



# Тунели

**инж. Асен Анто**

**Фонд “Републиканска пътна инфраструктура”**

*Лекция УАСГ, III курс ССС, 04 декември 2007*

# Съдържание (1/2)

---

- Общи положения
- Класификация
- Проучвателни работи
- Измервания
- Методи на изпълнение
- Тунелите по света
- Проблеми при експлоатация  
(следва)

# Съдържание (2/2)

---

- Обсъждане на снимки от:
  - пътен тунел при Дупница
  - напорен тунел за пети блок на ВЕЦ “Студен Кладенец”
  - метротунел под бул. “Драган Цанков”

# Общи положения (1/2)

---

- Линейни подземни съоръжения с наклон до 10%
- Изкопни работи от *входа* и *изхода*, а понякога и от *прозорци*
- Входът и изходът се наричат *портали*
- Мястото на изкопните работи се нарича *забой*
- Прокопава се с взрив при здрави скали и със земекопна техника при слаби

## Общи положения (2/2)

---

- При прокопаване се нарушава равновесието на скалния масив и вследствие възниква *планински натиск*
- Понякога се прави първична *облицовка* (непосредствено след прокопаване) и вторична
- В най-здравите скали може да няма планински натиск и облицовка да не е необходима
- При по-големи сечения на етапи се извършва ход в по-малко сечение (напр. чрез галерии)

# Класификация (1/2)

---

Според предназначението:

- съобщителни (пътни и ЖП)
- хидротехнически (водно-силови, напоителни / отводнителни, водоснабдителни / канализационни; по начин на действие - напорни и безнапорни)
- инсталационни (за полагање на тръби, кабели и пр.)

# Класификация (2/2)

---

Според начина на изпълнение:

- подземно прокопаване
- по открит способ (cut and cover)

# Проучвателни работи (1/4)

---

Видове проучвания:

- инженерногеоложки
- хидрогеоложки
- скалномеханични

## Проучвателни работи (2/4)

---

- Инженерногеоложките проучвания представляват *геоложка прогноза*
- Извършват се чрез:
  - геоложки оглед
  - лабораторни изследвания
- Геоложка картировка на повърхността
- Заснемане на действителната геоложка обстановка в забоя по време на строителството

# Проучвателни работи (3/4)

---

Хидрогеоложките проучвания определят:

- притока на подземните води
- химичния им състав

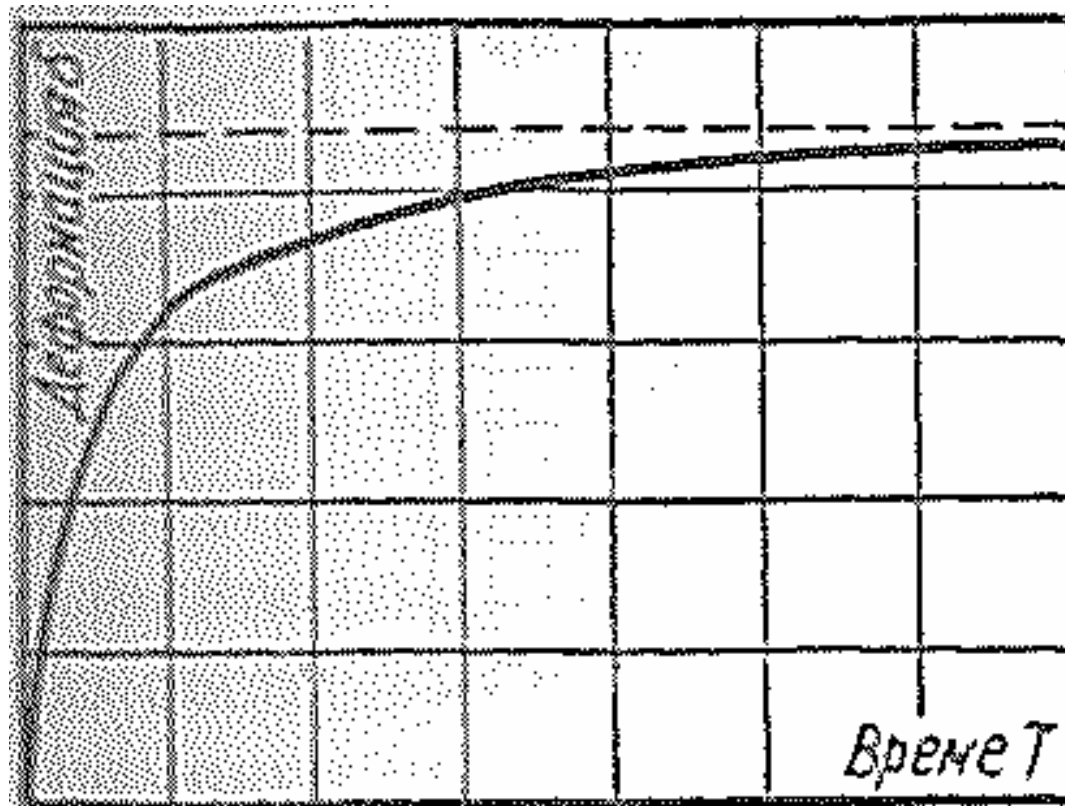
# Проучвателни работи (4/4)

---

- Скалномеханични проучвания определят: обемно тегло  $\gamma$ , ъгъл на вътрешно триене  $\varphi$ , сцепление  $c$ , якост на натиск, опън и срязване, граница на еластичността, модул на линейна деформация, деформационен модул, коефициент на Поасон  $\mu$ , коефициенти на еластичен и общ отпор ...
- Методи за опитно установяване на деформационните показатели на скалния масив

# Измервания (1/7)

- Индикатор за стабилно равновесие на масива е връзката *деформации-време*:



