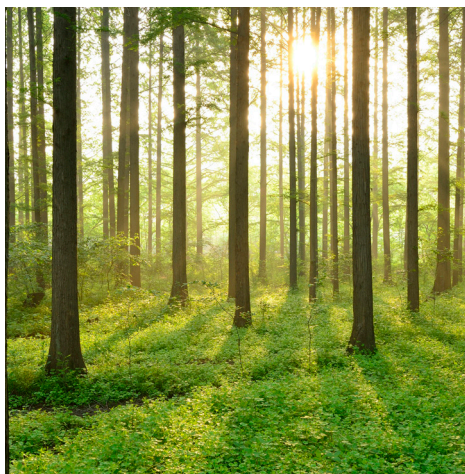


RIKTLINJER FÖR HANTERING AV SPÄNNSTAG I VATTENBYGGNADSKONSTRUKTIONER AV BETONG

RAPPORT 2021:834



 VATTENKRAFT

BETONGTEKNISKT PROGRAM
VATTENKRAFT



Riktlinjer för hantering av spännstag i vattenbyggnadskonstruktioner av betong

PETER LUNDQVIST
CHRISTIAN BERNSTONE
ANDERS MARKLUND
CARL-OSCAR NILSSON

ISBN 978-91-7673-834-4 | © Energiforsk oktober 2022

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

Förord

Spännarmering, i form av så kallade spännstag, är ett viktigt instrument för att öka stabiliteten i olika konstruktioner. Med ett åldrande anläggningsbestånd installeras fler och fler spännstag. För att kunna förvalta dessa på ett effektivt föreslås en gemensam strategi vad gäller exempelvis mätning av spännkrafter och uppskattning av framtida förväntade spännkraftsförluster.

Arbetet är en del i ett större arbete för att öka kunskapen om spännarmering i både vattenkraft- och kärnkraftindustrin. Tidigare arbete redovisas i Energiforsk rapport 2017:397, 2018:545 samt 2020:688. I detta fjärde delprojekt har de seniora medarbetarna Peter Lundqvist, Christian Bernstone och Anders Marklund från Vattenfall samt Carl-Oscar Nilsson på Uniper/Sydkraft Hydropower utformat riktlinjer för hantering av spännstag inom vattenkraftsindustrin. Riktlinjerna är baserade på resultaten från de tidigare tre delprojekten. De är tänkta att användas som ett stöd för främst anläggningsägare avseende alla aspekter kring spännstag, från installation till förvaltning.

Projektet har genomförts inom Energiforsk Betongtekniskt program vattenkraft, med intressenterna Fortum Sverige AB, Jämtkraft AB, Jönköping Energi AB, Karlstads Energi AB, Skellefteå Kraft AB, Sollefteåforsens AB, Statkraft Sverige AB, Sydkraft Hydropower AB, Umeå Energi AB, Vattenfall AB Vattenkraft och Vattenfall Indalsälven AB.

Sammanfattning

Spännarmering i form av så kallade spännstag används inom vattenkraftsindustrin som en metod för att bland annat öka dämmande betongkonstruktioners stabilitet mot yttre laster. I och med att vattenkraftsanläggningar åldras och att det finns behov av att förlänga dess tekniska livslängd så förväntas användandet av spännstag att öka. Denna tekniska lösnings ökade betydelse behöver åtföljas av en branschgemensam riktlinje för design, installation, drift och underhåll av spännstagssystem.

Då installerade spännstagssystemens funktion direkt påverkar stabilitetsrelaterade säkerhetsfaktorer för en anläggnings betongkonstruktioner så är tillgång till standardiserad metodik för systemens design, installation och drift av stor vikt.

Sedan 2016 har det inom Energiforsks betongtekniska program inom vattenkraft utförts fyra delprojekt som undersökt olika aspekter kring spännstag. Det övergripande syftet har varit att utarbeta rekommendationer för hantering av spännstag inom vattenkraften. Flertalet aspekter kring användandet av spännstag har behandlats såsom kravställning vid dimensionering och installation, och program för åldringshantering (t.ex. inspektioner och instrumentering med lastceller).

