

Recent Developments of Pump Stations for Longwall Hydraulics

Increasing lengths of longwalls, increasing support forces of shields leading to higher hydraulic pressure, bigger cylinder diameters in the roof support as well as increasing speed of extraction machines place high demands on the hydraulic supply. Modern hydraulic stations for high production longwalls provide reliably and at high availability more than 2,000 l/min emulsion at a system pressure of 350 to 420 bar for the hydraulic cylinders in the roof supports of the longwall. In addition, more and more water is

used for dust suppression purposes. Pumps with an input power of up to 500 kW per pump are already used today in high production longwalls. To manage the big flow per pump, valves with wear resistant ceramic inner parts are used. The flow of the pumps is controlled using Variable Speed Drives (VSD) and thus adapted to the demand of the longwall operation. KAMAT, worldwide leading system supplier for high pressure technology, is the driving force for further developing pump stations for longwalls.

Neuere Entwicklungen bei Pumpenstationen für die Strebhydraulik

Immer längere Strebe, immer höhere Stützkräfte des Schildausbaus und damit steigende Hydraulikdrücke, größere Zylinderdurchmesser in den Ausbaueinheiten sowie zunehmende Abbaugeschwindigkeit der Gewinnungsmaschine stellen hohe Anforderungen an die Hydraulikversorgung. Hydraulik-Stationen für moderne Hochleistungsstreden müssen bei einem Druck von 350 bis 420 bar über 2.000 l/min Emulsion zu den Hydraulikzylindern der Ausbaueinheiten im Streb fördern. Zusätzlich wird immer mehr Wasser zur Staubbekämpfung benötigt. Pumpen mit einer

Eingangsleistung von bis zu 500 kW sind heute in Hochleistungsstreden bereits im Einsatz. Zur Beherrschung des großen Volumensstroms pro Pumpe werden Ventile mit verschleißarmen keramischen Innenteilen verwendet. Der Förderstrom der Pumpen wird mittels Frequenzumrichter geregelt und so an die Anforderungen des Strebs angepasst. KAMAT, weltweit führender Systemlieferant für Hochdrucktechnik, ist wesentlich für die Weiterentwicklung der Pumpenstationen in der Strebhydraulik verantwortlich.

1 Introduction

The development and following the wide use of hydraulic roof support as the method of support for longwalls in underground coal mining lead, together with the developments in production and haulage, to a significant increase in performance. The introduction of shield support considerably improved the safety by guarding the roof completely. The technical development lead to a more and more productive equipment used in longwall-operations. Bigger and faster shearers with more and more power installed caused the necessity to move the face conveyor and the support more often and quicker. The increasing support resistance resulted in an increase of hydraulic power in order to meet the demand of the longwall. The hydraulic pressure for the individual props used in the 1950s was about 150 bar. Around 1990 system pressure typically was around 300 bar. The limiting factors for higher system pressures were mainly sealing issues of cylinders and controls. Since then, the length of the longwalls has grown continuously. Increasing support resistance leads to

1 Einführung

Die Entwicklung und verbreitete Verwendung von hydraulischem Ausbau im untertätigen Steinkohlenbergbau führte, zusammen mit den Entwicklungen bei Gewinnung und Förderung, zu wesentlichen Leistungssteigerungen im Strebbau. Die Einführung des Schildausbaus verbesserte durch die vollständige Abschirmung des Hangenden außerdem die Arbeitssicherheit im Streb erheblich. Die technische Weiterentwicklung führte zu immer leistungsfähigerer Ausrüstung im Streb. Größere und schneller fahrende Walzenlader mit immer höherer installierter Leistung machten mehr und schnellere Rückvorgänge für Strebförderer und Ausbau notwendig. Der im Strebausbau stetig zunehmende Ausbauwiderstand erforderte eine immer höhere hydraulische Leistung. Der Hydraulikdruck für die in den 1950er Jahren verwendeten hydraulischen Einzelstempel betrug etwa 150 bar. Um das Jahr 1990 betrug der Systemdruck typischerweise etwa 300 bar. Limitierend für höhere Systemdrücke waren vor allem Dichtungsprobleme bei Zylindern und Steuerungen. Seitdem sind die Streb-

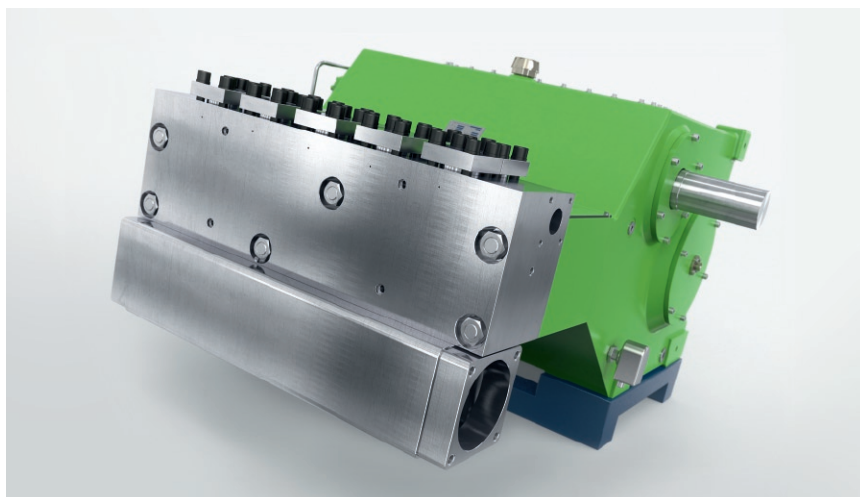


Fig. 1. Plunger Pump.
Bild 1. Plungerpumpe.

increasing system pressures on one hand and on the other hand results in bigger cylinder diameters of the supporting cylinders used in the shields. The hydraulic station has to provide a big flow of hydraulic fluid at a defined, high system pressure. HFA-emulsions with a water content of 95 to 97% are used today. The application thus is called water hydraulics. Modern emulsions are called micro-emulsions and are an almost clear liquid.

2 Development of Longwall Pump Stations

2.1 Pump Type

Typically piston- or plunger pumps are used in longwall hydraulics (Figure 1). A plunger is a piston that oscillates through a fixed seal, a stuffing box or a packing seal during the pumping. Opposite to that, a piston has a seal which moves with the piston and seals against the cylinder wall.

The working principle of plunger pumps is a two-stroke engine. With the beginning of the backstroke piston movement, the inlet-valve opens and the cylinder volume is filled with liquid. When the prestroke starts, the inlet-valve closes and the increasing pressure in the cylinder opens the outlet-valve through which liquid is pushed into a pipe or a hose. The pump thus displaces liquid.

The pumps used in lonwall hydraulics typically are equipped with a reduction gearing. The driving motor is rigidly connected via a coupling with elastomer-elements to the input- or pinion-shaft of the pump. This shaft drives the crankshaft via tothing and reduces the revolution speed of the electrical motor which is typically 1500 rpm at 50 Hz power frequency or 1800 rpm at 60 Hz power frequency, down to a revolution speed of some 440 rpm of the crankshaft. The plungers are driven via con-rods and cross-heads. The stroke of the plunger can be different, depending on the manufacturer of the pump, and is mostly between 120 and 140 mm. Typically Triplex-pumps with three plungers are used. In case of bigger power input per pump, Quintuplex pumps with five plungers are chosen. These have the advantage of e.g. a lower pulsation.

