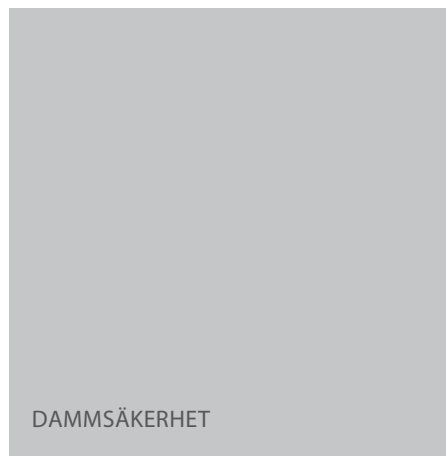
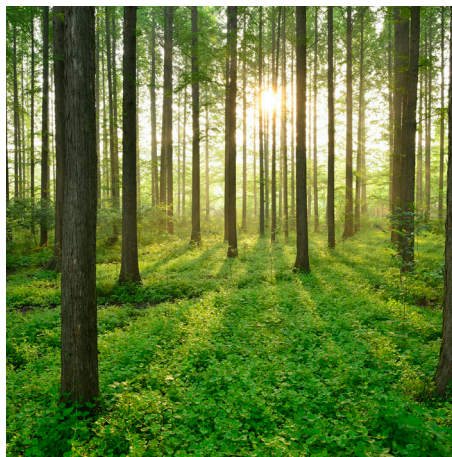
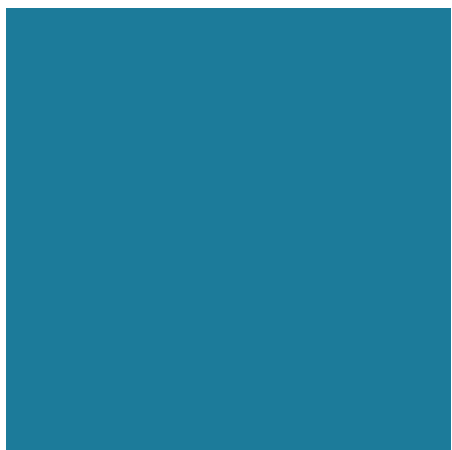


DIMENSIONERING AV FYLLNINGSDAMMAR ENLIGT EUROKOD

RAPPORT 2024:1046



DAMMSÄKERHET



Dimensionering av fyllningsdammar enligt Eurokod

Analys av skillnader mellan utkast för Eurokod 7 Gen. 2
och RIDAS

GABRIELLA MOLINDER, ANDERS SAGEMO
INGVAR EKSTRÖM

ISBN 978-91-89919-46-4 | © Energiforsk september 2024

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Eurokod är Europas gemensamma dimensioneringsregler för bärverk till byggnadsverk. Eurokoderna tas fram på uppdrag av Europeiska kommissionen och Europeiska frihandelssammanslutningen (EFTA). De myndigheter som ansvarar för bygglagstiftningen i EU-länderna är ålagda att anpassa sina regler så att Eurokoderna kan användas och att dra tillbaka alla motstridiga standarder.

I den första och nuvarande generationen av Eurokod är speciella typer av byggnadsverk så som kärnkraftverk, väldigt höga byggnader och dammar undantagna. I Generation 2 av Eurokod, som beräknas träda i kraft 2025, är det undantaget borttaget och koden ska då omfatta även dammar.

Enligt miljöbalken har dammägare i Sverige ett strikt ansvar för dammens utformning och säkerhet och staten ställer inga specifika krav på exakt säkerhetsnivå eller beräkningsgång för hur den uppnås. I Eurokod (och regelverket för byggnadsverk) är det tvärtom. Här krävs både säkerhetsnivå och hur den säkerhetsnivån ska uppnås.

I Sverige regleras tillämpningen av Eurokoder i Plan och bygglagen och genom Transportstyrelsen (vägar och järnvägar) och Boverkets (övriga byggnadsverk) föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av eurokoder.

Implementeringskommissionen För Europastandarder Inom Geoteknik 2.0 (IEG 2.0) är en ideell förening som har till uppgift att initiera, samordna och utföra det arbete som krävs för implementering av Eurokoder inom Geoteknikområdet. IEG beslutade under 2023 att genomföra projektet "Tillämpning av Eurokod 7 generation 2, på fyllningsdammar" vars syfte är att tydliggöra vilka delar av Eurokod som förväntas ha en betydande påverkan på utformningen av svenska dammar och deras grundläggning vad avser geotekniska tillämpningar.

Den här rapporten finns tillgänglig hos IEG också och projektet har samfinansierats av IEG och Energiforsks Dammsäkerhetstekniska forskningsprogram. Utförare har varit Ingvar Ekström, Gabriella Molinder och Anders Sagemo från Sweco. Referensgruppen har bestått av Fredrik Johansson (Kungliga Tekniska Högskolan), Peter Viklander (Vattenfall), Rikard Hellgren (Svenska Kraftnät), Daniel Sjöstedt (Skellefteå Kraft), Carl-Oskar Nilsson (Uniper), Sven Knutsson (Svemin), Dan Lundell (Tailings Consultants Scandinavia AB).

Här behöver du som forskare inte skriva något. Ett förord tas fram av Energiforsk eller den som beställt projektet, när rapporten är klar.

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Sammanfattning

I generation två av Eurokod som beräknas träda i kraft 2025 inkluderas även konstruktioner som tidigare exkluderats, däribland dammar. Syftet med detta projekt har varit att identifiera vilka riktlinjer som finns i Eurokod som berör fyllningsdammar, deras dämmande, filtrerande och stabiliserande funktion, deras grundläggning, samt vilka skillnader som finns mellan utkastet för Eurokod 7 och nuvarande praxis i Sverige för design och uppförande av fyllningsdammar (RIDAS). Målet har varit att sammanställa de skillnader som finns och värdera dessa. Avsikten är att identifiera vilket behov som finns av kompletteringar i Eurokod, eller i vilken omfattning nationella undantag är erforderliga för att säkerställa att dammsäkerheten bibehålls på en minst lika hög nivå som idag. Som fallstudie har dimensionering av en damm med Eurokod 7 genomförts.

Rapporten innehåller en översiktlig genomgång av de riktlinjer för design av en fyllningsdamm som beskrivs i RIDAS Tillämpningsvägledning 9 Fyllningsdammar, samt de motsvarigheter som finns i Eurokod 7, generation 2. Skillnaderna mellan Eurokod och RIDAS har därefter kategoriserats på en översiktlig skala utifrån deras bedömda inverkan på dammsäkerheten som en projektering utgående från Eurokod skulle få jämfört med RIDAS. Följande indelning av designkraven jämfört med RIDAS har gjorts:

- Saknas – Eurokod saknar riktlinjer för konstruktionen.
- Annorlunda – Eurokods metod skiljer sig från RIDAS, men en säker, funktionell och robust fyllningsdamm erhålls.
- Otillräckliga – Eurokod säkerställer inte tillräcklig säkerhet, funktion eller robusthet i en fyllningsdamm. Motstridigheter eller oklarheter ger otillräcklig styrning.
- Bristfälliga – Eurokod tillåter olämplig teknik och medför vid tillämpning att en sämre konstruktion riskerar att erhållas.
- Oacceptabla – Tillämpning av Eurokod får orimliga konsekvenser för fyllningsdammen

Skillnaden mellan Eurokod och RIDAS ligger främst i att Eurokod är ett översiktligt regelverk medan RIDAS i huvudsak är en designhandbok. Den vanligaste skillnaden mellan Eurokod och RIDAS som identifierats är därför att uppgift saknas i Eurokod.

Eftersom RIDAS redan är en omfattande, uppdaterad och etablerad designhandbok för dammar i Sverige är det lämpligt att RIDAS även i fortsättningen används som tillämpningsvägledning för fyllningsdammar. Vissa anpassningar av RIDAS kommer dock att krävas för att dokumentet ska harmonisera med Eurokod.

Ett antal punkter i jämförelsen mellan Eurokod och nuvarande praxis för design av fyllningsdammar i Sverige (RIDAS) har identifierats där skillnaden har bedömts som otillräcklig eller farlig om direktiven i Eurokod följs. För dessa punkter, som samtliga berör fyllningsdammens filtrerande funktion, behövs nationella tillägg till

Eurokod för att förhindra att oacceptabla svagheter byggs in i dammkonstruktionen.

Följande områden med behov av ytterligare analys har identifierats:

- Utförligare kontrollberäkningar av stabilitet för olika typer av fyllningsdammar och belastningsfall där skillnaderna mellan beräkningsmetodiken i Eurokod och RIDAS tydliggörs. De inledande beräkningarna visar att utfallet av jämförelsen blir olika beroende på vilken konstruktion som belyses under vilka förhållanden, varför det utan att utföra ett flertal olika kontroller är svårt att avgöra konsekvensen av skillnaderna i beräkningsmetodik.
- Förtydligande av dimensioneringssituationer ("design situations") och deras koppling till relevanta belastningsfall för fyllningsdammar, samt översyn av möjligheten att justera partialsäkerhetsfaktorn för extrema belastningsfall (t.ex. i den nationella bilagan).
- Förtydligande av begreppet påverkansområde ("zone of influence") och dess definition för en damm. Detta då grundvattenytan normalt påverkas inom mycket stora områden både upp- och nedströms vid dämning, vilket gör att direktiven i Eurokod kan tolkas som att orimligt omfattande kontroller behöver genomföras.
- Översättningstabell (eller annan vägledning) för vilken konsekvensklass enligt Eurokod (CC) fyllningsdammar i olika dammsäkerhetsklasser (enligt RIDAS) ska tillhöra.
- Nationell praxis för hantering av geokonstruktioner i konsekvensklass CC4.

Nyckelord

Eurokod 7, Eurocode, RIDAS, Fyllningsdammar, Dammsäkerhet, Dammkonstruktion, Riktlinjer, Tillämpningsvägledning

Summary

In generation 2 of Eurocode 7, which is to be introduced in 2025, special construction types that previously were excluded, as dams and nuclear installations, are also to be covered by the code. This report identifies what guidance there is in Eurocode that concerns embankment dams and their water retaining, filtrating, and stabilizing function, their foundation, as well as what discrepancies there are between Eurocode and current practice in Sweden for the design and construction of embankment dams (according to RIDAS). Where Eurocode and RIDAS do not align, the differences have been identified and ranked according to importance to ensure continued good national dam safety practice also after Eurocode is introduced. The need for additions to Eurocode has been clarified, and what national exceptions are required to ensure that dam safety is maintained at least at the same level as today. To better illustrate the differences and potential weaknesses for embankment dams in the current Eurokod, a case study has been carried out, in which an embankment dam has been designed according to Eurokod 7.

The report describes the design principles of an embankment dam according to 'RIDAS Tillämpningsvägledning 9' and compare that to the equivalent rules given in Eurocode. The differences between the codes have then been categorized and rated based on their assessed influence on the dam safety, depending on the dam having been designed according to RIDAS or according to Eurocode. The importance of the identified differences has been rated according to the following scale:

- | | |
|----------------|--|
| • Missing | Eurocode lacks guidelines for the design segment |
| • Different | Eurocode differs from RIDAS, but the final product is safe, functional, and robust |
| • Inadequate | Eurocode does not ensure adequate safety, function, or robustness. Contradictions or ambiguities lead to inadequate guidance in the design process |
| • Deficient | Eurocode allows for unsuitable technology or design solutions which may result in an inferior construction not meeting current national standards |
| • Unacceptable | Application of Eurocode has unacceptable consequences for the dam safety |

Primarily, the difference between Eurocode and RIDAS is that Eurocode is a compilation of regulations, while essentially RIDAS is a design manual, giving extensive guidance how to design a dam. The most common difference between Eurocode and RIDAS is therefore that guidance is lacking in Eurocode.

Since RIDAS is a comprehensive and fully implemented design manual for dams used by the hydro industry in Sweden, it is suggested that RIDAS continues to be used as design manual for embankment dams. However, some adaptations of RIDAS are required to harmonize with Eurocode.

In the comparison made in the report, several differences have been identified in which following the regulation in Eurokod would mean diverting from good dam safety practice. In these cases, which all concern the filtering/draining function of the embankment dam filter zone, additional information in the national annex to Eurocode is required to prevent unacceptable weaknesses in the dam.

The following areas in need of further analysis have been identified:

- The influence on the stability safety factor as a result from the different calculation methodologies in RIDAS and Eurocode. Initial calculations indicate that it is difficult to determine the consequence of the differences in calculation methodology without analyzing several different types of embankment dam designs for several different loading conditions.
- Clarification of the “design situations” and how they relate to relevant loading cases for embankment dams, as well as reviewing the possibilities of adapting the partial safety factor for extreme loading cases (potentially in the national annex).
- Clarification of the term “zone of influence” and its definition for a dam construction. This is because normally the groundwater surface is affected in very large areas both upstream and downstream the dam when impounding the reservoir, which means that Eurocode can be interpreted as requiring unreasonably extensive area investigations.
- A translation table (or other guidance) to clarify what consequence class in Eurocode (CC) corresponds to which in RIDAS.
- A national practice for design criteria for geo constructions in consequence class CC4.