I föreliggande rapport sammanställs bearbetade resultat från de tidigare delprojekten i form av en riktlinje. Syftet med riktlinjen är att åstadkomma ett branschgemensamt förfarande av spännstags hantering inom vattenkraften. Den primära målgruppen är anläggningsägare, samt berörda teknikkonsulter och entreprenörer.

Sökord

Vattenkraft, spännstag, riktlinje, dammsäkerhet, betongdammar.

Summary

Post-tensioning tendons are widely used within the hydropower industry mainly to increase the stability of dams. Due to the ageing of the Swedish hydropower dams the usage of tendons will increase with time. Since both the integrity and safety of a stabilized hydropower structure is directly related to the forces in the tendons, it is thus of great importance to have a management system regarding ageing and assessment of the installed tendons. Currently, no such common practice exists within the hydropower industry and it is up to each individual owner to incorporate their own strategy.

Within the Energiforsk concrete research program in hydro power several projects have been performed in recent years focusing on different aspects of tendons for hydro power structures. Some topics that have been studied are e.g. ageing management of tendons, inspections, tendon force measurements, supplementary recommendations for current codes and instrumentation with load cells. The main purpose of the projects have been to develop recommendations and methods for management of tendons within the hydro power industry.

Based on the results from the earlier performed projects guidelines for the management of tendons all the way from the design phase to the end of the tendons service life are presented in this report. The purpose of these guidelines is to be the foundation for a common practice for tendon management in the Swedish hydro power industry. These guidelines are mainly for the use of dam owners who commission the use of post-tensioned tendons, but also for contractors and designers in structural and geotechnical engineering working in the hydro power industry.

Innehåll

1	Inledning	9
1.1	Bakgrund	9
1.2	Syfte	10
1.3	Spännstag i vattenbyggnadskonstruktioner	10
1.4	Allmänt om riktlinjen	12
1.5	Hänvisningar till normer	12
2	Kravställning	14
2.1	Inledning	14
2.2	Detaljprojektering	14
2.2.1	Anvisningar för utförande	14
2.2.2	Statusbedömning av betongkonstruktion och berggrund	15
2.2.3	Spännstagssystem med ändamålsenlig utformning	15
2.2.4	Spännkraft	19
2.2.5	Injekteringsbruk*	20
2.3	Installation	22
2.3.1	Dokumentationskrav	22
2.3.2	Personalens kompetens*	22
2.3.3	Håltagning	22
2.3.4	Täthetsprovning av borrhål	23
2.3.5	Täthetsinjektering	24
2.3.6	Hantering av spännstag	25
2.3.7	Injekteringsarbeten av spännstag*	27
2.4	Uppspänningsarbeten och spännkraftsmätningar	31
2.4.1	Personalens kompetens	31
2.4.2	Utrustning*	31
2.4.3	Uppspänningsarbeten	32
2.4.4	Spännkraftsmätningar*	33
2.5	Arbetsmiljöaspekter	37
3	Utformning av inspektionsprogram	39
3.1	Sammanställning av Bakgrundsinformation*	39
3.2	Inspektion	40
3.2.1	Årlig okulär inspektion*	40
3.2.2	Inspektion med verifikationstest*	41
4	Utvärdering av spännkraftsmätningar*	44
4.1	Utvärdering av mätresultat*	44
4.2	Framtagning av Utvärderingsparametrar*	45
4.2.1	Generell metod för nyinstallation och vissa befintliga spännstag*	45
4.2.2	Alternativ metod för spännstag med tillgänglig mätdata*	47
4.2.3	Metod för spännstag som förankrar mekanisk utrustning*	47

