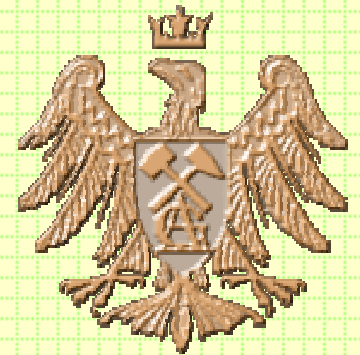


New Austrian Tunnelling Method



New Austrian Tunnelling Method

NATM can refer to both a *design philosophy* and a *construction method*. Key features of the NATM design philosophy are:

- The strength of the ground around a tunnel is deliberately mobilised to the maximum extent possible. Mobilisation of ground strength is achieved by allowing controlled deformation of the ground.
- Initial primary support is installed having load-deformation characteristics appropriate to the ground conditions, and installation is timed with respect to ground deformations.
- Instrumentation is installed to monitor deformations in the initial support system, as well as to form the basis of varying the initial support design and the sequence of excavation.
- The tunnel is sequentially excavated and supported, and the excavation sequences can be varied.
- The initial ground support is provided by shotcrete in combination with fibre or welded-wire fabric reinforcement, steel arches (usually lattice girders), and sometimes ground reinforcement (e.g., soil nails, spiling).

The permanent support is usually (but not always) a cast-in-place concrete lining.



New Austrian Tunnelling Method

The NATM may be defined as a method of producing underground space using all available means to develop the maximum self-supporting capacity of the rock or soil to provide the stability of the underground opening. This is achieved by the application of a smooth and appropriately resistant initial support and a final lining which should accept the necessary deformation but guard against the development of rock load. The initial lining may consist of shotcrete, steel arches, and rockbolts, either singly or in combination.

Podstawową zasadą NATM jest dążenie do wykorzystania możliwie w jak największym stopniu efektu samonośności górotworu w którym prowadzone jest wyrobisko. Obowiązują tutaj dwie reguły.

- przy wykonywaniu wyłomu w górotworze jak najmniej mu szkodzić
- aktywizować górotwór w taki sposób, aby jego odkształcenie osiągnęło wielkość optymalną w momencie przyjęcia obciążeń przez obudowę ostateczną



New Austrian Tunnelling Method

Koncepcję budowy tuneli według NATM tworzy 10 podstawowych zasad:

- 1. Zasadniczym elementem tunelu jest otaczający górotwór i dlatego należy w taki sposób wykonywać wyłom, aby w miarę możliwości utrzymać pierwotną wytrzymałość skał otaczających tunel, a po wykonaniu wyłomu nie dopuścić do rozluźnienia skał, powstania szczelin, spękań.**

Należy zatem do minimum ograniczyć strefę zniszczenia w otoczeniu tunelu. Z tego względu powinno się wykonywać tunel w kształcie zbliżonym do eliptycznego o stosunku półosi:

$$\frac{a}{b} = \frac{p_z}{p_x}$$

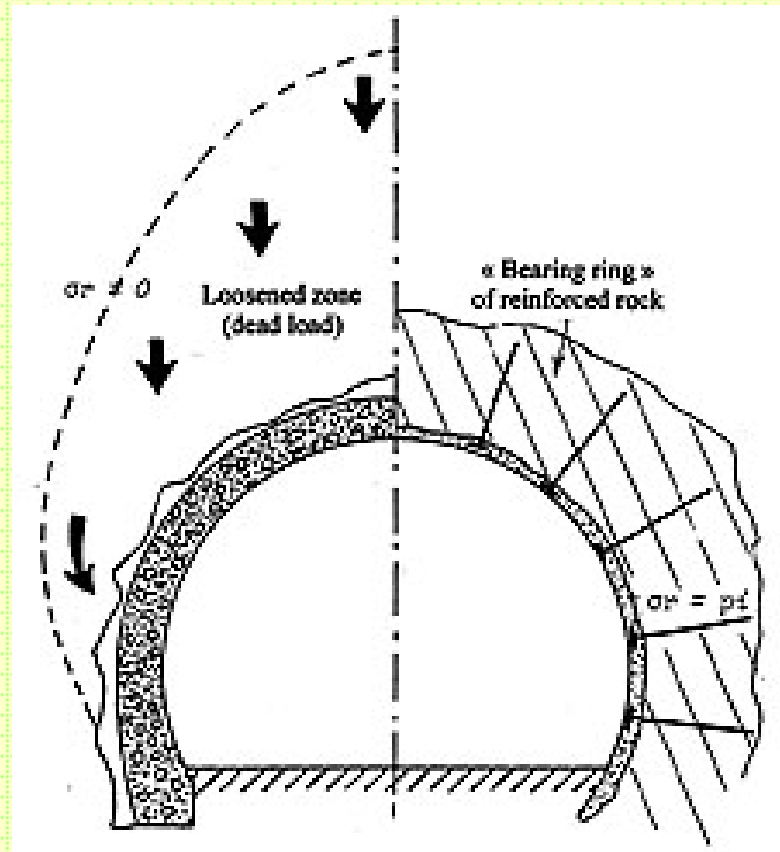
p_z - pionowa składowa pierwotnego stanu naprężenia,
 p_x - pozioma składowa pierwotnego stanu naprężenia,
 a, b - odpowiednio pionowa i pozioma oś elipsy

Stosowanie MW powinno być ograniczone do niezbędnych przypadków, a metryka strzałowa określona niezwykle dokładnie. Najkorzystniej jest drażyć tunel za pomocą kombajnu lub tarczy wiertniczej, a kontur wyrobiska zabezpieczyć właściwą obudową wstępną.



New Austrian Tunneling Method

2. Na konturze wyrobiska i w jego pobliżu należy wytworzyć trójosiowy stan naprężenia, ponieważ skała ma mniejszą wytrzymałość w stanie jedno lub dwuosiowym w porównaniu do trójosiowego stanu naprężenia
- Można tego dokonać stosując na każdym etapie wykonywania tunelu aktywną obudowę wstępną złożoną głównie z torkretu i kotwi oraz w warunkach zdecydowanie niekorzystnych łuków stalowych lub żelbetowych o dużej podporności.



New Austrian Tunnelling Method

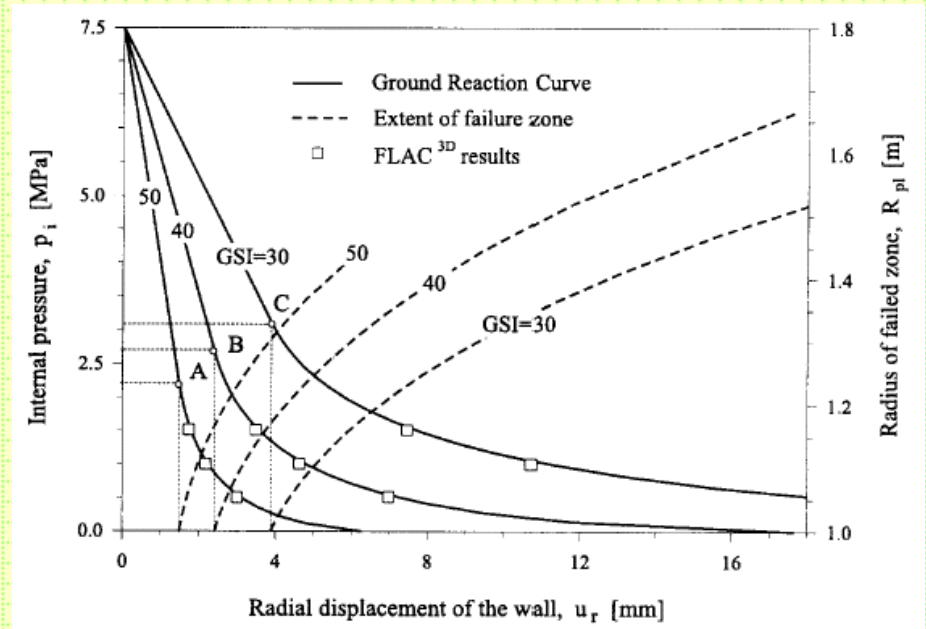
- 2. Na konturze wyrobiska i w jego pobliżu należy wytworzyć trójosiowy stan naprężenia, ponieważ skała ma mniejszą wytrzymałość w stanie jedno lub dwuosowym w porównaniu do trójosiowego stanu naprężenia**
- W tradycyjnych metodach drążenia tuneli stosowano obudowy pasywne (drewniana, stalowa). Najczęściej były to obudowy tymczasowe (podczas zabudowy obudowy ostatecznej były rozbierane). Zarówno NATM jak i NMT stosuje się aktywne systemy obudowy.
 - Obudowa wstępna ma aktywnie przeciwdziałać przemieszczeniom konturu tunelu natychmiast po jej zabudowie. Do aktywnych obudów wstępnych można zaliczyć przede wszystkim torkret i kotwie.
 - Każdą obudowę, która nie działa aktywnie przeciw przemieszczeniom konturu tunelu należy traktować jako pasywną.