Innehåll

1	Inledning och omfattning	10
1.1	Projektopplägg	10
1.2	Syfte	12
1.3	Omfattning och avgränsningar	12
1.4	Utförare	13
1.5	Underlag	13
2	Metodik	15
3	Bakgrund	16
3.1	Styrande regelverk	16
3.2	Dimensionering enligt RIDAS	16
3.2.1	Uppbyggnad och omfattning	16
3.2.2	Dämmande funktion	16
3.2.3	Filtrerande funktion	17
3.2.4	Stabiliserande funktion	17
3.2.5	Kontrollerande funktion	18
3.2.6	Grundläggning och markundersökningar	18
3.3	Dimensionering enligt Eurokod 7	19
3.3.1	Uppbyggnad och omfattning	19
3.3.2	Dimensionering i gränstillstånd	19
3.3.3	Dämmande funktion	19
3.3.4	Filtrerande funktion	20
3.3.5	Stabiliserande funktion	21
3.3.6	Kontrollerande funktion	22
3.3.7	Grundläggning och markundersökningar	22
3.4	Sammanställning av skillnader	23
4	Fallstudie av fyllningsdamm "X"	26
4.1	Beskrivning av exempeldamm	26
4.2	Dimensionering enligt RIDAS	26
4.2.1	Dimensioneringsregler	26
4.2.2	Dämmande funktion	26
4.2.3	Filtrerande funktion	27
4.2.4	Stabiliserande funktion	27
4.2.5	Kontrollerande funktion	28
4.2.6	Grundläggning och markundersökningar	28
4.3	Dimensionering enligt Eurokod 7	29
4.3.1	Dämmande funktion	29
4.3.2	Filtrerande funktion	29
4.3.3	Stabiliserande funktion	30
4.3.4	Kontrollerande funktion	31

4.3.5	Grundläggning och markundersökningar	32
5	Analys	33
5.1	Uppbyggnad av regelverk	33
5.2	Jämförelser	33
5.2.1	Jämförelseskala	33
5.2.2	Dimensionering av en fyllningsdamm	33
5.2.3	Dämmande funktion	35
5.2.4	Filtrerande funktion	35
5.2.5	Stabiliserande funktion	37
5.2.6	Kontrollerande funktion	39
5.2.7	Klassificering	40
6	Slutsatser	41
7	Rekommendationer	43
7.1	Nationell tillämpning	43
7.2	Behov av kompletterande analyser	43
8	Referenser	44

1 Inledning och omfattning

1.1 PROJEKTUPPLÄGG

Denna arbetsrapport är framtagen inom ramen för IEG:s arbete i delområde B5 – dammkonstruktion.

Eurokod är gemensamma dimensioneringsregler för bärverk till byggnadsverk i Europa. Eurokoderna tas fram på uppdrag av Europeiska kommissionen och Europeiska frihandelssammanslutningen (Efta). De myndigheter som ansvarar för bygglagstiftningen i EU-länderna är ålagda att anpassa sina regler så att Eurokoderna kan användas, samt att dra tillbaka motstridiga standarder.

I den första och nuvarande generationen av Eurokod är speciella typer av byggnadsverk så som kärnkraftverk, väldigt höga byggnader och dammar undantagna. Traditionellt har fyllningsdammar i Sverige sedan 1997 dimensionerats efter RIDAS. Svenska staten har genom lagar och regelverk inte ställt specifika krav på exakt säkerhetsnivå eller utformning av dammar. I stället finns övergripande och allmänt hållna regler (bl.a. i Miljöbalken). Dammägarna har ett stort ansvar att göra vad som krävs för att säkerställa dammsäkerheten [1]. I Eurokod (och regelverket för byggnadsverk) är det tvärtom. Här krävs både säkerhetsnivå och hur den säkerhetsnivån ska uppnås.

I Generation 2 av Eurokod, som träder i kraft 2025, är undantagen borttagna och koden ska då omfatta även dammar. Detta ställer krav på att effekterna av att dimensionering av fyllningsdammar utifrån Eurokod utreds och behovet/omfattningen av nationella bilagor fastställs för att säkerställa att den nationella dammsäkerheten inte påverkas negativt.

Detta arbete leds av Implementeringskommissionen För Europastandarder Inom Geoteknik 2.0 (IEG 2.0). IEG 2.0 är en ideell förening som har till uppgift att initiera, samordna och utföra det arbete som krävs för implementering av Eurokoder inom geoteknikområdet. Föreningen har tre långsiktiga mål:

1. Säkerställa att det tas fram nödvändiga hjälpmedel i form av anpassade handböcker o. dyl.
2. Höja kunskapsnivån om standardernas innehåll.
3. Ta fram underlag till nationella bilagor.

IEG 2.0 är en samverkan mellan myndigheter, byggherrar, konsulter, entreprenörer, akademi och leverantörer. Arbetet är organiserat i tre på varandra följande delområden:

- Delområde A har till uppgift att etablera de grundläggande principerna för hantering av verifiering och dimensionering i enlighet med andra generationen av Eurokod.
- Delområde B har till uppgift att utifrån rekommendationerna från delområde A testa appliceringen av Eurokodens andra generation på konstruktioner.

- Delområde C har till uppgift att utifrån rekommendationerna, som tas fram inom ramen för delområde B och de underlag till tillämpningsdokument som erhålls från delområde A, applicera andra generationen Eurokod på projekt.

Detta projekt avser delområde B. Inom detta drivs arbetet i fem styrgrupper som ansvarar för varsin konstruktionstyp. Styrgrupp B5 Dammkonstruktion har som uppgift att genomföra konsekvensanalyser och formulera rekommendationer för verifiering av dammar (gruvdammar, vattenkraftsdammar och övriga dammar) inklusive allmänna principer för hantering av dammar samt koppling till andra regelverk. Föreliggande uppdrag avser underprojekt B5.4 Tillämpning av Eurokod 7, generation 2, version 2022.05, daterad 2022-08-29 på fyllningsdammar.

Inom B5 har tidigare två projekt genomförts:

- B5.1 Eurokodens kommande roll för svenska dammar.
- B5.2 Definition av begreppet damm.

I B5.1 gjordes ett försök att på en övergripande nivå identifiera konflikter mellan nu gällande regelverk och kommande Eurokod, samt att tydliggöra vilken legal status Eurokoderna kommer ha för svenska dammkonstruktioner. I B5.2 föreslås en definition av begreppet damm för att tydliggöra vilka konstruktioner som ska, respektive inte ska, innefattas i begreppet damm inom Eurokod och omfattas av B5:s arbete.

Under 2023 - 24 har två mer praktiska projekt genomförts:

- B5.3 Tillämpning av Eurokod 7 generation 2, på gruvdammar.
- B5.4 Tillämpning av Eurokod 7 generation 2, på fyllningsdammar.

Syftet med dessa projekt var att tydliggöra vilka delar av Eurokod som förväntas ha en betydande påverkan på utformningen av svenska dammar och deras grundläggning avseende geotekniska tillämpningar.

Fokus i projekt B5.4 var på designprocessen för fyllningsdammar och deras grundläggning. I dagsläget behandlar Eurokod i princip endast stabilitet, upptryck och grundtryck, varför gapet till att kunna vara vägledande för en komplett fyllningsdammkonstruktion bedöms vara stort.

För att kunna ge rekommendationer kring nationell tillämpning av Eurokod för fyllningsdammar behöver det fastställas vad i Eurokod som skiljer mot svensk praxis för utformning av dessa. Det behöver klarläggas att formuleringarna i Eurokod inte går emot rekommendationerna i RIDAS. Speciellt viktigt är att identifiera punkter där Eurokod leder fel jämfört med vedertagen svensk praxis och påverkar fyllningsdammen (dammsäkerheten) negativt.

Energiföretagens ståndpunkt är att införandet av Eurokod inte får sänka ambitionsnivån för dammsäkerheten i Sverige.

1.2 SYFTE

Projektets syfte är att tydliggöra de delar av Eurokod som förväntas ha en påverkan på utformningen av fyllningsdammar och deras grundläggning. I generation två av Eurokod som beräknas träda i kraft 2025 inkluderas även konstruktioner som tidigare exkluderats, däribland dammar. I syfte att ge rekommendationer kring nationell tillämpning av Eurokod för dammar aktualiseras därmed den centrala frågan: Vad i Eurokod skiljer sig mot svensk praxis för utformning av fyllningsdammar?

För att utreda detta och kunna bedöma vilket behov av nationella tillägg som kan föreligga, så utför Implementeringskommissionen för Europastandarder inom Geoteknik, Generation 2.0 (IEG 2.0) under 2023 två projekt där nästa generation av de europeiska dimensioneringsnormerna Eurokod tillämpas på svenska dammar. I det första projektet testas normerna på en svensk gruvdamm och i det andra projektet (det här föreliggande projektet) på en svensk fyllningsdamm.

Syftet med projektet är främst att identifiera:

- Vilka riktlinjer finns i Eurokod som berör fyllningsdammar?
- Vilka skillnader finns det mellan RIDAS och Eurokod?

Därefter har identifierade riktlinjer och skillnader värderats utifrån typ och allvarlighetsgrad, för att fastställa vilka kompletterande nationella regler som krävs för att Eurokod ska vara tillämpbar vid dammkonstruktion i Sverige.

Projektet är en viktig del i att tydliggöra om och hur nya europeiska dimensioneringskrav kommer påverka svenska dammar, och identifiera behov av svenska tillämpningsvägledning och framtida utvecklingsprojekt för att motverka en sänkning av ambitionsnivån för dammsäkerheten i Sverige när Eurokod införs.

Projektet genomförs som ett samfinansierat projekt av Dammsäkerhetstekniskt utvecklingsprogram inom Energiforsk och IEG 2.0, där utvecklingsprogrammets finansiering möjliggör att projektet får en bredare och djupare omfattning.

1.3 OMFATTNING OCH AVGRÄNSNINGAR

Projektet fokuserar på att studera de enskilda delarna och detaljernas tillämpning utifrån ett geotekniskt perspektiv och bedömer inte den totala/absoluta säkerhetsnivån vid projektering enligt Eurokod.

Fokus i projektet är på fyllningsdammar, deras dämmande, filtrerande och stabiliserande funktion, samt deras grundläggning.

Projektet samordnas med projekt B5:3 "Tillämpning av Eurokod 7, generation 2, på gruvdammar" för att arbeta effektivt och undvika dubbelarbete på områden med samma behov.

1.4 UTFÖRARE

Uppdraget har utförts av en projektgrupp inom Sweco Sverige, bestående av:

- Gabriella Molinder
- Anders Sagemo
- Ingvar Ekström

Som tekniskt stöd har det funnits en styr- och referensgrupp bestående av personer från Dammsäkerhetstekniskt utvecklingsprogram (DU), IEG 2.0:s styrgrupp B5 Dammkonstruktioner, samt referensgrupp Energiforsk. Gruppen har varit sammansatt av följande personer:

- Fredrik Johansson KTH (ordf. B5)
- Peter Viklander Energiföretagen, Vattenfall (ordf. DU + Ledamot B5)
- Rikard Hellgren Svk (DU + Ledamot B5)
- Daniel Sjöstedt Energiföretagen, Skellefteå Kraft (DU + Ledamot B5)
- Carl-Oskar Nilsson Energiföretagen, Uniper (Ledamot B5)
- Sven Knutsson SveMin (Ledamot B5)
- Dan Lundell TCS (Ledamot B5)
- Gustav Enmark Energiföretagen, Fortum (Referensgrupp Energiforsk)

Sven Knutsson och Dan Lundell har funnits med i egenskap av medlemmar i referensgruppen för projekt 1 "Tillämpning av Eurokod 7, generation 2, på gruvdamm". Detta gjordes för att undvika överlappande arbete.

Utöver dessa har Gunilla Franzén (teknisk sekreterare IEG) funnits tillgänglig som resurs för handledning i frågor rörande Eurokod. Arbetet har utförts i nära samarbete med referensgruppen där arbetet successivt itererats fram genom gemensamma möten där utformningen fortlöpande diskuterats.

Projektet har samordnats med IEG-projektet "Tillämpning av Eurokod 7, generation 2, på gruvdamm" för att identifiera överlapp och säkerställa att inget dubbelarbete sker. Detta projekt bedrevs parallellt av Roger Knutsson, TCS och industridoktorand Viktor Wiklund, LTU/Boliden.