4.2.4	Spännstag med otillräckliga marginaler mellan spännkraft och spännkraftsbehov*	47
4.2.5	Spännstag utan marginaler*	48
4.2.6	Svårtillgängliga spännstag*	48
4.2.7	Spännstag med lastceller	49
5	Instrumentering med lastceller	50
5.1	Inledning*	50
5.2	Installationens omfattning	51
5.3	Val av lastcell*	51
5.4	Riktlinjer vid installation	53
5.5	Datainsamlingssystem	54
6	Referenser	55
Bilaga A:	Förslag på inspektionsprotokoll	57
Bilaga B:	Exempel på tillämpning av riktlinjerna	59
	Information om anläggningen	59
	spännkrafter	60
	Val av uppspänningskraft	60
	Godkännandeprov	61
	Utvärderingsparametrar för spännkraften	62
	Inspektionsprogram och instrumentering	63
	Indelning i spännstagsgrupper	63
	Instrumentering	63
	Inspektionsprogram – årlig okulär inspektion	64
	Inspektionsprogram – inspektion med verifikationstest	64
	Första inspektionen med verifikationstest	65
Bilaga C:	Kommentarer till riktlinjerna.	69

Ordlista:

Aktiv förankring: förankringen i den aktiva delen, d.v.s. i den ände där uppspänningen sker. Detta omfattar samtliga ståldetaljer i förankringen, t.ex. ankarplatta, ankarstycke, spännstål och skyddshuv.

Aktiv förankringszon: Det område i betongkonstruktionen kring den aktiva förankringen som påverkas av spännkraften i spännstaget.

Ankarmutter: Mutter för överföring av spännkraft från spännstång till ankarplatta.

Ankarplatta: Stålplatta som överför spännkraften från ankarstycke eller ankarmutter till konstruktionen.

Ankarstycke: Stålcylinder i vilken linorna i ett spännstag fästs in med kilar. Överför därigenom spännkraften från spännstaget till ankarplattan.

Förankringszon: Den fasta delen av spännstaget som gjutits in i berg eller betong.

Godkännandeprov: Prov som utförs under uppspänningen där spännstaget belastas med en s.k. provlast vilken överstiger den slutliga uppspänningskraften. Syftet är att verifiera spännstagets bärförmåga.

Inspektion med verifikationstest: Inspektion av spännstag som utförs med regelbundna intervall och som inkluderar mätning av spännkraft med domkraft.

Kilar: Förankrar linorna i ankarstycket.

Lina: Bestående av sju tvinnade trådar, sex av trådarna är tvinnade kring en centralt rak tråd.

Spännklack: Betongkonstruktion som gjuts på befintlig konstruktion i vilken spännstaget installeras.

Spännkraftsbehov: Den spännkraft som krävs i ett spännstag för att uppfylla konstruktionens säkerhetsvillkor.

Spännstag: Kabel bestående av linor alternativt en stång vilken kan förspännas med domkraft.

Spännstagsgrupp: Grupp av spännstag som är monterade i samma konstruktionsdel eller har samma syfte.

Tråd: Tråd av höghållfast stål, flera trådar tvinnas till en lina.

Årlig okulär inspektion: Inspektion som utförs årligen på samtliga installerade spännstag i en anläggning.

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

Spännarmering används inom vattenkraftsindustrin som en metod för att bl.a. öka dämmande betongkonstruktioners stabilitet mot yttre laster (egentligen förbättrade säkerhetsfaktorer). Enligt RIDAS, kraftföretagens riktlinjer för dammsäkerhet [1], kan befintliga betongdammar som ej uppfyller stabilitetskraven förbättras genom att installera spända förankringsstag. Förankringsstagen skall då utföras så att uppspänningskraften regelbundet kan kontrolleras genom provdragning¹.

I och med att vattenkraftsanläggningar åldras och att det finns behov av att förlänga deras tekniska livslängd så förväntas användandet av spännarmering att öka. Denna tekniska lösnings ökade betydelse behöver åtföljas av en branschgemensam riktlinje för design, installation, drift och underhåll av spännstagsystem.

Då installerade spännstagssystems funktion direkt påverkar stabilitetsrelaterade säkerhetsfaktorer för en anläggnings betongkonstruktioner så är tillgång till standardiserad metodik för systemens design, installation och drift av stor vikt.