New Austrian Tunnelling Method

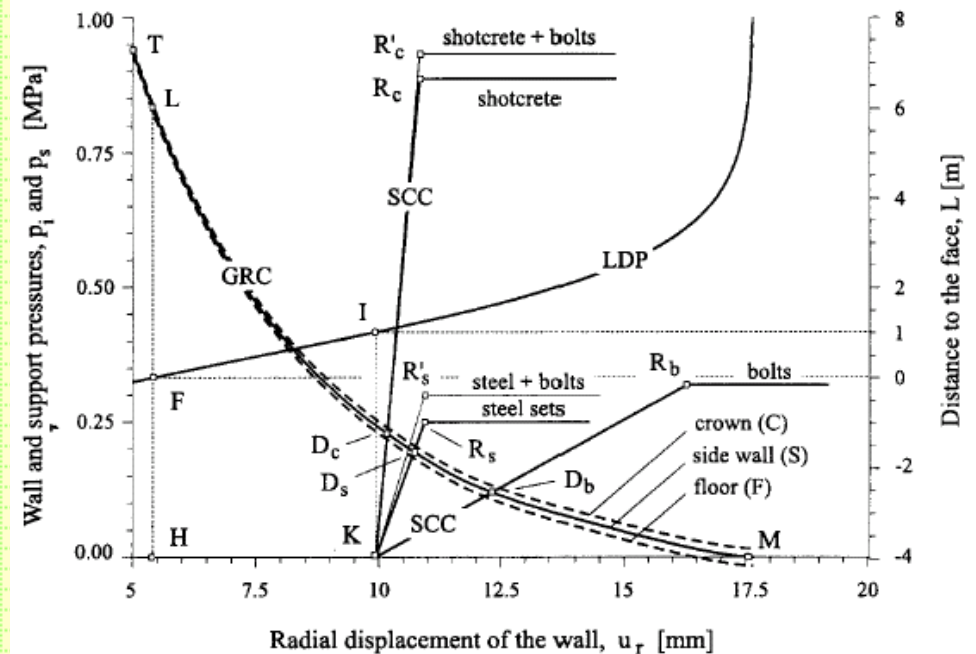
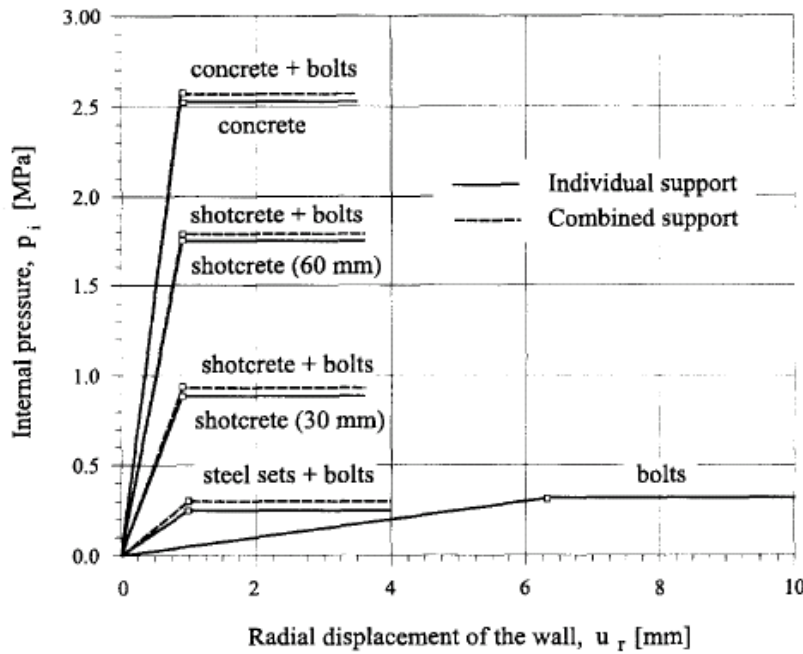
3. Obudowa wstępna i ostateczna powinny posiadać odpowiednio dobraną sztywność (nie powinny być ani zbyt sztywne ani zbyt podatne) powiązaną z okresem czasu jaki upłynął pomiędzy zabudową obudowy wstępnej a zabudową obudowy ostatecznej

- Zbyt późne założenie obudowy ostatecznej powoduje, że w górotworze tworzy się strefa zniszczenia o znacznych rozmiarach. Wzrost ciężaru spękanych skał wymusza stosowanie obudowy ostatecznej o dużej podporności co najczęściej prowadzi do wzrostu jej grubości.

- Za wczesne założenie obudowy ostatecznej jest **niekorzystne**, gdyż nie pozwala ona na dostateczne odkształcenie górotworu i odkształcenia te obciążają obudowę ostateczną. Powstaje konieczność zwiększenia grubości obudowy ostatecznej co z kolei powoduje wzrost jej sztywności.



New Austrian Tunnelling Method



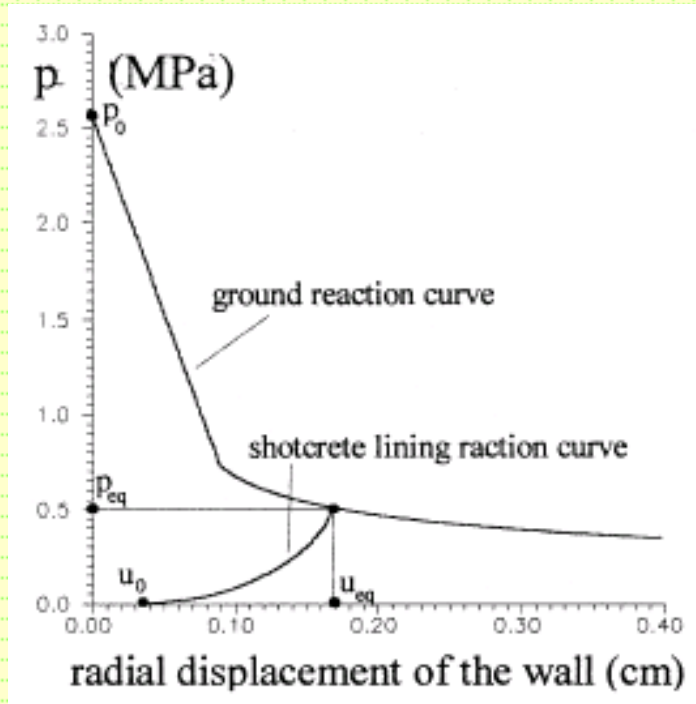
GRC - Ground Reaction Curve

LDP - Longitudinal Deformation Profile

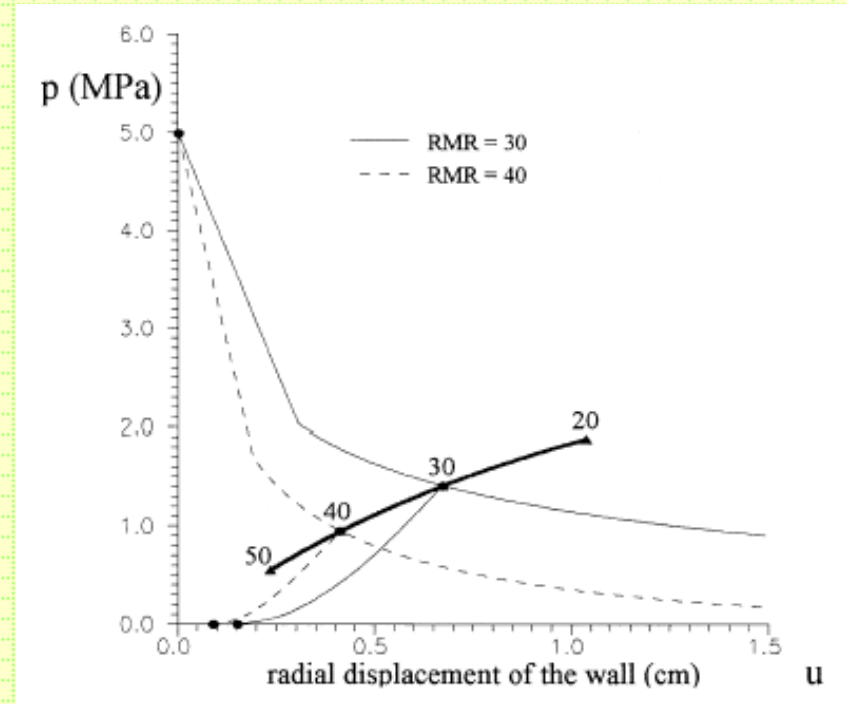
SCC - Support Characteristic Profile



New Austrian Tunnelling Method



Ground reaction curve of the Kielder Experimental Tunnel and reaction curve of the shotcrete lining.



