

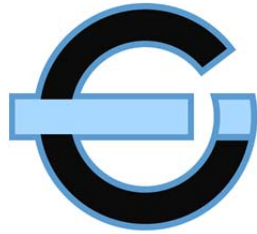
# Implementeringskommission för Europastandarder inom Geoteknik

Rapport 5:2010

**Tillämpningsdokument**

Bergtunnel och bergrum





Implementeringskommission för  
Europastandarder inom Geoteknik

IEG Rapport 5:2010

## Tillämpningsdokument

Bergtunnel och bergrum

Framtagen av IEG

Stockholm 2010

**IEG Rapport** Implementeringskommissionen för  
Europastandarder inom Geoteknik

Beställning IEG  
c/o IVA  
Grev Turegatan 14  
Box 5073  
102 42 Stockholm  
Org. Nr 802430-1221  
E-post: [ieg@iva.se](mailto:ieg@iva.se)  
Web: [www.ieg.nu](http://www.ieg.nu)

ISBN 978-91-85647-34-7  
Upplaga Digital

Version Mars 2011

## Förord

Denna rapport är upprättad på uppdrag av IEG (Implementeringskommisionen för Europastandarder inom Geoteknik). IEG är en ideell förening som verkar under Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien. Föreningen har till uppgift att initiera, samordna, genomföra och redovisa arbete som krävs för att kunna implementera Europastandarder inom Geoteknikområdet i Sverige.

Rapporten utgör ett tillämpningsdokument som är tänkt att vägleda användaren vid projektering av Bergtunnlar i enlighet med SS-EN 1997-1, som är den svenska versionen av Eurokod 7 inklusive den svenska nationella bilagan. Dokumentet skall användas tillsammans med relevanta europastandarder och tillhörande svenska nationella bilagor.

Arbetet har utförts inom en arbetsgrupp bestående av:

Beatrice Lindström, Golder Associates AB  
Lars-Olof Dahlström, NCC  
Thomas Dalmalm, Trafikverket

Arbetet har granskats och diskuterats med en referensgrupp bestående av:

Håkan Stille, KTH/Geokonsult Stille AB  
Lars Rosengren, Rosengren Bergkonsult AB  
Mats Holmberg, Tunnel Engineering AB  
Rolf Christiansson, SKB

Stockholm 2010-12-31

# Sammanfattning

Syftet med detta tillämpningsdokument är att vara ett hjälpmedel för bergprojektörer avseende dimensionering av bergtunnlar enligt SS-EN 1997-1. Detta tillämpningsdokument är endast rådgivande om inget annat anges av byggherren.

Kapitel 1 inleder med syfte och läsangivelser för tillämpningsdokumentet. I kapitel 2 definieras ett antal begrepp som förekommer i tillämpningsdokumentet. Kapitel 3 behandlar geoteknisk kategori, inkl oberoende granskare samt fält- och laboratorieundersökningar. Kapitel 4 redogör för de metoder som kan användas vid verifiering av bruks- och brottgränstillstånd. För bergtunnlar är hävdvunna åtgärder, beräkningar och observationsmetoden tillämpbara. I kapitel 5 behandlas kontroll av geotekniska förhållanden, utförande och det bärande huvudsystemets beteende samt uppföljning av det bärande huvudsystemets tillstånd. Avslutningsvis i kapitel 6 anges i korthet omfattningen av Markteknisk undersökningsrapport och Geoteknisk dimensioneringsrapport Berg.

## Summary

The goal with this application document is to guide rock engineers regarding design of rock tunnels and rock caverns due to SS-EN 1997-1. This application document is a consulting document if nothing else is stated by the building proprietor.

Chapter 1 gives the objectives of the application document and how it should be read. In chapter 2 a number of definitions used in the document are specified. Chapter 3 deals with geotechnical category and the independent reviewer and shortly about field- and laboratory investigations. Chapter 4 describes the methods that can be used to verify the limit states. For rock tunnels and rock caverns, the limit states can be verified by adopt prescriptive measure, use of calculation and/or observational method. In chapter 5 the supervision and monitoring as control of geotechnical conditions, the construction process and the behavior of the rock mass including the reinforcement are treated. The chapter also discusses maintenance as follow-up of the state of the rock tunnels or rock caverns. Finally in chapter 6 the scope of Ground investigation report and Geotechnical Design Report are discussed.

# Innehåll

FÖRORD.....	I
SAMMANFATTNING .....	II
SUMMARY .....	III
<b>1 INLEDNING.....</b>	<b>1</b>
<b>2 ORDLISTA OCH DEFINITIONER.....</b>	<b>2</b>
<b>3 UNDERLAG FÖR PROJEKTERING .....</b>	<b>3</b>
3.1 Fält och laboratorieundersökningar .....	3
3.2 Från mätdata till karaktäristiskt värde .....	3
3.3 Övrigt underlag .....	3
<b>4 PROJEKTERING .....</b>	<b>4</b>
4.1 Allmänt avseende projektering.....	4
4.2 Geoteknisk kategori.....	5
4.3 Säkerhetsklass.....	7
4.4 Beräkning av laster .....	7
4.5 Kontroll av gränstillstånd.....	8
4.5.1 Dimensionering genom beräkning.....	8
4.5.2 Dimensionering genom hävdvunna åtgärder.....	8
4.5.3 Observationsmetoden.....	9
<b>5 KONTROLL AV GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN, UTFÖRANDE OCH DET BÄRANDE HUVUDSYSTEMET BETEENDE SAMT DET BÄRANDE HUVUDSYSTEMETS TILLSTÅND .....</b>	<b>10</b>
5.1 Allmänt.....	10
5.2 Kontroll och uppföljning .....	10
5.2.1 Dimensioneringskontroll .....	10
5.2.2 Kontroll av geotekniska förhållanden.....	10
5.2.3 Utförandekontroll .....	11
5.3 Kontroll av det bärande huvudsystemets beteende.....	12
5.4 Underhåll .....	12
<b>6 DOKUMENTATION.....</b>	<b>13</b>
6.1 Allmänt.....	13
6.2 Förundersökningsrapport Berg.....	13
6.3 Geoteknisk dimensioneringsrapport Berg .....	13
6.3.1 Ingenjörsgelogisk prognos.....	14
<b>7 REFERENSER .....</b>	<b>15</b>
7.1 Standarder .....	15
7.2 Föreskrifter .....	16
7.3 IEG-rapporter.....	16
7.4 Övrig litteratur .....	16



# 1 Inledning

Detta tillämpningsdokument syftar till ge bergprojektörer ett hjälpmedel avseende dimensionering av bergtunnlar och bergrum enligt SS-EN 1997-1 med avseende på bärförmåga, stadga, beständighet och täthet. Detta tillämpningsdokument är endast rådgivande om inget annat anges av byggherren.