1.5 UNDERLAG

Följande underlag har utgjort grund för analysen:

- Eurokod EN 1990 generation 1 [2]
- Eurokod EN 1990 generation 2, Final Draft oktober 2022 [3]
- Eurokod 7 version 1: EN 1997-1 [4], EN 1997-2 [5]

- Eurokod 7 version 2: EN 1997-1 [6], EN 1997-2 [7], EN 1997-3 [8],
Utkastversioner augusti 2022
- RIDAS HD 2022-04 [9]
- RIDAS TV9 Fyllningsdammar, version 2020-08 [10]
- RIDAS TV9 Grundläggning, version 2020-08 [11]
- RIDAS TV9 Betongdammar, version 2020-08 [12]
- IEG arbetsrapporter 2021-2023 omfattande:
AR 2021-3 EN 1997-2 Ändrat fokus – en översikt [13]
AR 2023-1 Omfattning Eurokod och nya begrepp [14]

2 Metodik

Uppdraget har bedrivits som en skrivbordsstudie där Eurokod i en fallstudie jämförts med motsvarande riktlinjer i RIDAS genom att en fyllningsdamm dimensionerats enligt nuvarande förslag i Eurokod 7 generation 2.

Arbetsgången har varit enligt följande:

- Steg 1 En lämplig fallstudie identifierades, i detta fall "Fyllningsdamm X". Fallstudien är en svensk fyllningsdamm som dimensionerats enligt den föregående versionen av RIDAS (2011). Ingen större dammanläggning dimensionerad enligt nuvarande RIDAS (2020) har funnits tillgänglig.
- Steg 2 Dimensionering enligt Eurokod 7. Detta innebär att dammen dimensionerades utgående från samma behov som projekteringen med RIDAS, fast nu istället utgående från Eurokod. Detta gjordes för att tydliggöra skillnaderna mot RIDAS och identifiera var det finns luckor i den vägledning som Eurokod erbjuder.
- Steg 3 En gapanalys genomfördes därefter, dvs. identifiering och värdering av de skillnader mellan nuvarande svensk praxis för design av fyllningsdammar (RIDAS) och Eurokod som framkommit i Steg 2. Bedömningen har utgått från en femgradig skala där de skillnader som identifierats har kategoriserats utifrån den bedömda inverkan på dammsäkerheten som en projektering utgående från Eurokod skulle få jämfört med RIDAS. Dessa fem kategorier är:

Saknas	Eurokod saknar riktlinjer för detta avseende.
Annorlunda	Eurokods metod skiljer sig från RIDAS, men en säker, funktionell och robust fyllningsdamm erhålls.
Otillräckliga	Eurokod säkerställer inte tillräckliga säkerhetsmarginaler, funktion eller robusthet i en fyllningsdamm. Motstridigheter eller oklarheter ger otillräcklig styrning.
Bristfälliga	Eurokod tillåter inte bästa teknik och medför vid tillämpning per automatik att en sämre konstruktion erhålls.
Oacceptabla	Tillämpning av Eurokod får orimliga konsekvenser för fyllningsdammen.

I de fall där de identifierade skillnaderna bedömts medföra betydande påverkan på funktionen eller säkerhetsmarginalerna i den slutliga konstruktionen så beskrivs innebörden och resultatet av avvikelser. Fokus har legat på avvikelser i kategori "bristfälliga" eller "oacceptabla".

Utifrån analysen presenteras förslag på områden där behov av nationella tillämpningsanvisningar för fyllningsdammar föreligger.

3 Bakgrund

3.1 STYRANDE REGELVERK

Historiskt har dammsäkerhetsfrågor i Sverige inte styrts av statliga normer eller föreskrifter om hur dammar ska byggas och övervakas. I stället har praxis utvecklats av industrin. Dammägaren har ett långtgående ansvar att skaffa sig tillräcklig kunskap för att skydda människors hälsa och miljön, och att vidta tillräckliga skyddsåtgärder och försiktighetsmått för att undvika att verksamheten medför skador [1].

Flera olika regelverk är tillämpliga på dammsäkerhetsområdet, där Miljöbalken med tillhörande regleringar är den viktigaste [1]. Därtill finns riktlinjer för dammsäkerhet, bl.a. riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden [15] och RIDAS. RIDAS gäller för Energiföretagens medlemmar och kan även utgöra stöd för myndigheter [9].

Länsstyrelserna har ansvar för tillsyn av dammsäkerheten. Svenska Kraftnät är tillsynsvägleddande. Svenska Kraftnät har även föreskriftsrätt kopplat till dammsäkerhetsförordningen.

3.2 DIMENSIONERING ENLIGT RIDAS

3.2.1 Uppbyggnad och omfattning

RIDAS, Riktlinjer för dammsäkerhet, ges ut av Energiföretagen och gäller för alla Energiföretagens medlemsföretag. RIDAS består av ett huvuddokument samt 14 tillämpningsvägledningar. RIDAS utgår från samma system för dammsäkerhetsklassificering som finns i Miljöbalken.

Bland tillämpningsvägledningarna finns ett antal tekniska vägledningar (TV9) som beskriver design och dimensionering. För fyllningsdammar gäller framför allt TV 9 Fyllningsdammar [10] samt TV 9 Grundläggning [11].

3.2.2 Dämmande funktion

Dammkropp

RIDAS TV9 Fyllningsdammar [10] beskriver utformningen av en tät kärna av morän, och anger krav på kornstorleksfördelning, hydraulisk konduktivitet, samt utläggnings- och packningsförfarande.

Andra typer av tätningar så som vertikal betongskärm, asfaltbetong eller ett uppströms betongdäck (CFRD) nämns, men kapitlet fokuserar på zonerade dammar med tät kärna av morän.

Grundläggning

För undergrundens tätande funktion anges i TV9 Grundläggning [11] att undergrunden ska ha motsvarande täthet som ovanpåliggande tät kärna. I de fall en fyllningsdamm grundläggs på jord som är mer genomsläpplig än tät kärnan ska åtgärder vidtas för att säkerställa att risken för inre erosion i undergrunden inte är större än risken för inre erosion i fyllningsdammen, t.ex. med panur, tätskärm eller dränage. Dimensionering av injektering av bergundergrund beskrivs i tillämpningsvägledningen, bl.a. vägledning för antal borrhål och föreslagna krav på täthet för injekteringen.

3.2.3 Filtrerande funktion

TV9 Fyllningsdammar [10] beskriver en detaljerad metodik för utformning av flera filterzoner, som bygger på metodik föreslagen av FEMA [16] och USBR [17].

RIDAS skiljer på kritiska och icke-kritiska filter. De filter som syftar till att förhindra materialtransport från tät kärnan och från undergrunden betecknas som kritiska. För kritiska filter gäller striktare krav än för icke-kritiska.

Konstgjorda material som geotextiler får inte användas till kritiska filter. Geotextiler "kan övervägas i vissa fall" (t.ex. mot nedströmssidan i ett dränagedike nedströms om dammen), men rekommenderas generellt inte användas alls i dammar, på grund av risken för igensättning med påföljande påverkan på grundvattenytans läge.

En minimitjocklek för filterzoner rekommenderas. Även utläggnings- och packningsförfarande beskrivs. RIDAS anger att riktlinjerna för packning i AMA Anläggning ej bör tillämpas för filter. Packning ska utföras med försiktighet för att säkerställa filtrets kollapsbarhet samt minska risken för nedkrossning av materialet vid packning.

3.2.4 Stabiliserande funktion

Ett antal belastningsfall för dimensionering av en fyllningsdamm anges i RIDAS: färdigt uppförande med tomt magasin, normala driftförhållanden, extrema driftförhållanden, snabb avsänkning, samt dimensionerande läckage (endast dammsäkerhetsklass A och B) [10].

De erforderliga säkerhetsfaktorer för respektive belastningsfall som anges i RIDAS avser totalsäkerhetsfaktor. Justering av erforderlig säkerhetsfaktor beroende på tillgänglig information om dammen föreslås, t.ex. att för en väl dokumenterad damm med gynnsam historik kan accepteras en lägre säkerhetsfaktor än referensvärdet, medan en damm som är grundlagd på jord eller berg med låg hållfasthet och där kunskapen om de ingående materialen är begränsad kan kräva en högre säkerhetsfaktor.

Koefficientmetoden anges som en möjlig alternativ beräkningsmetod, men ingen vägledning för val av partialkoefficienter ges.

För dimensionering av dammtån beskrivs i RIDAS erforderlig stenstorlek för tåsten.

Stenstorleken för uppströms erosionsskydd ska dimensioneras baserat på belastning från vågor och is. Vågbelastningen beräknas utifrån effektiv stryklängd i magasinet. Islasten bestäms utifrån tabellvärden baserade på geografiskt läge och köldmängd.

Erforderligt fribord beräknas utifrån vågbelastning. RIDAS inkluderar även riktlinjer för utformning av dammkrön med avseende på krönbredd och överbyggnadshöjd över tät kärnan med avseende på tjäldjup.

En nybyggd damm bör byggas med överhöjning för att kompensera för sättningar efter färdigställandet. För en fyllningsdamm grundlagd på berg anges en rekommenderad överhöjning i procent av dammhöjden. För fyllningsdammar grundlagda på jord ska undergrundens sättning och dess tidsförlopp uppskattas, men ingen särskild beräkningsmetod för sättningsberäkning anges i RIDAS.

3.2.5 Kontrollerande funktion

RIDAS TV9 [10] anger att fyllningsdammar ska instrumenteras för att kunna verifiera gjorda antaganden från projekteringen, samt för att kontrollera att dammen fungerar som avsett. Omfattningen av instrumenteringen bestäms utifrån en dammsäkerhetsutvärdering, felmodsanalys och dammens specifika förutsättningar. Instrumentering används före, under och efter uppförandet av dammen.

Exempel ges på olika typer av instrumentering och deras tillämpning på fyllningsdammar, samt förslag på basinstrumentering för fyllningsdammar utifrån deras dammsäkerhetsklass.

I begreppet kontrollerande funktion ingår i RIDAS, förutom övervakning och instrumentering, även styrning och reglering av anläggningen, driftcentral-funktion, samt överströmningsskydd [18]. Eftersom denna rapport fokuserar på den geotekniska dimensioneringen av en fyllningsdamm har endast övervakning och instrumentering inkluderats.

3.2.6 Grundläggning och markundersökningar

I RIDAS TV9 Grundläggning [11] anges att fältundersökningar ska utföras för att bestämma mark- och grundvattenförhållanden på platsen. Omfattningen ska anpassas till lokala förhållanden, samt dammens dammsäkerhetsklass. För ytterligare vägledning kring omfattningen av undersökningarna hänvisas till USBR [19]. Inget maximalt tillåtet avstånd mellan undersökningspunkter, eller liknande information, anges.

Tillämpningsvägledningen inkluderar även beskrivning av preparering av grundläggningsytan, både för grundläggning på berg och på jord.

3.3 DIMENSIONERING ENLIGT EUROKOD 7

3.3.1 Uppbyggnad och omfattning

Den nya versionen (generation 2) av Eurokod 7, EN 1997, består av tre delar. EN 1997-1 "General rules" ersätter den tidigare del 1 "Allmänna regler" och gäller för alla geokonstruktioner. EN 1997-2 "Ground properties" ersätter den tidigare del 2 "Marktekniska undersökningar", men har ett lite annorlunda fokus jämfört med den tidigare versionen [13]. EN 1997-3 "Geotechnical structures" ger ytterligare regler för dimensionering av ett antal specificerade typer av geokonstruktioner, bl.a. slänter, schakt och bankar. En mer omfattande beskrivning av EN 1997 generation 2 finns i IEG arbetsrapport 1:2023 [14].

Utöver EN 1997, som gäller specifikt för geokonstruktioner, gäller även de gemensamma generella kraven i EN 1990. I EN 1990 återfinns bl.a. grundläggande regler kring dimensionering i gränstillstånd och kombinationer av laster, och riktlinjer kring konsekvensklasser, som används i EN 1997 för att definiera geotekniska kategorier.

3.3.2 Dimensionering i gränstillstånd

Två centrala begrepp i Eurokod är brottgräns och bruksgräns (EN 1990 kapitel 5).

Brottgräns (Ultimate limit state, ULS) är ett gränstillstånd som berör människors säkerhet och/eller konstruktionens säkerhet. Bruksgräns (Serviceability limit state, SLS) är ett gränstillstånd som berör konstruktionens funktion vid normal användning, människors välbefinnande, samt konstruktionens utseende.

Utifrån de två gränstillstånden definieras ett antal typer av dimensioneringssituationer ("design situations") – varaktig, tillfällig, exceptionell, seismisk och utmattnings. Dimensioneringssituationerna ska väljas så att alla möjliga förhållanden som kan uppstå under konstruktionens uppförande och drift innefattas (EN 1990 5.2). För var dimensioneringssituation ska kontroll göras att gränstillstånden inte överskrids.

Dessa övergripande principer gäller för hela dimensioneringsprocessen. Specifika brottgränser och bruksgränser som ska kontrolleras anges i EN 1997, men även övriga potentiella brott- eller bruksgränser som inte anges explicit i EN 1997 bör kontrolleras.