2.2 Pump Size

The pumps initially used in underground mining were of minor power. Advancing technical evolution resulted in bigger units and higher pressures. Pumps of 90 kW input power are still used to-

längen kontinuierlich weiter gewachsen. Ein steigender Ausbauerstand hat einerseits steigende Systemdrücke, andererseits größere Zylinderdurchmesser der im Schildausbau eingebauten Stützzyylinder zur Folge. Die Hydraulikanlagen müssen bei einem definierten, hohen Systemdruck einen großen Volumenstrom an Hydraulikemulsion liefern. Verwendet werden heute HFA-Emulsionen mit einem Wassergehalt von 95 bis 97%. Die Anwendung wird daher als Wasserhydraulik bezeichnet. Moderne Emulsionen sind sogenannte Mikroemulsionen und eine beinahe klare Flüssigkeit.

2 Entwicklung der Strebhydraulikstation

2.1 Pumpentyp

Für die Strebhydraulik werden üblicherweise Kolben- bzw. Plungerpumpen eingesetzt (Bild 1). Als Plunger bezeichnet man einen Tauchkolben, der durch eine feststehende Dichtung, eine Stopfbuchse oder Packungsdichtung während des Pumpvorganges oszilliert. Im Gegensatz dazu besitzt ein Kolben eine Dichtung, die sich mit dem Kolben bewegt und ihn gegen die Zylinderwandung abdichtet.

Plungerpumpen arbeiten nach dem Zweitaktprinzip. Mit Beginn des Rückhubs öffnet sich das Einlassventil und der Zylinderraum wird mit Flüssigkeit gefüllt. Mit Beginn des Vorhubs schließt sich das Einlassventil, und der im Zylinder ansteigende Druck öffnet das Auslassventil, durch das die Flüssigkeit in eine Rohrleitung oder einen Schlauch gedrückt wird. Die Pumpe verdrängt also Flüssigkeit.

Die in der Strebhydraulik verwendeten Pumpen besitzen meist ein Reduziergetriebe. Der Antriebsmotor ist über eine Kupplung mit Elastormerelementen starr mit der Antriebs- oder Ritzelwelle der Pumpe verbunden. Diese treibt mittels Verzahnung die Kurbelwelle an und reduziert die Drehzahl des Elektromotors, die in der Regel 1.500 U/min. bei 50 Hz Netzfrequenz oder 1.800 U/min. bei 60 Hz Netzfrequenz beträgt, auf eine Kurbelwellendrehzahl von ca. 440 U/min. Mittels Pleuel und Kreuzköpfen werden schließlich die Plunger angetrieben. Der Plungerhub kann, je nach Hersteller und Pumpe, unterschiedlich sein und liegt meist zwischen 120 und 140 mm. In der Regel werden Triplex-Pumpen mit drei Plungern eingesetzt. Bei großen Leistungen je Pumpe finden Quintuplex-Pumpen mit fünf Plungern Verwendung. Diese haben u.a. den Vorteil einer geringeren Pulsation.

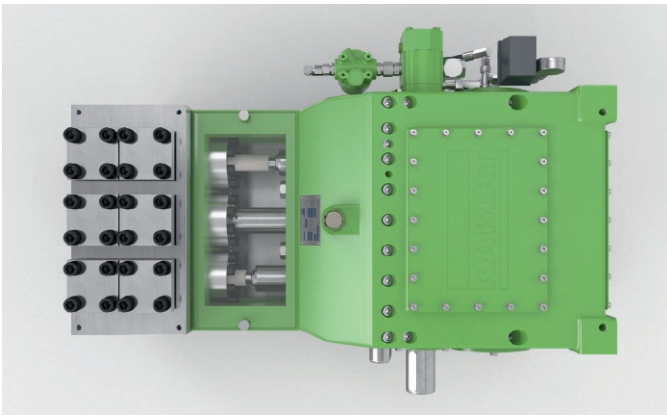


Fig. 2. 250 kW Triplex Plunger Pump K25000M-3G.
Bild 2. 250 kW Triplex Plungerpumpe K25000M-3G.

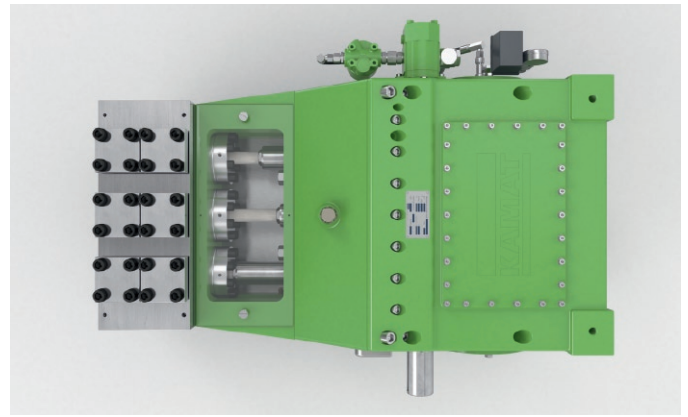


Fig. 3. 350 kW Triplex Plunger Pump K35000M-3G.
Bild 3. 350 kW Triplex Plungerpumpe K35000M-3G.

day for smaller systems. The next step were pumps of 130 kW, until 250 kW pumps and 350 kW became the standard (Figures 2, 3).

A new development, since approx. 2010, is the operation of 500 kW plunger pumps with five plungers for high-performance longwalls with big production capacities in big seams. After positive experiences with 500 kW pumps were achieved, the utilisation of 800 kW pumps is meanwhile planned; first stations are projected. The performance data for the respective pump sizes for longwall hydraulics shows table 1.

Increasing system pressures lead to lower flows at a given power input per pump. In order to achieve bigger systems-flows, more and more pumps or pumps of bigger power input are needed (Table 2). The more pumps a system needs ie the more components it has, the more “sensitive” it becomes. Less but more powerful system elements result in less maintenance and higher availability.

Three units of 500 kW pumps (Figure 4) or two units of 800 kW pumps (Figure 5) replace e.g. five units of 350 kW units or seven pumps with 250 kW power.

2.3 System

As described above, the operation of 500 kW and 800 kW pumps is a reasonable step to ensure the demand for high hydraulic performance with a reasonable and technically reasonable number

System Pressure Systemdruck	350 bar	380 bar	410 bar
Input Power Leistung Pumpe	Flow / Volumenstrom l/min		
90 kW	130	120	110
130 kW	190	180	170
250 kW	370	340	320
350 kW	520	480	440
500 kW	740	680	630
800 kW	1.190	1.100	1.010

Table 1. Flow for different pump sizes as a function of system pressure – flow rounded to 10 l/min.
Tabelle 1. Volumenstrom verschiedener Pumpengrößen in Abhängigkeit vom Systemdruck – Volumenstrom auf volle 10 l/min gerundet.

