

COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS SLURRY E EPB SHIELD NA CONSTRUÇÃO DE TÚNEIS EM SOLOS MOLES

COMPARISON BETWEEN THE SLURRY AND EPB SHIELD SYSTEMS FOR TUNNEL CONSTRUCTION IN SOFT SOILS

Fernando Rodrigo de Aquino

RESUMO

Graças a avanços na tecnologia de tuneladoras, os túneis podem ser escavados através de máquinas sob condições muito difíceis de subsolo. Os dois objetivos mais importantes nas tuneladoras são: suportar o solo durante escavação e segurar o maciço circundante que se encontra atrás do shield, em equilíbrio com a colocação do reforço. Este trabalho tem como objetivo comparar as tuneladoras utilizadas para escavação em solos moles: Slurry e EPB Shield, considerando como elas alcançam estes dois objetivos.

Palavras-chave: Slurry, EPB Shield, Túneis, Solos Moles.

ABSTRACT

Thanks to advances in tunneling machine technology, tunnels can be machine excavated under very difficult underground conditions. The two most important goals in tunneling machines are: supporting the ground during excavation and securing the surrounding massif behind the shield, in balance with the placement of reinforcement. This work aims to compare the tunneling machines used for excavation in soft soils: Slurry and EPB Shield, considering how they achieve these two objectives.

Keywords: Slurry, EPB Shield, Tunnels, Soft Soils.

1. INTRODUÇÃO

Os avanços ocorridos na engenharia de túneis vem nos permitindo a construção de túneis com escavação mecânica em condições muito severas de subsolo. Sabe-se que não existe nenhuma máquina tuneladora universal. A máquina e seus componentes devem combinar igualmente com as condições geológicas (BABENDERERDE, 1991).

As condições geológicas encontradas ao longo do alinhamento de um túnel são críticas à seleção da máquina. O tipo de solo, rocha e a presença de água têm um impacto fundamental na seleção da tuneladora.

Uma mudança simples na geologia ou a presença de água pode mudar o tipo de máquina, de uma tuneladora simples aberta para uma EPB Shield completamente pressurizada ou uma Slurry Shield com parâmetros operacionais complexos.

Outra informação crítica à seleção da TBM é o alinhamento do túnel. A TBM deve ser projetada e deve ser construída para poder escavar o túnel proposto ao longo do alinhamento pré-definido. Itens como uma mínima curva horizontal ou vertical pode ter um grande impacto no projeto e na configuração da máquina (LOVAT).

Quando escavamos com uma tuneladora em solos moles, a face deve ser suportada com segurança durante a escavação e o maciço circundante que se encontra atrás do shield deve estar em equilíbrio com a colocação do reforço.

O objetivo deste artigo é explicar como estes dois objetivos são alcançados com

os sistemas técnicos atuais.

2. ASPECTOS GERAIS

2.1 Slurry Shield

O sistema da Slurry Shield (Figura 1) é aplicável a uma grande variedade de solos, desde argilas a areias e pedregulhos, com permeabilidade (k) entre 10^{-8} m/s e 10^{-2} m/s sob níveis variados de água. Porém, para solos com alto teor de silte ou argila, pode-se ter problemas na central de separação (EFNARC, 2005).