Med bergtunnlar avses samtliga bergtunnlar och bergrum under mark. Bergskärningar behandlas inte i detta dokument.

SS-EN 1997-1 ska användas tillsammans med SS-EN 1990 och SS-EN 1991.

I SS-EN1990 beskrivs principer och krav rörande säkerhet, brukbarhet och beständighet hos bärverk. SS-EN 1991 ger vägledning och laster för andra laster än de geotekniska som måste beaktas vid dimensionering. I SS-EN 1992-1-1 och SS-EN 1993-1-1 behandlas allmänna regler vid dimensionering av betong- respektive stålkonstruktioner.

För läsbarheten av detta dokument bör även Tillämpningsdokument Grunder (IEG rapport 2:2008) samt Tillämpningsdokument Dokumenthantering (IEG rapport 4:2008) vara tillgängliga. Om det förekommer skillnader avseende bergtunnlar och bergrum mellan dessa dokument och Tillämpningsdokument Bergtunnel och bergrum gäller Tillämpningsdokument Bergtunnel och bergrum.

Tillämpningsdokument Observationsmetoden (IEG rapport 9:2010) och Tillämpningsdokument Förankringar (IEG rapport 7:2010) kan också vara lämpliga dokument att ha tillgängliga.

## 2 Ordlista och definitioner

<b>Bergtunnlar</b>	En tunnel där det bärande huvudsystemet säkerställs enbart av bergmassan eller genom samverkan mellan bergmassan och förstärkningskonstruktionen (VV Publ. 2004:124). Tunneln ska vara stor nog för att vara tillgänglig för människan.
<b>Brottgränsstillstånd</b>	Tillstånd förenade med kollaps eller med andra liknade former av brott i bärverket (SS-EN 1990).
<b>Brukbarhet</b>	Krav för brukbarhet bestäms för varje enskilt projekt, men berör ofta utseende (stor nedböljning, sprickbildning), brukarnas välbefinnande och bärverkets funktion (SS-EN 1990).
<b>Bruksgränstillstånd</b>	Tillstånd som om det överskrids leder till att angivna bruksvillkor för ett bärverk eller bärverksdel inte längre uppfylls (SS-EN 1990).
<b>Bärande huvudsystem</b>	Anläggningsdelar inklusive berg och jord som nyttjas för att säkerställa tunnels bärförmåga, stadga och beständighet. (VV Publ. 2004:124). Bärande huvudsystemet motsvarar begreppet bärverk som används i Eurokoderna.
<b>Geotekniskt beteende</b>	Se Tillämpningsdokument Observationsmetoden (IEG Rapport 9:2010).
<b>Geoteknisk kategori</b>	Geoteknisk kategori beskriver omfattningen och komplexiteten hos geokonstruktionen (VVFS 2009:19 ). Geoteknisk kategori väljs av bergprojektören, i samråd med byggherren, och styr omfattningen av undersökningar, dimensionering och uppföljning/kontroller.
<b>Karaktärisering</b>	Avser den beskrivning och kvantifiering av bergmassans geologiska, mekaniska och hydrogeologiska egenskaper samt spänningsförhållanden som behövs för projektering av berguttag, förstärkning och injektering.
<b>Klassificering</b>	Avser indelning i klasser för något ändamål, tex förstärkningsåtgärder. Klassificering baseras på den karaktärisering som är utförd.
<b>Klassificeringssystem</b>	System/metoder som delar in bedömningen i speciella klasser eller kategorier (Stille & Palmström, 2003).
<b>Geoteknisk Dimensioneringsrapport Berg</b>	Handling för att dokumentera genomfört projekterings- och Dimensioneringsarbete (jmf Projektterings-PM i Tillämpningsdokument Grunder).

## 3 Underlag för projektering

### 3.1 Fält och laboratorieundersökningar

SS-EN 1997-1 delar in undersökningarna i två grupper; (1) preliminära undersökningar och (2) undersökningar för dimensioneringen. Dessa är nödvändigtvis inte åtskilda i tid. Sammansättningen och omfattningen av undersökningar ska anpassas till den speciella undersökningsetappen och den geotekniska kategorin (SS-EN 1997-1). Geoteknisk kategori behandlas i avsnitt 4.2.1.

De preliminära undersökningarna syftar till exempel till att:

- utvärdera bergets allmänna lämplighet,
- jämföra alternativa sträckningar/lägen,
- bedöma ev förändringar av de bergtekniska - och hydrogeologiska förhållandena som kan uppkomma i samband med drivning av bergtunneln,
- planera dimensionering och ytterligare undersökningar och
- göra en första bedömning av geoteknisk kategori.

Undersökningarna för dimensionering syftar till exempel till att:

- ge den information som krävs för den dimensionering som ska utföras för bergtunneln,
- ge den information som krävs för planering av utförande av bergtunneln,
- identifiera de svårigheter som kan uppstå under utförandet och
- utgöra underlag för att välja geoteknisk kategori.

För fält- och laboratorieundersökningar ska krav och rekommendationer i både SS-EN 1997-1 och SS-EN 1997-2 uppfyllas.

Bergförhållanden ska beskrivas enligt SS-EN ISO 14689-1, Geoteknisk undersökning och provning - Identifiering och klassindelning av berg.

Metodbeskrivningar för relevanta fält- och laboratorieundersökningar kan ges av ISRM-Suggested Methods and Reports som kan laddas ned av medlemmar på [www.isrm.net](http://www.isrm.net).

### 3.2 Från mätdata till karaktäristiskt värde

Det karakteristiska värdet på geotekniska parametrar kan bestämmas direkt, utan användning av omräkningsfaktor. En omräkningsfaktor beaktar volym- och skaleffekter, fukt- och temperatureffekter samt andra relevanta parametrar (SS-EN 1990). Det karakteristiska värdet kan i sådana fall motsvara härlett värde.

### 3.3 Övrigt underlag

Platsbesök, fält- och laboratorieundersökningar bör föregås av att samla in information från topografiska och geologiska kartor. Dessutom bör dokumenterade resultat och erfarenheter från tidigare undersökningar i området inhämtas.