Sedan 2016 har det inom Energiforsks betongtekniska program inom vattenkraft utförts fyra delprojekt som undersökt olika aspekter kring spännstag [2], [3] och [4]. Det övergripande syftet har varit att utarbeta en riktlinje för hantering av spännstag inom vattenkraften. Utfört arbete omfattar:

- Dimensionering av spännstag samt acceptanskriterier för spännkrafter i samband med spännkraftsmätningar (d.v.s. lägst acceptabla spännkraft) [4].
- Metoder för att uppskatta spännkraftsförluster och införa marginaler mellan spännkraftsbehov och uppspänningskraft [4].
- Installation av spännstag, inklusive utförande av spännkraftsmätningar vid uppspanning [4].
- Metoder för mätning av kvarvarande spännkraft med domkraft, inklusive bestämning av den s.k. lift-off kraften [3].
- Utformning av inspektionsprogram (typer, omfattning, detaljeringsgrad, frekvens och acceptanskriterier) [3]. Underlaget utgörs av befintliga normer och riktlinjer för spännstag till bergförankringar samt angränsande kraftindustrispecifika normer.
- Övervakning med lastceller för kontinuerlig mätning av spännkraft ([3].

En enkätbaserad kunskapssammanställning av spännstag som installerats på svenska vattenkraftkonstruktioner har även utförts. Svaren omfattar information om 1690 spännstag från 42 anläggningar [2]. Slutligen har även en översiktlig

¹ I och med att RIDAS numera ställer krav på att ingjutna spännkablar spännkraft skall kunna kontrolleras, så likställs äldre installationer där kablarna har gjutits in med samma krav som gäller för slakarmering mot berg, dvs. att dessa för klass A-dammar inte får medräknas. Tidigare designfilosofi har varit att spännkablar ges ett fördelaktigt skydd genom ingjutning.

litteraturstudie avseende faktorer som påverkar förankringszonen för bergförankringar genomförts [4].

1.2 SYFTE

Syftet med föreliggande rapport är att sammanställa en riktlinje utifrån de tidigare utförda delprojektens resultat. Riktlinjen utgör en grund för en branschgemensam metodik för hantering av spännstag inom vattenkraften.