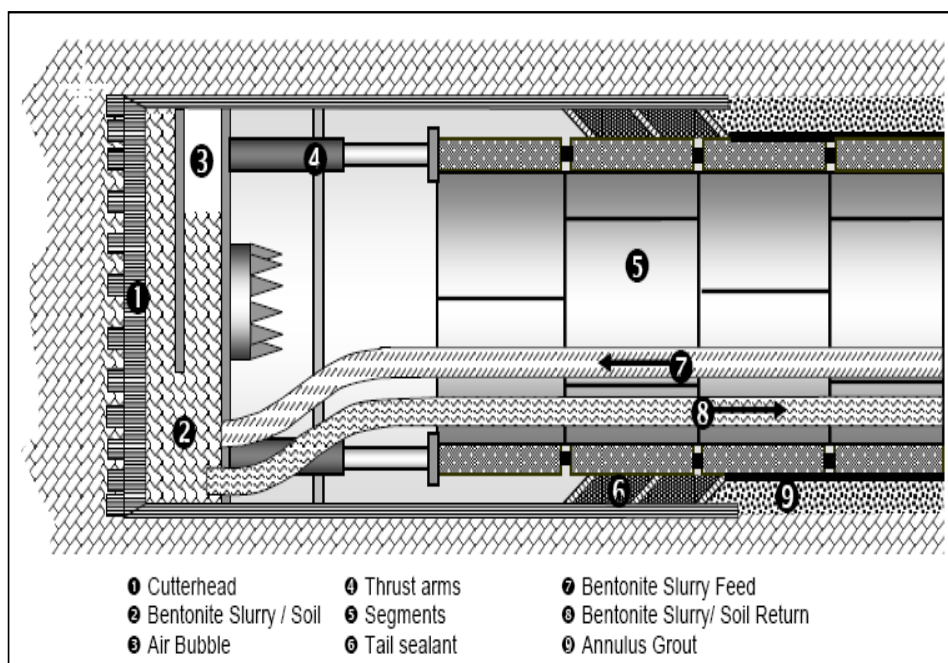


Figura 1 Representação esquemática da Slurry Shield (EFNARC, 2005).

No sistema Slurry, a pressão de suporte é alcançada misturando-se o solo escavado com uma lama de água e argila. Consegue-se um controle excelente da pressão, e o custo de energia é muito menor. A lama ajuda na remoção do solo proveniente dos cortes, mantendo a face dianteira pressurizada, prevenindo a instabilidade; também esfria e lubrifica as peças.

Esta lama é uma suspensão de bentonita em água com aditivos apropriados. A lama é preparada na superfície em tanques e é circulada no tubo de alimentação (linha de sucção) para a face dianteira para ajudar a remover os cortes da escavação. Depois é circulada para fora pelo tubo de descarga. Ela pode ser preparada para re-utilização. O solo proveniente dos cortes são mecanicamente removidos da lama (através de misturadores, hidrociclones, centrífugas, etc). Estas podem exigir tratamento para restabelecer suas propriedades físicas essenciais antes de ser re-circulada à linha de alimentação (AFTES, 2005).

A desvantagem deste tipo de máquinas é o tratamento do solo, misturado com as lamas que exige projeto de central de separação na superfície para uma melhor separação das partículas.

2.2 EPB Shield (Earth Pressure Balanced)

Uma tuneladora EPB moderna (Figura 2) combina o conhecimento de três assuntos principais: pressão de suporte e características do solo; tecnologia da TBM e tipo de aditivos utilizados (EFNARC, 2005). Só uma boa compreensão e interação entre estes aspectos resultarão em uma tuneladora de sucesso comercial.

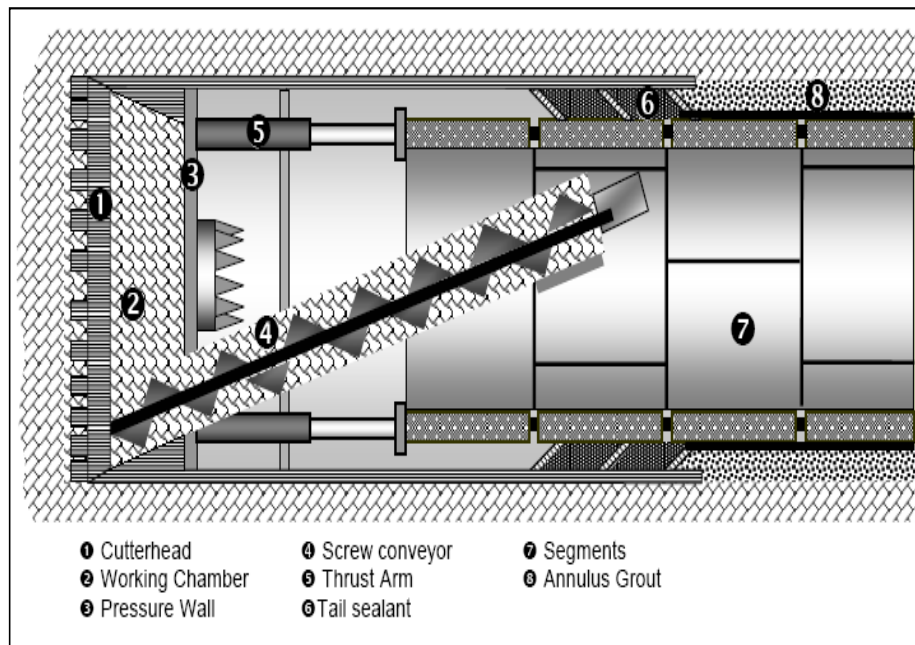


Figura 2 Representação esquemática da EPB Shield (EFNARC, 2005).