Metodikerna för att ta fram parametervärden och som beskrivs i SKB:s SDM (Site descriptive modelling) rapporterna för Forsmark (TR-08-05) och för Laxemar (TR-09-01) är bra och allmänt tillämpliga.

## 4 Projektering

### 4.1 Allmänt avseende projektering

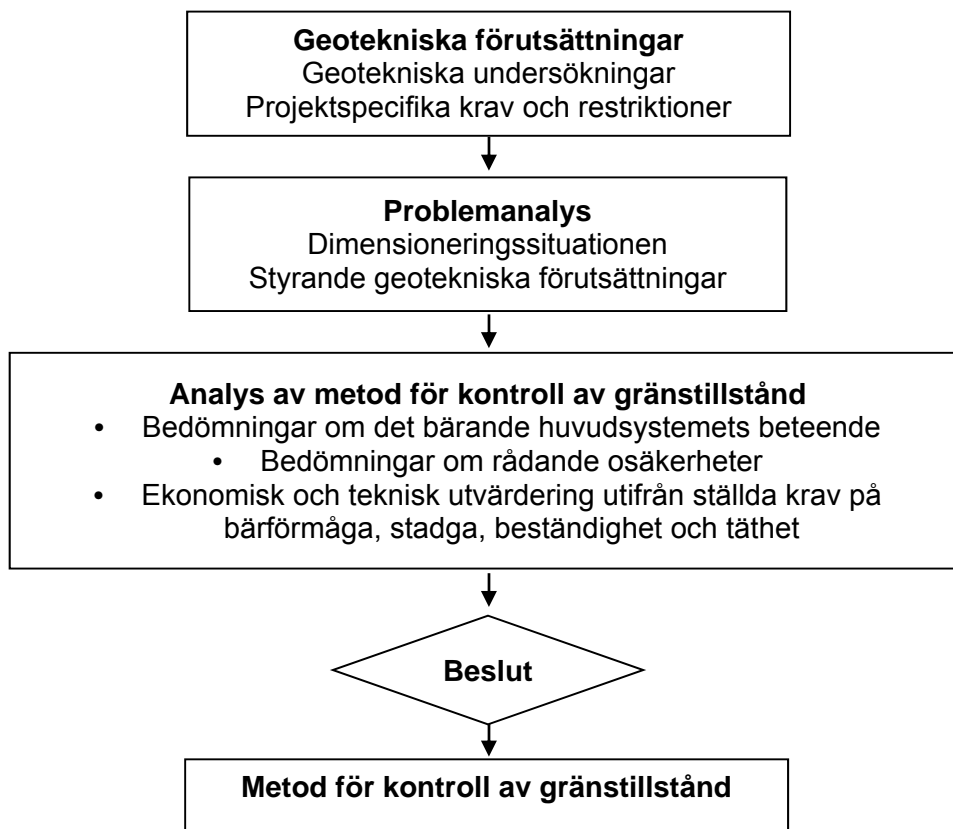
Grundkravet i SS-EN 1997-1 är att det för varje geoteknisk dimensioneringssituation skall verifieras att inget relevant gränstillstånd enligt SS-EN 1990 överskrids, dvs att brott- och bruksgränstillståndet inte överskrids.

Gränstillstånden bör kontrolleras, genom en eller en kombination av följande metoder:

- dimensionering genom beräkningar,
- införande av hävdvunna åtgärder,
- en observationsmetod,
- modellförsök och provbelastningar.

För bergtunnlar är alla metoder utom modell och provbelastningar tillämpliga.

Val av metod bör baseras på i vilken omfattning som metoderna medverkar till att reducera osäkerheterna för frågor som berör det bärande huvudsystemet (bärförmåga, stadga och beständighet samt täthet). Figur 4-1 visar principerna för logiken att välja metod.



Figur 4-1 Principiell uppställning av proceduren för val av metod [modifierad efter IEG Rapport 9:2010].

## 4.2 Geoteknisk kategori

Geoteknisk kategori (GK) väljs av bergprojektör i samråd med byggherren och styr omfattning av undersökning, dimensionering, kontroll och uppföljning (Tillämpningsdokument Grunder).

Geoteknisk kategori ersätter det i BKR (Boverket, 2003) tillämpade begreppet Geoteknisk klass.

Olika geoteknisk kategori kan gälla för olika delar av projektet eller för olika sträckor längs en bergtunnel. Geoteknisk kategori kan förändras under projektets gång om förutsättningarna ändras.

I SS-EN 1997-1, kapitel 2.1 anges att Geoteknisk Kategori 3 bör omfatta "tunnlar i sprucket berg och/eller med krav på vattentäthet eller andra speciella krav".

Ovanstående formulering beträffande GK 3 innebär i princip att alla bergtunnlar i Sverige hamnar i GK 3, eftersom den svenska berggrunden oftast är sprucken samt att det oftast finns krav på vattentäthet. Formulering kan därför inte anses vara tillämplig för svenska bergtunnlar och bergrum.

Val av geoteknisk kategori för bergtunnlar i Sverige ska istället göras enligt nedanstående indelning kategorier.

- GK 1: är inte tillämbart på bergtunnlar
- GK 2: kan tillämpas då allmän praktisk erfarenhet föreligger av motsvarande bergkonstruktioner. Dimensionering och utförande kan ske med allmänt accepterade metoder, se vidare i Tabell 3-1.
- GK 3: bergtunnlar eller delar av bergtunnlar som inte faller inom GK 2.

Enligt SS-EN 1997-1 bör dimensionering av bergkonstruktioner i GK 3 normalt omfatta alternativa föreskrifter och regler än vad som anges i SS-EN 1997-1. Byggherren ansvarar för att ange vilka alternativa föreskrifter och regler som ska gälla.

I Tabell 4-1 finns det exempel på vilka förutsättningar som bör vara uppfyllda för att hela eller delar av bergtunneln ska falla inom GK 2.

Utöver dessa kan det finnas platsspecifika faktorer och förutsättningar som inte anges i tabellen. Dessa platsspecifika faktorer bör definieras gemensamt i respektive projekt av byggherren och bergprojektör.