3.3.3 Dämmande funktion

Dammkropp

Inga explicita riktlinjer kring dämmande funktion finns i Eurokod. Den dämmande funktionen kan dock antas omfattas av kravet på att kontrollera för bruksgräns, eftersom den dämmande funktionen är nära sammankopplad med dammens övergripande funktion. Hydraulisk konduktivitet nämns specifikt (EN 1997-1, 9.1) som ett bruksgränstillstånd (SLS) som ska kontrolleras. Något exakt tillvägagångssätt för hur bruksgränstillståndet ska kontrolleras anges inte.

En möjlig metodik kan vara att sätta upp ett kriterium för maximal hydraulisk konduktivitet (förslagsvis samma hydrauliska konduktivitet för tät kärnan som anges i RIDAS, $3,5 \cdot 10^{-7}$ m/s), alternativt ett kriterium för maximalt tillåtet läckage genom dammen som en maximal hydraulisk konduktivitet kan härledas ifrån.

Några ytterligare paragrafer i Eurokod som indirekt gäller en fyllningsdamms dämmande funktion har identifierats.

I EN 1997-1 (4.3.1.4) anges att påverkan från miljöeffekter ("environmental influences", t.ex. nederbörd, temperatur, vind och tjäle) ska tas hänsyn till vid dimensionering. Detta gäller därmed kontroll av tjälpåverkan på tät kärnan.

I EN 1997-1 (9.1) och EN 1997-3 (4.2.5.2) anges att sättningar ska tas hänsyn till som ett bruksgränstillstånd (SLS). Att sättningar ska beaktas som ett SLS implicerar att en överhöjning av tät kärnan kan behövas.

Det anges i EN 1997-3, kapitel 12 ("Groundwater control measures") att klausulerna under kapitlet gäller för dammar, men att verifiering av dämmande funktion inte ingår i kapitlet och att ytterligare riktlinjer (utöver Eurokod) krävs för dammar.

För utläggnings- och packningsförfaranden anges inga riktlinjer i EN 1997. Där emot hänvisas i kapitel 5.2 till Europastandarden EN 16907 ("Schakt och fyllning för anläggningsbyggande", sju delar), som innehåller en del riktlinjer för utläggning och packning. EN 16907 är dock en allmän standard som inte innehåller några specifika regler för fyllningsdammar.

Grundläggning

Erforderlig täthet hos undergrunden anges inte i Eurokod. Istället gäller samma princip som för dammkroppens dämmande funktion, att den dämmande funktionen kan anses vara ett bruksgränstillstånd (SLS) som ska kontrolleras.

Undergrundens dämmande funktion berörs av EN 1997-3 kapitel 12. Vad som behöver tas hänsyn till vid dimensionering av injektering beskrivs översiktligt, samt vad som bör ingå i övervakning av injektering. Ingen vägledning kring djup eller erforderlig täthet för injekteringen ges.

3.3.4 Filtrerande funktion

EN 1997-1 (8.1.4.3) anger att inre erosion är ett ULS (brottgräns) som ska kontrolleras. Den kritiska hydrauliska gradienten ska beräknas och jämföras med den aktuella hydrauliska gradienten för att verifiera att den kritiska gradienten inte överskrids. För beräkning av kritisk hydraulisk gradient hänvisas till beräkningsmetod i "The International Levee Handbook" [20] genom en s.k. "Note". I [20] beskrivs ett antal metoder för kritisk gradient vid bakåtskridande erosion kortfattat, bl.a. Sellmeijers metod och Schertmanns metod. Metoderna är empiriska och är framtagna för bakåtskridande erosion i undergrunden för en invallningsdamm (levee), och gäller för sand.

Det är inte verifierat att dessa metoder är tillförlitliga för andra material, t.ex. morän. Bakåtskridande erosion är dessutom bara en av fyra huvudsakliga initieringsmekanismer för inre erosion, övriga tre är suffusion, kontaktersion och erosion längs en koncentrerad läckväg.

Om brottgränsen överskrids ska förhindrande åtgärder introduceras, som minskande av gradienten eller införande av filter.

EN 1997-1 (8.1.4.3) anger att filter ska uppfylla adekvata designkriterier för filtermaterial. Som exempel på en källa för filterregler lyfts "The International Levee Handbook" fram [20] (genom en s.k. "Note", vilket borde innebära att inte just den specifika handboken måste användas). Filterreglerna som beskrivs översiktligt i [20] är tre olika metodiker, från Sherard & Dunnigan [21], Foster & Fell [22] respektive Giroud [23]. De tre metodikerna skiljer sig från varandra och även från de filterkriterier som beskrivs i RIDAS [10]. Sherard & Dunnigans metod är den som filterkriterierna i RIDAS (via USBR [17] och FEMA [16]) är baserad på. I [20] saknas dock det steg för bestämning av basmaterialets kategori som anges i [10] och [17], nämligen omräkning av siktkurvan till fraktion $< 4,75$ mm.

EN 1997-1 anger även att geosyntetiska filter (t.ex. geotextil) som förhindrar transport av finmaterial utan att sätta igen får användas.

3.3.5 Stabiliserande funktion

Stabilitet ska beräknas med partialkoefficientmetoden. Partialkoefficienter γ_M för materialparametrar anges i EN 1997-1 (4.4.1.3). Även en "konsekvensfaktor" K_M som beror av geokonstruktionens konsekvensklass ska appliceras på materialparametrarna (4.4.1.1).

För ingående materialparametrar används representativa värden (4.3.2.1), som sedan divideras med partialkoefficienter för att få fram dimensionerande värden. De representativa värdena (X_{rep}) väljs antingen från karakteristiska (X_k) eller nominella värden (X_{nom}). De representativa värdena kan även multipliceras med en omräkningsfaktor η för att ta hänsyn till t.ex. skala, fukt, temperatur, anisotropi och materials nedbrytning över tid. Därmed skiljer sig η i EN 1997-1 (både generation 1 och generation 2) från den omräkningsfaktor η som tidigare definierats i IEG:s tillämpningsvägledning [24] [25]. Den omräkningsfaktor som tidigare använts i svensk praxis tar hänsyn till bl.a. omfattningen av geotekniska undersökningar och typ av brottmekanism. En motsvarande omräkningsfaktor η planeras ingå även i kommande tillämpningsvägledning för Eurokod generation 2.

Karakteristiska värden beräknas statistiskt utifrån materialparametrarnas sannolikhetsfördelning enligt angivna ekvationer i EN 1997-1. Värdet väljs högt eller lågt beroende på vilket som är mest ofördelaktigt.

Nominella värden väljs konservativt ("cautious estimate") utifrån erfarenhet, t.ex. litteraturvärden.

Partialkoefficienter ska även appliceras på laster ("actions"), vilket definieras i EN 1990 (kapitel 8.3 och Annex A). För det dimensioneringssätt ("verification case") som ska användas för slänter och bankar enligt EN 1997-3 (4.6.5) är VC3, vilket innebär partialkoefficient 1,0 för permanenta laster, 1,3 för variabla laster och 1,15 för variabla laster orsakade av vatten. Dessa partialkoefficienter är nationellt valbara och kan ändras i den svenska nationella bilagan. EN 1997-1 6.4 samt EN 1990 6.1.2.3 ger vägledning kring hur representativa värden ska väljas för portryck. Ingen partialkoefficient behöver användas för portryck vid beräkning av släntstabilitet enligt EN 1997-1 6.5.

3.3.6 Kontrollerande funktion

EN 1997-1 (10.4) och EN 1997-3 (12.8.3) anger att övervakning (monitoring) bör ("should") utföras både före, under och efter genomförande av en geokonstruktion. Övervakning ska utföras inom påverkansområdet ("zone of influence"). En övervakningsplan ("Monitoring Plan") ska upprättas. Planen beskriver övervakningen (inkl. typ av övervakning, mätperiod, mätfrekvens, placering etc.) och innehåller även gränsvärden.

Övervakningen ska verifiera de antaganden som gjorts i den geotekniska designmodellen och säkerställa att konstruktionen fortsätter att bete sig som förväntat efter färdigställande. Övervakning kan utföras genom observation (inkl. visuell övervakning) eller mätningar (geotekniska och geodetiska).

I EN 1997-3 ges exempel på vad som bör övervakas för respektive typ av geokonstruktion. För slänter och bankar ska grundvattentryck, sättningar och horisontella deformationer övervakas. Även fyllningsmaterialets hållfasthetsegenskaper, kornstorleksfördelning och hydrauliska konduktivitet ska övervakas under byggfasen.

3.3.7 Grundläggning och markundersökningar

I EN 1997-2 beskrivs begreppet "Ground model", samt vilken omfattning av markundersökningar som är lämplig baserat på geoteknisk kategori. Markundersökningarna ska identifiera mark- och grundvattenförhållanden inom påverkansområdet ("zone of influence").

Påverkansområdet definieras i EN 1997-1 3.1.6 som den zon där geokonstruktionen kan orsaka negativ påverkan på säkerhet, brukbarhet, robusthet och hållbarhet på antingen geokonstruktionen själv eller andra konstruktioner, mark eller grundvatten. I kapitel 4.1.2 ges en vägledning för hur utredningen av zonen ska bestämmas. I det kapitlet ges en vidare definition av påverkansområde som innefattar all påverkan geokonstruktionen har på omgivningen, inte enbart negativ påverkan. Bland annat anges att hela området som påverkas av permanenta eller transienta förändringar i grundvattennivå ska ingå i påverkansområdet, vilket för en damm skulle kunna innebära hela magasinets area med kringliggande markområden där inverkan av förändringar i grundvattenytan uppkommer.

Markundersökningarna ska ha tillräcklig ("sufficient") omfattning för att fånga markens variabilitet, relevanta egenskaper hos marken, samt spridningen för respektive egenskap. Egenskaperna ska bestämmas med mer än en undersökningsmetod, både i fält och laboratorium.

Förslag på största tillåtna avstånd mellan undersökningspunkter ges i EN 1997-2, Annex H, för olika typer av geokonstruktioner i geoteknisk kategori GC2. Dammar finns inte med som en egen kategori, men för "embankments and reinforced fill structures" anges rekommenderat maximalt avstånd mellan undersökningspunkter till 200 m för bankar lägre än 3 m, och 100 m för bankar högre än 3 m. För en del av konstruktionstyperna anges också minimalt antal undersökningspunkter, men ej för bankar. För geoteknisk kategori GC3 anges att maximala avståndet ska vara mindre än för GC2, men ingen vägledning för hur mycket mindre.

3.4 SAMMANSTÄLLNING AV SKILLNADER

I Tabell 1 sammanfattas kraven och riktlinjerna för dimensionering av en fyllningsdamm i RIDAS och dess eventuella motsvarighet i Eurokod. Kolumnen "Jämförelse" i Tabell 1 utvecklas i kapitel 5.2.

Tabell 1 Sammanfattning av jämförelse mellan kraven i RIDAS och Eurokod för dimensionering av en fyllningsdamm, uppdelat utifrån RIDAS kapitel (fortsätter nästa sida).