2.2 Pumpengröße

Die anfänglich unter Tage eingesetzten Emulsionspumpen hatten recht geringe Leistungsparameter. Durch die fortschreitende technische Entwicklung wurden die Einheiten größer und konnten höhere Drücke erzeugen. 90 kW-Pumpen werden auch heute noch in kleineren Systemen eingesetzt. Der nächste Schritt waren Pumpen mit 130 kW, bis sich 250 kW-Pumpen, ergänzt von 350 kW-Pumpen, zum Standard entwickelten (Bilder 2, 3).

Eine neuere Entwicklung seit etwa dem Jahr 2010 ist der Einsatz von 500 kW-Plungerpumpen mit fünf Plungern für Hochleistungsstreb mit hohen Produktionskapazitäten in Flözen großer Mächtigkeit. Nach den positiven Erfahrungen mit 500 kW-Pumpen wird inzwischen der Einsatz von 800 kW-Pumpen geplant. Erste Anlagen sind projektiert. Die Leistungsdaten für die unterschiedlichen Pumpengrößen in der Strebhydraulik zeigt Tabelle 1.

Steigende Systemdrücke verursachen gleichzeitig niedrigere Volumenströme bei unveränderter Leistung der Pumpe. Um aber immer höhere System-Volumenströme zu erreichen, werden immer mehr oder leistungsstärkere Pumpeneinheiten benötigt (Tabelle 2). Je mehr Pumpen ein System allerdings benötigt, d.h. je mehr Komponenten es besitzt, umso „anfälliger“ ist es. Weniger, dafür stärkere Systemelemente bedeuten weniger Wartungsaufwand und eine höhere Verfügbarkeit.

Drei Einheiten mit 500 kW-Pumpen (Bild 4) oder zwei Einheiten mit 800 kW (Bild 5) ersetzen beispielsweise fünf 350 kW-Einheiten oder bis zu sieben Pumpen mit 250 kW Leistung.

2.3 Anlage

Wie oben ausgeführt, ist der Einsatz von 500 und 800 kW-Pumpen ein sinnvoller Schritt, um die geforderten hohen hydraulischen Leistungen mit einer überschaubaren und technisch sinnvollen Anzahl einzelner Pumpenaggregate sicherzustellen. Moderne Hydraulikstationen für Hochleistungsstreb fördern ca. 2.000 l/min Emulsion zu den Verbrauchern im Streb, bei einem Druck von typischerweise 350 bis 380 bar bzw. bis zu 420 bar. Dies muss zuverlässig gewährleistet sein, da es bei Ausfall der Hydraulikversorgung zum Stillstand des Strebs und zum Ausfall der Förderung kommt. Zusätzlich wird immer mehr Wasser zur Staubbekämpfung verwendet. Sprühdüsen sind nicht nur an Orten besonderen Staubanfalls wie beispielsweise Fördererübergaben im Einsatz, sondern werden auch in den Ausbau und die

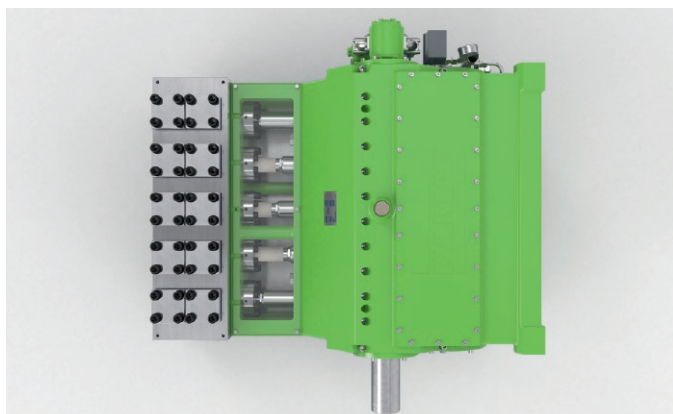


Fig. 4. 500 kW Quintuplex Plunger Pump K50000M-5G.
Bild 4. 500 kW Quintuplex Plungerpumpe K50000M-5G.

of pump units. Modern hydraulic stations for high-output longwalls supply approx. 2,000 l/min of emulsion to the consumers in the longwall, at a pressure of typically 350 to 380 bar respectively up to 420 bar. This has to be provided for reliability as a loss of the hydraulic supply results in a standstill of the longwall and thus the loss of production. In addition more and more water for dust suppression is used. Spraying nozzles are not only in use at place of high dust generation like at head of conveyors but are as well integrated in the roof support and in the drums of the shearer loader. The pumps for the generation of the water flow for the dust suppression are typically integrated into the pump station for the longwall hydraulics. The total electrical power installed for the hydraulic station of a high-output longwall thus easily exceeds 2,000 kW.

3 Layout and Components of a Pump Station

A typical station for longwall hydraulics consists of separate modules whose dimensions are defined strongly by the transport limitations into and in the mine. Mostly the modules are installed near the longwall in the main gate or the tail gate. The number of modules depends on the requirement for the flow and the power input of the pumps used. In general there is a part for emulsion and a part for dust suppression water.

System Pressure Systemdruck	350 bar	380 bar	410 bar
Input Power Leistung Pumpe	Number Of Pumps / Anzahl Pumpen at/ bei 2.000 l/min		
90 kW	16	17	19
130 kW	11	12	12
250 kW	6	6	7
350 kW	4	5	5
500 kW	3	3	4
800 kW	2	2	2

Table 2. Number of pumps needed per power input class at 2000 l/min flow.

Tabelle 2. Anzahl benötigter Pumpen je Leistungsklasse bei 2.000 l/min Volumenstrom.

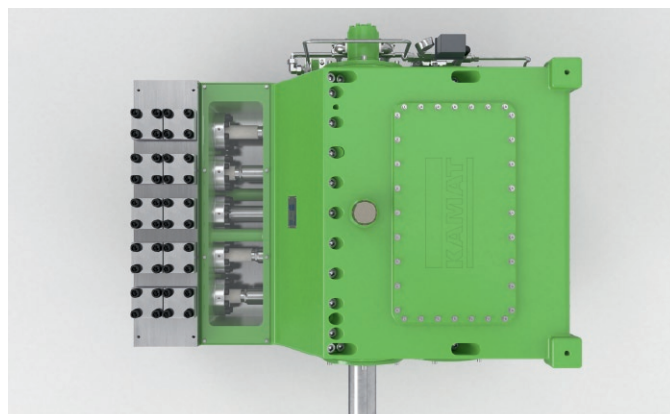


Fig. 5. 800 kW Quintuplex Plunger Pump K80000M-5G.
Bild 5. 800 kW Quintuplex Plungerpumpe K80000M-5G.

Walzen der Gewinnungsmaschinen integriert. Die Pumpen zur Erzeugung des Volumenstroms für die Staubbekämpfung sind typischerweise in die Gesamtanlage der Strebhydraulik integriert. Die installierte elektrische Leistung einer Hydraulikanlage für einen Hochleistungsstreb übersteigt so leicht 2.000 kW.