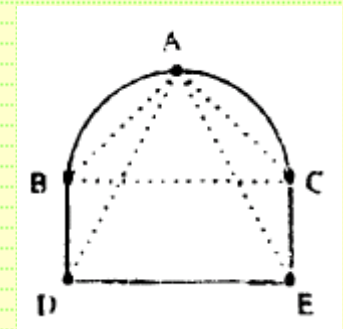
Ground reaction curves and shotcrete lining reaction curves for two different rock mass (RMR=30 and RMR=40). The envelope of the equilibrium points with the variation of the rock mass quality between RMR=20 and RMR=50 is also shown

New Austrian Tunnelling Method

4. Należy oszacować odległość pomiędzy przodkiem tunelu a miejscem założenia obudowy ostatecznej tzw. okres czasu utrzymywania tunelu w obudowie wstępnej.

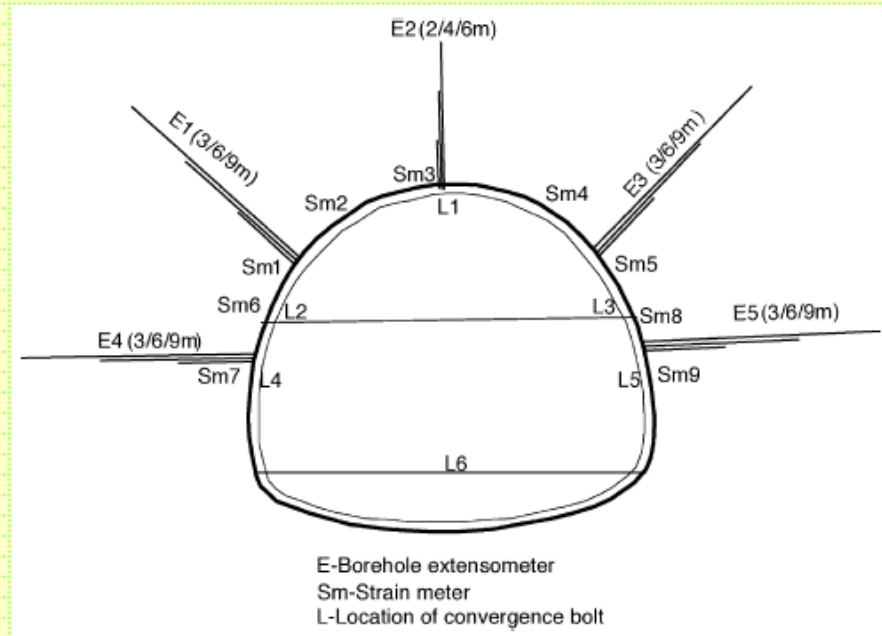
Aby tego dokonać trzeba:

- znać własności odkształceniowe i wytrzymałościowe ośrodka w otoczeniu tunelu
- dokonać klasyfikacji górotworu wzdłuż trasy prowadzonego tunelu i na jej podstawie wstępnie określić czas utrzymania tunelu bez obudowy
- podczas drążenia tunelu należy wykonywać pomiary przemieszczeń i odkształceń w wybranych punktach konturu tunelu i w jego otoczeniu, pomiary konwergencji ścian tunelu, pomiary rozwarstwień w głębi górotworu (pomiary prowadzić zarówno w kalocie jak i w tunelu w obudowie wstępnej a także ostatecznej)
- pomiary przemieszczeń konturu tunelu powinny pozwolić na określenie czasu po którym za obudową wstępną należy wznieść obudowę ostateczną.



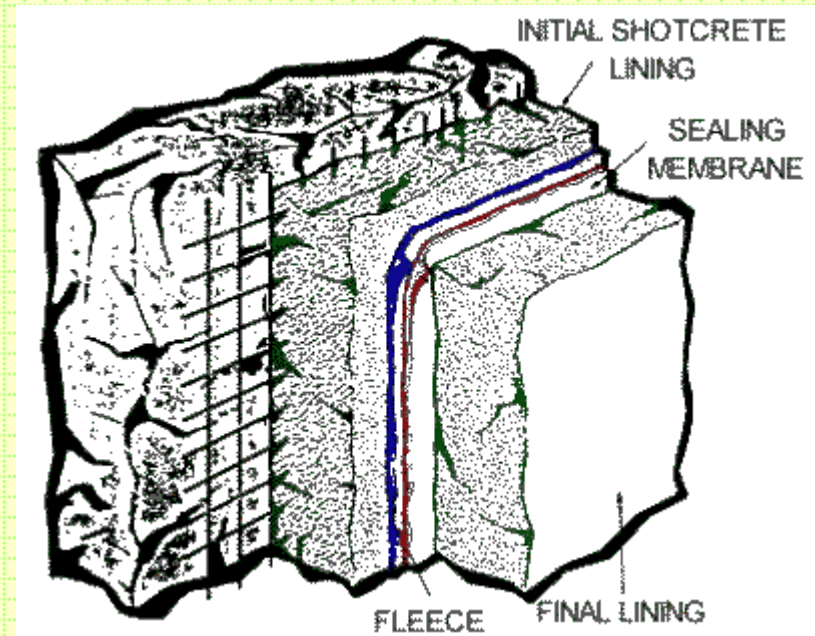
New Austrian Tunnelling Method

- Jeżeli w otoczeniu tunelu tworzy się niewielka strefa zniszczenia, nie występują duże odkształcenia reologiczne i obudowa wstępna jest w stanie przenieść to obciążenie pochodzące od górotworu wówczas przyrost przemieszczeń z upływem czasu maleje a przemieszczenia konturu tunelu zdążają do poziomej asymptoty. W tym przypadku czas instalacji obudowy ostatecznej nie ma znaczenia nawet może być zabudowana po wykonaniu całego tunelu w obudowie wstępnej.
- Jeżeli obciążenie od górotworu z czasem narasta przez pewien okres czasu przemieszczenia w przybliżeniu zwiększają się liniowo a później następuje wzrost prędkości przemieszczeń przekroczenie nośności obudowy wstępnej i obudowa wstępna ulega zniszczeniu. Okres liniowego wzrostu przemieszczeń może być bardzo krótki i jak się tylko pojawi należy założyć obudowę ostateczną znać własności odkształceniowe i wytrzymałościowe ośrodka w otoczeniu tunelu



New Austrian Tunnelling Method

5. Obudowa wstępna powinna przylegać do górotworu szczelnie i na całej powierzchni, aby przeciwdziałać powstaniu lokalnych znacznych odkształceń i zmniejszyć strefy zniszczenia.
 - Najskuteczniej osiąga się to poprzez stosowanie betonu natryskowego. Ponadto obudowa wstępna musi być w miarę cienkościenna, aby mogła poddawać się obciążeniom pochodzącym od górotworu. Z praktyki wiadomo, że maksymalna grubość torkretu nie powinna przekraczać 20-25 cm.



New Austrian Tunnelling Method

- 6. Obudowa ostateczna tunelu ma największą wytrzymałość oraz bardzo korzystnie współpracuje z górotworem, poprzez obudowę wstępną, jeżeli jest zamknięta (pierścień obudowy jest zamknięty).**
- Kaloty wykonywane ze znacznym wyprzedzeniem wydłużają ten czas i narażają wysuniętą do przodu, nie zamkniętą, powłokę obudowy na duże naprężenia zginają wzdłuż osi głównej tunelu. W miejscach posadowienia obudowy kaloty, w spągu może wystąpić przekroczenie wyężenia ośrodka i dlatego aby nie pojawiły się niekorzystne strefy zniszczenia należy miejsca te odpowiednio zabezpieczyć.
 - Szczególnie korzystne jest drażnienie tunelu pełnym przekrojem. Dzielenie przekroju i wykonywanie tunelu w kilku etapach powoduje wiele niekorzystnych zjawisk takich jak:
 - komplikuje organizację prac w czasie wykonywania tunelu,
 - tworzą się lokalne miejsca koncentracji naprężeń,
 - następuje spadek wytrzymałości górotworu w otoczeniu tunelu na skutek rozluźnienia się ośrodka, tworzenia się spękań i szczelin podczas każdego etapu drażnienia i dochodzenia do kształtu ostatecznego tunelu.