# Измервания (2/7)

---

- Цел: изясняване характеристиките на напрегнатото състояние на скалния масив и оттам изясняване на бъдещото му поведение
- Измерванията може да се правят с геодезични прибори или със специализирани инструменти:
  - в тунела
  - в масива или облицовката на тунела
  - на повърхността на масива

# Измервания (3/7)

---

- Геодезичните измерванията се извършват:
  - във вътрешността на тунела – чрез стабилизирани мерни болтове, марки и репери
  - на повърхността на масива – чрез изграждане на геодезична верига

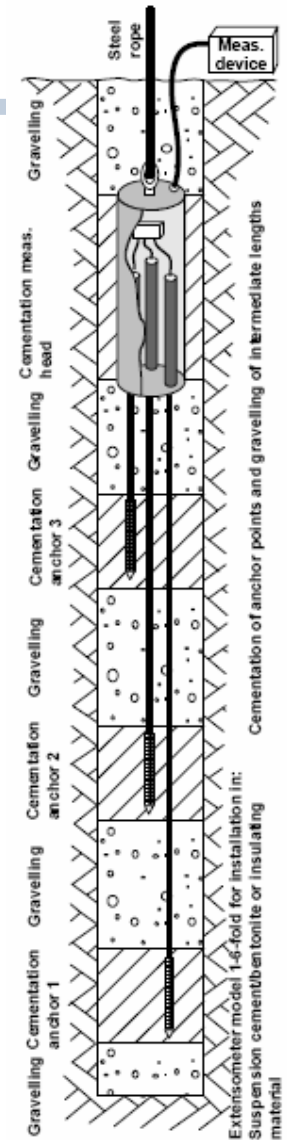
# Измервания (4/7)

---

- Специализирани инструменти:
  - екстензиометри (най-често многоточкови)
  - инклинометри (често във вериги)
  - клетки за измерване на натиск (load cells)
  - и др.
- Най-известния производител на такива инструменти е немската фирма Glötzl:  
<http://www.gloetzl.com>

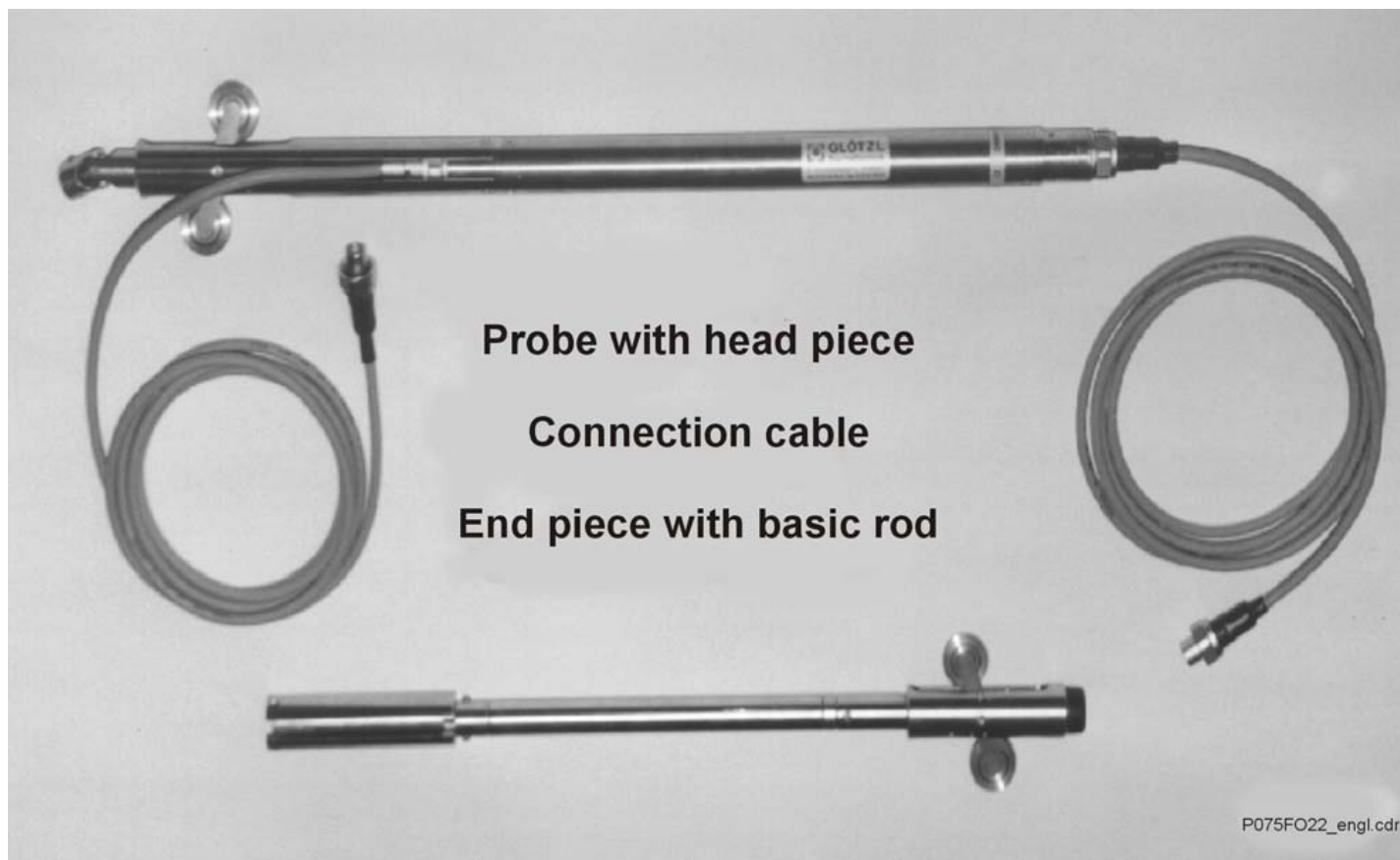
# Измервания (5/7)

