den über- und untertage verlaufenden Rohrleitungen werden Füllstände in Ausgleichsbehältern per Radarmessung überwacht. Sämtliche Maschinen- und Pumpendaten werden gemessen und auf Bildschirmen visualisiert.

Ein besonders wichtiges Messinstrument sind Lichtwellenleiter, die entlang des Gefrierschachts die Gebirgstemperatur messen. An vier Stellen im Gebirge werden dazu in unterschiedlichen Abständen zur Schachtachse verrohrte Messbohrlöcher erstellt. Diese werden ebenfalls mit Kälteträgermedium gefüllt, um eine stoffschlüssige Anbindung zur Rohrwand bzw. zum Gebirge herzustellen. Schon vor der Aufnahme der Gefrierarbeiten liefern die Messungen der Lichtwellenleiter wichtige Daten aus dem Gebirge. Auf diese Weise lässt sich ein zuverlässiges Temperaturprofil erstellen, welches als Grundlage für weitere Berechnungen dient.

Die Lichtwellenleiterkabel haben den besonderen Vorteil, in beliebigen Schrittweiten entlang der Teufe die Gebirgstemperatur aufnehmen zu können. Da die Messbohrungen um den Schacht herum verteilt sind, ist eine größtmögliche, quasi allseitige Temperaturüberwachung des Gefrierschachtes gewährleistet. Besondere Einflüsse, wie lokale Grundwasserströmungen, bleiben bei sorgfältiger Beobachtung der Temperaturentwicklung somit nicht unbemerkt und können entsprechend in der Auswertung und Anlagensteuerung berücksichtigt werden.

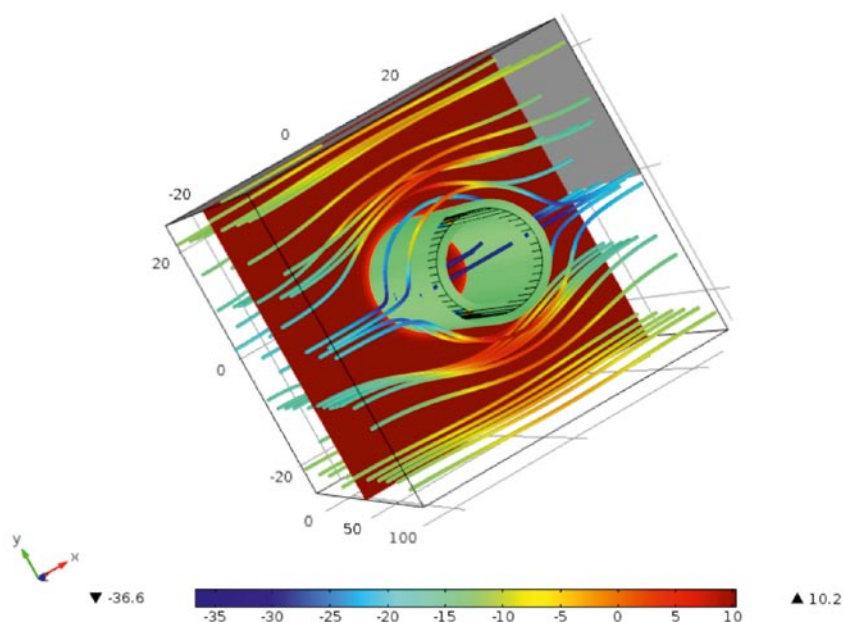


Fig. 3. Numerical model of a freeze-shaft pipe in water-bearing ground
Bild 3. Numerisches Modell einer Gefrierschachtröhre im wasserführenden Gebirge

6 Numerical models improve prediction accuracy

The increasing demands now being placed on technology and efficiency are also reflected in the growing requirements for prediction capability and accuracy. And this also applies to the freezing and thawing processes that are part of freeze-shaft sinking operations. As the freeze involves a complex set of widely varying physical parameters Thyssen Schachtbau has opted to use numerical modelling in order to predict the likely developments. Numerical modelling is especially useful when a system is affected by a range of factors that are also transient in nature (Figure 3). Different flow rates in the freeze pipes, intermittent freeze systems, the switchover from freezing to thawing, groundwater flows, shaft ventilation and concreting work on the shaft side-walls are all factors that can only be reliably registered by numerical methods.

7 Outlook

The projects described above were successfully completed in spite of the huge challenges involved. Further improvements in prediction technology, along with ongoing optimisation of the technical equipment and calculation methods, will be required if operations of this kind are to remain cost-effective in the years ahead.

6 Numerische Modelle verbessern die Prognose

In Zeiten wachsender Ansprüche an Technik und Wirtschaftlichkeit ergeben sich gleichzeitig gesteigerte Anforderungen an die Prognose bestimmter Entwicklungen. Das gilt natürlich auch für die Gefrier- und Auftauprozesse im Gefrierschachtbau. Da es sich beim Gefrierprozess um ein komplexes Zusammenspiel verschiedenster physikalischer Einflüsse handelt, hat sich die Thyssen Schachtbau GmbH für eine numerische Modellierung zur Prognose solcher Entwicklungen entschieden. Insbesondere dort, wo verschiedenste Einflüsse auf ein System einwirken, die zudem instationär auftreten, ist die numerische Modellierung hilfreich (Bild 3). Unterschiedliche Durchflussmengen in den Gefrierrohren, intermittierende Gefrierbetriebe, Wechsel zwischen Auftau- und Gefrierbetrieb, Grundwasserströmungen, Schachtbewetterung und Betonarbeiten am Gebirgsstoß sind Einflüsse, die nur numerisch zuverlässig erfasst werden können.

7 Ausblick

Die beschriebenen Projekte sind trotz großer Herausforderungen erfolgreich durchgeführt worden. Um auch zukünftig wirtschaftlich arbeiten zu können, wird es erforderlich sein, auch weiterhin die Prognosemöglichkeiten zu verbessern und gleichzeitig permanent an der technischen Optimierung der Anlagen und an den Berechnungen zu arbeiten.

Authors / Autoren

Dipl.-Ing. (FH) Tim van Heyden, Projektleiter, und B. Eng. Björn Wegner, Projektgenieur der Thyssen Schachtbau GmbH, Mülheim/Ruhr