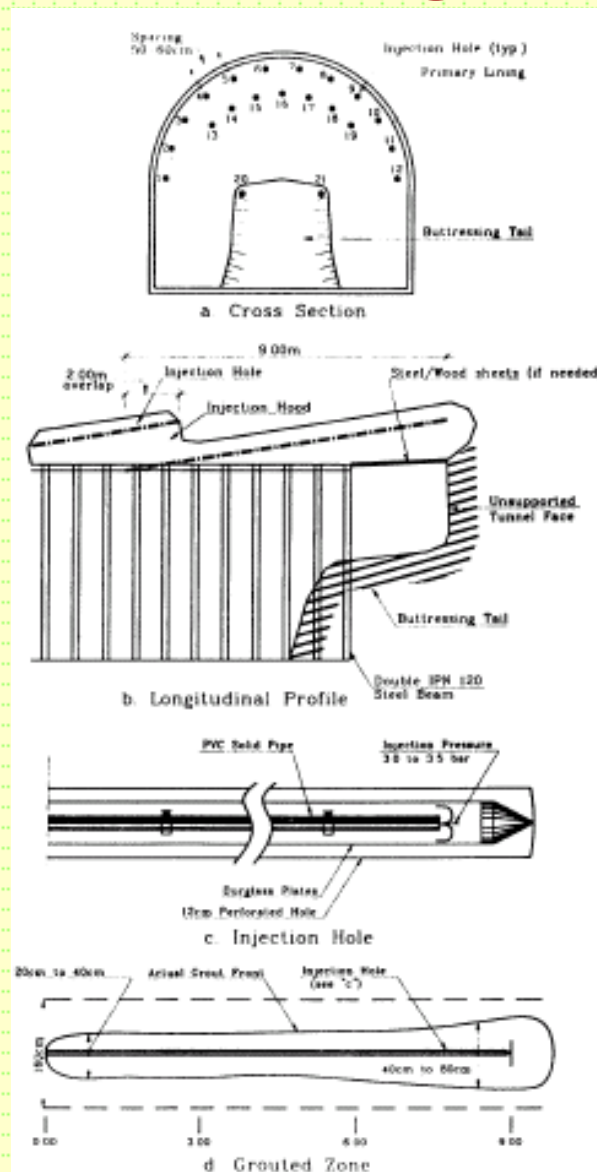
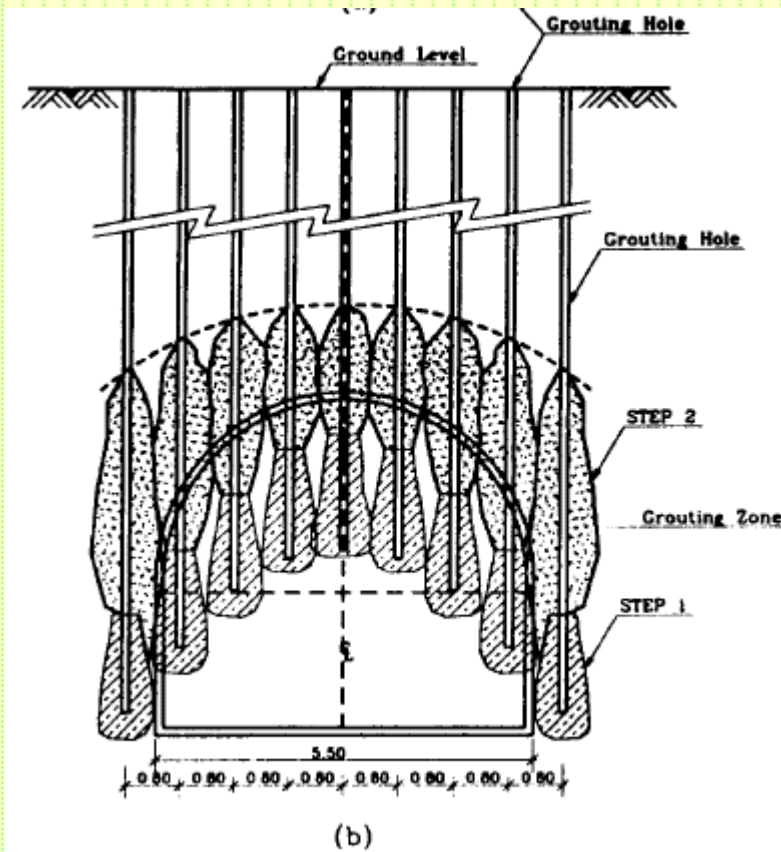


New Austrian Tunnelling Method

- 7. Należy projektować zaokrąglony kształt przekroju poprzecznego tunelu aby zapobiec koncentracjom naprężeń w narożach i miejscach załamywania się kształtu.**
- 8. Obudowie ostatecznej stawia się następujące wymagania:**
 - ze względu na występowanie naprężeń zginających i ścinających a także odpowiednią jej podatność powinna być możliwie cienka,
 - wskazane jest aby przylegała szczelnie do obudowy wstępnej,
 - nie jest korzystne występowanie sił tarcia pomiędzy obudową wstępną a ostateczną.
- 9. Kontrolę poprawności przyjętych założeń dotyczących wykonywania tunelu oraz przyjętych wymiarów zarówno obudowy wstępnej jak również obudowy ostatecznej powinno się prowadzić sukcesywnie w miarę postępu przodka wykorzystując w tym celu pomiary.**
- 10. Wodę działającą na obudowę wstępną należy odprowadzać za pomocą drenów.**



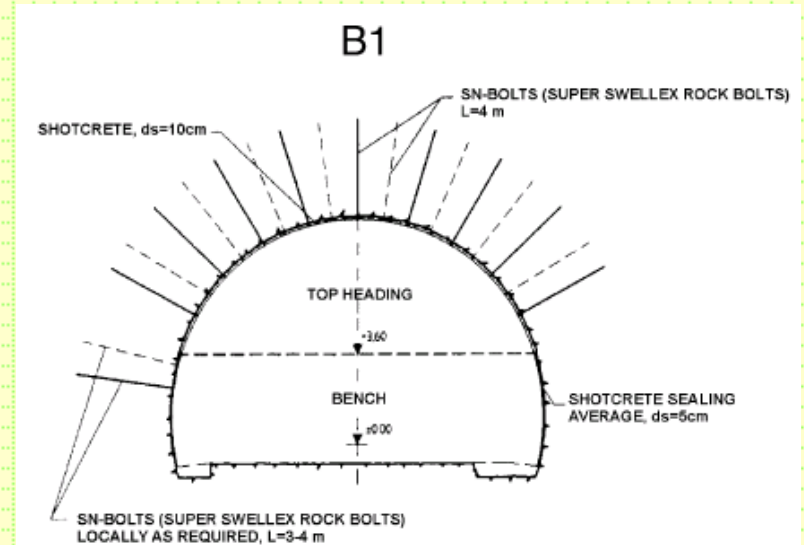
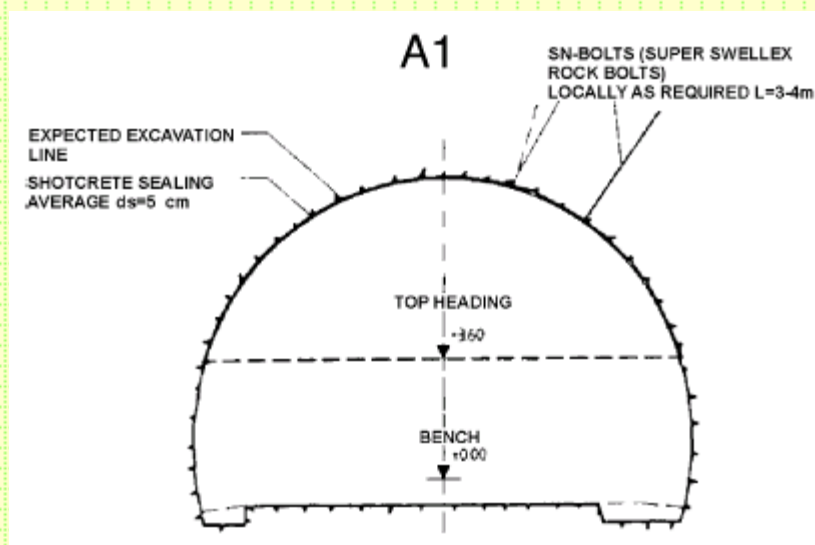
New Austrian Tunnelling Method