- Многоточков екстензиометър:



# Измервания (6/7)

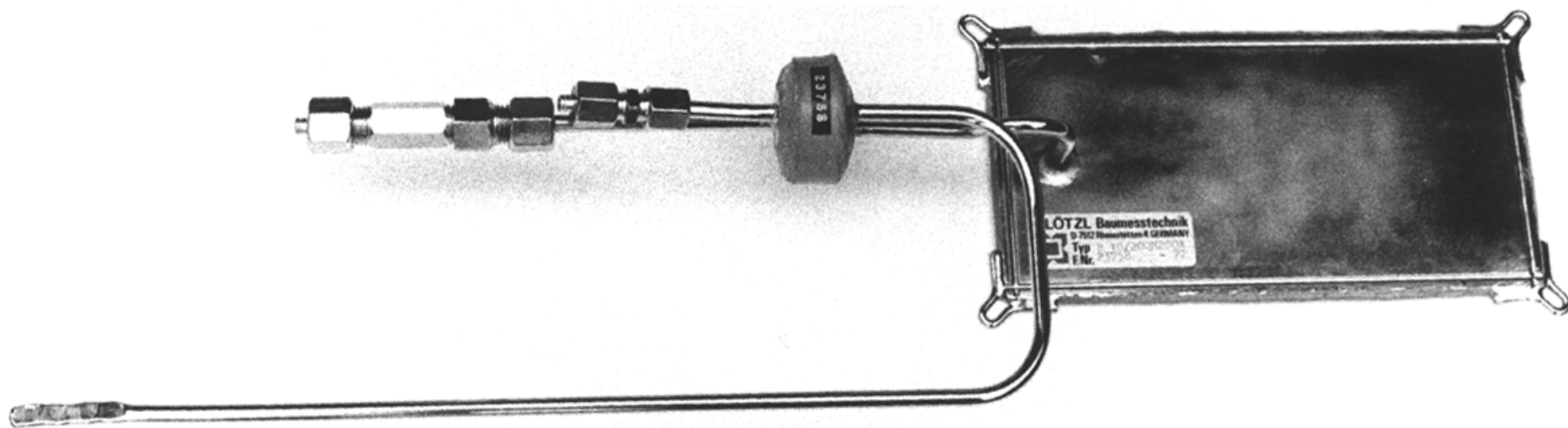
- Инклинометър (компоненти на инкл. верига):



# Измервания (7/7)

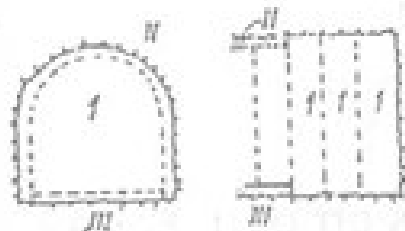
---

- Натискомерна клетка (с тръбичка за осигуряване на налягане):



# Методи на изпълнение (1/9)

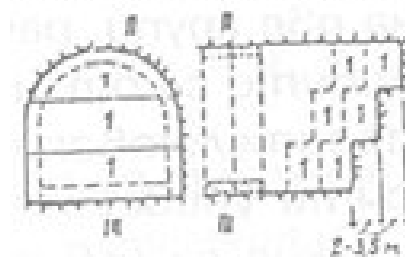
Вертикален забой



Изкопът се извършва едновременно по цялото изкопно сечение. При по-малки сечения дупките се пробиват с ръчни перфоратори, а при големи - с пробивни платформи и пробивни самоходни машини. При нужда от крепеж-анкери, рамки и пръскан бетон. Облицова се на кампади с работни фуги при петите.

При устойчиви скални масиви и напречни сечения до около 100 м<sup>2</sup>

Стъпаловиден забой



Височината на забоя се дели на две или повече части, като височината и ширината на стъпките се определя с оглед възможността за ръчно пробиване на дупките. Всички дупки в забоя се взривяват наведнъж. При нужда се крепи с анкери, стоманени рамки и пръскан бетон. Облицова се на кампади с работни фуги при петите.

При устойчиви скални масиви и големи напречни сечения (до 100 м<sup>2</sup>) при работа само с ръчни перфоратори.

# Методи на изпълнение (2/9)



Профилът се дели на две части; горната е с по-малко сечение и избързва напред с 30-100 м. Най-напред се взривяват дупките в горната част и скалната маса се пробутва с булдозер до долното транспортно ниво. Долният отстъп се разработва със слабо наклонени дупки при две свободни повърхнини. При нужда се крепи с анкери, рамки и пръскан бетон. Облицова се на кампади с работни фуги при петите.

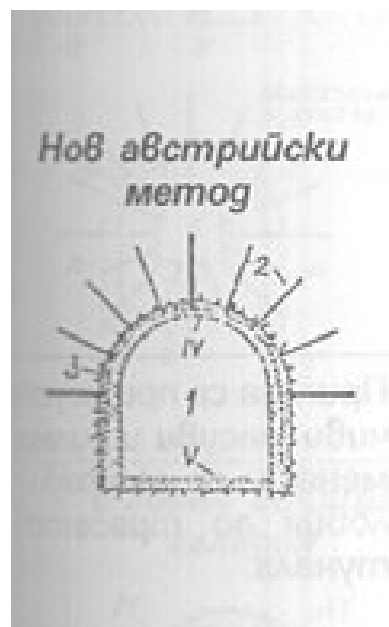
Прилага се при устойчиви скални масиви и сечения над 50 м<sup>2</sup>. С крепене може да се използва и при по-слаби скални масиви

# Методи на изпълнение (3/9)



Профилът се дели на две части, като се избързва напред с долната. Горният отстъп се обработва от платформа, върху която пада и взривената скална маса, за да не се запуши достъпа до долната част. Крепеж и облицоване както при метода с долен отстъп.