Estas máquinas são envoltas por um cilindro metálico que sustenta o terreno após a escavação. Na frente há uma câmara de escavação que se mantém a baixa pressão, e nela armazena-se o solo escavado. A extração do material é feita por meio de um parafuso transportador. A pressão de face é adquirida controlando a entrada e saída de material da câmara por meio da regulação de rotação do parafuso e da velocidade de escavação.

A Figura 3 ilustra o modo de operação da EPB Shield.

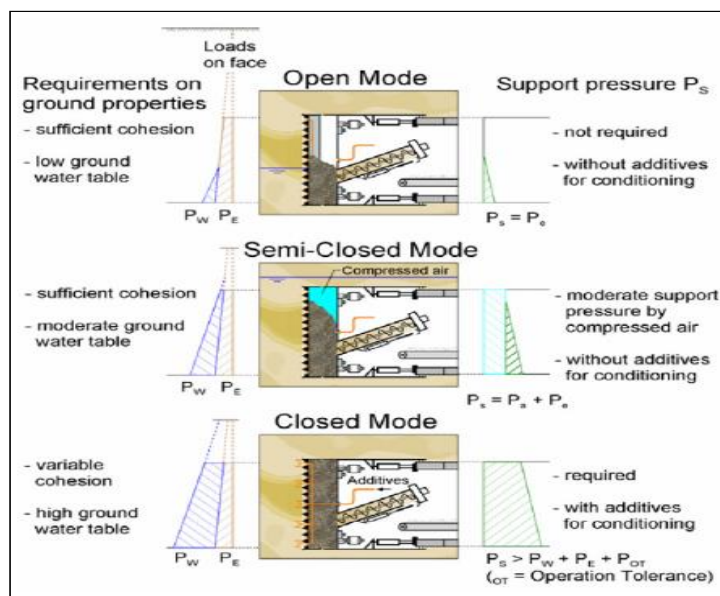


Figura 3 Esquema de operação da EPB Shield (BABENDERERDE *et al.*, 2005).

A escavação com EPB geralmente requer o uso de aditivos que tornam possível o corte, suporte a transporte do solo com parâmetros econômicos de escavação. As condições do solo podem ser alcançadas por adição de espuma e / ou aditivos. A seleção do tipo de espuma e aditivo depende principalmente do tipo de solo no local mas também das características da TBM (EFNARC, 2005).

A Figura 4 apresenta a distribuição granulométrica típica para a utilização da EPB Shield, podendo ser usada como um guia, dando uma idéia de seus limites.