3 Aufbau und Komponenten einer Hydraulikstation

Eine typische Station für die Strebhydraulik besteht aus Einzelmodulen, deren Abmessungen stark durch die Transportbedingungen in das Bergwerk und innerhalb dessen bestimmt sind. Meist werden die Module im strebnahen Bereich in einer Abbau-begleitstrecke installiert. Die Anzahl der Module ist abhängig vom geforderten Volumenstrom und den Leistungsparametern der verwendeten Pumpen. Grundsätzlich gibt es einen Teil für Emulsion und einen Teil für Bedüsung.

Eine typische Station besteht z. B. aus:

Dem Emulsionsteil (Bild 6):

- drei bis vier Module bestehend aus Grundrahmen, Pumpe mit Umlaufventil, Motor, Kupplung und ggf. ein lokaler Schaltschrank,
- optional: Frequenz-Umrichter zur Steuerung eines Motors bzw. einer Pumpe,
- ein bis zwei Tanks in Abhängigkeit der maximal möglichen Abmessungen und Mindestvolumen; ggf. ein Tank mit zusätzlichem Konzentrattank und Misch- und Dosiereinrichtung sowie
- ein Modul mit Filtration und hydraulischen Akkumulator(en).

Dem Bedüsungsteil:

- zwei bis drei Module bestehend aus Grundrahmen, Pumpe mit Überströmventil, Motor, Kupplung, ggf. lokalem Schaltschrank und
- ein bis zwei Tanks in Abhängigkeit von maximal möglichen Abmessungen und Mindestvolumen.

Dem allgemeinen Teil:

- ein Modul mit Steuerung und Bedieneinheit; Steuerung typischerweise mit BUS-System und Einbindung in das Netzwerk des Bergwerks,
- optional: ein Modul mit Konzentrationsmessung und automatischer Mischung und Dosierung von Konzentrat sowie
- Verrohrung und Verschlauchung.

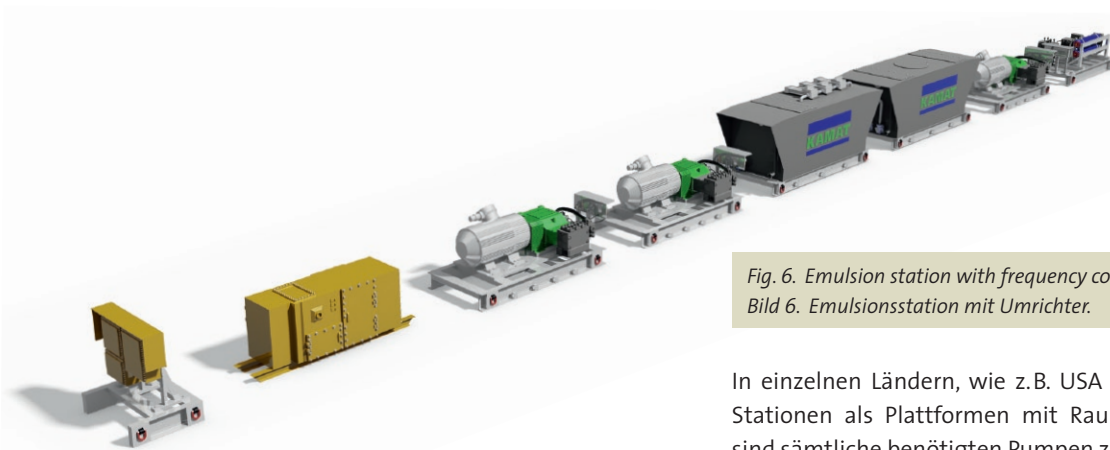


Fig. 6. Emulsion station with frequency converter.
Bild 6. Emulsionsstation mit Umrichter.

A typical station e.g. consists of:

The emulsion unit (Figure 6)

- three to four modules, consisting of base frame, pump with unloader valve, motor, coupling and a local control panel if required;
- optional: frequency converter to control a motor, resp. a pump;
- one or two tanks, depending on the maximum dimensions possible and the minimum volume required; a tank with additional concentrate tank and mixing and dosing equipment as an option and
- one module with filtration and hydraulic accumulator(s).

The dust suppression unit

- two to three modules consisting of base frame, pump with overflow valve, motor, (modern systems now with VSD) coupling and a local control panel if required and
- one to two tanks, depending on the maximum dimensions possible and the minimum volume required

The general unit

- one module with control system and operating panel; control system typically by BUS-system and integration into the mine's network and SCADA system;
- optional: a module with concentration detection and automated mixing and dosing of concentrate and
- piping and hosing.

In some countries like e.g. the United States and Australia, the stations are built as platforms with crawler tracks. Then all pumps needed are mounted together with the motors compact on the platform.

4 Place of Installation of the Pump Station

Different places of installation for hydraulic stations are possible, depending on the general approach. Stations near to the longwall operation provide the hydraulic power for the longwall. The installation in the main gate minimises the length of pipes and hoses as well as pressure losses by allowing the shortest possible distances for the fluids. It is a disadvantage that the station accounts for additional space requirement in addition to the pan-technicon, stage loader and further equipment. A hydraulic station can absolutely have an expansion of 60 m in the gate road. Stations near the longwall have to be moved with the longwall

In einzelnen Ländern, wie z.B. USA und Australien, werden die Stationen als Plattformen mit Raupenfahrwerk gebaut. Dann sind sämtliche benötigten Pumpen zusammen mit den Antriebsmotoren kompakt auf der Plattform angeordnet.

4 Aufstellungsort der Hydraulikstation

Für den Aufstellungsort von Strebhydraulik-Anlagen gibt es unterschiedliche Möglichkeiten und Ansätze. Abbaunahe Anlagen erzeugen die für einen Streb notwendige Hydraulik. Eine Aufstellung in der Bandstrecke minimiert Rohr- und Schlauchlängen und somit auch Druckverluste durch kürzeste Förderwege für die Flüssigkeiten. Nachteilig ist, dass die Anlage neben Energiezug, Streckenförderer und weiteren Aggregaten zusätzlichen Platzbedarf in der Strecke hat. Eine Hydraulikanlage kann durchaus eine Streckenlänge von 60 m und mehr beanspruchen. Abbaunahe Stationen müssen auch, ebenso wie der Energiezug, mit dem Streb mitgeführt werden. Die Module dieser Anlagen werden daher z.B. auf Unterwagen montiert und sind schienengebunden, in die Einschienenhängebahn (EHB) integriert (Bild 7) oder auf Schlitten mit Kufen montiert. Dieser Aufstellungsort ist sehr verbreitet und typisch für den Strebbau in China, in Russland, den USA und anderen Ländern.

Alternativ dazu gibt es die Möglichkeit, die Anlage in eigens hierfür aufgefahrene Querschlägen aufzustellen. Solche Anlagen sind oft auf Plattformen mit Raupenfahrwerk untergebracht und werden mit dem Abbaufortschritt regelmäßig verfahren (Bild 8). Das Gewicht einer solchen Anlage auf einer Plattform kann mehr als 60 t betragen. Typisch ist diese Art von Stationen im australischen und amerikanischen Steinkohlenbergbau.