Прилага се при устойчиви масиви и сечения над 50 м<sup>2</sup>, когато се налага да се използва само едно транспортно ниво.



Тунелът се прокопава обикновено в пълен профил, но може да се изпълни и по части. Основното в случая е чрез възраждане на деформируем крепеж-анкери, стоманени дъгови рамки и пръскан бетон - да се предизвика оформянето на облекчителен свод в скалния масив, който го превръща в носещ елемент заместващ облицовката. Новото стабилно равновесие се установява по затихването на радиалните деформации на изкопа, измерени на място.

Прилага се при скални масиви с произволна зравина при достатъчно тунелно покритие за оформяне на облекчителния свод и при тунели с произволен размер на напречното сечение.

# Методи на изпълнение (4/9)



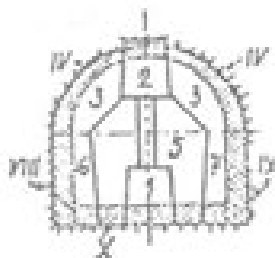
Прекопава се водеща галерия в ключа (1), избързваща с 20-50 м напред, след което профильт се разширява до хоризонталния диаметър (2), като последователно се укрепва с лон-гаринен крепеж. На кампади се бетонира горния свод (III), след което се изземва ядрото (4). Изкопът за стените се извършва шахматно (5,7), като по кампади се подхваща горния свод чрез бетониране на стените (VI, VIII). Дъното се бетонира накрая (IX).

Прилага се при къси тунели поради наличието на две транспортни нива, при скални масиви със средна здравина

# Методи на изпълнение (5/9)

Белгийски метод

с горна и долна водеща галерия

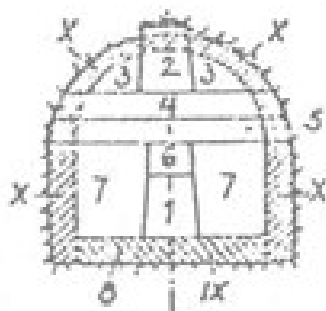


Използва се само един транспортен път в долната водеща галерия, която се прокопава първа (1) и избързва напред с 20-50 м. След това се прокопава горната водеща галерия (2), която се свързва с долната през една или две кампади с фурнели 70x70 см. През тях се подава изкопаната скална маса от разширението на калотата (3) в долната-галерия. Останалите операции са както при метода с една водеща галерия.

Прилага се при дълги тунели в средно-здрави скални масиви и напречни сечения над 25-50 м<sup>2</sup>

# Методи на изпълнение (6/9)

английски метод

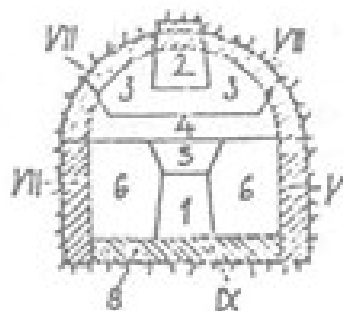


Изкопът започва с долна галерия (1), след което се пробива горна (2). Тунелът се разширява и укрепва до пълния профил (3) - (8) на кампади от 3-8 м в зависимост от устойчивостта на скалния масив. В завършеното; разширение се изгражда облицовката като се започва от дъното (IX) и се свърши с горния свод (X). Следващият пръстен се разширява едва след като е бетонирал предидущия. Предимство-облицовката се изгражда наведнъж на пръстени. Недостатък-изоставяне на дървен лангаринен крепеж зад облицовката.

Прилага се при силно изменящи се по трасето на тунела инженерно-геоложки условия, тъй като крепежът за всеки пръстен леко се нагажда към тях

# Методи на изпълнение (7/9)

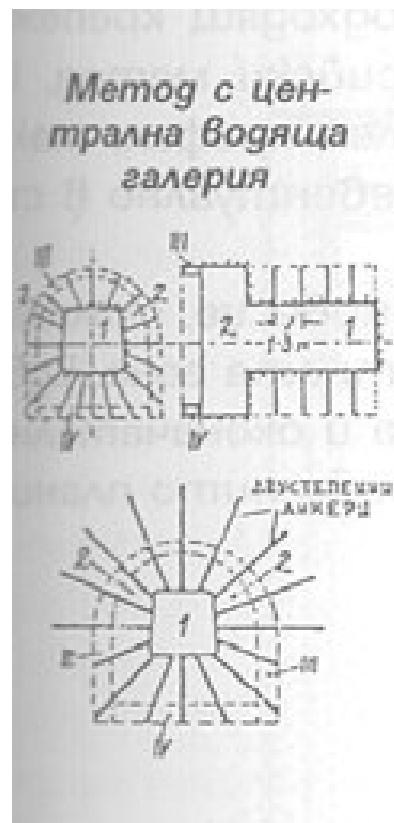
Стар австрийски метод



Започва се с прокопаването на долна водяща галерия (1), последвано от пробиването на втора в ключа (2). Двете галерии се свързват през 6-12 м чрез фурнели, през които се подава скалната маса от разширението на калотата (3), (4). Следва връзка с долната галерия (5) и изземване на щроса (6) и дъното (8). Отделните кампади се укрепяват с лонгарини и стойки, като при (3), (4), (5) се налага преукрепяване. Облицовката се бетонира по кампади - най-напред горния свод (VII), а след това дъното (IX). Предимство на метода-облицовката се изгражда наведнъж и строителството може да се нагажда към силно изменящи се инженерногеоложки условия по трасето. Недостатък - голямо количество крепежен материал и разхлабване на масива при преукрепяването.

Прилага се при неустойчиви масиви и силно изменящи се геоложки условия по трасето на тунела.