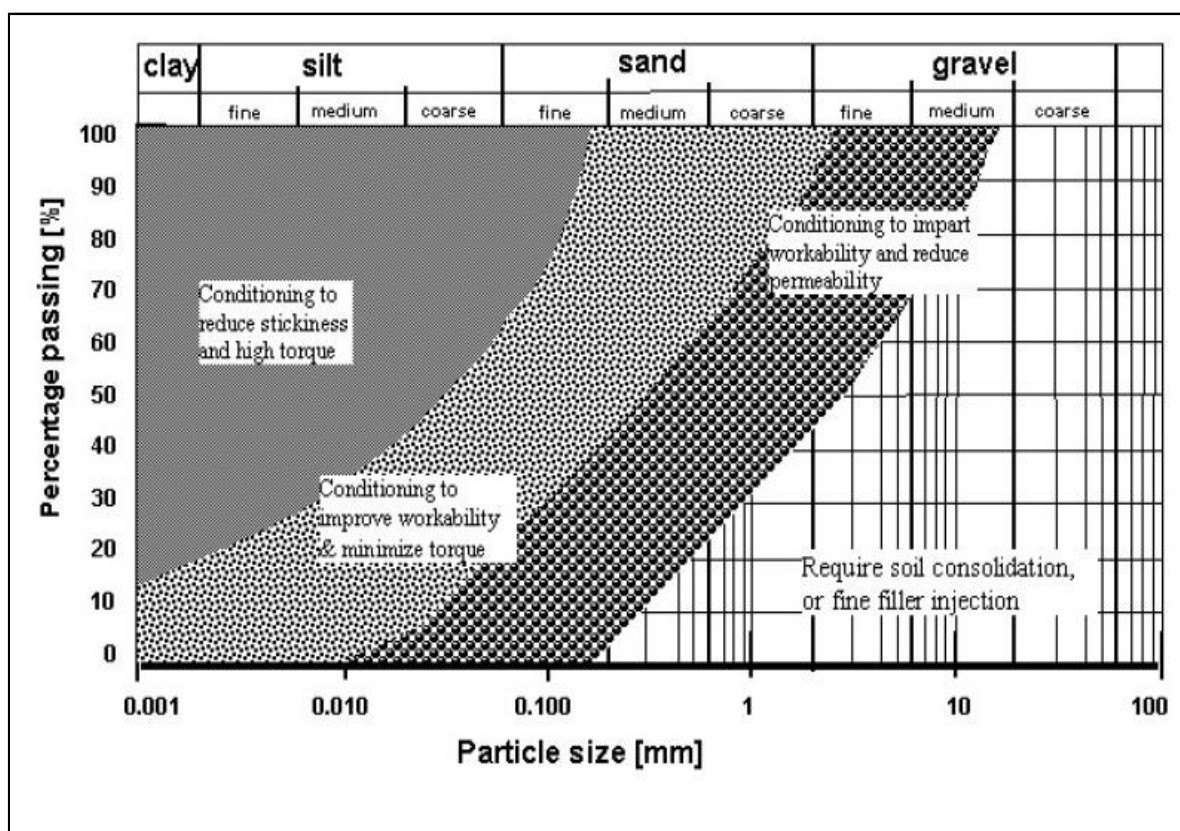


Figura 4 Limites granulométricos para a utilização da EPB Shield (EFNARC, 2005).

3. COMPARAÇÃO ENTRE SLURRY E EPB SHIELD: FACE DE SUPORTE

Uma face instável pode ser suportada durante a escavação por meios mecânicos, ar comprimido, um fluido e pelo próprio material escavado. O suporte mecânico em solos moles abaixo do nível da água é incompleto e muito arriscado, apresentando altos custos de execução.

Recentemente dois sistemas de tuneladoras se estabeleceram: o sistema Slurry, onde a face é suportada por um fluido e o sistema de pressão de terra balanceada (EPB Shield), no qual o próprio material escavado suporta a face.

A partir disso, os dois tipos de sistemas de escavação são comparados no que diz respeito à face de suporte.

3.1 Slurry Shield

Na slurry Shield, o suporte médio é um fluido sem atrito. Esse fluido consiste em água e um aditivo que pode filtrar e sedimentar na superfície da face formando uma camada impermeável. Esta camada então transfere a pressão do fluido de suporte para o solo. Na Europa, a bentonita é geralmente usada como o aditivo de filtração,

já no Japão, a argila natural é normalmente adicionada (BABENDERERDE, 1991).

Em uma Slurry Shield com suporte por fluido sem atrito, a suspensão é contida na câmara de a uma pressão pré-determinada. A suspensão reage sensivelmente com mudanças de pressão, para volumes desequilibrados de suspensão bombeada para dentro da câmara, enriquecida com o material escavado, removido da câmara.

Na prática, porém, apesar de todo o sistema de controle e regulação, essas variações de volume não podem ser evitadas. Então para evitar variação de pressão no suporte, um reservatório de ar comprimido está incorporado ao Hidro-Shield alemão. Este reservatório fornece, por via de uma unidade de regulação de ar comprimido, uma pressão de suporte quase constante.

Os projetos japoneses mantêm a pressão de suporte constante compensando as diferenças de volume de entrada e saída com as bombas e válvulas. Porém, um elemento principal na manutenção de uma pressão de suporte constante é a inércia da suspensão de suporte que flui com uma velocidade quase constante pela tubulação.

3.2 EPB Shield

O suporte médio no sistema da EPB Shield é o próprio material escavado. As propriedades deste suporte médio são melhores que de um fluido viscoso sem atrito mesmo quando se tem presença de lenço freático. Se o fluxo interno de água do nível freático não é adequado ou se o solo não contém uma quantidade suficiente de partículas finas, introduz-se, na cabeça cortante, água ou uma suspensão de água e argila a fim de que se alcance as propriedades fluidas satisfatórias para transferência de pressão (BABENDERERDE, 1991).