Stationäre Anlagen für mehrere Bauhöhen werden in Hauptstrecken im Flöz so aufgestellt, dass die verschiedenen Bauhöhen vom Standort der Anlage aus versorgt werden können. Vorteile dieser Aufstellung sind, dass die Anlage nicht im unmittelbaren Abbaubereich steht, die Aufstellung entsprechend den Herstellerempfehlungen leichter möglich ist, Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten erfahrungsgemäß leichter durchzuführen sind und die Anlage während des Abbaus unterschiedlicher Bauhöhen nicht versetzt werden muss. Es ist allerdings notwendig, Hochdruck-Rohrleitungen durch eine Abbaubegleitstrecke – typischerweise Bandstrecke – zur Ver- und Entsorgung der Verbraucher im Streb zu verlegen. Dies bedeutet allerdings je nach Zuschnitt der Bauhöhen die Investition in mehr als 1 km HD-Versorgungsleitung – z.B. 350 bis 420 bar – und zusätzlich in die Rückklaufleitung, die allerdings in einer wesentlich niedrigeren Druckstufe – z.B. 60 bar – ausgelegt werden kann.

Wird die Idee einer stationären Anlage konsequent realisiert, wird eine zentrale Strebhydraulik-Pumpstation zur Versorgung des gesamten Bergwerks bzw. mehrerer Strebe mit Emulsion und Bedüsungswasser erstellt. Hierzu muss die Anlage in der Lage



Fig. 7. Monorail mounted station. // Bild 7. EHB-Station.

like the pantechnicon. The modules of these stations are thus e.g. mounted on undercarriages and are railbound, are integrated in an overhead monorail (Figure 7) or mounted on skids. This place of installation is popular and typical for longwalls in China, the USA, in Russia and other countries.

Alternatively, the station is installed in dedicated crosscuts. These stations are often mounted on platforms with crawler tracks and are moved with the face advance regularly (Figure 8). The weight of such a station on a platform can exceed 60 t. These stations are characteristic for the Australian and American coal mining.

Stationary installations for multiple panels of coal are positioned in main roadways so they are able to supply different panels from the location of the station. Advantages of such a setup are that the station is not installed in the direct working section, the installation according to the manufacturers recommendations is easier, maintenance and repair is easier based on experience and that there is no necessity to move the station during the mining of the different panels. However, it is necessary to install high-pressure pipes through one of the gate roads (typically through the main gate) to supply and dispose the consumers in the longwall. This can, depending on the panel design, cause in an investment for more than 1 km high-pressure supply pipe – e.g. 350 to 420 bar – and in addition the back flow pipe, which can be of a significant lower pressure level, e.g. 60 bar.

The consequent realisation of the idea of a stationary installation results in the erection of a central pump station, supplying the whole mine resp. multiple longwalls with emulsion and dust-suppression water. In order to meet the requirements, the station has to be capable of supplying several longwalls mining different seams and thus operating at different depths, with different outlet- and supply-pressures and the requested flows. The technical



Fig. 8. Pump station on platform with crawler tracks.
Bild 8. Pumpenstation auf Plattform mit Raupenfahrwerk.

sein, mehrere Strebe in unterschiedlichen Flözen und daher üblicherweise in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Teufen, auch mit unterschiedlichen Abgangs- und Versorgungsdrücken und dem benötigten Volumenstrom von der Anlage aus zu versorgen. Die Anlage muss also technisch entsprechend ausgelegt werden. Weiterhin kann auf eine schlagwettergeschützte Ausführung der Anlage, insbesondere der elektrischen Ausrüstung verzichtet werden, wenn sie z.B. schachtnah im einziehenden Wetterstrom aufgestellt wird. Dies verringert die Investitionen. Die Betriebskosten werden verringert, wenn Pumpen mittels Umrichtertechnik mit unterschiedlichen Drehzahlen gefahren werden. Schlagwettergeschützte Umrichter sind verfügbar, allerdings zu einem wesentlich höheren Preis als entsprechende Ausrüstung in Industrieausführung. Nachteilig sind die erhöhten Kosten für die Verrohrung von der zentralen Station zu den Abbaubetriebspunkten. Als Beispiel für eine solche Anlage ist die zentrale Strebhydraulik- und Bedüsungswasser-Anlage auf dem Bergwerk Ensdorf im Saarland zu nennen. Die am dortigen Nordschacht schachtnah aufgestellte Anlage hat vom Jahr 2002 bis zur Stilllegung des Bergwerks im Jahr 2012 zuverlässig bis zu drei Strebe hydraulisch versorgt. Sie war weltweit die erste Station für Strebhydraulik, bei der die Pumpen mittels Frequenzumrichter gesteuert wurden und der Volumenstrom bedarfsgenau erzeugt wurde. Selbstverständlich sind solche zentralen, stationären Stationen groß und erfordern mehr Platz in der Aufstellung. Wartung und Instandhaltung sind jedoch nicht zuletzt wegen der einfacheren Logistik in Schachtnähe mit relativ geringem Aufwand und in hoher Qualität durchzuführen.

5 Regelung mittels Umlaufventil

Mit der Entwicklung immer leistungsstärkerer Pumpen stiegen auch die Anforderungen an die Umlaufventile, die den Strom der Hydraulikflüssigkeit zu den Verbrauchern in Abhängigkeit vom Bedarf des Strebs regeln. Vorausgesetzt, der Druck bleibt konstant, gilt je größer die Pumpe, umso größer der Volumenstrom. Vorgänger der heute verwendeten elektro-hydraulischen Umlaufventile mit elektrischem Pilotventil waren Ventilanhebung und mechanische Umlaufventile. Die elektro-hydraulischen Umlaufventile sind heute in die elektronische Steuerung der Pumpstation integriert. Geregelt wird über einen Drucksensor in der Strebleitung. Das Umlaufventil lenkt Emulsion zum Streb. Wenn der voreingestellte Maximaldruck erreicht ist, schaltet das Ventil und der von der Pumpe erzeugte Volumenstrom wird in den Tank umgeleitet. Fällt der Strebdruck ab, schaltet das Ventil wieder Richtung Verbraucher.

Um die von den großen Pumpen ab 350 kW erzeugten wachsenden Volumenströme hydraulisch sinnvoll beherrschen zu können, waren neue Ventile erforderlich, die bei Volumenströmen von bis zu 1.500 l/min und max. 500 bar funktionssicher sind. So entstanden mehrere Baugrößen von Umlaufventilen. Wegen der guten Erfahrungen mit verschleißresistenten Plungern aus Vollkeramik wurde dann Keramik auch als Werkstoff für die Innenteile der Ventile eingesetzt, was zu wesentlich geringerem Verschleiß führt und die Wartungsintervalle erheblich verlängert.