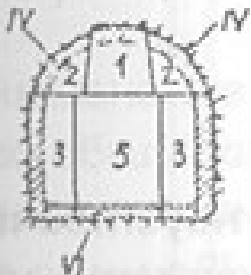
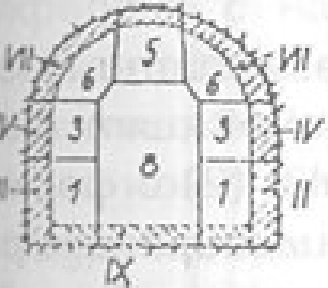
# Методи на изпълнение (8/9)



Изкопът започва с водеща галерия 1, разположена в средата на профила, която най-често се прокопава по цялата дължина на тунела. Пълният профил 2 се получава чрез взривяване на радиално разположени дупки през 1-3 м по оста на тунела. При устойчиви скални масиви, когато не е необходим крепеж, след разширяването се изгражда по кампади облицовката отдолу-нагоре III, IV. При неустойчиви скални масиви централната водеща галерия се крепи с дървени рамки, а разширението - с дъгов или полигонален крепеж. При съвременните изпълнения се използват двустепенни анкери укрепващи едновременно галерията, а след разширението - пълния профил.

Прилага се при по-къси тунели с големи напречни сечения (над 50 м<sup>2</sup>)

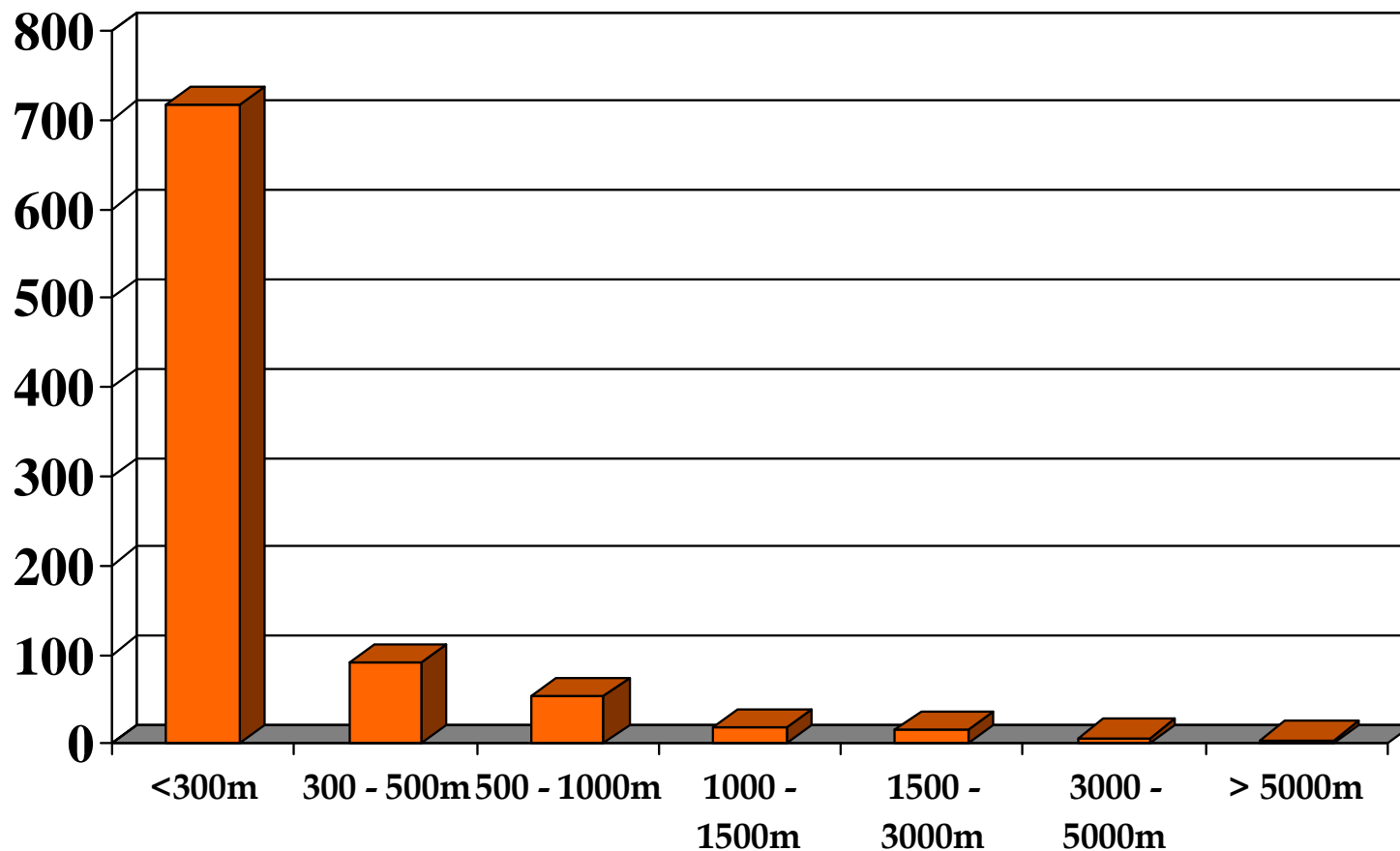
# Методи на изпълнение (9/9)

Ядров (германски) метод	<p>с горна водеща галерия</p> 	<p>Започва се с горна водеща галерия (1), разширява се калотата (2) и се изземва щросът (3). Икопът се крепи с лонгарини, опряни на ядрото (5) с къси стойки. Облицовката се бетонира на кампаги от долу-нагоре (IV). Ядрото се отстранява последно, след което се оформя дъното (IV).</p>	<p>Прилага се при тунели с по-малки напречни сечения</p>
	Ядров (германски) метод	<p>с две долни водещи галерии</p> 	<p>Започва се с две долни водещи галерии (1), в които се изгражда облицовката (II). След разширяване нагоре (2) продължава бетонирането на облицовката (IV). Калотата се разширява (5), (6) и се бетонира свода (VII). Крепи се с лонгаринен крепеж, опрян с къси стойки върху ядрото (8), което се отстранява последно. След това се оформя дъното. И в двата случая при съвременното изпълнение на ядровия метод се използва анкерен крепеж и пръскан бетон.</p>