**Tabell 4-1. Generella exempel på föreslagna förutsättningar för Geoteknisk Kategori 2 (Notera att det utöver dessa kan finnas platsspecifika faktorer och förutsättningar).**

Faktorer	Förutsättningar som normalt ger GK 2
Utförda undersökningar	Undersökningar har utförts i den omfattning och med metoder som är normala med hänsyn till erfarenheterna av aktuell bergmassa, variationen i dess mekaniska och hydrogeologiska egenskaper, samt med hänsyn till erfarenheterna av aktuell tunnelkonstruktion.
Bergets karaktär och kvalitet	Bergets karaktär och kvalitet är sådan att det med tillämpning av konventionella förstärknings- och tätningmetoder är troligt att aktuella krav på bärförmåga, stadga, beständighet och täthet kan uppfyllas.
Belastningsförhållanden	För belastningsförhållandena ska en helhetsbedömning göras avseende hur bergets egenskaper påverkar deformations- och stabilitetsförhållandena. Om det bedöms att icke kritiska deformations- och/eller stabilitetsförhållanden kommer att uppstå för tunneln får förutsättningarna för GK 2 anses vara uppfyllda.
Spännvidd, B	För spännvidden ska en helhetsbedömning göras avseende hur bergets egenskaper påverkar deformations- och stabilitetsförhållandena. Om det bedöms att icke kritiska deformations- och/eller stabilitetsförhållanden kommer att uppstå för tunneln får förutsättningarna för GK 2 anses vara uppfyllda.
Bergtäckning, BT	Tunnelns bergtäckning, $BT \geq$ halva tunnelns spännvidd ( $B/2$ ).
Vertikalt avstånd till befintliga byggnader och byggnadsverk	<u>Befintliga tunnlar:</u> Avståndet, $S \geq$ halva dimensionerande spännvidden <sup>a)</sup> ( $B_{dim}/2$ ). <u>Befintliga byggnader, broar och andra byggnadsverk (inkl dess grundläggning):</u> Avståndet, $S \geq$ tunnelns dimensionerande spännvidd ( $B_{dim}$ ).
Omgivningsförhållanden	Omgivningsförhållandena är sådana att de inte väsentligt förstör konsekvenserna av brott och deformationer i det bärande huvudsystemet eller inläckage av vatten.
Tätning	Tätning kan ske med allmänt accepterade och konventionella metoder (t.ex. cementinjektering). Undantag gäller dock om hydrogeologiska förhållanden och/eller krav på täthet leder till att tätningens arbetet är mycket svårt trots att allmänt accepterade och konventionella metoder används.

a) Dimensionerande spännvidd avser den största spännvidden hos de aktuella tunnlar.

I Tabell 4-2 visas exempel där det gamla begreppet Geoteknisk klass<sup>1</sup> 3 har tillämpats.

**Tabell 4-2 Exempel på situationer där tillämpning av Geoteknisk klass<sup>1</sup> 3 har tillämpats.**

Faktorer	Exempel på situationer
Utförda undersökningar	<ul style="list-style-type: none"> <li>tunnelsträcka med bristande täckning av förundersökningar (Citybanan)</li> </ul>
Bergets karaktär och kvalitet	<ul style="list-style-type: none"> <li>riklig förekomst av glimmerskiffer (Arlandabanan)</li> <li>större omfattning av <math>Q &lt; 1</math> (Södra Länken, Hallandsås och Norra länken: NL 33 och NL 34)</li> <li>stora spännvidder i en geologisk omgivning där det finns liten erfarenhet av motsvarande konstruktion (Citytunneln: Station Triangeln)</li> </ul>
Spännvidd	<ul style="list-style-type: none"> <li>stora spännvidder i kombination med liten bergtäckning (Arlandabanan)</li> <li>plattformrum med stora spännvidder (bergtäckningen &gt;20 m) (Citybanan)</li> </ul>
Bergtäckning	<ul style="list-style-type: none"> <li>liten/ingen bergtäckning (Södra Länken)</li> <li>liten bergtäckning (Namntalstunneln och Björnböletunneln)</li> <li>liten/ingen bergtäckning (Norra länken: NL22, NL 33, NL 34)</li> <li>liten/ingen bergtäckning (Stäkettunneln)</li> </ul>
Avstånd till befintliga byggnader och byggnadsverk	<ul style="list-style-type: none"> <li>närhet till terminal och landningsbanor (Arlandabanan)</li> <li>korsningar med närliggande tunnlar (Södra Länken, Citybanan, NL 33)</li> <li>närliggande byggnader och broar (Citybanan)</li> <li>passage under Hasselbladshuset (liten bergtäckning/påslag, vibrationer) (Götatunneln)</li> <li>Rosenlundshuset (liten bergtäckning, risk för skador på fastigheter pga grundvattenförhållanden) (Götatunneln)</li> </ul>
Omgivningsförhållanden	<ul style="list-style-type: none"> <li>risk för vattengenombrott (åar, kanaler) (Citytunneln: Tvärtunnlar)</li> <li>passage under Stora Hamnkanalen (liten bergtäckning/dåligt berg) (Götatunneln)</li> </ul>

### 4.3 Säkerhetsklass

Val av säkerhetsklass skall utföras av projektören i samråd med byggherren samt utgå från BFS 2010: 28 eller VVFS 2009:19.

### 4.4 Beräkning av laster

Vid bergkonstruktioner är lastbegreppet komplicerat eftersom bergmassan i de flesta fall både utgör last och bärande konstruktion. För en bergtunnel eller ett bergrum består dessutom oftast det bärande huvudsystemet av en samverkanskonstruktion mellan bergmassan och förstärkningselementen.

<sup>1</sup> Geoteknisk klass enligt BKR.

Last från berget och grundvattnet innan berguttag fås i förekommande fall från fält- och laboratorieundersökningar.

Med påförda laster menas laster som överförs direkt eller indirekt från konstruktionsdel till det bärande huvudsystemet. Dessa laster bestäms enligt SS-EN 1991.

## 4.5 Kontroll av gränstillstånd

Kontroll av brottgränstillstånd innebär att gränstillstånd som berör människors säkerhet och/eller berganläggningens säkerhet ska kontrolleras (SS- EN 1990). Det kan även gälla gränstillstånd som berör skydd av innehåll i berganläggningen.

För berganläggningar ska följande brottgränstillstånd verifieras där de är relevanta:

- STR – brott eller stora deformationer i det bärande huvudsystemet i vilka hållfastheten och/eller styvheten hos förstärkningselementen har betydelse för bärförmågan.
- GEO – brott eller stora deformationer i det bärande huvudsystemet, där hållfastheten och/eller styvheten hos bergmassan har betydelse för bärförmågan.