Das Umlaufventil muss sehr schnell schalten, wenn der Systemdruck erreicht ist, um Druckspitzen in der Strebleitung sicher zu vermeiden. Schnelle Schaltvorgänge führen jedoch zu Schalt-

design of the station has to be appropriate. In case, the installation of the station can be done near a fresh air shaft, the technical equipment in some cases does not need to be explosion-proof. This reduces the investment. Operating cost reductions are achieved if pumps are driven at different speed by using a Variable Speed Drive. Explosion-proof variable speed drives are available, however at a significantly higher price, compared to industrial equipment. A disadvantage are the increased expenditures for the piping from the central station to the longwalls. An example for such a station is the central emulsion- and dust-suppression-water pump station at the Ensdorf mine in the Saarland-region in Germany. The station, installed near the North-shaft, has reliably supplied the hydraulics for up to three longwalls from 2002 until the decommissioning of the mine in 2012. It was the first pump station for longwall hydraulics where the pumps were driven using variable speed drives and thus the flow exactly was meeting the demand. Obviously, such central, stationary stations are big and require more space for the installation. Based on this experience, maintenance and repairs throughout the stations life were minimal and easier to carry out, given the simpler logistics near a shaft.

5 Operation with Unloader Valve

In conjunction with the development of more and more powerful pumps, the demand on unloader valves increased, controlling the flow of hydraulic fluid to the consumers, depending on the demand of the longwall. Assuming a constant pressure, the rule is: the bigger the pump, the bigger the flow. The predecessors of the modern electro-hydraulic unloader valves with electrical pilot valve were valve lifters and mechanical unloading valves. The electro-hydraulic unloading valves today are integrated in the electronic control system of the pump station. A pressure sensor in the high-pressure pipe leading to the longwall controls the valve. The unloader valve directs emulsion to the longwall. When the preset maximum pressure is reached, the valve switches and the flow produced by the pump is redirected into the tank. When the longwall pressure drops, the valve switches again in the direction of the consumer.

In order to be able to reasonably hydraulically manage the flow, generated by the big pumps of 350 kW and more, new valves became necessary, ensuring a fail-safe operation at flows up to 1,500 l/min and pressures of 500 bar max. Thus, multiple sizes of unloader valves were developed. Based on the good experiences with wear-resistant plungers, made from solid ceramics, ceramic is used as the material for the inner parts of the valves. This leads to significantly less wear and consequently to much longer service intervals.

The unloader valve has to switch very quickly when the system pressure is reached in order to reliably avoid pressure peaks in the longwall pipeline. Quick switches however cause pressure shocks in the hydraulic system, increasing with growing flows. In operation, the pump delivers emulsion to the longwall. In combination with the pressure measurement and the preset switch point of the electronic control system, the control system sends a signal to the electrical pilot valve within less than 100 ms. The pilot valve activates the unloader valve to switch from pressure (consumer) to tank. Consequently, the water column in the longwall pipe-

schlägen im hydraulischen System, die mit größeren Volumenströmen zunehmen. Im Betrieb fördert die Pumpe Emulsion zum Streb. In Kombination mit der Druckmessung und dem in der elektronischen Steuerung voreingestellten Schaltpunkt sendet die Steuerung bei Erreichen des Soll-drucks innerhalb von weniger als 100 ms ein Signal an das elektrische Pilotventil, welches das Umlaufventil zur Schaltung vom Verbraucher zum Tank ansteuert. In der Strebleitung wird nun die Wassersäule in Richtung Streb sehr stark verzögert. Gleichzeitig wird die bisher stehende Wassersäule in der Rücklaufleitung zum Tank stark beschleunigt. Beide Vorgänge – Verzögerung und Beschleunigung – führen zu Druckstößen aufgrund der Masseträgheit der Flüssigkeit. Wenn der Systemdruck fällt und das Ventil wieder in Richtung Verbraucher schaltet, entsteht erneut ein Druckstoß, diesmal aufgrund der Verzögerung der Flüssigkeitssäule in der Rücklaufleitung und der Beschleunigung in der Strebleitung. Diese Druckstöße können durch den Einbau von geeigneten hydraulischen Akkumulatoren in das System verringert, jedoch nicht völlig beseitigt werden. Pumpen, die mit konstanter Antriebsdrehzahl betrieben werden, fördern stets einen konstanten Volumenstrom. Strebe benötigen im Betrieb aber sehr unterschiedliche Mengen an Emulsion. Der maximale Volumenstrom, für den die Pumpe bzw. Anlage ausgelegt ist, wird fast nie benötigt. Je nach Betriebszustand des Strebs, kann das Umlaufventil 10- oder auch 20-mal je Minute schalten. Es gibt betriebliche Aufzeichnungen von bis zu 250.000 Schaltungen des Umlaufventils in drei Monaten. Insbesondere Schläuche vibrieren und verdrehen sich. Auch die Pumpe und das Umlaufventil selbst leiden unter hohem Verschleiß durch die ständigen Lastwechsel. Die dauernden Druckschläge führen zu Druckspitzen und zu vorzeitigem Verschleiß und Versagen von Systemkomponenten wie Schläuchen und Verbindungen. Ein Umlaufventil verschleißt ausschließlich durch die Anzahl der Schaltungen. Ein dauerhaft unter Druck laufendes Umlaufventil zeigt keinen Verschleiß.

Wenn das Umlaufventil auf Umlauf schaltet, wird der gesamte Volumenstrom an Emulsion zurück in den Tank geführt. Da Antriebsmotor und Pumpe weiterhin mit Nominaldrehzahl betrieben werden, wird elektrische Energie vergeudet und teilweise in Wärme umgewandelt. Die Emulsion im Tank erhitzt sich und in ungünstigen Konstellationen kann es aufgrund zu hoher Emulsionstemperatur im Tank zur Abschaltung des Systems kommen. Es wäre logisch, Motor und Pumpe abzuschalten, sobald das Ventil auf Umlauf schaltet. Die Anzahl der Anfahrvorgänge eines Elektromotors in einer Stunde ist jedoch limitiert, um Überhitzung zu vermeiden. Daher wird der Motor bei anhaltendem Betrieb im Umlauf erst nach einer voreingestellten Zeit abgeschaltet. Es lohnt sich also auch vor dem Hintergrund des Energieverbrauchs, konventionelle Systeme zu überarbeiten.

6 Regelung mittels Frequenzumrichter

Durch die Verwendung von frequenzgeregelten Motoren kann der von der Pumpe erzeugte Volumenstrom exakt dem Bedarf des Strebs angepasst werden (Bild 9). Ein Frequenzumrichter regelt die Drehzahl des Antriebsmotors der Pumpe durch Veränderung der Netzfrequenz von theoretisch 0 bis zu 1.500 U/min bei 50 Hz Netzfrequenz. Ohne Umrichter dreht der Motor stets mit voller Netzfrequenz. Das Verhältnis von Drehzahl der Kurbelwelle einer Kolben- oder Plungerpumpe und erzeugtem Volumenstrom der

line is strongly decelerated. Simultaneously, the unmoved water column in the backflow pipe to the tank is strongly accelerated. Both incidents – deceleration and acceleration – lead to pressure shocks due to the inertia of the liquid. When the system pressure drops and the valve again switches towards consumer, another pressure shock is generated, this time due to the deceleration of the liquid column in the backflow pipe and the acceleration in the longwall pipeline. Using suitable hydraulic accumulators in the system can ease the pressure shocks but will not eliminate them. Pumps operated at constant drive speed will always provide a constant flow of volume. Longwalls in operation however have a very volatile demand of emulsion. The maximum flow required which is the base for the layout of the pump resp. the station is almost never needed. Based on the longwall's operating conditions, the unloader valve thus may switch 10 or even 20 times per minute. Operation recordings even counted 250.000 switches of the unloader valve during three months of operation. Especially hoses will vibrate and twist. Also the pump and the unloader valve suffer from excessive wear caused by the frequent load cycles. The frequent pressure shocks lead to pressure peaks and to premature wear and failure of system components like hoses and connections. The wear of an unloader valve is only caused by switching. An unloader, being constantly operated under pressure will show no wear at all.