# Тунелите по света (1/6)

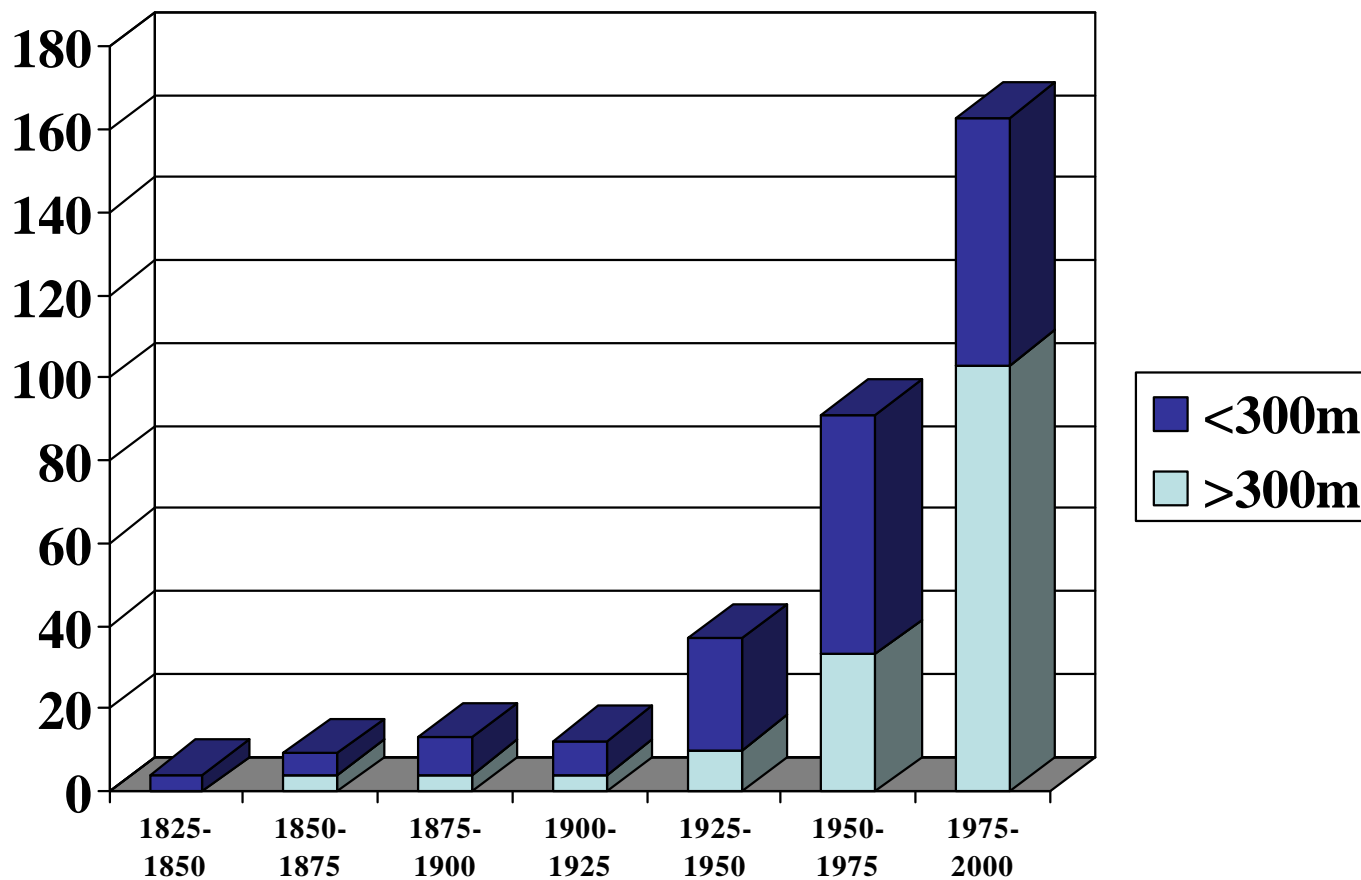
---

Брой тунели по дължина (Франция)



# Тунелите по света (2/6)

Брой тунели по година на завършване (Франция)



# Тунелите по света (3/6)

---

## Най-дълги пътни тунели

Laerdal	Норвегия	24 510 m	2000
Zhongnanshan	Китай	18 040 m	(2007)
St Gothard	Швейцария	16 918 m	1980
Arlberg	Австрия	13 972 m	1978
Hsuehshan	Тайван	12 900 m	2005
Fréjus	Франция	12 895 m	1980
Mont Blanc	Франция	11 611 m	1965
Gudvanga	Норвегия	11 428 m	1991

# Тунелите по света (4/6)

---

## Най-дълги ЖП тунели

St Gothard	Швейцария	57 072 m	(2010)
Seikan	Япония	53 850 m	1988
Transmanche	Англия/Фр.	50 450 m	1994
Loetschberg	Швейцария	34 577 m	(2007)
Guadarrama	Испания	28 377 m	(2007)
Hakkoda	Япония	26 455 m	(2007)
Shinkansen	Япония	25 810 m	2002
Simplon	Швейцария	19 824 m	1922

# Тунелите по света (5/6)

---

- България – 29 тунела по републиканската пътна мрежа

	бр. [-]	Дължина [m]
Една тръба	22	3109.0
Две тръби	7	3903.0
<b>Общо</b>	<b>29</b>	<b>7012.0</b>

# Тунелите по света (6/6)

---

България – най-дългите тунели:

Витиня	1 155 m
Топли дол	825 m
Ечемишка	880 m
Правец	845 m
Траянови врата	675 m

# Проблеми при експлоатация (1/10)

---

- Изключително тежки последици от:
  - пожари
  - обикновени катастрофи

# Проблеми при експлоатация (2/10)

---



# Проблеми при експлоатация (3/10)

---

Виамала, септември 2006



# Проблеми при експлоатация (4/10)

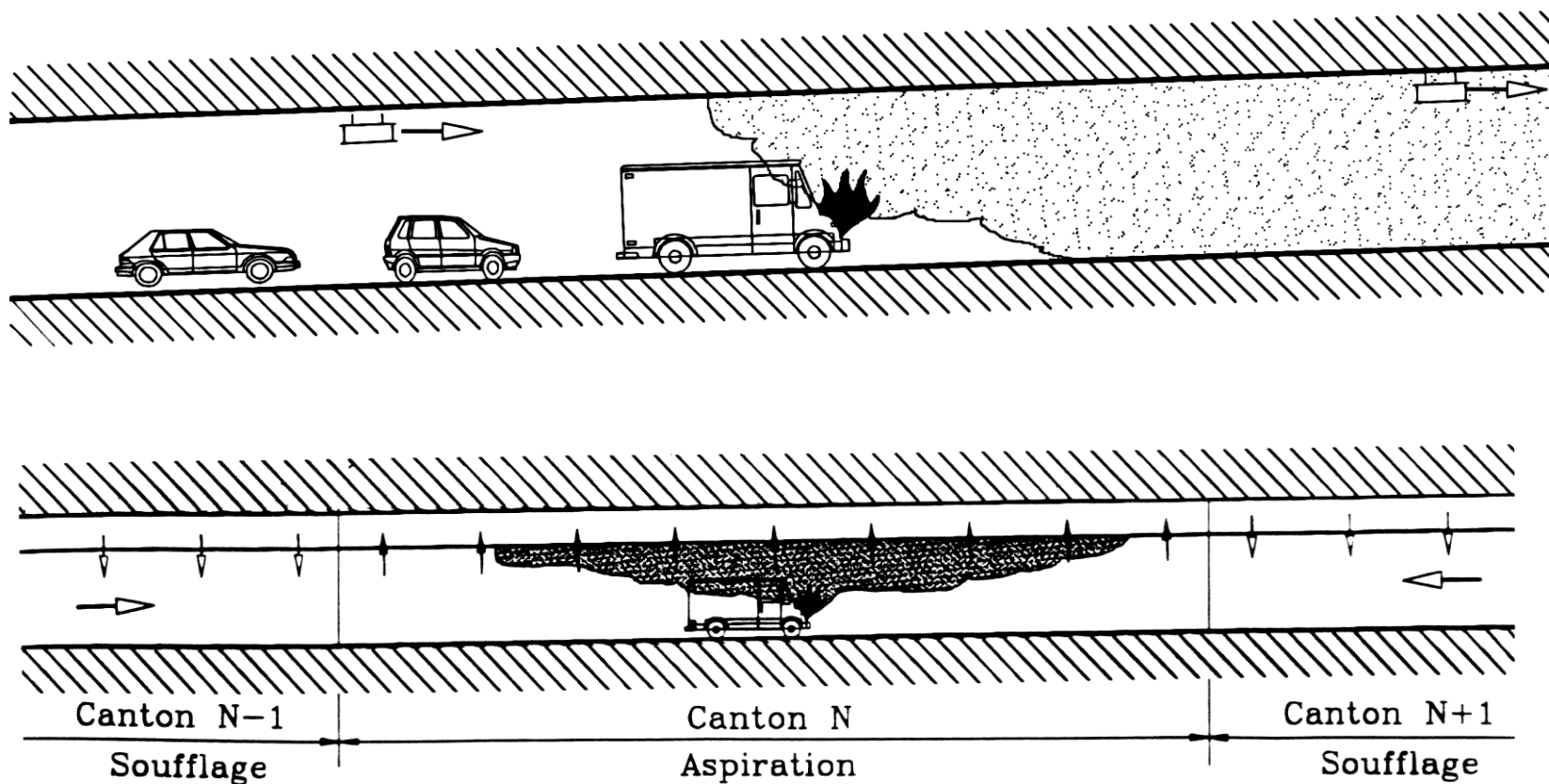
---

Готарт, 2001 - 11 жертви



# Проблеми при експлоатация (5/10)

## Схеми за вентилация



# Проблеми при експлоатация (6/10)

---

## Вентилатори



# Проблеми при експлоатация (6/10)

---

## Вентилационни канали



# Проблеми при експлоатация (7/10)

---

## Евакуация през вентилационен канал



# Проблеми при експлоатация (8/10)

---

## Евакуационни средства (Фрежюс)



# Проблеми при експлоатация (9/10)

---

## Термографичен портал (Фрежюс)



# Проблеми при експлоатация (10/10)

## Тежки инциденти през последните 30 години

San Martino di Lecco	Италия	Септември 2007	2 жертви
Burnley	Австралия	Март 2007	3 жертви
Viamala	Швейцария	Септември 2006	9 жертви
Le Fréjus	Франция	Юни 2005	2 жертви
Baregg	Швейцария	Април 2004	1 жертви
St Gothard	Швейцария	Октомври 2001	11 жертви
Tauern	Австрия	Май 99	12 жертви
Mont Blanc	Франция	Март 99	39 жертви
Isola delle femine	Италия	Март 96	5 жертви
Pfänder	Австрия	Април 95	3 жертви
Serra Ripoli	Италия	Февруари 93	4 жертви
Brenner	Франция	Май 89	2 жертви
L'Arme	Франция	Септември 86	3 жертви
Pecorile	Италия	Февруари 83	8 жертви
Caldecott	САЩ	Април 82	7 жертви
Nihonzaka (127 trucks)	Япония	Юли 79	7 жертви
Velsen	Холандия	Август 78	5 жертви