Kontroll av bruksgränstillstånd innebär att gränstillstånd som berör berganläggningens funktion vid normal användning, människors välbefinnande eller berganläggningens utseende ska kontrolleras (SS-EN 1990).

### 4.5.1 Dimensionering genom beräkning

Dimensionering genom beräkningar kan utgöras av analytiska-, halvempiriska- eller numeriska modeller. Beräkningsmodellerna kan innefatta både oförstärkta och förstärkta situationer.

Enligt SS-EN 1990 bör dimensionering utföras med partialkoefficientmetoden, men kan även utföras genom sannolikhetsteoretiska metoder.

#### Partialkoefficientmetoden

För de beräkningsmetoder där last och bärförmåga kan särskiljas kan partialkoefficientmetoden användas. Vid dessa fall bör Dimensioneringsätt 3 (DA 3) enligt SS-EN 1997-1 användas för dimensionering av bultar och fiberarmerad sprutbetong.

#### Sannolikhetsteoretiska metoder

BeFo har under 2010 tagit fram en rapport som ger en nulägesbeskrivning av de möjligheter för sannolikhetsbaserade numeriska analyser som finns tillgängliga och illustrerar dessa med några fallstudier. (Andersson, 2010).

#### Halvempiriska modeller

Exempel på halvempiriska modeller kan vara den praxis och tillämpning som används vid dimensionering av bergbultar enligt Bjurström & Heimersson (1975) eller Holmberg (1992).

#### Numeriska beräkningar

I Banverkets Handbok för Projektering av bergtunnlar (BVH 1585.36) redovisas tillämpningen av numeriska beräkningar.

### 4.5.2 Dimensionering genom hävdvunna åtgärder

Dimensionering genom hävdvunna åtgärder kan användas:



- då dokumenterad erfarenhet finns av denna metod för liknande bergkonstruktion och det föreligger små risker med överskridande av gränstillstånd,
- som ett komplement till Dimensionering genom beräkningar eller tillsammans med Observationsmetoden.

Med dimensionering genom hävdvunna åtgärder avses, enligt TD Grunder, att dimensioneringen utförs genom användandet av konservativa utformningar:

- med betryggande säkerhet mot brott,
- baserade på konventionella metoder och
- baserade på tidigare erfarenhet.

Exempel på konventionella metoder att användas vid dimensionering av bärande huvudsystemet ges av Banverkets Handbok för Projektering av bergtunnlar (BVH 1585.36).

Andra exempel på hävdvunna åtgärder är klassificeringssystem, till exempel Q-index, samt jämförelse med närliggande liknande undermarksprojekt.

### **4.5.3 Observationsmetoden**

Observationsmetoden är lämplig att använda när det är svårt att förutsäga det geotekniska beteendet inklusive tättningsresultat.

För ytterligare information om observationsmetoden hänvisas till Tillämpningsdokument Observationsmetoden (IEG rapport 9:2010).

## 5 Kontroll av geotekniska förhållanden, utförande och det bärande huvudsystemet beteende samt det bärande huvudsystemets tillstånd

### 5.1 Allmänt

Enligt SS-EN 1997-1 ska kontroll av utförande, uppföljning och underhåll genomföras. För bergtunnlar tolkas detta motsvara kontroll av bergtekniska förhållanden, kontroll av utförande och kontroll av det bärande huvudsystemets beteende samt uppföljning av det bärande huvudsystemets tillstånd.

### 5.2 Kontroll och uppföljning

Omfattningen av de kontroller och uppföljningar som ska utföras ska specificeras i Geotekniska dimensioneringsrapport Berg. SS-EN 1997-1 använder benämningen Kontrollplan för denna specificering. Eftersom begreppet Kontrollplan används redan i Sverige som den handling som Entreprenören upprättar för varje enskilt ämnesområde/teknikslag, så avses kontrollplan i SS-EN 1997-1 att motsvara en handling som dokumentera den kontroll och uppföljning som ska utföras.

För att harmonisera med Boverkets föreskrifter om ändring i verkets föreskrifter och allmänna råd (2008:8) om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder), EKS 7 (BFS 2010: 28) bör kontrollerna utföras som grundkontroll och tilläggskontroller.

Med grundkontroll avses i EKS 7 den generella kontrollen av material, produkter och arbetsutförande. Med tilläggskontroll avses i EKS7 den specifika kontroll som ska ske av

- konstruktionsdetaljer som har avgörande betydelse för konstruktionens bärförmåga, stadga eller beständighet,
- konstruktionsdetaljer med speciellt utförande samt
- påverkan på omgivningen.

Grundkontroller anges i de standarder och andra regelverk (tex AMA) som åberopas i respektive projekt medan tilläggskontroller bör omfatta objektsanpassad kontroll av konstruktionens bärförmåga, stadga, beständighet och täthet samt inverkan på omgivningen.

#### 5.2.1 Dimensioneringskontroll

Dimensioneringskontrollen utförs enligt SS-EN 1997-1 för GK 2. Tilläggskontroll av geokonstruktioner i GK 3 ska utföras enligt reglerna för GK 2 samt att egenkontrollen ska kompletteras med kontroll utförd av en oberoende granskare (IEG Rapport 2:2008).

Observera att det kan vara flera personer beroende på vad som ska granskas; stabilitet, injektering, vibrationer etc. Den oberoende granskaren bör ha dokumenterad kompetens för avsedd granskning.

I TD Grunder anges syftet med en oberoende granskare samt vilket ansvar och befogenheter den oberoende granskaren har.

#### 5.2.2 Kontroll av geotekniska förhållanden

Bergmassan och dess egenskaper ska kontrolleras under utförandet enligt SS-EN 1997-1, vilket ska ses som en grundkontroll. Detta ska utföras av en geolog eller en bergsakkunnig person genom kartering av bergytan.

Tilläggskontrollen kan vara att utföra kompletterande undersökningar/laborationstester för att verifiera indata till dimensioneringen (tex antagna bergspänningar). Resultat från sonderingshål/injekteringshål/salvhål kan även användas som hjälp vid tolkning av bergförhållandena.

Grundkontrollen utgörs även kontroll av grundvattenförhållandena enligt SS-EN 1997-1.