When the unloader valve switches to unload, the entire flow of emulsion is returned into the tank. As motor and pump continue to operate at nominal speed, electrical energy is wasted and partially transformed into heat. The emulsion in the tank is heated up and, under unfavourable conditions, a system shut down occurs due to excessive temperature of the emulsion in the tank. It would be logical to switch off motor and pump as soon as the valve switches to unload. However, the number of motor start-ups per hour is limited in order to avoid overheating. Only after a certain continuing operation in unload-mode, the motor will be switched off after a preset idling time. It makes thus sense to revise existing systems as well with the focus on energy consumption.

6 Operation with Variable Speed Drive

Using frequency controlled motors leads to a perfect adjustment of the flow produced by the pump to the demand of the longwall (Figure 9). A frequency converter or variable speed drive (VSD) controls the revolutions of the motor driving the pump via variation of the power frequency from theoretically 0 to 1,500 rpm at 50 Hz power frequency. Without a VSD the motor is always spinning at full power frequency. The relation between the speed of the crankshaft of a piston- or plunger pump and the flow produced is linear if the motor is connected to the pump via a rigid coupling, which typically is the case. At 50% of the nominal speed, the pump delivers 50% of the nominal flow etc. When operating with a VSD, the control of the speed is achieved by using a pressure sensor in the supply-pipeline to the longwall. In case of increased demand of the longwall, the pressure in the pipeline drops, the speed of the pump is increased and the pressure increases. As soon as the pressure reaches a preset value, the speed of the pump is decreased. Such operation avoids the generation of pressure shocks and load cycling. The wear of pumps, drive train, hosing, piping and connec-



*Fig. 9. Pump station on base frame with VSD.
Bild 9. Pumpenstation auf Grundrahmen mit Frequenzumrichter.*

tions is massively reduced, compared to an operation without VSD. Pumps with a big adjustment range of between 10 and 100 % are ideal for the use with variable speed drives. They are able to supply minimal longwall requirements without switching the unloader valve. Using a 250 kW pump and under good operating conditions, it is possible to supply a flow between 37 and 370 l/min and using a 350 kW pump between 52 and 520 l/min – assuming a system pressure of 350 bar in both cases. Typically the emulsion pump station for longwalls consist of multiple pump modules (Figure 10). Using pumps with a maximum flow adjustment range enable the operation with the need for only one VSD.

Pump 1 is frequency controlled, the pumps 2 and three are operated without VSD. In the logic of the control system, the pumps are setup cascade-like. The VSD-pump is the main pump, the others are added on demand. Such a system is able to provide between 10 % and 300 % of the nominal flow of one pump, if the frequency controlled pump allows for a respective range of adjustment. Operational experiences do confirm that such a station is able to be operated without switching the unloader valve of the VSD-driven pump, even if only the leakage of an idling longwall needs to be compensated.

The control of a pump with a VSD-drive acts quickly. Smallest changes of the longwall pressure result in speed changes and thus in changes of the flow provided by the pump. The longwall pressure remains significantly more stable compared to an operation with pumps which are driven without speed control, using only the unloader valve. An unloader valve is nevertheless mounted to all pumps. At the frequency controlled pump, its function is only to allow for a depressurised startup and shutdown of the pump as well as to react to sudden and extreme pressure increases, which actually happen very seldom. Furthermore, the unloader valve operates if the consumption of the longwall is below the smallest flow of the VSD-controlled pump, a fact that can be assumed to be extremely rare when using a pump with a big range of adjustment of 100 to 10 %, as experience tells that the longwall always has at least internal leakage. KAMAT-stations with frequency control are in operation since 2002, when the first VSD-controlled pump station in the world was commissioned at a mine in the Saarland-area in Germany. That station was in operation successfully until the mine was closed down. Subsequently, KAMAT GmbH & Co. KG, Witten/Germany, has many pump stations with VSD-technology in operation in China, the US and Russia. Also this technology was used in England until the last two mines were closed.

Pumpe ist linear, wenn der Antriebsmotor mit einer starren Kupplung mit der Pumpe verbunden wird, was typischerweise der Fall ist. Bei 50 % der Nominaldrehzahl fördert die Pumpe 50 % des nominalen Volumenstroms usw. Beim Betrieb mit Frequenz-Umrichter erfolgt die Regelung der Drehzahl über einen Drucksensor in der Strebleitung. Erhöht sich der momentane Verbrauch des Strebs, sinkt der Druck in der Leitung, die Drehzahl der Pumpe wird erhöht und der Druck steigt. Erreicht

der Druck einen voreingestellten Wert, wird die Drehzahl der Pumpe verringert. Es entstehen bei einer solchen Fahrweise keine Druckstöße und somit auch keine Lastwechsel. Der Verschleiß an Pumpen, Antriebsstrang, Verschlauchung, Verrohrung und Verbindungselementen verringert sich um ein Vielfaches, verglichen mit dem Betrieb ohne Umrichter. Für die Verwendung mit Frequenzumrichtern sind Pumpen mit einem Verstellbereich von 10 bis 100 % ideal. Diese können auch geringe Bedarfe des Strebs ohne Ventilschaltung darstellen. So ist es mit einer 250 kW-Pumpe unter guten Betriebsbedingungen möglich, zwischen 37 und 370 l/min zu fördern und mit einer 350 kW-Pumpe zwischen 52 und 520 l/min – jeweils bei einem angenommenen Systemdruck von 350 bar. Typische Emulsionsanlagen für Strebe besitzen mehrere Pumpenmodule (Bild 10). Durch die Verwendung von Pumpen mit großem Verstellbereich ist es möglich, den Betrieb mit nur einem Frequenzumrichter darzustellen.

Pumpe 1 ist frequenzgeregelt, die Pumpen 2 und 3 fahren ohne Frequenzregelung. In der Steuerungslogik sind die drei Pumpen kaskadierend angeordnet. Die geregelte Pumpe ist die Hauptpumpe, die beiden anderen werden bei Bedarf zugeschaltet. Eine solche Anlage ist in der Lage, zwischen 10 und 300 % des nominalen Volumenstroms einer Pumpe zu fördern, wenn die geregelte Pumpe einen entsprechenden Verstellbereich hat. Betriebliche Erfahrungen belegen, dass eine solche Station in der Lage ist, ohne Schaltung des Umlaufventils der geregelten Pumpe zu fahren, wenn die Leckage eines Strebs bei temporärem Stillstand der Gewinnung auszugleichen ist.