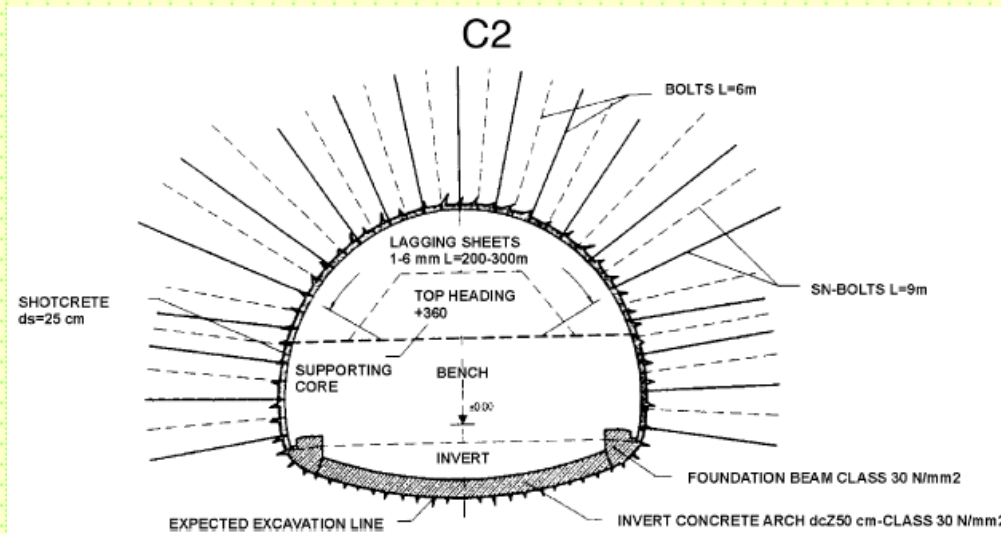
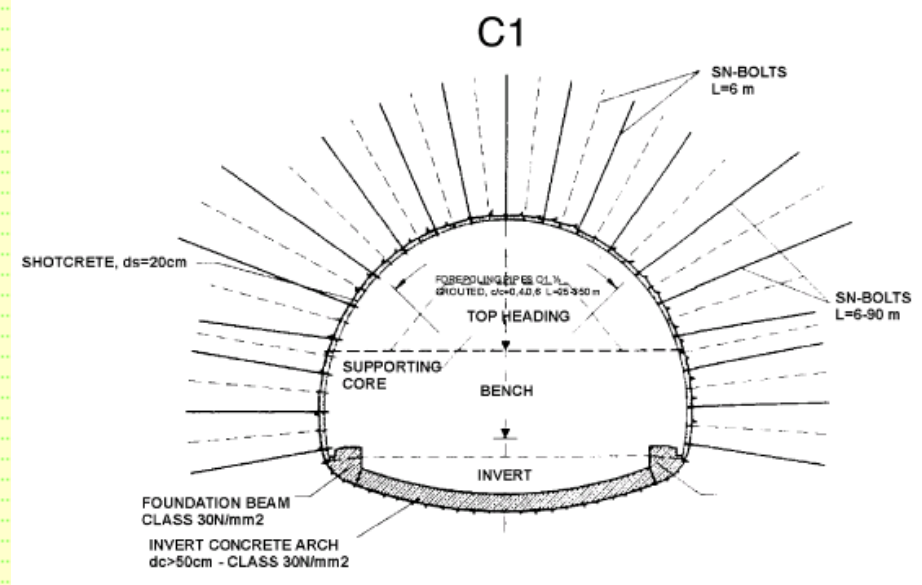
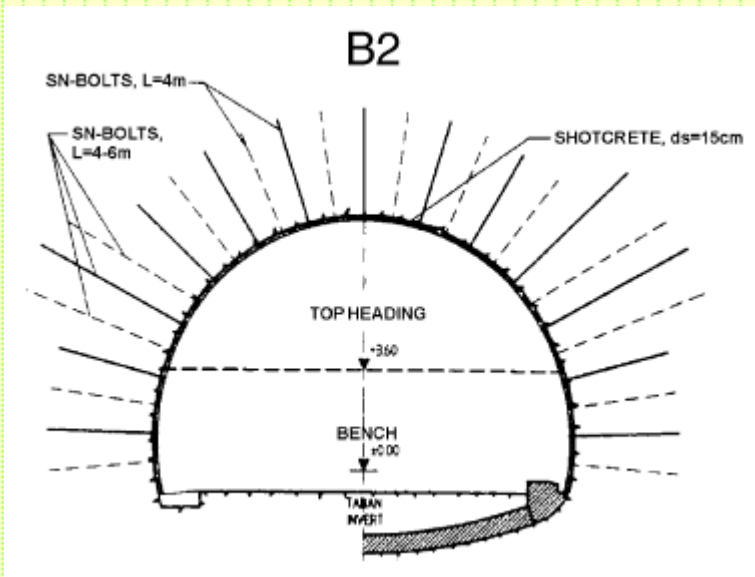
New Austrian Tunnelling Method

Support system including excavation tolerance in Bolu Tunnel (Geoconsult, 1992)

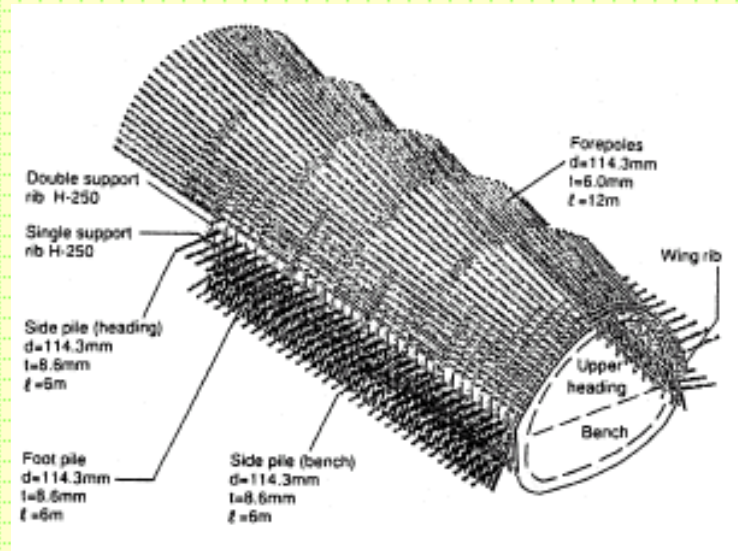
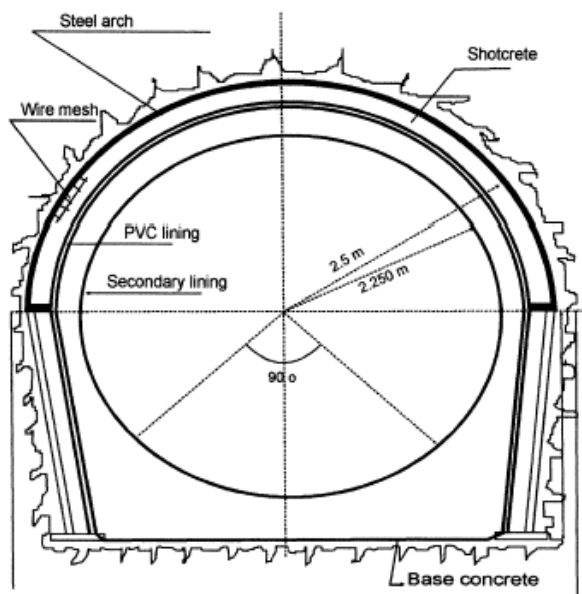
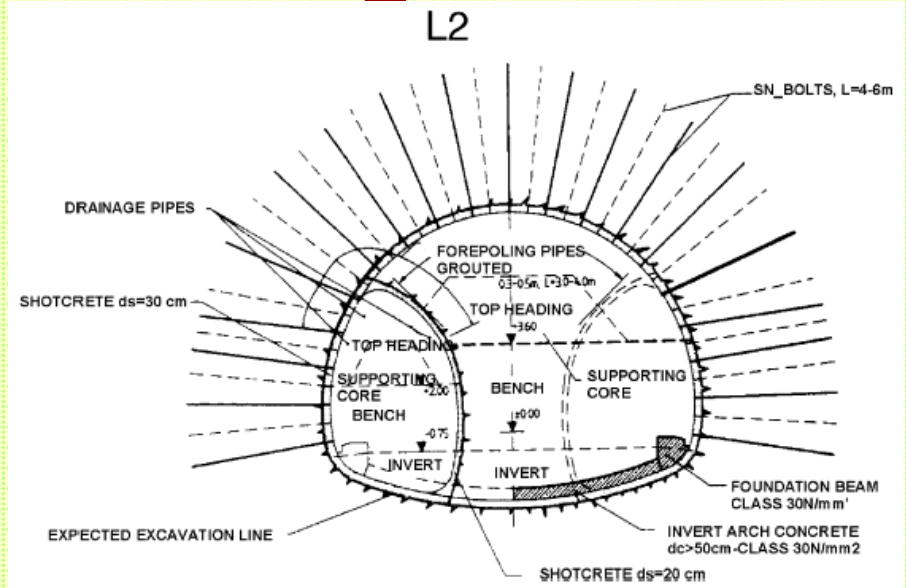
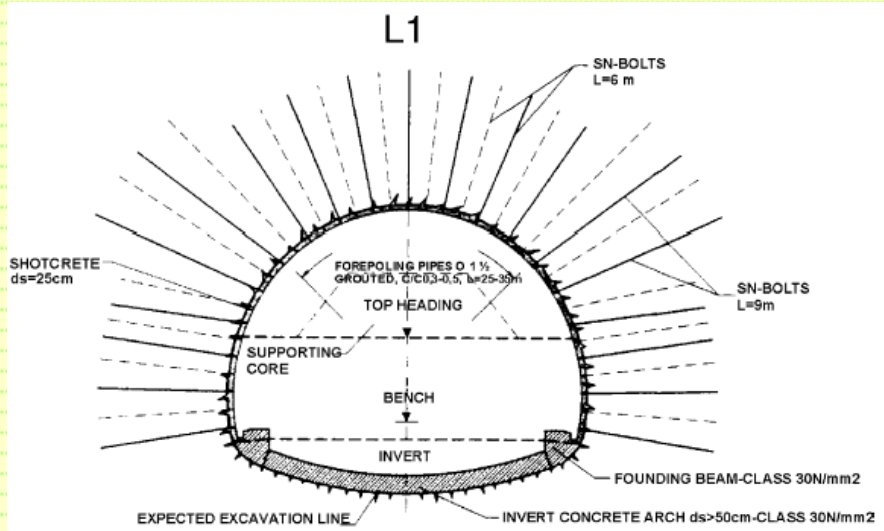
Support elements	Units	Rock mass class							
		A2	B1	B2	C1	C2	L1	L2	
Excavation	m ³ /m	144.6	145.37	157.64	170.24	174.16	167.08	170.99	
Shotcrete	m ³ /m	1.04	2.56	4.54	6.08	7.56	7.53	18.38	
Shotcrete thicknesses	cm	5	10	15	20	25	30	30	
Wire mesh	kg/m	6.16	72.27	105.91	112.23	224.44	219.45	733.02	
SN Bolts L=3 m	number/m	1.0	1.0	-	-	-	-	-	
SN Bolts L=4 m	number/m	1.0	4.78	4.75	-	-	-	4.50	
SN Bolts L=6 m	number/m	-	-	2.0	11.6	14.50	11.60	4.50	
Roof bond	kg/m	-	45.95	-	-	-	-	-	
Steel ribs	kg/m	-	-	204.8	481.79	601.80	481.44	1180	
Forepoling	m ³ /m	-	-	25.0	62.40	100.0	-	280.0	
Sealing shotcrete	m ² /m	-	-	3.0	40.0	40.0	40.0	100.0	
Foot concrete	m ³ /m	4.10	4.19	4.40	4.40	4.70	4.40	3.36	
Invert concrete	m ³ /m	-	-	5.95	11.95	12.62	11.91	8.76	
Inner concrete lining	m ³ /m	22.95	21.53	20.11	18.70	18.70	17.30	17.30	