Kapitel i RIDAS	RIDAS 2020	Eurokod gen 2	Jämförelse
Grundläggning (TV9 Grundläggning)	Fältundersökningar <i>Översiktlig beskrivning av vilka uppgifter/parametrar som bör bestämmas med hjälp av undersökningar</i>	EN 1997-2 <i>Översiktlig beskrivning av vilka uppgifter/parametrar som bör bestämmas med hjälp av undersökningar</i> <i>Förslag på maxavstånd mellan undersökningspunkter</i>	Samma
	Preparering av grundläggningsyta <i>Avtäckning, rensning, avjämning</i>	-	Saknas i Eurokod
	Krav på undergrundens täthet och alternativa åtgärder för att förhindra inre erosion i genomsläpplig undergrund <i>Panur, tätskärm, dränage/ filter på nedströmssidan</i>	EN 1997-1 8.1.4.3 Åtgärder för att förhindra inre erosion	Annorlunda*
	Tätning (injektering) <i>Dimensionering av injektering med observationsmetoden, förslag på djup, krav på täthet</i>	EN 1997-3 12 <i>Översiktlig beskrivning av vad som ska tas hänsyn till vid dimensionering av injektering</i>	Annorlunda*

Kapitel i RIDAS	RIDAS 2020	Eurokod gen 2	Jämförelse
Dämmande zon (TV9 Fyllnings- dammar kap 3)	Materialkrav <i>(kornstorleksfördelning, hydraulisk konduktivitet)</i>	-	Saknas i Eurokod
	Utläggings- och packningsförfarande	-	Saknas i Eurokod**
Filter, övergångs- lager och dränage (TV9 Fyllnings- dammar kap 4)	Metodik för utformning av filter <i>(kornstorleksfördelning)</i>	EN 1997-1 8.1.4.3 <i>Adekvata filterregler ska användas</i>	Otillräckliga*
	Geotextil tillåts ej för kritiska filter	EN 1997-1 8.1.4.3 <i>Geotextil som inte sätts igen tillåts som filter</i>	Bristfälliga*
	Utläggings- och packningsförfarande	-	Saknas i Eurokod**
Stödfyllning (TV9 Fyllnings- dammar kap 5)	Stabilitet <i>6 belastningsfall m.a.p. magasinsnivå och dim. läckage, och totalsäkerhets- faktorer</i>	EN 1997-1 och EN 1990 Stabilitet <i>Alla relevanta laster ska kontrolleras Partialkoefficienter</i>	Annorlunda*
	Dränagekapacitet, erosionsstabilitet <i>Beräkning av dimensionerande läckage</i>	-	Saknas i Eurokod
	Nedströms dammtå <i>Erforderlig kornstorlek</i>	-	Saknas i Eurokod
	Erosionsskydd <i>Kornstorlek m.a.p. våg- och isbelastning</i>	-	Saknas i Eurokod
Dammkrön (TV9 Fyllnings- dammar kap 6)	Dammkrön <i>Bredd m.a.p. höjd och dammsäkerhetsklass</i>	-	Saknas i Eurokod
	Djup till tät kärna m.a.p. tjälldjup	EN 1997-1 4.3.1.4 <i>Tjäle ska tas hänsyn till vid utformning av en konstruktion</i>	Annorlunda*
Överhöjning och fribord (TV9 Fyllnings- dammar kap 7)	Överhöjning <i>Överhöjning ska göras för att kompensera för förväntade sättningar</i>	EN 1997-1, 9.1 <i>Sättningar ska beräknas</i>	Annorlunda*
	Fribord <i>Beräkning m.a.p. våguppspolningshöjd</i>	-	Saknas i Eurokod

Kapitel i RIDAS	RIDAS 2020	Eurokod gen 2	Jämförelse
Anslutningar (TV9 Fyllningsdammar kap 8)	Anslutningar <i>Utformning av anslutningar mot betongkonstruktioner m.a.p. risk för inre erosion</i>	-	Saknas i Eurokod
Andra typer av dämmande zoner (TV9 Fyllningsdammar kap 9)	Informativt kapitel om sponter i befintliga dammar	-	-
Övervakning och instrumentering (TV9 Fyllningsdammar kap 10)	Övervakning och instrumentering <i>Exempel på utformning av instrumentering m.a.p. dammsäkerhetsklass</i>	EN 1997-1 och EN 1997-3 <i>Instrumentering ska finnas, exempel på vad som kan övervakas</i>	Annorlunda*

* Se förklaring i kapitel 5.2

** Eurokod hänvisar till EN 16907, som inte innehåller specifika regler för fyllningsdammar

I Tabell 2 sammanfattas de krav och riktlinjer i Eurokod som påverkar dimensionering av en fyllningsdamm och dess eventuella motsvarighet i RIDAS. Kolumnen "Jämförelse" i Tabell 2 utvecklas i kapitel 5.2.

Tabell 2 Sammanfattning av jämförelse mellan kraven i RIDAS och Eurokod för dimensionering av en fyllningsdamm, uppdelat ifrån Eurokods kapitel.

Kapitel i Eurokod gen 2	RIDAS 2020	Eurokod gen 2	Jämförelse
EN 1997-1, 4.1	Damm-säkerhetsklass	Geoteknisk kategori och konsekvensklass	Annorlunda*
EN 1997-1, 3.1.6 och 4.1.2	-	Påverkansområde ("zone of influence")	Saknas i RIDAS
EN 1997-2 4	-	Markmodell ("Ground Model") <i>En modell som sammanställer geologiska, hydrogeologiska och geotekniska förhållanden ska finnas</i>	Saknas i RIDAS
EN 1997-1 8.1.4.3	-	Kritisk hydraulisk gradient <i>För ULS inre erosion ska den hydrauliska gradienten och den kritiska gradienten beräknas och jämföras</i>	Otillräckliga*

* Se förklaring i kapitel 5.2

Tätkärnan ska utföras med överhöjning, hur mycket överhöjning bestäms på plats. Överhöjning bestäms annars normalt utifrån en sättningsberäkning under projekteringen.

Tätkärnans överyta är försedd med isolering för att minska påverkan från tjäle.

Grundläggning

Undergrunden har tätats med ridå- samt kontaktingjektering.

4.2.3 Filtrerande funktion

Kornstorleksfördelning för filter har dimensionerats efter metodiken i den tidigare versionen av RIDAS [26]. Gränser för filtrens kornstorleksfördelning redovisas inte explicit i den tekniska beskrivningen. Istället anges att filtret ska anpassas utifrån tätjordens kornstorleksfördelning enligt filterreglerna i RIDAS.

Den äldre versionen av RIDAS anger inget krav på minsta bredd för filter (det gör däremot den nuvarande versionen av RIDAS). För Fyllningsdamm X har den horisontella bredden av respektive filterlager (fin- och grovfilter) valts till 1 m, total filterbredd blir då 2 m. Nedströms finfilter har en något flackare lutning än tätkärnan, vilket innebär att det blir något bredare än 1 m i botten (se Figur 1).

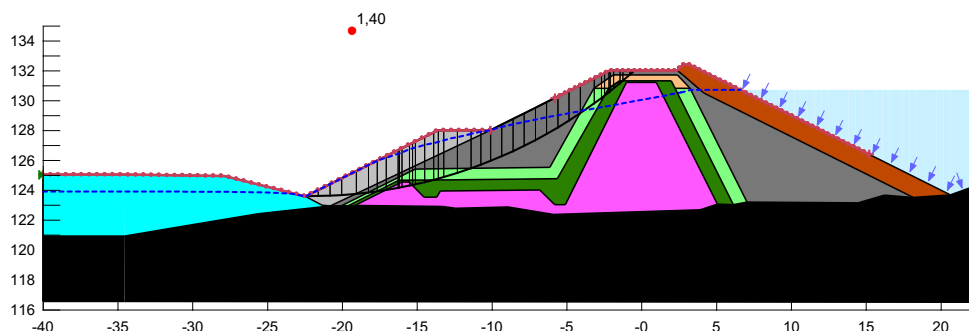
4.2.4 Stabiliserande funktion

Stabilitetsberäkningar i programvaran Geostudio (SLOPE/W) har utförts för dammen innan och efter byggnation. För de beräkningar som gjorts efter byggnation redovisas beräknade säkerhetsfaktorer i Tabell 3 nedan.

Tabell 3: Beräknade belastningsfall enligt RIDAS och totalsäkerhetsfaktor för respektive belastningsfall

Belastningsfall enligt RIDAS	Beskrivning	Beräknad total-säkerhetsfaktor	Erforderlig säkerhetsfaktor (RIDAS)
2	Normala driftförhållanden, vattenyta vid DG	2,29	1,5
3	Extrema driftförhållanden, överdämning vid dimensionerande FDK-I-flöde (ca 25 cm överdämning)	2,11	1,3
5	Dimensionerande läckage, vattenyta vid DG	1,40	1,1

Stabilitetsberäkningarna visar att erforderlig säkerhetsfaktor enligt RIDAS överskrids med marginal för samtliga belastningsfall. T.ex. är erforderlig säkerhetsfaktor för belastningsfallet normala driftförhållanden 1,5 och beräknad lägsta säkerhetsfaktor 2,29. För belastningsfallet dimensionerande läckage (erforderlig SF>1,1) är beräknad lägsta säkerhetsfaktor 1,40.



Figur 2: Beräkningsresultat (totalsäkerhetsfaktor) för belastningsfall 5, dimensionerande läckage.

Dammen uppnår inte erforderlig säkerhetsfaktor 1,1 för dimensionerande läckage utan nedströms stödbank. Stödbankens krönnivå har valts för att täcka in källsprånget vid dimensionerande läckage, i enlighet med RIDAS. Stabilitetsberäkningarna indikerar att stödbanken hade kunnat vara smalare (eftersom den beräknade säkerhetsfaktorn med stödbank överstiger 1,1 med marginal), med krönbredden har trots det valts till 3,5 m, sannolikt av praktiska skäl för uppförande- samt driftskede.

Stödbanken fyller även funktionen av dränerande dammtå med erforderlig stenstorlek enligt RIDAS.

Blockstorlek för uppströms erosionsskydd anges inte i bygghandlingarna för Fyllningsdamm X, men antas ha dimensionerats enligt beräkning för våg- och isbelastning i RIDAS.

4.2.5 Kontrollerande funktion

RIDAS TV9 [10] anger att fyllningsdammar ska instrumenteras för att kunna verifiera gjorda antaganden från projekteringen, samt för att kontrollera att dammen fungerar som avsett. Omfattningen av instrumenteringen bestäms utifrån en dammsäkerhetsutvärdering och dammens specifika förutsättningar. Instrumentering används före, under och efter uppförandet av dammen.

Exempel på olika typer av instrumentering och deras tillämpning på fyllningsdammar ges, samt förslag på basinstrumentering för fyllningsdammar i olika dammsäkerhetsklasser.

4.2.6 Grundläggning och markundersökningar

I RIDAS TV9 Grundläggning [11] anges att fältundersökningar ska göras för att bestämma mark- och grundvattenförhållanden på platsen. Omfattningen ska anpassas till lokala förhållanden, samt till dammens dammsäkerhetsklass. För ytterligare vägledning kring omfattningen av undersökningarna hänvisas till USBR [19]. Inget största tillåtna avstånd mellan undersökningspunkter anges, eller liknande information.

Tillämpningsvägledningen inkluderar även beskrivning av preparering av grundläggningsytan, både för grundläggning på berg och på jord.

4.3 DIMENSIONERING ENLIGT EUROKOD 7

4.3.1 Dämmande funktion

Dammkropp

Den dämmande funktionen ska kontrolleras som ett bruksgränstillstånd. Något exakt tillvägagångssätt för hur bruksgränstillståndet ska kontrolleras anges inte.

För dimensionering av Fyllningsdamm X antas att samma kriterium för maximal hydraulisk konduktivitet som anges i RIDAS ($3,5 \cdot 10^{-7}$ m/s) kan användas som kriterium för kontroll av bruksgränstillståndet.

Grundläggning

Undergrundens dämmande funktion kontrolleras för bruksgränstillstånd på liknande sätt som dammkroppens dämmande funktion. EN 1997-3 kapitel 12 ("Groundwater control measures") gäller både dammkroppens och undergrundens dämmande funktion, men förefaller mer applicerbar på undergrunden.

4.3.2 Filtrerande funktion

Eurokod anger (EN 1997-1 8.1.4) att inre erosion är ett brottgränstillstånd (ULS) som ska verifieras. Om den hydrauliska gradienten överskrider den kritiska hydrauliska gradienten anges att filter ska användas för att förhindra inre erosion.

Ingen av metoderna som anges i [20] är applicerbara för hydraulisk gradient över en tät kärna av morän. Om Schmertmanns metod [20] ändå används för Fyllningsdamm X fås ett värde av $i_{cr}=0,78$ för kritisk gradient över tät kärnan. Det är dock inte verifierat att metoden gäller för morän, då den bygger på empiriska data från försök på fin- och mellansand.

Beräknad hydraulisk gradient över tät kärnan för Fyllningsdamm X är ca 0,35 – 0,75 beroende på djup. Det är dock dimensionerande värde för den hydrauliska gradienten som ska jämföras med värdet för den kritiska gradienten. För framtagning av dimensionerande värde för kritisk gradient och strömningshastighet hänvisas från EN 1997-1 8.1.4.3 till ett kapitel som inte finns, 6.3.3. Från den metodik för framtagande av dimensionerande värden för grundvattentryck som presenteras i kapitel 6.5 kan dock antas att den beräknade eller uppmätta gradienten ska förses med en partialkoefficient, eller väljas konservativt utifrån en sannolikhetsfördelning. Därmed kommer det sannolikt inte att kunna fastslås att brottgränstillståndet inte överskrids för Fyllningsdamm X.

I Eurokod (EN 1997-1 8.1.4.3) anges även att geotextil kan vara lämpligt som filter.

För dimensionering av filter för Fyllningsdamm X innebär det att filter kan dimensioneras efter de filterkriterier som projektören anser lämpliga, vilket inte måste innebära filterreglerna angivna i The International Levee Handbook eller i RIDAS.

4.3.3 Stabiliserande funktion

Stabilitet ska beräknas med partialkoefficientmetoden. Partialkoefficienter för materialparametrar anges i EN 1997-1 (4.4.1.3). Eftersom dammen är en konstruktion i konsekvensklass CC3 eller högre multipliceras alla partialkoefficienter för materialen med konsekvensfaktor K_M (1,1) (EN 1997-1 4.4.1.1). I en "Note" under 4.4.1.3 anges att för dimensioneringssituationen olycksfall kan partialkoefficienten för material minskas till kvadratroten ur motsvarande partialkoefficient för persistent dimensioneringssituation.