Die Regelung einer Pumpe mit einem Umrichter ist schnell. Kleinste Druckänderungen im Streb führen zu einer Drehzahländerung und somit Volumenstromänderung der Pumpe. Der Strebdruck bleibt wesentlich konstanter als bei Pumpen, die ohne Drehzahlregelung und nur mit Umlaufventil betrieben werden. Ein Umlaufventil ist dennoch bei allen Pumpen verbaut. Bei den unregulierten Pumpen arbeitet es klassisch. Bei der frequenzgeregelten Pumpe dient es lediglich dazu, druckloses An- und Abschalten der Pumpe zu ermöglichen sowie auf plötzliche und extreme Druckanstiege zu reagieren, die allerdings selten auftreten. Weiterhin arbeitet das Umlaufventil, wenn die Abnahme des Strebs unterhalb der kleinsten Fördermenge der geregelten Pumpe liegt, was bei einer Pumpe mit großem Verstellbereich von 100 bis 10 % selten der Fall sein wird, da im Streb erfahrungsgemäß immer zumindest interne Leckagen vorhanden sind. KAMAT-Anlagen mit Frequenzregelung sind seit dem Jahr 2002 im Einsatz, als die erste frequenzgeregelte Station der Welt auf einem Bergwerk im

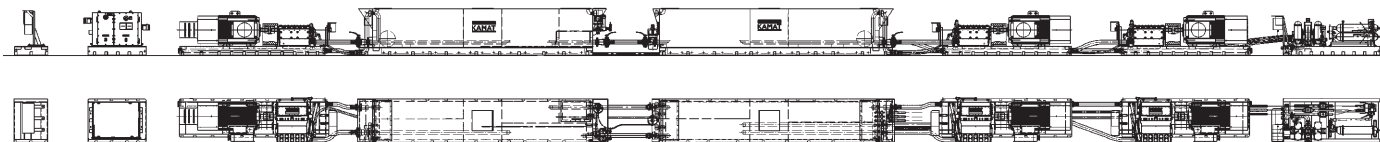


Fig. 10. Pump station with VSD and three pumps. // Bild 10. Pumpenstation mit Frequenzumrichter und drei Pumpen.

7 State of the Art

Modern longwall hydraulic pump stations are equipped with one to three big pumps. Choosing pumps of 500 kW input power allows to even get rid of the booster pump for the supply of the pumps suction side with emulsion up to max. 640 l/min flow if the installation is hydraulically engineered well. Thus, the station is further simplified in addition to the small number of pumps. Even using 250 or 350 kW pumps, the need for booster pumps can be eliminated if the layout of the installation is done well. Even if pumps of big input power are used, the dimensions remain reasonable and allow underground transport. Even systems, designed for using 800 kW pumps have a maximum width of 1,600 mm. The size of the unloader valves used is adapted to the big flows. The unloader valves are equipped with inner parts made from solid ceramics and are thus extremely resistant to wear. In order to manage the flow perfectly and avoid pressure shocks caused by the switching unloader valve, a frequency converter is used to drive a pump. The energy consumption further is minimised as idling of pumps and returning the full flow into a tank, which creates heat, is avoided.

Modern pump station systems with as few pumps as possible, without booster pumps and equipped with a frequency converter are highly energy efficient. These systems are distinguished by high system availability and minimum maintenance requirements. Due to the VSD-technology they operate efficient and supply exactly the flow of emulsion, the longwall demands. This energy saving by avoiding an idling system recovers the additional investment of the VSD within a reasonable amount of time. Frequency converters for the voltages used in underground mining are available. Further cost savings are achieved by the elimination of pressure shocks and the continuous operation of the pumps as the lifetime of all pressurised components is extended by the avoidance of load cycles and thus maintenance efforts are minimised.

Authors / Autoren

Dr.-Ing. Andreas Wahl und Dipl.-Ing. Jan Sprakel, Geschäftsführende Gesellschafter der KAMAT GmbH & Co. KG, Witten

Saarland in Betrieb genommen wurde. Sie war bis zur Schließung des Bergwerks erfolgreich in Betrieb. Mittlerweile hat die KAMAT GmbH & Co. KG, Witten, viele Stationen mit Frequenzumrichter in China, den USA und Russland in Betrieb. Auch in England war diese Technik bis zur Stilllegung der letzten beiden Bergwerke im Einsatz.

7 Stand der Technik

Moderne Anlagen für die Strebhydraulik sind mit einer bis drei großen Pumpen ausgerüstet. Wählt man Pumpen mit 500 kW Leistung, kann bei einer Pumpe mit einem Volumenstrom von max. 640 l/min sogar auf die Verwendung einer Vordruckpumpe zur Versorgung der Saugseite der Pumpe mit Emulsion verzichtet werden, vorausgesetzt, die Anlage ist hydraulisch gut ausgelegt. Neben der geringen Anzahl von Pumpen wird die Anlage so weiterhin vereinfacht. Auch bei der Verwendung von 250 oder 350 kW-Pumpen kann bei entsprechender Auslegung auf Vordruckpumpen verzichtet werden. Trotz der Verwendung von Pumpen großer Eingangsleistung bleiben die Abmessungen für den Transport unter Tage beherrschbar. Selbst Systeme, die für 800 kW-Pumpen projiziert werden, besitzen eine maximale Breite von 1.600 mm. Die Baugröße der Umlaufventile ist an die großen Volumenströme angepasst. Die Umlaufventile besitzen Innenteile aus Keramik und sind so enorm verschleißresistent. Zur optimalen Regelung des Volumenstroms und zur Vermeidung von Druckschlägen durch Schaltungen des Umlaufventils kommt ein Frequenzumrichter zum Einsatz. Wenn Pumpen mit einem großen Verstellbereich des Volumenstroms eingesetzt werden, genügt es, eine Pumpe mit einem Umrichter zu regeln. Der Energieverbrauch des Systems ist minimiert, da der Leerlauf von Pumpen vermieden wird, die im Umlauf Emulsion bei vollem Volumenstrom zurück in den Tank fördern, der sich dadurch auch noch erwärmt.

Moderne Systeme mit wenigen Pumpen, ohne Vordruckpumpen und mit einem Frequenzumrichter sorgen für eine hohe Energieeffizienz. Die Systeme zeichnen sich durch hohe Anlagenverfügbarkeit und minimalen Instandhaltungsaufwand aus. Durch die Umrichtertechnik arbeiten sie effizient und liefern exakt die Menge an Emulsion, die der Verbraucher Streb benötigt. Die Energieeinsparung durch Vermeidung von Leerlauf amortisiert die Mehrkosten für den Umrichter innerhalb eines überschaubaren Zeitraums. Umrichter für die im Bergbau unter Tage verwendeten elektrischen Spannungen sind verfügbar. Weitere Kosteneinsparungen werden durch die Vermeidung von Druckschlägen und den konstanten Betrieb der Pumpen erzielt, da die Lebensdauer aller druckbeaufschlagten Komponenten durch die Vermeidung von Lastwechseln verlängert und der Instandhaltungsaufwand minimiert werden.