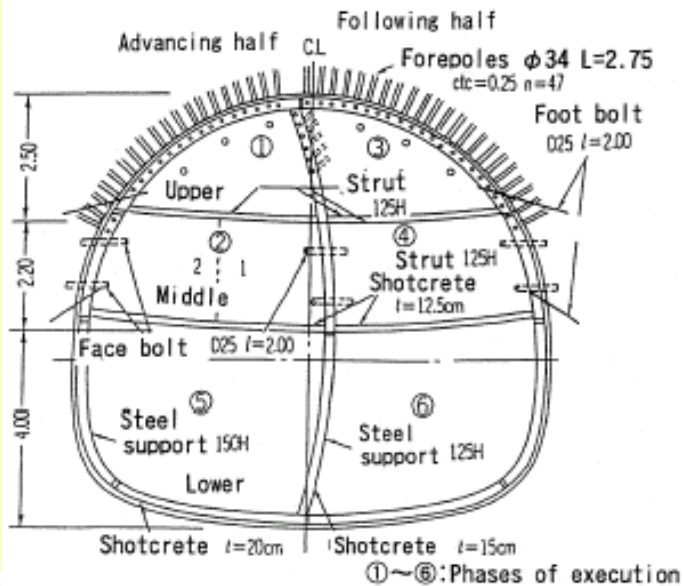
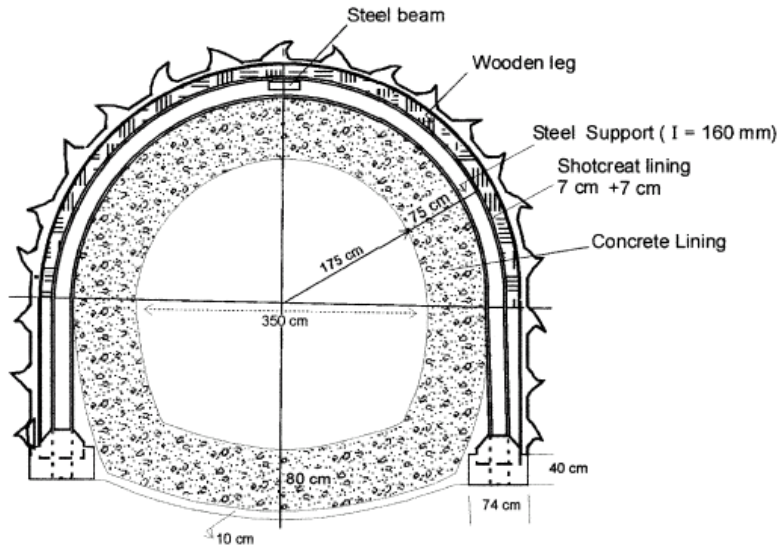
New Austrian Tunnelling Method