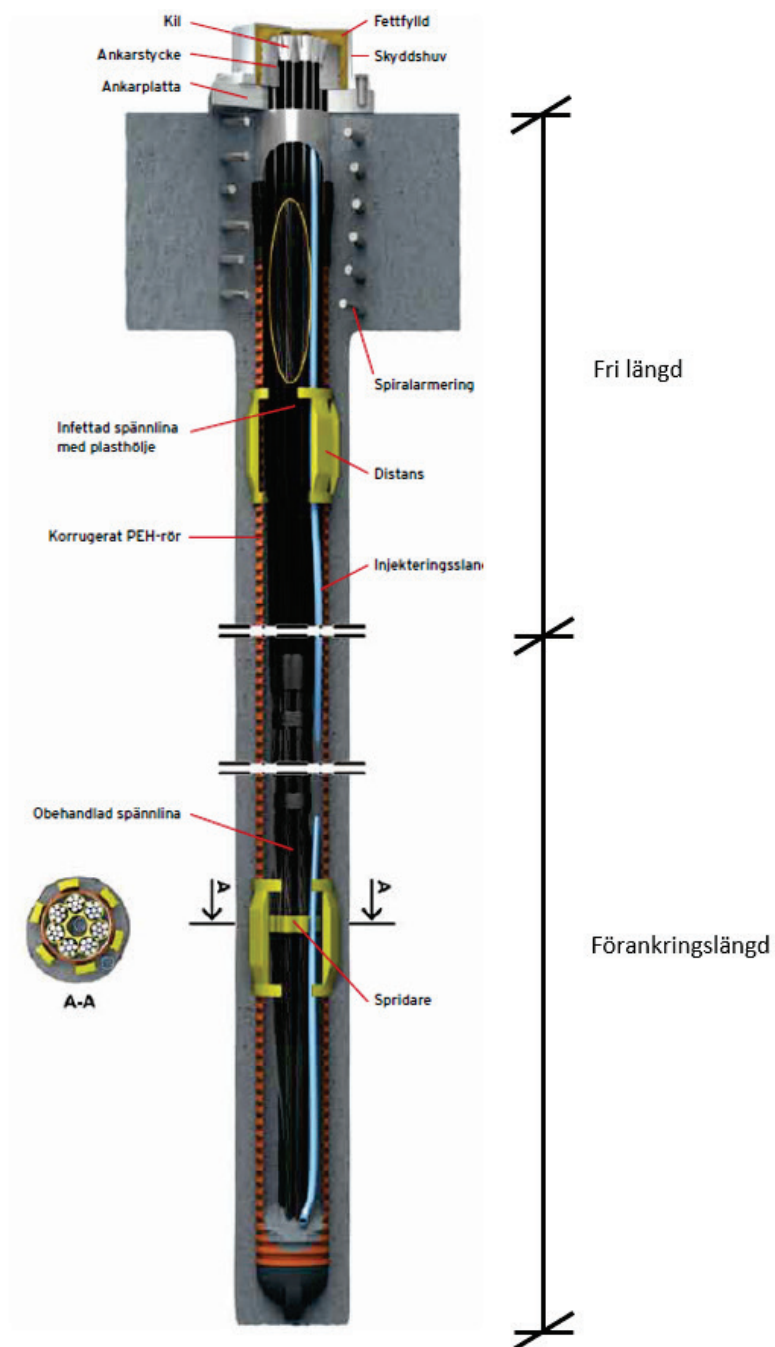
Riktlinjens målgrupp är anläggningsägare samt berörda teknik konsulter och entreprenörer.

1.3 SPÄNNSTAG I VATTENBYGGNADSKONSTRUKTIONER

Den vanligaste orsaken till installation av spännstag i vattenkraftsanläggningar är att öka dämmande konstruktionsdelars stabilitet gentemot yttre belastning avseende stjälpning och glidning. Detta utförs genom att borra hål genom betongkonstruktionen och ner i underliggande berg. Efter borrhningen täthetsprovas vanligen borrhålet och vid behov injekteras berg och/eller betong för att uppnå tillräcklig täthet. Därefter installeras spännstaget i borrhålet. Förankringen för spännstag utförs genom att den del av spännstaget som är i förankringszonen cementinjekteras. När cementbruket uppnått tillräcklig hållfasthet kan spännstaget spännas upp.

Andra anledningar till installation av spännstag kan t.ex. vara att motverka sprickbildning alternativt överbygga redan befintliga sprickor och på så vis öka eller bibehålla konstruktionens bärförmåga.

För spännstag vars funktion är att öka dämmande anläggningars stabilitet (även de som installeras p.g.a. sprickbildning) används s.k. dubbelt korrosionsskydd, se Figur 1-1. Dubbelt korrosionsskydd innebär att spännstaget är skyddat av både ett yttre plaströr (foderrör) och cementbruk. Varje lina är dessutom infettad och skyddad med ett plasthölje. Spännstaget installeras i borrhålet och utrymmet kring det omgivande plaströret och borrhålet injekteras med cementbruk. Utrymmet mellan spännstag och plaströr injekteras även det med cementbruk längs hela spännstagets längd. I den nedre delen av spännstaget är linorna inte infettade och har inget plasthölje utan kommer i direkt kontakt med cementbruket, detta utgör förankringslängden av spännstaget. Övrigt utrymme där linorna har ett plasthölje utgör den s.k. fria längden av spännstaget och är den del som kommer spännas upp. Korrosionsskyddet för ankarstycket och övriga delar i förankringen utförs vanligen av en huv vilken fylls med rostskyddande fett. I Figur 1-1 visas exempel på utformning av linbaserade bergförankringar med dubbelt korrosionsskydd.