### 5.2.3 Utförandekontroll

Utförandet på arbetsplatsen ska enligt SS-EN 1997-1 kontrolleras för att utvärdera om det överensstämmer med material- och utförandekrav som antagits vid dimensioneringen. Detta kan till exempel vara:

- kontroll av utförd bergförstärkning,
- kontroll av utförd injektering,
- vibrationsmätningar och
- inmätning av bergkontur.

Grundkontrollen anges i de standarder och regelverk som åberopas i respektive projekt.

För utförande av sprutbetong, injektering och förankringar finns, vid tryckning av detta tillämpningsdokument, följande utförandestandarder, se Tabell 5-1, utgivna. För aktuella standarder hänvisas till SIS, Swedish Standards Institute.

**Tabell 5-1. Utförandestandarder**

SS-EN 14487:2	Sprutbetong - Del 2: Utförande
SS-EN 12715	Utförande av geokonstruktioner – Injektering
SS-EN 1537	Utförande av geokonstruktioner – Förankringar

Standarder relaterade till bergguttar genom sprängning anges i Tabell 5-2. Utöver dessa finns även en Swebrec-rapport som är tänkt att ge riktlinjer för vad som är viktigt att tänka på vid design av en tunnel och speciellt med tanke på god konturhållning och att kunna reducera skadezonen (Olsson, 2010).

**Tabell 5-2. Standarder kopplade till sprängningsarbete**

SS 25210	Vibration och stöt - Sprängningsinducerade luftstöt vågor - Riktvärden för byggnader
SS 4604860	Vibration och stöt - Syneförrättning - Arbetsmetod för besiktning av byggnader och anläggningar i samband med vibrationsalstrande verksamhet
SS 4604866	Vibration och stöt - Riktvärden för sprängningsinducerade vibrationer i byggnader

Omfattningen av kontroll och uppföljning av förankringar bör följa SS-EN 1537. För ytterligare information om förankringar hänvisas till Tillämpningsdokument Förankringar (IEG rapport 7:2010).

Omfattningen av kontroll av sprutbetong bör följa SS-EN 14487-1 och SS-EN 14488. Kontrollerna omfattar både kontroll av ingående material och kontroll av sprutbetongens egenskaper/beteende.

I Tabell 5-3 listas ett antal relevanta provningsstandarder för sprutbetong.

**Tabell 5-3 Relevanta standarder för provning av sprutbetong**

SS-EN 14845-1	Provning av fibrer för betong - Del 1: Referensbetong
SS-EN 14845-2	Provning av fibrer för betong - Del 2: Inverkan på betong
SS EN 14487:1	Sprutbetong - Del 1: Definitioner, specifikationer och kriterier för överensstämmelse
SS-EN 14488-1	Provning av sprutbetong - Del 1: Provtagning av färsk och hårdnad betong
SS-EN 14488-2	Provning av sprutbetong - Del 2: Tryckhållfasthet hos ung sprutbetong
SS-EN 14488-3	Provning av sprutbetong - Del 3: Böjdraghållfasthet (sprick-, maximal- och residualhållfasthet) hos fiberarmerade provbalkar
SS-EN 14488:4	Provning av sprutbetong - Del 4: Vidhäftningshållfasthet genom dragprovning av borrkärnor
SS-EN 14488-5	Provning av sprutbetong - Del 5: Energiupptagande förmåga hos fiberarmerade provplattor
SS-EN 14488-6	Provning av sprutbetong - Del 6: Tjockleksmätning
SS-EN 14488-7	Provning av sprutbetong - Del 7: Fibermängd hos fiberarmerad betong
SS-EN 14889-1	Fibrer för betong - Del 1: Stålfibrer - Definitioner, specifikationer och överensstämmelse
SS-EN 14889-2	Fibrer för betong - Del 2: Polymerfibrer - Definitioner, specifikationer och överensstämmelse

### 5.3 Kontroll av det bärande huvudsystemets beteende

Kontroll av det bärande huvudsystemet bör utföras för att verifiera att det beter sig på förväntat sätt.

Exempel på kontroller är:

- deformationsmätningar,
- mätningar av belastning eller deformationer i förstärkningselement,
- bergspänningsmätningar
- mätning av uppnådd täthet och
- visuella inspektioner.

### 5.4 Underhåll

Uppföljningen i förvaltningsskedet ska dokumenteras i en Drift och underhållsplan, där omfattningen av uppföljning av det bärande huvudsystemets tillstånd utgör en liten del.

Kontroll av det bärande huvudsystemets tillstånd bör utföras för att garantera funktion och säkerheten.

Kontrollerna kan till exempel utgöras av:

- visuella inspektioner,
- skrotningssatsar och
- bomknackning.

Omfattningen av detta ska specificeras för beställaren.

## 6 Dokumentation

### 6.1 Allmänt

IEG har tagit fram ett tillämpningsdokument för dokumenthantering (IEG Rapport 4:2008) utifrån SS-EN 1997-och SS-EN 1997-2. Detta tillämpningsdokument förtydligar Eurokoderna men också anknyter till svenska dokument som också fortsättningsvis kommer att gälla. Tillämpningsdokument Dokumenthantering gäller främst geotekniska arbeten men skall också vara applicerbara på t ex miljötekniska, bergtekniska och hydrogeologiska utredningar.

I detta kapitel beskrivs de kompletteringar som gäller för bergtekniska utredningar

### 6.2 Förundersökningsrapport Berg

Vid bergbyggande används inte benämningen Markteknisk undersökningsrapport/Bergteknik utan istället används benämningen Förundersökningsrapport Berg.

Förundersökningsrapport Berg innehåller faktaredovisningen av alla utförda fält- och laboratoriearbeten samt en dokumentation av de metoder som används. Krav och rekommendationer avseende förundersökningens innehåll anges i SS-EN 1997-1. Utöver detta bör rapporten omfatta följande:

- Information om läge, grundläggning och konstruktion samt om möjligt observationer från utförandet av befintliga anläggningar, byggnader, gator och vägar såväl ovan som under jord.
- Tidigare dokumenterad geologisk, geoteknisk och hydrogeologisk information, tex information från kartor. Endast faktiska undersökningsresultat från tidigare dokumenterad information får användas som underlag.
- Information om undersökningsmetodernas noggrannhet, säkerhet och räckvidd.
- Uppgift om planerad bergtunnel/bergrum.