Sistemas mecânicos, como barras misturadoras, misturam o material escavado à suspensão adicionada, formando uma massa homogênea. Quanto mais homogêneo e consistente o solo, melhor é o processo.

A pressão de suporte na câmara é gerada pela reação de macacos hidráulicos que empurram a máquina de escavação contra a face. Os discos cortantes giratórios raspam o solo que é pressionado na câmara. Ao mesmo tempo, uma quantia equivalente de detritos é afastada da câmara por um parafuso de rosca sem fim. A velocidade de rotação do parafuso regula o volume extraído e assim a pressão de suporte na câmara.

O estado de pressão na câmara é monitorado por células de pressão. Às vezes, diferenças de pressão são geradas no suporte médio entre a face e o anteparo de mais de 100 kPa. Porém, o efeito de instabilidade na face não é tão sério quanto é para uma Slurry Shield.

A Figura 5 mostra que o uso da EPB Shield ou da Slurry Shield é possível em vários tipos de solo. Tradicionalmente a EPB foi selecionada para solos de granulometria fina e a Slurry para solos de granulometria mais grossa. Recentemente, o crescente desenvolvimento de aditivos e sistemas de injeção de aditivos permitiu para os dois tipos de máquinas escavar uma gama maior de tipos subsolo ao ponto onde o tipo de subsolo não é o item mais crítico no processo de decisão e fabricação das tuneladoras.

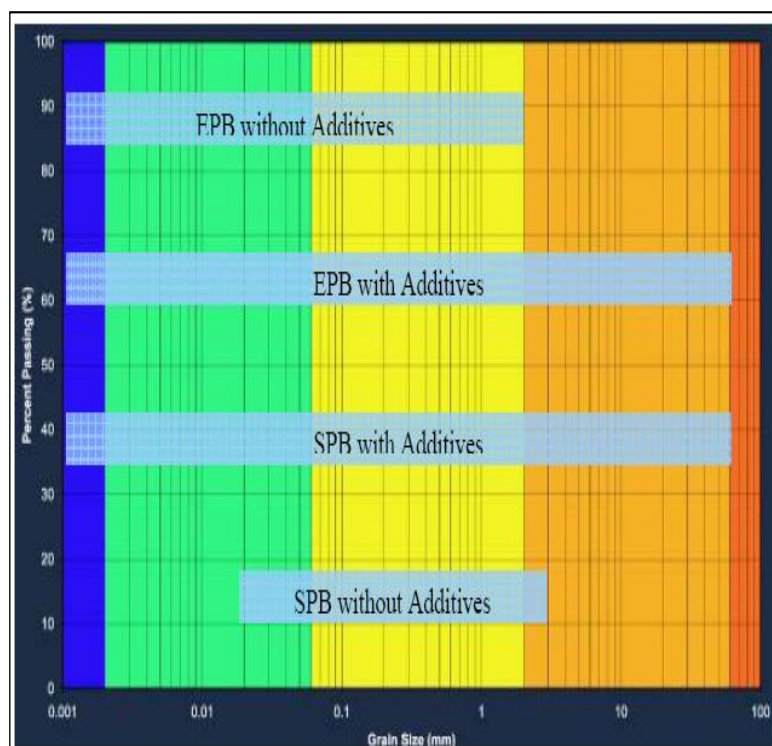


Figura 5 Comparação entre a Slurry Shield e EPB Shield (LOVAT).

4. COMPARAÇÃO ENTRE SLURRY E EPB SHIELD QUANTO AO PROCESSO DE ESCAVAÇÃO

A energia necessária para girar os discos cortantes na EPB é consideravelmente maior que a requerida por uma Slurry porque o atrito interno da massa de solo de suporte na câmara da EPB tem que ser superada a cada rotação. Já na Slurry Shield, o suporte é um fluido sem atrito.

O tipo de ferramentas de escavação só é determinado pelas propriedades do solo e, assim, é selecionado independentemente da decisão de usar uma Slurry Shield ou EPB Shield.