EN 1990 (Annex A, tabell A.1.8) anger att partialkoefficient 1,3 ska användas för variabla laster, 1,15 för variabla vattenlaster och 1,0 för permanenta laster.

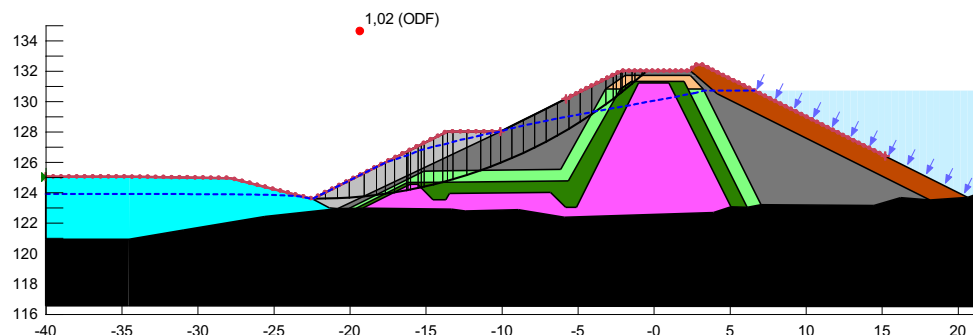
Belastningsfallen är inte lika tydligt definierade i Eurokod som i RIDAS. Eftersom geokonstruktioner med dämmande funktion inte finns med som en specifik konstruktion i EN 1997-3 ges ingen särskild vägledning kring hur belastningen från ytvatten bör behandlas. I stället anges att alla relevanta laster ("actions") samt kombinationer av laster ska beaktas, vilket ställer krav på projektören att identifiera alla relevanta belastningsfall. De olika typerna av dimensioneringssituationer (EN 1990 5.2) fungerar något vägledande, men definierar inte belastningsfall lika tydligt som i RIDAS.

För beräkning av stabilitet för Fyllningsdamm X används partialkoefficientmetoden i samma beräkningsprogram som för beräkningen med totalsäkerhetsfaktor enligt RIDAS. Samma materialparametrar för tunghet och skjuvhållfasthet används som för beräkningen med totalsäkerhetsfaktor, då de är konservativt valda och kan antas vara representativa värden. Beräkningsmodellen som använts för detta exempel är en befintlig modell som använts i samband med projektering av Fyllningsdamm X. Den har alltså inte skapats för detta projekt utan enbart modifierats.

Inga laster förutom fyllningens tunghet och den upplyftande kraften från porttrycket i dammen finns. För jordens tunghet anges ingen partialkoefficient alls i EN 1990 eller EN 1997. För porttryck tillåter inte beräkningsmetoden (Morgenstern-Prices lamellmetod) applicering av partialkoefficient på kraften från porttrycket pga. risken för ologiska kraftfördelningar. Representativa värden för porttryckslinjens läge väljs (eller beräknas) istället utifrån samma metodik som för materialparametrar. I detta fall är porttryckslinjen beräknad med finita element-metoden (SEEP/W).

Tabell 4: Beräknade belastningsfall enligt RIDAS och over-design-factor för respektive belastningsfall

Belastningsfall enligt RIDAS	Beskrivning	Beräknad over-design-factor (ODF)	Erforderlig ODF (Eurokod)
2	Normala driftförhållanden, vattenyta vid DG	1,66	1,0
3	Extrema driftförhållanden, överdämning vid dimensionerande flöde (ca 25 cm överdämning)	1,53	1,0
5	Dimensionerande läckage, vattenyta vid DG	1,02	1,0



Figur 3: Beräkningsresultat (over-design-factor) för belastningsfall 5, dimensionerande läckage.

Resultatet (se Tabell 4) visar att erforderlig säkerhetsfaktor 1,0 överskrids med god marginal för belastningsfall 2 och 3. För belastningsfallet dimensionerande läckage uppnås säkerhetsfaktor 1,0 nästan helt utan marginal, vilket kan jämföras med beräkningen enligt RIDAS som gav 1,4 i beräknad säkerhetsfaktor för erforderlig säkerhetsfaktor 1,1, dvs. att det beräkningsmässigt finns avsevärt större säkerhetsmarginaler än vad beräkningsmetoden i Eurokod menar.

4.3.4 Kontrollerande funktion

Eurokod anger att övervakning ska utföras före, under och efter uppförande av dammen (EN 1997-1 10.4).

Grundvattentryck, sättningar och horisontella deformationer bör övervakas för slänter och bankar (EN 1997-3 4.8.3). Även fyllningsmaterialets hållfasthetsegenskaper, kornstorleksfördelning och hydrauliska konduktivitet bör övervakas under byggfasen.

Med avseende på minskning av grundvattenflöde ("groundwater control") anger EN 1997-3 (12.8.3) att följande ska övervakas: grundvattennivåer, hur effektiva åtgärder för att minska läckage är, inre erosion, grundvattnets kemiska sammansättning och korrosionspotential.

4.3.5 Grundläggning och markundersökningar

Eurokod anger att markundersökningar ska utföras i tillräcklig omfattning för att fånga markens variabilitet och spridningen hos markens egenskaper. Någon skarp definition av vad tillräcklig omfattning är finns dock inte.

Det förslag på maximalt c/c-avstånd mellan undersökningspunkter på 100 m (för bankar högre än 3 m) skulle innebära minst 3 undersökningspunkter för Fyllningsdamm X som är ca 300 m lång.

5 Analys

5.1 UPPBYGGNAD AV REGELVERK

Eftersom Eurokod 7 är ett relativt översiktligt regelverk som gäller för ett brett antal typer av geokonstruktioner skiljer det sig betydligt från RIDAS, som är ett kombinerat regelverk och designhandbok specifikt inriktad på dammar under svenska förhållanden.

Eftersom Eurokod gäller hela EU har reglerna i Eurokod 7 medvetet gjorts översiktliga, där fokus ligger på att specificera vad som bör kontrolleras snarare än att specificera hur det ska kontrolleras. Regelverket behöver vara brett eftersom det ska gälla i alla EU-länder och de geotekniska förutsättningarna är olika i olika länder.

RIDAS och Eurokod utgår till stor del från olika säkerhetsfilosofier. Något förenklat kan sägas att Eurokod bygger på verifiering genom beräkningar, medan RIDAS i högre utsträckning bygger på hävdvunna regler. Det är två olika filosofier som inte enkelt kan jämföras direkt mot varandra, där den ena inte nödvändigtvis resulterar i större säkerhetsmarginaler än den andra.

5.2 JÄMFÖRELSE

5.2.1 Jämförelseskala

Bedömningen har utgått från en skala där de skillnader som identifierats kategoriserats utifrån deras bedömda inverkan på dammsäkerheten som en projektering utgående från Eurokod skulle få jämfört med RIDAS. Dessa fem kategorier är:

Saknas	Eurokod saknar riktlinjer för konstruktionen.
Annorlunda	Eurokods metod skiljer sig från RIDAS, men en säker, funktionell och robust fyllningsdamm erhålls.
Otillräckliga	Eurokod säkerställer inte tillräcklig säkerhet, funktion eller robusthet i en fyllningsdamm. Motstridigheter eller oklarheter ger otillräcklig styrning.
Bristfälliga	Eurokod tillåter inte bästa teknik och medför vid tillämpning per automatik att en sämre konstruktion erhålls.
Oacceptabla	Tillämpning av Eurokod får orimliga konsekvenser för fyllningsdammen.

5.2.2 Dimensionering av en fyllningsdamm

I jämförelsen mellan RIDAS och Eurokod, som utgått från RIDAS designprocess, har ett antal komponenter som påverkas av reglerna i Eurokod identifierats. De komponenter i RIDAS som saknar motsvarighet i Eurokod har inte tagits med i analysen nedan.

Tabell 5: Sammanfattning av jämförelse mellan kraven i RIDAS och Eurokod för dimensionering av en fyllningsdamm, uppdelat utifrån funktion.

Funktion	RIDAS 2020	Eurokod gen 2	Jämförelse
Dämmande funktion	TV9 Fyllningsdammar, kap 6 <i>Djup till tät kärna m.a.p. tjäldjup</i>	EN 1997-1 4.3.1.4 <i>Tjäle ska tas hänsyn till vid utformning av en konstruktion</i>	Annorlunda
	TV9 Fyllningsdammar, kap 7 <i>Överhöjning ska göras för att kompensera för förväntade sättningar</i>	EN 1997-1, 9.1 <i>Sättningar ska beräknas</i>	Annorlunda
	TV9 Grundläggning, kap 3 Krav på undergrundens täthet och alternativa åtgärder för att förhindra inre erosion i genomsläpplig undergrund <i>Panur, tätskärm, dränager/filter på nedströmssidan</i>	EN 1997-1 8.1.4.3 Åtgärder för att förhindra inre erosion	Annorlunda
	TV9 Grundläggning, kap 6 <i>Dimensionering av injektering med observationsmetoden, förslag på djup, krav på täthet</i>	EN 1997-3 12 <i>Översiktlig beskrivning av vad som ska tas hänsyn till vid dimensionering av injektering</i>	Annorlunda
Filtrerande funktion	TV9 Fyllningsdammar, kap 4 Metodik för utformning av filter (<i>kornstorleksfördelning</i>)	EN 1997-1 8.1.4.3 <i>Adekvata filterregler ska användas</i>	Otillräckliga
	TV9 Fyllningsdammar, kap 4 Geotextil tillåts ej för kritiska filter	EN 1997-1 8.1.4.3 <i>Geotextil som inte sätts igen tillåts som filter</i>	Bristfälliga
	-	EN 1997-1 8.1.4.3 Kritisk hydraulisk gradient <i>För ULS inre erosion ska den hydrauliska gradienten och den kritiska gradienten beräknas och jämföras</i>	Otillräckliga
Stabiliserande funktion	TV 9 Fyllningsdammar, kap 5 Stabilitet <i>6 belastningsfall m.a.p. magasinsnivå och dim. läckage, och totalsäkerhetsfaktorer</i>	EN 1997-1 och EN 1990 Stabilitet <i>Alla relevanta laster ska kontrolleras</i> <i>Partialkoefficienter</i>	Annorlunda
Kontrollerande funktion	TV 9 Fyllningsdammar, kap 10 Övervakning och instrumentering <i>Exempel på utformning av instrumentering m.a.p. dammsäkerhetsklass</i>	EN 1997-1 och EN 1997-3 <i>Instrumentering ska finnas, exempel på vad som kan övervakas</i>	Annorlunda
Klassificering	RIDAS HD och TV3 Klassificering Dammsäkerhetsklass	EN 1997-1, 4.1 Geoteknisk kategori och konsekvensklass	Annorlunda

5.2.3 Dämmande funktion

Inga explicita riktlinjer kring dämmande funktion finns i Eurokod. Den dämmande funktionen kan dock antas omfattas av kravet på att kontrollera för bruksgränstillstånd.

Utformning av dammkrönet med avseende på att förhindra tjälskador beskrivs i RIDAS. I EN 1997-1 anges en bredare regel om att påverkan från miljöeffekter (t.ex. nederbörd, temperatur, vind och tjäle) ska tas hänsyn till. Detta kan tolkas gälla även tjälpåverkan på tät kärnans dämmande förmåga.

I RIDAS anges att överhöjning av tät kärna och dammkrön ska utföras för att kompensera för förväntade sättningar. I EN 1997-1 (9.1) och EN 1997-3 (4.2.5.2) anges att sättningar ska tas hänsyn till som ett bruksgränstillstånd (SLS). Att sättningar ska beaktas som ett SLS implicerar att en överhöjning behövs, även om det inte anges explicit.

För de identifierade paragrafer i Eurokod som påverkar en fyllningsdamms dämmande funktion bedöms skillnaden mellan Eurokod och RIDAS som annorlunda.

Gällande undergrundens dämmande funktion beskrivs i RIDAS krav på undergrundens täthet. För dämmande åtgärder, t.ex. injektering, ges vägledning kring dimensionering, djup och stoppkriterier. I EN 1997-3 nämns reducering av hydraulisk konduktivitet i marken, t.ex. injektering, under kapitel 12 "Ground-water control". Kapitlet ger en översiktlig beskrivning av vad som bör tas hänsyn till vid dimensionering av injektering men ger inga detaljer. För grundläggning på jord som är mer genomsläpplig än tät kärnan ger RIDAS exempel på åtgärder för att minska läckage genom undergrunden och förhindra inre erosion i undergrunden, t.ex. panur, tätskärm/tätdike eller dränage/filter på nedströmssidan.

Även i EN 1997-1 (8.1.4.3) ges exempel på samma åtgärder för att minska risken för brott orsakat av inre erosion. Texten i Eurokod är dock fokuserad på att förhindra brott snarare än att upprätthålla den dämmande funktionen.