### 6.3 Geoteknisk dimensioneringsrapport Berg

SS- EN 1997-1 beskriver råd och principer kring Geoteknisk dimensioneringsrapport. I TD Grunder benämns denna rapport som Projekterings-PM. I TD Bergtunnel används benämningen Geoteknisk dimensioneringsrapport Berg. Dimensioneringsrapporten ska dels dokumentera genomfört projekterings- och dimensioneringsarbete, dels att meddela andra projektörer och berörda uppgifter och annat för deras arbete i de olika skedena av projektet (jmf Projektterings-PM i TD Grunder).

Geoteknisk dimensioneringsrapport Berg kan vara en utredningshandling, beslutsunderlag, sammanställning av utförda kontroller, beräkningar m m. Geoteknisk dimensioneringsrapport Berg är inte en styrande handling för ett utförande utan enbart en promemoria.

Enligt SS-EN 1997-1 ska antaganden, data, beräkningsmetoderna och resultat av kontrollen av säkerhet och brukbarhet (dvs kontroll av gränstillstånden) anges i dimensioneringsrapporten. Geoteknisk dimensioneringsrapport Berg ska vid dimensionering av bergtunnlar och bergrum behandla berguttag, förstärkning, injektering, inklädnader mm där det är tillämpligt. Detta kan redovisas i ett eller flera deldokument beroende på omfattningen av projektet.

Enligt SS-EN 1997-1 bör Geoteknisk dimensioneringsrapport Berg innehålla en hänvisning till geotekniska undersökningen och till andra dokument som innehåller ytterligare detaljer. Exempel på ett sådant dokument är Ingenjörsgelogisk prognos.

Enligt SS-EN 1997-1 ska Geoteknisk dimensioneringsrapport Berg även innehålla de kontroller och den uppföljning som ska göras under och efter byggskedet. Detta redovisas med fördel som ett eget dokument eftersom det ska överlämnas till beställaren.

### **6.3.1 Ingenjörsgelogisk prognos**

I samband med dimensionering av bergtunnlar och bergrum ska en Ingenjörsgelogisk prognos upprättas. Den innehåller tolkningen av de bergförhållanden som förekommer för den specifika tunneln.

Den ingenjörsgelogiska prognosen bör minst innehålla antaganden och tolkningar om följande:

- markytans läge
- bergytans läge
- bergarter och bergartsgränser
- strukturer
- sprickgrupper
- sprick- och krosszoner
- bergmassans hydrauliska konduktivitet
- bergmassans kvalitet enligt vedertaget klassificeringssystem
- sprickfrekvens
- sprickfyllnad med angivna material
- mekaniska egenskaper för förekommande bergarter respektive sprickor
- sprickgruppers samt sprick- och krosszoners strykning och stupning
- vittring
- bergspänningsförhållande (in situ-spänningar)
- bergmekaniska hållfasthet- och deformationsegenskaper

## 7 Referenser

### 7.1 Standarder

- SS-EN 1990, Eurokod: Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk, SIS
- SS-EN 1991, Eurokod 1: Laster på bärverk - Del 1-1: Allmänna laster - Tunghet, egentyngd, nyttig last för byggnader, SIS
- SS-EN 1992-1-1, Eurokod 2: Dimensionering av betongkonstruktioner - Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader, SIS
- SS-EN 1993-1-1, Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner - Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader, SIS
- SS-EN 1997-1, Eurokod 7: Dimensionering av geokonstruktioner - Del 1: Allmänna regler, SIS
- SS-EN 1997-2, Eurokod 7: Dimensionering av geokonstruktioner - Del 2: Markundersökning och provning, SIS
- SS-EN 14845-1, Provning av fibrer för betong - Del 1: Referensbetong, SIS
- SS-EN 14845-2, Provning av fibrer för betong - Del 2: Inverkan på betong, SIS
- SS-EN 14487:1, Sprutbetong - Del 1: Definitioner, specifikationer och kriterier för överensstämmelse, SIS
- SS-EN 14488-1, Provning av sprutbetong - Del 1: Provtagning av färsk och hårdnad betong, SIS
- SS-EN 14488-2, Provning av sprutbetong - Del 2: Tryckhållfasthet hos ung sprutbetong, SIS
- SS-EN 14488-3, Provning av sprutbetong - Del 3: Böjdraghållfasthet (sprick-, maximal- och residualhållfasthet) hos fiberarmerade provbalkar, SIS
- SS-EN 14488:4, Provning av sprutbetong - Del 4: Vidhäftningshållfasthet genom dragprovning av borrkärnor, SIS
- SS-EN 14488-5, Provning av sprutbetong - Del 5: Energiupptagande förmåga hos fiberarmerade provplattor, SIS
- SS-EN 14488-6, Provning av sprutbetong - Del 6: Tjockleksmätning, SIS
- SS-EN 14488-7, Provning av sprutbetong - Del 7: Fibernmängd hos fiberarmerad betong, SIS
- SS-EN 14889-1, Fibrer för betong - Del 1: Stålfibrer - Definitioner, specifikationer och överensstämmelse, SIS
- SS-EN 14889-2, Fibrer för betong - Del 2: Polymerfibrer - Definitioner, specifikationer och överensstämmelse, SIS

SS-EN 14487:2, Sprutbetong - Del 2: Utförande, SIS

SS-EN 12715, Utförande av geokonstruktioner – Injektering, SIS

SS-EN 1537, Utförande av geokonstruktioner – Förankringar, SIS

SS-EN ISO 14689-1, Geoteknisk undersökning och provning - Identifiering och klassindelning av berg, SIS

## 7.2 Föreskrifter

VV Publ. 2004:124, Vägverkets allmänna tekniska beskrivning för nybyggande och förbättring av tunnlar: Tunnel 2004, Vägverket

VVFS 2009:19, Vägverkets föreskrifter om ändring i föreskrifterna (VVFS 2004:43) om tillämpningen av europeiska beräkningsstandarder, Vägverket

BFS 2010: 28, EKS 7, Boverkets föreskrifter om ändring i verkets föreskrifter och allmänna råd (2008:8) om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder), Boverket

## 7.3 IEG-rapporter

IEG Rapport 6:2006, Bergtunnel 07:1, Eurokod 7 i jämförelse med BV Tunnel och Tunnel 2004, Fas 1, IEG

IEG Rapport 2:2008 rev 2, Tillämpningsdokument Grunder, IEG

IEG Rapport 3:2008, Bergtunnel. Fas 2, IEG

IEG Rapport 4:2008, Tillämpningsdokument Dokumenthantering, IEG

IEG Rapport 9:2010, Tillämpningsdokument Observationsmetoden, IEG

IEG Rapport 7:2010, Tillämpningsdokument Förankringar, IEG

## 7.4 Övrig litteratur

Andersson, C., 2010, Sannolikhetsbaserad design av bergkonstruktioner – En översikt av numeriska möjligheter, BeFo Rapport 100

Bjurström S. & Heimersson M., 1975, Bergbultning. Dimensionering, praxis och tillämpningar. Rapport nr 8 BeFo.