Figur 1-1. Utformning av bergförankringar. Bild från VSLs produktdatablad.

1.4 ALLMÄNT OM RIKTLINJEN

I föreliggande rapport ges i kapitel 2 till 5 riktlinjer för följande:

2. Kravställning för samtliga delar av en spännstagsinstallation från detaljprojektering till förvaltning av den förstärkta konstruktionen.
3. Utformning av inspektionsprogram.
4. Utvärdering av spännkraftsmätningar.
5. Instrumentering med lastceller.

Till riktlinjerna finns även tre bilagor som innehåller följande:

- A. Förslag på utformning av protokoll för att dokumentera inspektioner.
- B. Exempel på implementering av riktlinjerna på en fiktiv anläggning.
- C. Kommentarer till riktlinjerna. Här ges bl.a. motiveringar, förtydliganden och mer bakgrundinformation till de flesta avsnitt i riktlinjerna. Rubrikerna till de avsnitt där det finns tillhörande kommentarer är markerade med *.

1.5 HÄNVISNINGAR TILL NORMER

I denna rapport hänvisas till flertalet normer vid detaljprojektering, utförandet samt förvaltning av en spännstagsinstallation. Samtliga dessa normer listas nedan:

SS-EN 1997-1, Eurocode 7 - Dimensionering av geokonstruktioner – Del 1: Allmänna regler, 2005.

SS-EN 1537:2013, Utförande av geokonstruktioner – Förankringar, 2013.

SS-EN 1992-1-1:2005, Eurocode 2 - Dimensionering av betongkonstruktioner, del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader, 2008.

SS-212551:2013 - Spännarmering – Allmänna krav, 2013.

SS-212553:2013 - Spännarmering – Lina, 2013.

SS-212554:2013 - Spännarmering – Stång, 2013.

SS-EN ISO 22477-5:2018, Geoteknisk undersökning och provning - Provning av geokonstruktioner - Del 5: Provning av förankringar, 2018.

SS-EN 447:2007, Betongkonstruktioner – bruk för injektering av foderrör för spännkablar – fordringar, 2007.

SS-EN 206:2013, Betong – Fordringar, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse, 2016.

SS-EN 446:2007, Betongkonstruktioner – injektering av foderrör för spännkablar – utförande, 2007.

SS-EN 445:2007, Betongkonstruktioner – injektering av foderrör för spännkablar – provningar, 2007.

prEN17678-1, Installation of post-tensioned kits for prestressing of structures - Part 1: Competence of personnel

SS-137540:2008, Betongprovning – Cementbruk – Vattenseparation och volymändring, 2008.

SS-EN ISO 22282-3:2012, Geoteknisk undersökning och provning – Geohydraulisk provning – Del 3: Vattenförlustmätning i berg, 2012.

SS-EN 13670:2009, Betongkonstruktioner – Utförande, 2012.

SS 27104:2016, Provning av geotekniska konstruktioner – förankringar, 2016.

2 Kravställning

2.1 INLEDNING

Anläggningsägare behöver ställa krav kopplade till spännstag från det att ett behov har identifierats och det är aktuellt med detaljprojektering, vid upphandling av och kontroll av entreprenadarbeten, och slutligen den spännstagsförstärkta konstruktionens förvaltning.

2.2 DETALJPROJEKTERING

Dimensionering av spännstag görs som en del av en detaljprojektering. De övergripande reglerna ges i RIDAS [1], Eurocode 7 [5] och SS-EN 1537 [6]. RIDAS ger riktlinjer för beräkning av belastning och stabilitet medan Eurocode 7 och SS-EN 1537 ger stöd vid beräkning av spännstagens bärförmåga. Eurocode 2 [7] ska användas vid beräkning av t.ex. relaxationsförluster eller för dimensionering av bl.a. spännklackar eller förankringszonen. Övriga normer som är mer detaljreglerande och som refereras till i detta kapitel (2.2) är följande:

- SS-212551:2013 - Spännarmering – Allmänna krav.
- SS-212553:2013 - Spännarmering – Lina.
- SS-212554:2013 - Spännarmering – Stång.
- SS-EN ISO 22477-5:2018, Geoteknisk undersökning och provning - Provning av geokonstruktioner - Del 5: Provning av förankringar.
- SS-EN 447:2007, Betongkonstruktioner – bruk för injektering av foderrör för spännkablar – fordringar.
- SS-EN 206:2013, Betong – Fordringar, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse.