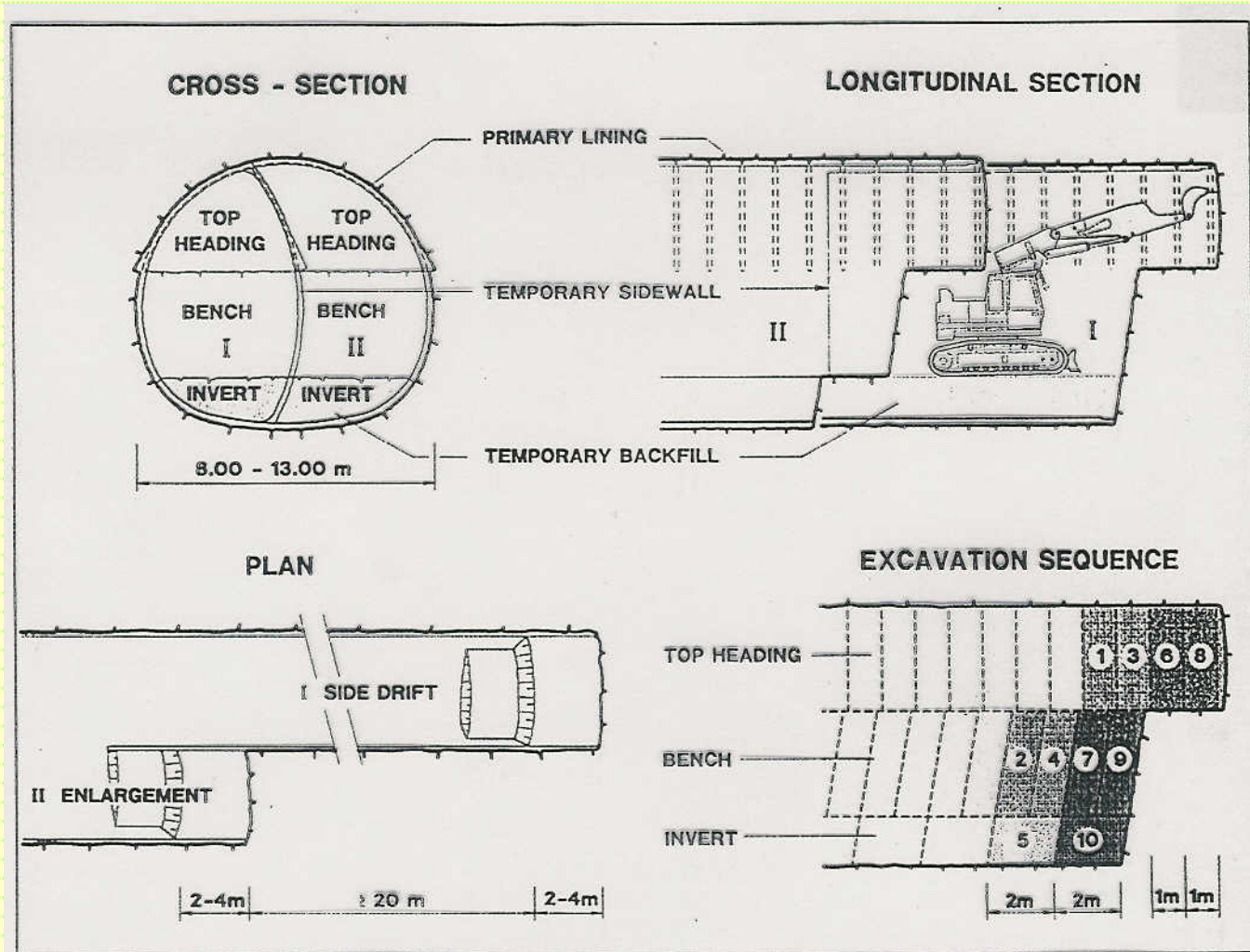
New Austrian Tunnelling Method



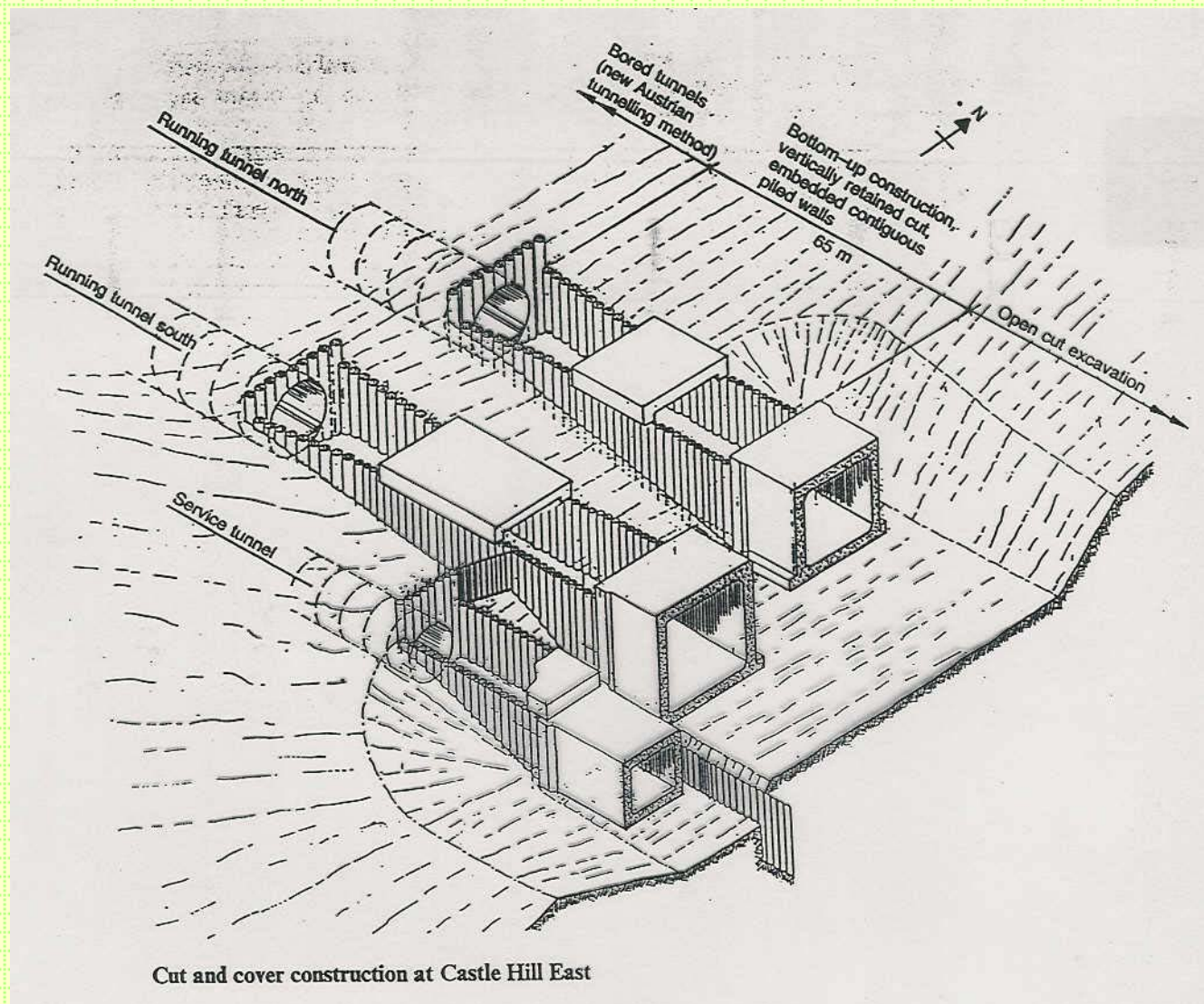
New Austrian Tunnelling Method



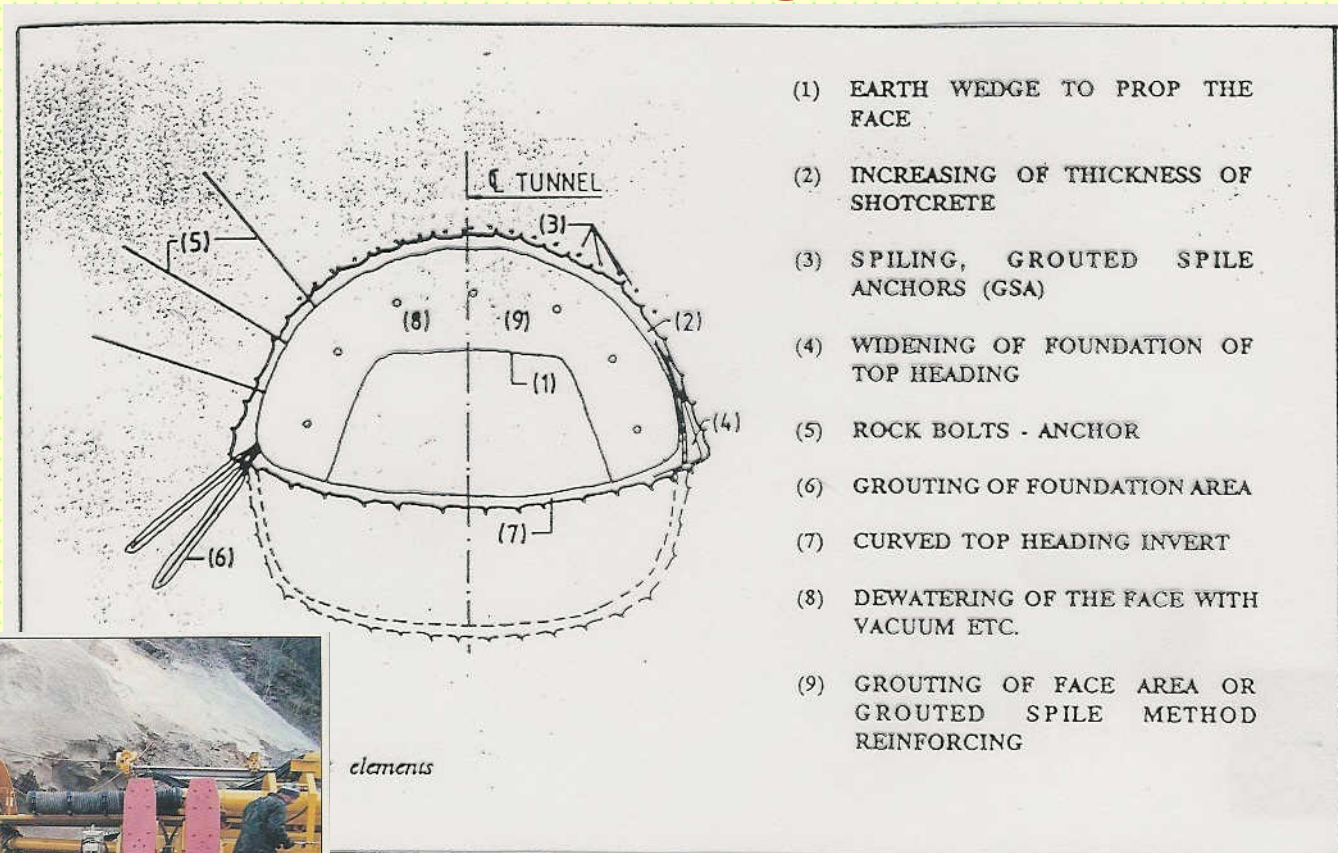
New Austrian Tunneling Method



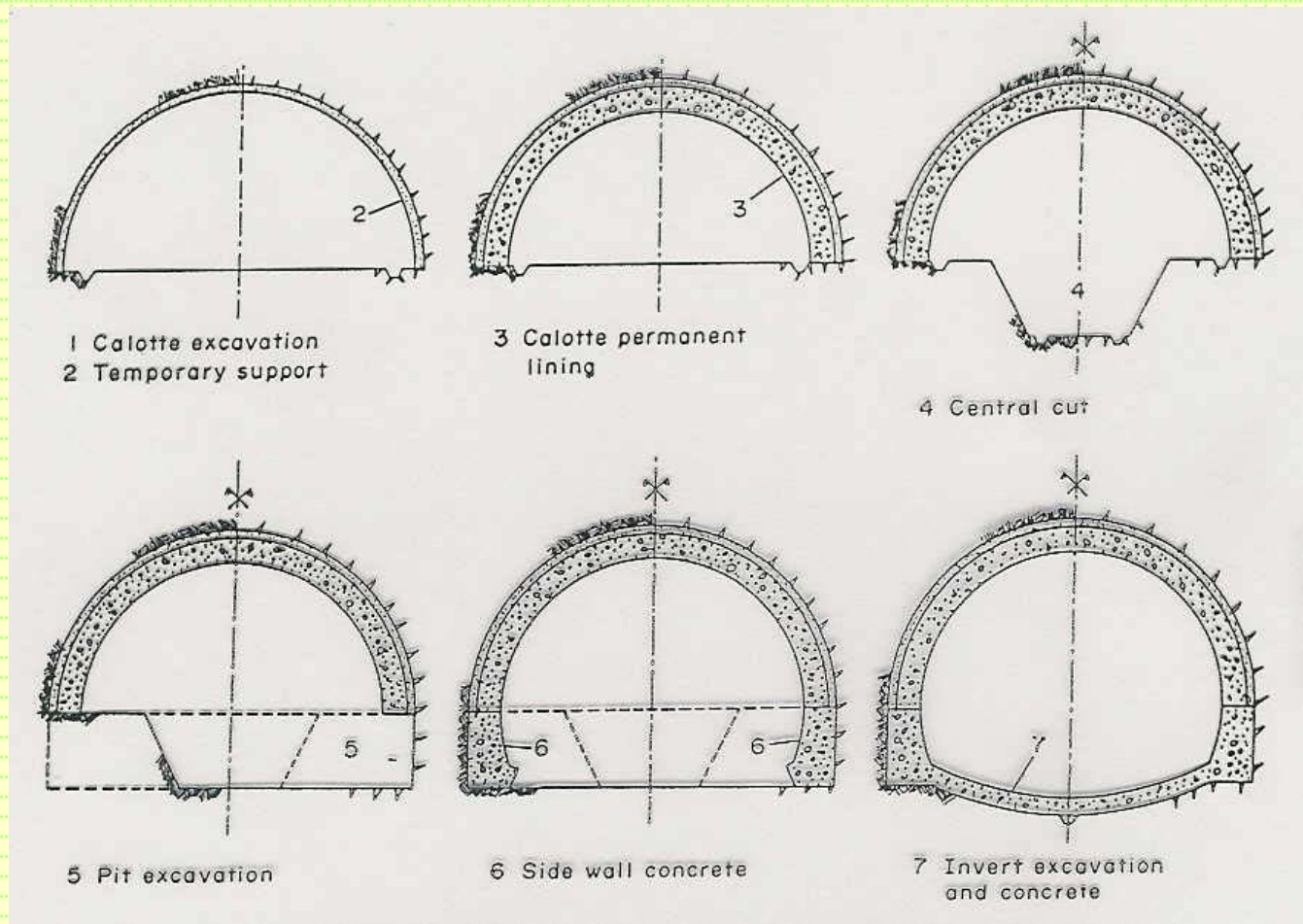
New Austrian Tunnelling Method