Boverket, 2003, Regelsamling för konstruktion - Boverkets konstruktionsregler, BKR byggnadsverkslagen och byggnadsverksförordningen.

BVH 1585.36, 2009, Projektering av bergtunnlar, Banverket

Holmberg M., 1992, Ingjutna bultars verkningsätt – Teoriutveckling och jämförelse med försöksdata, BeFo 235:2/92, G2000 92:31, BeFo 1992.



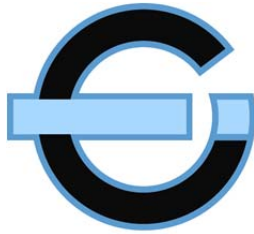
Olsson M., 2010, Guidance document for tunnel blast design with focus to minimize damage zone, Swebrec, ISSN 1653-5006

Stille H. & Palmström A., 2003, Classification as a tool in Rock Engineering, Tunnelling and Underground space technology, Vol. 18, 2003, pp. 331-345.

TR-08-05, 2008, Site description of Forsmark at completion of the site investigation phase, SDM-Site Forsmark, SKB

TR-09-01, 2009, Site description of Laxemar at completion of the site investigation phase, SDM-Site Laxemar, SKB

ISRM Suggested Methods – se vidare på [www.isrm.net](http://www.isrm.net)



## Implementeringskommissionen för Europastandarder inom Geoteknik

### IEG

IEG är en ideell förening, under ingenjörsvetenskapsakademins, IVA, hägn, som har till uppgift att initiera, samordna och utföra arbete som krävs för implementering av Europastandarder inom Geoteknikområdet, vilka inom de närmaste åren enligt EU-direktiv och lagen om offentlig upphandling kommer att ersätta och komplettera stora delar av dagens svenska geotekniska regelverk. Syftet är också att säkerställa att det tas fram nödvändiga hjälpmedel i form av anpassade tillämpningsdokument o. dyl.

### Utgivna rapporter

- 1:2005 Eurokoder och Europastandarder. Vad kan man skriva i Nationella Tillämpningsregler till olika Geotekniska Standarder?
  - 1:2006 Sammanställning av standarder och närliggande dokument
  - 2:2006 EN 1997-1, Grunder, Fas 1
  - 3:2006 EN 1997-1 Kapitel 6, Plattgrundläggning, Fas 1
  - 4:2006 EN 1997-1 Kapitel 8–9, Stödkonstruktioner, Fas 1
  - 5:2006 Bergtunnel
  - 6:2006 EN 1997-1 Kapitel 7, Pålgrundläggning, Fas 1
  - 7:2006 EN 1997-1, Grunder, Fas 2
  - 8:2006 EN 1997-1 Kapitel 6, Plattgrundläggning, Fas 2
  - 9:2006 Fältmetoder dynamisk sondering, Fas 1
  - 10:2006 EN 1997-1, Geoteknisk data, Fas 1
  - 11:2006 Stödkonstruktioner, Betaberäkningar
  - 1:2007 EN 1997-1, kapitel 10 och 11, Slänter och bankar, Fas 1
  - 2:2007 Geoteknisk kategori
  - 3:2007 Fältmetoder dynamisk sondering, underlag nationell bilaga
  - 4:2007 EN 1997-1, kapitel 10 och 11, Slänter och bankar, Fas 2
  - 5:2007 Hantering av geoteknisk data
  - 6:2007 EN 1997-1 Kapitel 7, Pålgrundläggning, Fas 2
  - 7:2007 Konsekvens analys EN 1997-2
  - 1:2008 EN 14688 Klassificering
  - 2:2008 Tillämpningsdokument - Grunder EN 1997
  - 3:2008 Bergtunnel, fas 2
  - 4:2008 Tillämpningsdokument – Dokumenthantering
  - 5:2008 EN 22475-1 Provtagning och grundvattenmätning
  - 6:2008 Tillämpningsdokument – EN 1997-1 kapitel 10 och 11, Slänter och bankar
  - 7:2008 Tillämpningsdokument – EN 1997-1 kapitel 6, Plattgrundläggning
  - 8:2008 Tillämpningsdokument – En 1997-1 kapitel 7, Pålgrundläggning
  - 1:2009 EN 1997-1 Kapitel 8, Stödkonstruktioner, Fas 2
  - 2:2009 Tillämpningsdokument – EN 1997-1 kapitel 8 stödkonstruktioner
  - 3:2009 Vägledning för tillämpning av Skredkommissionens rapport 3:95 och 2:96 i enlighet med Eurokod. Fas 1 Frågeställningar
  - 1:2010 EN 1997-2, Marktekniska undersökningar i fält och laboratorie – fas 2 konsekvensanalys
  - 2:2010 Rapportering av geotekniska fältundersökningar (jord) – omfattning och fältprotokoll
  - 3:2010 Klassificering (jord) enligt SS-EN ISO 14688-1 och 2. Konsekvenser och förslag till åtgärder
  - 4:2010 Tillståndsbedömning/klassificering av naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse och anläggningar. Vägledning för tillämpning av Skredkommissionens rapporter 3:95 och 2:96
  - 5:2010 Tillämpningsdokument Bergtunnel och Bergrum
  - 6:2010 Observationsmetoden i geoteknik fas 1 och fas 2
  - 7:2010 Tillämpningsdokument Ankare EN 1997-1 kapitel 8
  - 8:2010 Tillämpningsdokument hantering av vatten
  - 9:2010 Tillämpningsdokument observationsmetoden inom geotekniken
  - 10:2010 Tillämpningsdokument EN 1997-2, Marktekniska undersökningar i fält och laboratorie
  - 11:2010 Tillämpningsdokument Stödmur
  - 12:2010 Tillämpningsdokument EN 14688-1
  - 13:2010 Tillämpningsdokument EN 14688-2
-