Ferramentas para areia e solos pedregulhosos podem ser muito simples e podem estar sujeito aos aspectos usuais de desgaste. Já em solos coesivos, as ferramentas podem reduzir o perigo de perfuração removendo somente pequenos pedaços de solo (BABENDERERDE, 1991).

Em solos variáveis, particularmente quando existem matacões, é necessário montar discos cortantes com uma combinação de várias ferramentas. Cortadores de disco deveriam separar os matacões enquanto os demais discos raspam o solo mole.

O método de colocação de suporte, para as duas tuneladoras, é semelhante.

4.1 Slurry Shield

Neste sistema, até mesmo quando as rochas estiverem basicamente quebradas na face dos discos cortantes, é impossível evitar que pedaços menores de rocha ou fragmentos de pedregulhos entrem na câmara de trabalho. Eles são levados a um britador. O britador reduz as rochas a um material menor que pode, então, ser transportado sem dificuldade pelas bombas centrífugas para a central de separação (BABENDERERDE, 1991).

4.2 EPB Shield

Um britador de rocha não pode ser instalado na câmara de trabalho de uma EPB porque o material escavado é misturado neste local de forma homogênea para que se tenha um suporte médio.

Rochas menores ou fragmentos de pedregulhos quebrados na face são misturados com a massa de solo na câmara de trabalho e chegam à correia transportadora localizada acima do parafuso de rosca sem fim.

Rochas que não foram suficientemente reduzidas pelos discos cortantes na face de corte são mais difíceis de remover de uma EPB do que de uma Slurry.

Em resumo: a entrada na câmara de trabalho da Slurry é mais simples, a recompressão com ar comprimido é mais rápida e o britador pode ser instalado em sua câmara de trabalho; na EPB as pedras colocam em risco seu mecanismo misturador e o parafuso de rosca sem fim (BABENDERERDE, 1991).

5. CONCLUSÃO

O desenvolvimento de tecnologia de tuneladoras, particularmente por causa das vantagens eletrônicas e dos sistemas de controle podem ser aplicados de modo crescente, tornando possível o sucesso das escavações mecanizadas em solos moles. Quando corretamente aplicado, os sistemas Slurry e EPB, permitem considerável melhoria na qualidade final do túnel.

Até agora, o conceito de qualidade em construção de túnel não era de grande relevância - provavelmente porque a prioridade, era, naturalmente, completar o túnel projetado no tempo especificado com as finanças disponíveis. Entretanto, com o aumento crescente da segurança durante a construção, as expectativas relacionadas com a qualidade também aumentaram.

Nesse contexto, a importância do acabamento impecável do revestimento para a vida útil do túnel e, assim, sua qualidade, não pode ser enfatizada demasiadamente.

Se um túnel é escavado com uma Slurry ou EPB, ações adicionais para melhorar ou mudar a propriedade do solo não são necessárias. A proteção de construções ou instalações abaixo das quais o túnel irá passar, pode ser alcançada de forma mais eficaz e com menor custo se o potencial mecânico e técnico inerente ao projeto da TBM for explorado.

É de extrema importância a definição precisa das condições geológicas no local da obra, pois para condições geológicas particulares, deve ser construída, também, uma tuneladora particular.

Além disso, métodos e sistemas de projeto de tuneladoras encontram o desafio das dificuldades geológicas que devem ser avaliadas, e seus efeitos durante a construção devem ser monitorados (BABENDERERDE, 1991).

REFERÊNCIAS

- AFTES (2005). Slurry for use in Slurry Shield TBM. Tunnels et Ouvrages Souterrains, HORS, Serie nº1, 164 – 183p.
- Babendererde, S. (1991). Tunelling Machines in Soft Ground: a Comparison of Slurry and EPB Shield Systems. Tunnelling and Underground Space Technology, vol. 6, nº 2, 169-174 p.

Babendererde, S; Hoek, E.; Marinos, P.G.; Cardoso, A.S.. (2005). EPB – TBM Face Support Control in the Metro do Porto Project, Portugal. Proceedings 2005 Rapid Excavation & Tunneling Conference, Seattle. 12p.

EFNARC (2005). Specification and Guidelines for the Use of Specialist Products for Mechanised Tunnelling (TBM) in Soft Ground and Hard Rock.

Lovat, R.P. TBM Design Considerations: Selection of Earth Pressure Balance or Slurry Pressure Balance Tunnel Boring Machines.