# Пътен тунел при Дупница (1/3)

---

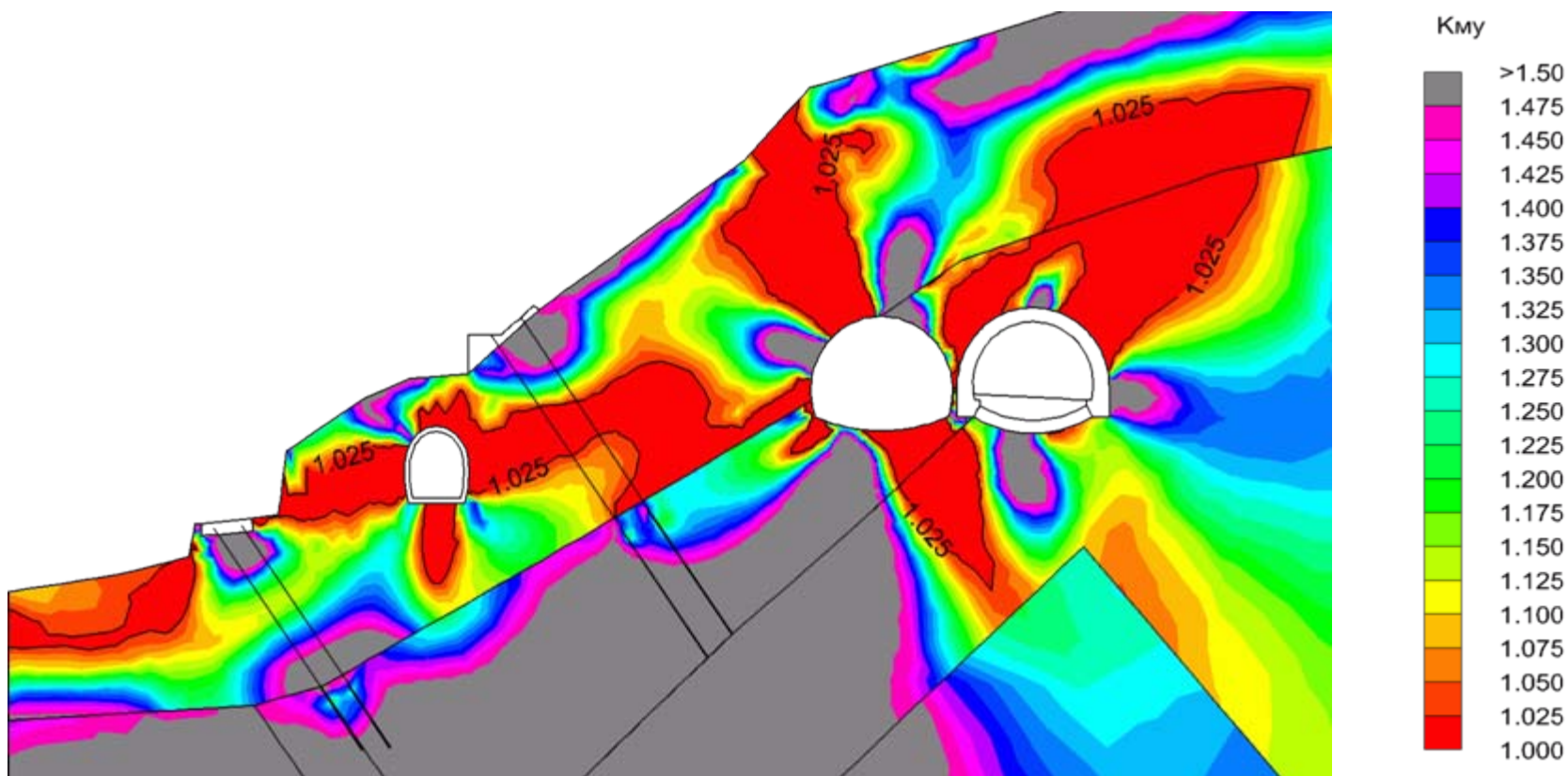
- Втора тунелна тръба на пътния тунел при гр. Дупница
- Първата тунелна тръба е изградена през седемдесетте години на ХХ в.
- В близост има ЖП тунел, изграден през тридесетте години на ХХ в.
- След свличане на ската по време на строителството на втората тръба, работите са преустановени
- Затихване на движението на ската 10 години

## Пътен тунел при Дупница (2/3)

---

- Новият договор за строителство е подписан в края на 2004 на сума € 4,6 млн. (75% по програма PHARE CBC)
- Очаква се да възлезе на около € 6,9 млн.
- Изключително сложна обстановка – натрошени нееднородни скали, два тунела в близост, близост на река Джерман, малко покритие
- Около 100 анкера в ската
- Сложна контролно-измервателна система

# Пътен тунел при Дупница (3/3)



# Напорен тунел на ВЕЦ “Студен Кладенец”

- Допълнителен пети блок на централата
- Инвеститор – НЕК, главен изпълнител – PORR Technobau und Umwelt AG
- Строителство на тунела от септември 2006 до март 2007



# ИЗТОЧНИЦИ

---

- Георгиев, Любомир, 2004. Тунели (трето издание)
- Използвани снимки и данни на д-р инж. Димитър Хвърлев, инж. Тоско Пъпанов и от презентации на CETU (Centre d'Etudes des Tunnels) и STFRF (концесионер на тунела Фрежюс)
- Измервателни прибори: <http://www.gloetzi.com>
- Анкерни системи: <http://www.dywidag-systems.com/>



# Тунели

**инж. Асен Анто**

**Фонд “Републиканска пътна инфраструктура”**

*Лекция УАСГ, III курс ССС, 04 декември 2007*