För de identifierade paragrafer i Eurokod som påverkar grundläggningens dämmande funktion bedöms skillnaden mellan Eurokod och RIDAS som annorlunda.

5.2.4 Filtrerande funktion

EN 1997-1 (8.1.4.3) anger att inre erosion är ett brottgränstillstånd som ska kontrolleras. Om den förväntade hydrauliska gradienten överskrider den kritiska hydrauliska gradienten ska åtgärder för att förhindra inre erosion vidtas. Filter anges som en möjlig åtgärd. Övriga åtgärder som listas för att förhindra att brottgräns överskrids på grund av inre erosion är förlängning av läckvägen, minskande av gradienten, samt tillräcklig stabilitet vid källsprång eller hydrauliskt grundbrott.

I RIDAS finns inget krav på beräkning av kritisk hydraulisk gradient. Det är inte lätt att beräkna kritisk hydraulisk gradient för en zonerad fyllningsdamm med tät kärna av morän. Inre erosion är ett komplext fenomen som uppstår genom olika initieringsmekanismer. Den kritiska gradienten beror både på jordens material-egenskaper och typ av initieringsmekanism för inre erosion. Studier har hittat kritiska gradienter så låga som 0,08 [16] för siltiga och sandiga jordar, vilket är klart lägre än det typiska spann på 0,3–0,9 som anges i en "Note" i EN 1997-1 8.1.4.3. Vidare saknas beskrivning i Eurokod hur dimensionerande värde för den hydrauliska gradienten ska bestämmas, då det kapitel som hänvisas till (6.3.3) inte finns i EN 1997-1.

De beräkningsmodeller som finns för kritisk gradient (och som hänvisas till i EN 1997-1 via "The International Levee Handbook") är empiriska modeller baserade på försök på invallningsdammar (levees) och gäller för initieringsmekanismen bakåtskridande erosion. Förhållandena för inre erosion under en invallningsdamm där undergrunden kanske består av relativt ensgraderad sand är inte särskilt representativa för svenska förhållanden. Det är viktigt att projektören förstår att t.ex. Schmertmanns metod [20] inte ger ett tillförlitligt resultat som skulle kunna motivera att filter inte används alls i en zonerad fyllningsdamm. Denna skillnad mellan Eurokod och RIDAS bedöms som *otillräcklig*.

"The International Levee Handbook" [20] är ett överraskande val av referenslitteratur att hänvisa till för klausuler gällande fyllningsdammar, då den är starkt fokuserad på invallningsdammar (levees) vilka skiljer sig i många avseenden från vanliga dammar. Mer lämpliga källor för filter för dammbyggnad är t.ex. USBR:s Design standards [17] eller "Geotechnical Engineering of Dams" [27].

För en zonerad fyllningsdamm med tät kärna av morän överstiger den hydrauliska gradienten över tät kärnan i regel alltid den kritiska gradienten, om erforderlig säkerhet för alla initieringsmekanismer av inre erosion ska uppfyllas. Därför är filter nedströms tät kärnan ett krav i RIDAS. Eurokod anger att det filter som används ska "uppfylla adekvata filterkriterier" men lämnar det öppet för tolkning vad adekvat innebär. Det ger en risk för användande av äldre, utdaterade metoder för dimensionering av filter. I RIDAS anges en tydlig metodik för framtagning av filterkriterier utifrån tät kärnans gradering. Denna skillnad mellan Eurokod och RIDAS bedöms som *otillräcklig*.

Vidare anger Eurokod att geosyntetiska filter (t.ex. geotextil) som "förhindrar transport av finmaterial utan att sätta igen" kan användas som filter. Hur det ska säkerställas att geotextilen inte kommer att sätta igen framgår inte. RIDAS tillåter inte användande av geotextil för kritiska filter och avråder från användande av geotextil även för icke-kritiska filter. Att tillåta geotextil för kritiska filter i en fyllningsdamm är inte lämpligt och därför bedöms denna skillnad mellan Eurokod och RIDAS som *farlig*.

5.2.5 Stabiliserande funktion

Beräkningssätten för stabilitet skiljer sig åt mellan Eurokod och RIDAS. Skillnaden i hur säkerhetsfaktorer appliceras – med partialkoefficienter eller totalsäkerhetsfaktor – bedöms inte ha någon betydande påverkan på slutresultatet. Om samma representativa värden för materialparametrar väljs i de båda metoderna blir slutresultatet ungefär samma om säkerhetsfaktorn appliceras på varje enskild ingående variabel i beräkningen jämfört med om den appliceras på resultatet av beräkningen.

Representativa värden för materialparametrar kan enligt Eurokod (EN 1997-1 4.3.2.1) väljas antingen statistiskt (karakteristiskt värde) eller som en "försiktig uppskattning" (nominellt värde). Det skiljer inte nämnvärt från RIDAS metod, där materialvärden ska "väljas konservativt" [10].

Den främsta skillnaden för beräkning av stabilitet bedöms vara hur belastningsfall definieras. Belastningsfallen i RIDAS utgår från magasinsnivån och portryckslinjen genom dammen. Eurokod ger inte lika specifik vägledning kring vilka belastningsfall som ska beaktas, utan anger att belastningsfallen (dimensioneringssituationerna) ska väljas "på ett lämpligt sätt för de förhållanden under vilka konstruktionen måste uppfylla alla krav".

RIDAS TV9 Betongdammar [12] använder redan partialkoefficientmetoden för tvärsnittsanalys. I TV9 Betongdammar anges att last från vattentryck ska betraktas som permanent last upp till dämningssgräns. Vattentryck vid överdämning betraktas som variabel last. Partialkoefficienter för säkerhetsklass har räknats om till att motsvara RIDAS dammsäkerhetsklasser. En extra partialkoefficient ("korrektionskoefficient") appliceras även på laster för att få samma totalsäkerhet som innan användning av Eurokod vid tvärsnittsdimensionering. Korrektionskoefficienten beror på dammsäkerhetsklass.

För en fyllningsdamm är det dock inte magasinets vattentryck mot dammens uppströmssida som är avgörande för dammens totalstabilitet. Istället är det portryckslinjens nivå i dammens nedströmsdel som har störst inverkan på stabiliteten. Det är beräkningstekniskt svårt att applicera en partialkoefficient på portryckets lyftkraft i en glidyteberäkning med en lamellmetod (t.ex. Morgenstern-Price). Geostudio, ett vanligt program för stabilitetsberäkning, stöder användning av partialkoefficienter för materialparametrar och laster (t.ex. punktlaster eller jordankare) men inte för portryck eller andra vattenlaster eftersom det kan resultera i ologiska kraftfördelningar [28]. Istället får portryckslinjen definieras med ungefär samma metodik som för materialparametrar – antingen statistiskt eller nominellt (EN 1997-1 6.4).

Belastningsfallet dimensionerande läckage, vars syfte är att representera ett scenario då dammens tätning degraderats av inre erosion till den grad att läckaget genom dammen bara begränsas av stödfyllningens hydrauliska konduktivitet, riskerar då att missas om portryckslinjen enbart definieras utifrån vad som anges i Eurokod.

Inget hinder i Eurokod för att använda de definierade belastningsfallen i RIDAS har identifierats. I jämförelsen för Fyllningsdamm X har därför samma belastningsfall beräknats med båda metoderna, totalsäkerhetsfaktor respektive partialkoefficienter.

Jämförelsen av stabilitetsberäkning för fallstudien Fyllningsdamm X indikerar att erforderlig säkerhetsfaktor uppnås i alla beräknade fall, för båda metoderna. För normalfallet överskrider erforderlig säkerhetsfaktor med god marginal. Det är det mest extrema belastningsfallet, dimensionerande läckage, som blir dimensionerande för dammen (för båda metoderna) och kräver en stödbank för att uppfylla kraven.

För de beräknade fallen (se Tabell 6) överskrider erforderlig säkerhetsfaktor mer för normalfallet (belastningsfall 2) med Eurokods metod jämfört med RIDAS metod. För de extrema fallen (belastningsfall 3 och 5) är det dock tvärtom. För det belastningsfall som varit dimensionerande för dammen, belastningsfall 5, överskrider erforderlig säkerhetsfaktor med 27% för totalsäkerhetsmetoden, men bara med 2% för partialkoefficientmetoden. En tillräcklig stabilitet för dimensionerande läckage ($SF \geq 1,1$) enligt RIDAS metod hade alltså inte varit tillräcklig enligt Eurokods metod. Det tyder på att Eurokods metod kommer att bygga in mer säkerhet för de extrema belastningsfallen, eftersom målsäkerhetsfaktorn inte justeras för de olika belastningsfallen så som det görs i RIDAS.

Genom att definiera de mer extrema belastningsfallen som dimensioneringssituation "olycksfall" ("accidental design situation") finns en möjlighet i Eurokod att reducera partialkoefficienterna för dessa belastningsfall. Eftersom definitionen av de olika dimensioneringssituationerna i EN 1990 inte är särskilt detaljerad eller relevant för just fyllningsdammar (exempel på olyckssituationer i EN 1990 är "översvämning, extrem havsvattennivå, brand, explosion eller kollision") har olyckssituation ej använts i beräkningsexemplet för Fyllningsdamm X.

Även om det inte helt går att jämföra de olika beräkningssätten direkt då säkerhetsfaktorn placeras på olika sidor i beräkningen, så anger SGI [29] att "den faktiska skillnaden mellan resultat från beräkningar med totalsäkerhetsfaktor och partialsäkerhetsfaktor i praktiken är liten eftersom produkten av alla partialsäkerhetsfaktorer blir ungefär lika med totalsäkerhetsfaktorn". Däremot kan beräkning med partial- respektive totalsäkerhetsfaktor under vissa förutsättningar leda till kritiska glidytor med olika geometri [29].

För exempelberäkningen för Fyllningsdamm X finns inga externa laster eller förstärkningar (t.ex. trafiklast, jordankare eller betongelement), och därmed har inga partialkoefficienter för laster använts. Partialsäkerhetsfaktor ($1,25 \cdot K_M = 1,375$) är endast applicerad på jordmaterialets skjuvhållfasthet.

Det innebär i princip att det mothållande momentet divideras med partialsäkerhetsfaktorn, jämfört med totalsäkerhetsfaktormetoden, då det istället är kvoten mellan mothållande och pådrivande moment som ska uppnå värdet av totalsäkerhetsfaktorn. Säkerhetsfaktorn uppträder helt enkelt på olika sidor om likhetstecknet i ekvationen för de två metoderna.

Partialsäkerhetsfaktorn 1,375 kan då jämföras med totalsäkerhetsfaktor 1,5, 1,3 respektive 1,1 beroende på belastningsfall i RIDAS. I Tabell 6 redovisas beräknad säkerhetsfaktor respektive over-design-factor för respektive belastningsfall. De olika belastningsfallen resulterade i olika kritiska glidytor, men inom respektive belastningsfall resulterade båda metoderna (totalsäkerhetsfaktor och partialsäkerhetsfaktor) i samma kritiska glidyta.

Mer jämförelseberäkningar behöver dock göras för att verifiera att partialkoefficientmetoden inte kan leda till lägre säkerhet än den nuvarande totalsäkerhetsfaktormetoden (som varit fallet för tvärsnittsanalys av betongdammar). Eftersom konsekvensfaktorn K_M är nationellt valbar finns en möjlighet att använda den för att nå rätt erforderlig säkerhetsnivå. I EN 1997-1 4.1.3 anges även att för geokonstruktioner i konsekvensklass CC4 kan ytterligare krav än de som ställs i Eurokod behövas.

Tabell 6: Jämförelse mellan beräknad säkerhetsfaktor för RIDAS respektive Eurokods metod

Belastningsfall enligt RIDAS	Beskrivning	Beräknad totalsäkerhetsfaktor	Procentuellt överskridande av erforderlig SF	Beräknad over-design-factor (ODF)	Procentuellt överskridande av erforderlig ODF
2	Normala driftförhållanden, vattenyta vid DG	2,29	52%	1,66	66%
3	Extrema driftförhållanden, överdämning vid dimensionerande FDK-I-flöde (ca 25 cm överdämning)	2,11	62%	1,53	53%
5	Dimensionerande läckage, vattenyta vid DG	1,40	27%	1,02	2%

Skillnaden mellan Eurokod och RIDAS bedöms som annorlunda.

5.2.6 Kontrollerande funktion

EN 1997-1 anger att en övervakningsplan ska finnas. I EN 1997-3 ges mer detaljerade exempel på vad som bör övervakas för respektive typ av geokonstruktion.

RIDAS TV9 Fyllningsdammar fokuserar mer på instrumentering än generell övervakning. Exempel på vad som bör övervakas ges, och även mer detaljerade exempel på hur övervakningen ska utföras. Efter byggtiden bör instrumenteringens omfattning bestämmas utifrån en felmodsanalys. Eventuell överflödig instrumentering från byggtiden tas då ur drift.