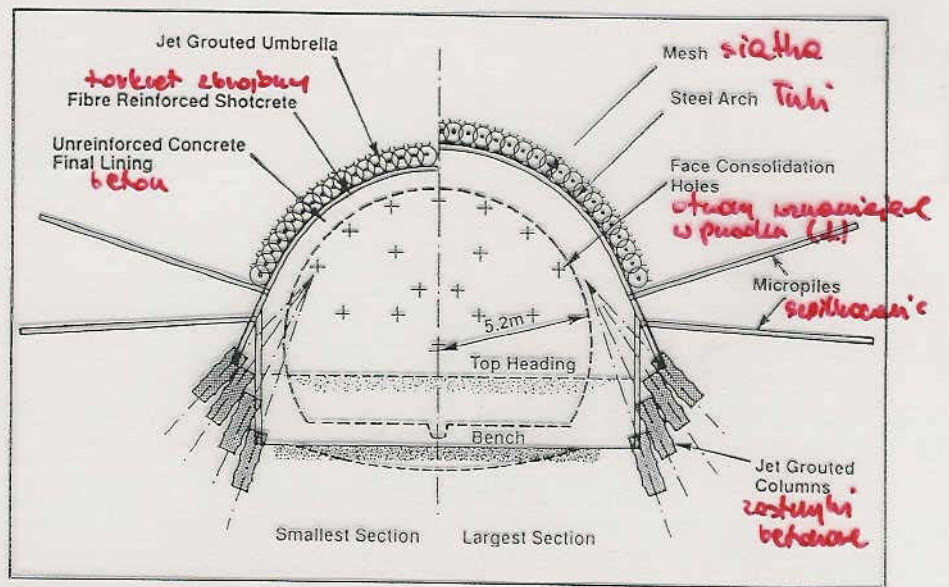
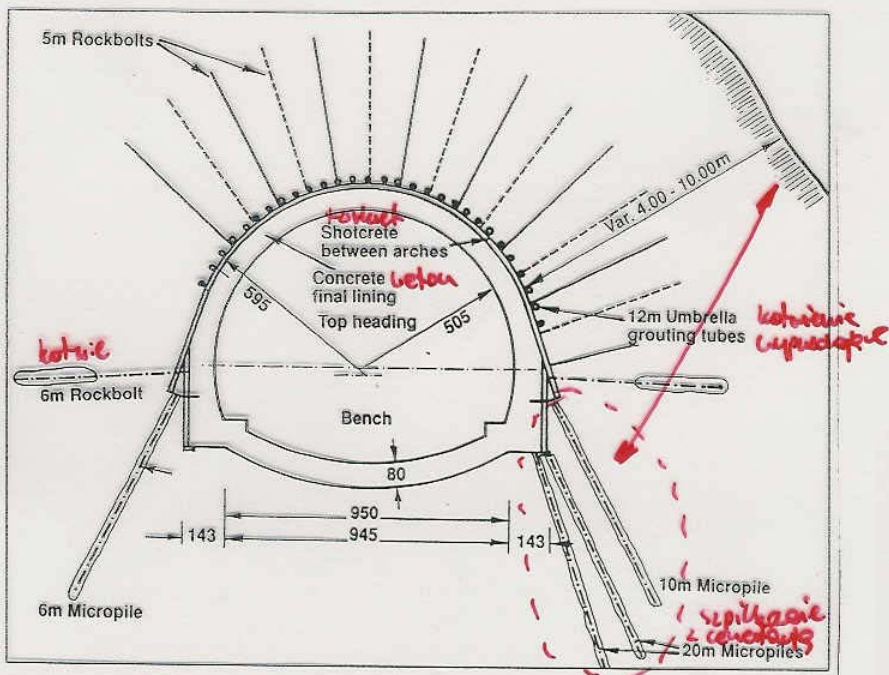
New Austrian Tunnelling Method



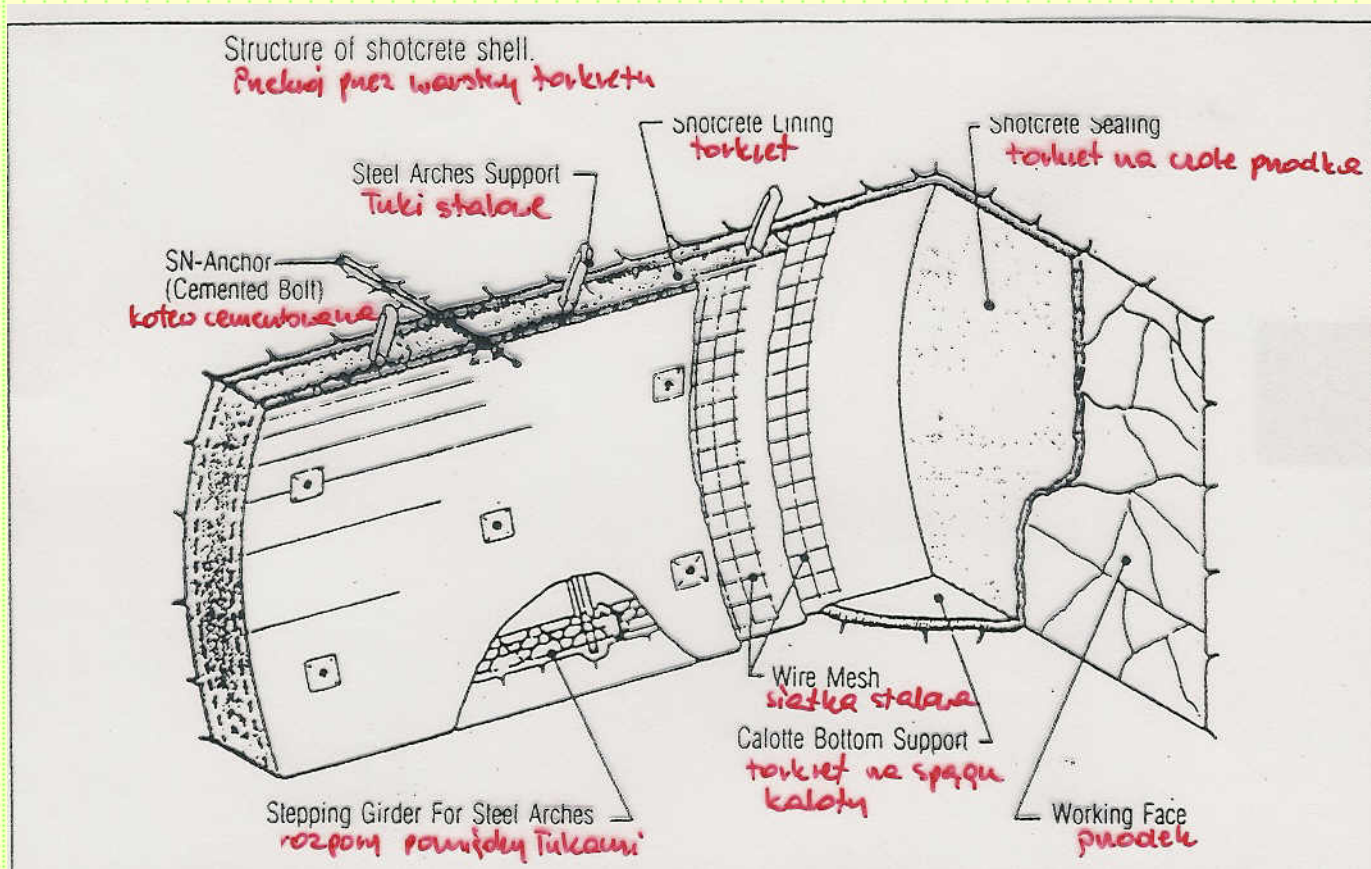
New Austrian Tunnelling Method



New Austrian Tunnelling Method



New Austrian Tunnelling Method



New Austrian Tunneling Method