Generellt ges förslag på samma typ av övervakning i både RIDAS och Eurokod. En markant skillnad mellan RIDAS och Eurokod för den kontrollerande funktionen är dock att mätning av läckageflöde inte nämns alls i Eurokod. Läckagemätning är en viktig del av instrumenteringen för en fyllningsdamm. RIDAS föreslår automatisk

mätning (minst var 15:e minut och direkt överföring av larm) av läckage för dammar i dammsäkerhetsklass A och B.

Trots att läckagemätning saknas i Eurokod bedöms skillnaden mellan Eurokod och RIDAS som annorlunda.

5.2.7 Klassificering

Begreppet geoteknisk kategori finns även i den tidigare versionen av Eurokod 7, men används inte i RIDAS. Geoteknisk kategori (GC) bestäms i Eurokod 2.0 utifrån kombinationen av geoteknisk komplexitetsklass (GCC) och konsekvensklass (CC).

Konsekvensklass (CC) i Eurokod definieras i EN 1997-1 (Tabell 4.3) med ett antal exempel på geokonstruktioner i respektive CC. Dammar, invallningsdammar och gruvdammar anges som exempel på den högsta konsekvensklassen, CC4. Även i EN 1990 Annex A (Tabell A.1.1) anges dammar tillhöra CC4. I EN 1997-3 (4.1) refereras dock till "dams and levees classified in CC3 and CC4", vilket indikerar att även CC3 är en möjlig konsekvensklass för dammar. Oavsett om konsekvensklass CC3 eller CC4 väljs för en damm resulterar det i geoteknisk kategori GC3 (EN 1997-1, Tabell 4.2).

Konsekvensklassen (CC) påverkar i huvudsak partialkoefficienter för stabilitetsberäkningar genom konsekvensfaktorn KM. Geoteknisk kategori (GC) påverkar bl.a. krav på omfattning av geotekniska undersökningar, validering av "Geotechnical Design Model" och nivå på kvalitetskontroll.

Definitionen av konsekvensklass i Eurokod skiljer sig från definitionen av dammsäkerhetsklass som finns i RIDAS och Miljöbalken.

GCC, CC och GC är alla nationellt valbara. En översättning mellan dammsäkerhetsklass, konsekvensklass och geoteknisk kategori bör tas fram till den svenska bilagan.

6 Slutsatser

Den vanligaste skillnaden mellan Eurokod och RIDAS som identifierats är att uppgift saknas i Eurokod. Det ligger i dokumentens natur, då Eurokod endast är ett övergripande regelverk medan RIDAS är en tillämpningsvägledning. Alla detaljer som finns i RIDAS kring design av fyllningsdammar kan och bör inte finnas i Eurokod. Något förenklat beskrivet gäller att Eurokod anger att något ska kontrolleras, men inte hur. EN 1990 och EN 1997 är dessutom omfattande dokument som riskerar att bli oöverblickbara.

Detta ställer stora krav på konstruktören att tillämpa rätt metoder, och därför är det redan praxis i Sverige för andra typer av geokonstruktioner att använda tillämpningsvägledningar vid dimensionering. Även för fyllningsdammar kommer fortsatt behov av tillämpningsvägledning att finnas.

Eftersom RIDAS redan är en omfattande, fortlöpande uppdaterad och etablerad designhandbok för dammar i Sverige är det lämpligt att RIDAS även i fortsättningen används som tillämpningsvägledning för fyllningsdammar. Vissa anpassningar av RIDAS kommer dock att krävas för att dokumentet ska harmonisera med Eurokod.

Eurokod bygger generellt på verifiering genom beräkning, medan RIDAS i större utsträckning bygger på hävdvunna regler. T.ex. anges rekommenderad kornstorleksfördelning för tätjord i RIDAS, istället för att projektören själv ska behöva definiera ett bruksgränstillstånd, ställa upp ett krav på maximal hydraulisk konduktivitet och utifrån det kravet beräkna en kornstorleksfördelning.

Även utläggnings- och packningsförfarande, vilket också påverkar tät kärnans hydrauliska konduktivitet och dess motståndskraft mot inre erosion m.m., beskrivs i RIDAS. Eftersom RIDAS TV9 är framtagen för fyllningsdammar är beskrivning av packning och utläggning mer anpassad och lämplig än den standardbeskrivning som finns i EN 16907 eller i AMA Anläggning.

För att kontroll genom beräkning ska vara meningsfullt krävs att lämpliga beräkningsmetoder finns. För t.ex. beräkning av kritisk hydraulisk gradient är de beräkningsmetoder som hänvisas till i Eurokod inte anpassade för svenska, zonerade dammar med tät kärna av morän.

Dammsäkerhet är en komplex fråga där tillräcklig säkerhet mot geotekniskt brott endast är en del. RIDAS bygger till stor del på ett riskbaserat arbetssätt där dammsäkerhet utgörs av en kombination av dammanläggningens tekniska utformning, dess skick, samt dammägarens organisatoriska förmåga att upptäcka och hantera fel. Helhetsperspektivet, inklusive kombinationer av olika felmoder, är viktigt vid utformning av en fyllningsdamm, och riskerar att missas vid kontroll av en serie enskilda bruks- eller brottgränstillstånd.

Ett antal punkter i jämförelsen mellan Eurokod och nuvarande praxis för design av fyllningsdammar i Sverige (RIDAS) har identifierats där skillnaden har bedömts som otillräcklig eller oacceptabel. För dessa punkter, som samtliga berör fyllningsdammens filtrerande funktion, skulle nationella tillägg till Eurokod behöva göras för att förhindra att dammar designas med en lägre säkerhetsnivå än idag.

Frågetecken kring vem som avgör vad som är "adekvat" i fråga om filterregler, samt skrivningen om att användande av geotextil som filter är acceptabelt, innebär att Eurokod kan tillåta fyllningsdammar med olämpliga filter.

7 Rekommendationer

7.1 NATIONELL TILLÄMPNING

RIDAS bör även fortsättningsvis fungera som designhandbok och tillämpningsvägledning för fyllningsdammar i Sverige. RIDAS bör revideras för att harmonisera med kraven i Eurokod (t.ex. stabilitetsberäkning med partialkoefficientmetoden).

7.2 BEHOV AV KOMPLETTERANDE ANALYSER

Följande områden med behov av ytterligare analys har identifierats:

- Utförligare kontrollberäkningar av stabilitet för olika typer av fyllningsdammar och belastningsfall där skillnaderna mellan beräkningsmetodiken i Eurokod och RIDAS tydliggörs. De inledande beräkningarna visar att utfallet av jämförelsen blir olika beroende på vilken konstruktion som belyses under vilka förhållanden, varför det utan att utföra ett flertal olika kontroller är svårt att avgöra konsekvensen av skillnaderna i beräkningsmetodik.
- Förtydligande av dimensioneringssituationer ("design situations") och deras koppling till relevanta belastningsfall för fyllningsdammar, samt översyn av möjligheten att justera partialsäkerhetsfaktorn för extrema belastningsfall (t.ex. i den nationella bilagan).
- Förtydligande av begreppet påverkansområde ("zone of influence") och dess definition för en damm. Detta då grundvattenytan normalt påverkas inom mycket stora områden både upp- och nedströms vid dämning, vilket gör att direktiven i Eurokod kan tolkas som att orimligt omfattande kontroller behöver genomföras.
- Översättningstabell (eller annan vägledning) för vilken konsekvensklass enligt Eurokod (CC) fyllningsdammar i olika dammsäkerhetsklasser (enligt RIDAS) ska tillhöra.
- Nationell praxis för hantering av geokonstruktioner i konsekvensklass CC4.

8 Referenser

- [1] Svenska kraftnät, Dammsäkerhet - Tillämpliga regelverk, vägledningar och stöd, 2023-10-16.
- [2] Eurokod, "SS-EN 1990 Eurokod EN 1990 Generation 1," Svensk Standard, 2014-12.
- [3] Eurocode, "Eurocode EN 1990 Generation 2, Final Draft fprEN," European Standard, 2022-10.
- [4] Eurocode, "Eurocode 7 v.1 EN 1997-1," CEN/TC European Standard, 2021-05.
- [5] Eurocode, "Eurocode 7 v.1 EN 1997-2," CEN/TC European Standard, 2021-05.
- [6] Eurocode, "Eurocode 7 v.2 prEN 1997-1:2022," CEN/TC European Standard, 2022-08-29.
- [7] Eurocode, "Eurocode 7 v.2 prEN 1997-2:2022," CEN/TC European Standard, 2022-08-29.
- [8] Eurocode, "Eurocode 7 v.2 prEN 1997-3:2022," CEN/TC European Standard, 2022-08-29.
- [9] Energiföretagen, "RIDAS Huvuddokument," 2022.
- [10] Energiföretagen, "RIDAS - Tillämpningsvägledning 9 Fyllningsdammar," 2020.
- [11] Energiföretagen, "RIDAS - Tillämpningsvägledning 9 Grundläggning," 2020.
- [12] Energiföretagen, "RIDAS Tillämpningsvägledning 9 - Betongdammar," 2020.
- [13] IEG, "EN 1997-2 ändrat fokus, Arbetsrapport 2021:3," 2021.
- [14] IEG, "Omfattning Eurokod och nya begrepp, Arbetsrapport 1:2023," 2023.
- [15] Svk, Energiföretagen & SveMin, "Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar," 2022.
- [16] Federal Emergency Management Agency (FEMA), "Filters for Embankment Dams," 2011.
- [17] USBR, "Design Standards No. 13 Embankment Dams, Chapter 5: Protective Filters," 2011.
- [18] Energiföretagen, "RIDAS - Tillämpningsvägledning 9 Kontrollerande funktion," 2020.

- [19] USBR, Design Standards No. 13 Embankment Dams, Chapter 12: Foundation and Earth Materials Investigation Phase 4, 2012.
- [20] CIRIA, The International Levee Handbook, C731, London: Construction Industry Research and Information Association, 2013.
- [21] J. L. Sherard och L. P. Dunnigan, "Critical filters for impervious soils," ASCE Journal of Geotechnical Engineering, vol. 115, pp. 927-947, 1989.
- [22] M. Foster och R. Fell, "Assessing embankment dam filters that do not satisfy design criteria," Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, vol. 127, pp. 398-407, 2001.
- [23] J.-P. Giroud, "Filter criteria," i Jubilee Volume, 75th Anniversary of K. Terzaghi's "Erdbaumechanik" ("Soil Mechanics"), 2003, pp. 221-259.
- [24] IEG, "Tillämpningsdokument - Grunderna i Eurokod 7, Rapport 2:2008, rev 3," 2008.
- [25] IEG, "Tillämpningsdokument - EN 1997-1 Kapitel 11 och 12, Slänter och bankar, Rapport 6:2008, rev 1," 2008.
- [26] Svensk Energi, "RIDAS Avsnitt 7.2 Fyllningsdammar Tillämpningsvägledning," 2011-12-15.
- [27] R. Fell, M. Foster, P. MacGregor, D. Stapledon och G. Bell, Geotechnical Engineering of Dams, London, UK: Taylor & Francis, 2015.
- [28] GEO-SLOPE, "Stability Modeling with SLOPE/W," 2021.
- [29] SGI, "Utredning av släntstabilitet, Utgåva 1, SGI Vägledning 8," Statens geotekniska institut (SGI), Linköping, 2023.

DIMENSIONERING AV Fyllningsdammar enligt Eurokod

RIDAS är styrande för design och konstruktion av fyllningsdammar i Sverige. Dammkonstruktioner har tidigare varit undantagna från de internationella direktiven i Eurokod. Från 2025 avses dock att Eurokod ska vara styrande även för dessa typer av konstruktioner. För att kunna bedöma inverkan av införandet av Eurokod har de avsnitt som rör dämmande konstruktioner som kan påverka designkriterierna för fyllningsdammar studerats. Skillnader mellan RIDAS och Eurokod har identifierats och deras potentiella inverkan på dammsäkerheten har analyserats. Där avvikelser påträffats som kan påverka säkerhetsmarginalerna i konstruktionerna har konsekvensen av dessa beskrivits. Förslags ges på kompletterande studier där så bedömts erforderligt för att verifiera vilka nationella undantag som är nödvändiga, samt omfattningen av dessa för att säkerställa att nuvarande nivå på dammsäkerheten bibehålls även efter införandet av Eurokod. Eurokod ska bara kunna höja kraven på dammsäkerheten och inte i något avseende medföra att dessa sänks.

Ett nytt steg i energiforskningen

Forskningsföretaget Energiforsk initierar, samordnar och bedriver forskning och analys inom energiområdet samt sprider kunskap för att bidra till ett robust och hållbart energisystem. Energiforsk är ett politiskt neutralt och icke vinstutdelande aktiebolag som ägs av branschorganisationerna Energiföretagen Sverige och Energigas Sverige, det statliga affärsverket Svenska kraftnät, samt gas- och energiföretaget Nordion Energi. Läs mer på energiforsk.se.