2.2.1 Anvisningar för utförande

I samband med detaljprojekteringen ska anvisningar för utförandet av uppspanningsarbeten samt injekteringsarbeten tas fram. Dessa anvisningar listas nedan tillsammans med tillhörande avsnitt där de beskrivs mer i detalj:

- *Anvisningar för uppspanning* i avsnitt 2.2.4.
- *Anvisningar för injekteringsarbeten* i avsnitt 2.3.6.

2.2.2 Statusbedömning av betongkonstruktion och berggrund

*Betongkonstruktioner**

Konstaterandet av att det föreligger ett förstärkningsbehov kommer i regel från en utredning som omfattar statusbedömning av betongkonstruktioner. Inför detaljprojektering av en förstärkning med spännstag så behöver ett fullgott underlag säkerställas. Ansvarig konstruktör skall säkerställa att betongens mekaniska egenskaper är kända. I det fall som provtagning behövs för tryck- och draghållfasthet så behöver ett tillräckligt stort antal prover finnas för att kunna fastställa karakteristiska värden. Förekommer det sprickor i betongkonstruktionen så skall dessa karteras som underlag för analys av spännstagets inverkan på konstruktionen.

Berggrundens egenskaper

I det fall det saknas uppgifter om berggrundens tillstånd ska det utföras en utredning av egenskaper för den berggrund som tas i anspråk för att spänna fast aktuell betongkonstruktion. Utredningen behöver omfatta hela det område som kommer påverkas av spännstagsinstallationen, både i vertikal- och horisontalld. Resultatet skall vägleda både vid bestämning av bergets bärförmåga i förankringszonen och val av metod för eventuella tätningsarbeten.

2.2.3 Spännstagssystem med ändamålsenlig utformning

*Spännstagssystem**

Två olika typer av spännstagssystem kan användas, lin- eller stångbaserade system. I det fall som en konstruktion skall spännas fast i berggrunden så är linbaserade system att föredra.

Vid val av linbaserade system skall det säkerställas att dess ankarstycken är gängade. På så sätt underlättas genomförandet av spännkraftsmätningar.

Materialkrav

Spännstål med samtliga tillhörande förankringsdetaljer ska uppfylla materialkrav som ställs i Eurocode 2 [5], SS-EN 1537 [6] samt SS-212551 [8]. För spännstag bestående av en eller flera linor tillkommer även att krav i SS-212553 [9] ska uppfyllas, för spännstag av stångtyp ges motsvarande krav i SS-212554 [10]. Dessa krav avser stålets mekaniska egenskaper och motståndskraft mot korrosion.

*Möjlighet till avlastning**

Ett spännstags utformning skall möjliggöra att det går att utföra en total nedspänning, d.v.s. det ska vara möjligt att helt avlasta spännstaget. För system med linor respektive stänger så innebär kravet följande:

- För linbaserade system ska det gå att montera tillräckligt många mellanlägg. Mellanläggens sammantagna tjocklek ska motsvaras av den teoretiska förlängning som erhålls vid uppspänningskraften.
- För stångbaserade system skall muttern kunna skruvas av.

Möjligheten till nedspänning kan behöva ta hänsyn till att en lastcell bör kunna efterinstalleras, vilket stjälar utrymme mellan ankarplatta och ankarstycke.

Kravet på avlastning behöver inte uppfyllas för spännstag vars fria längd överskrider 35 m.

*Fri spännstagslängd**

Vid dimensioneringen bestäms spännstagets fria längd, d.v.s. den del av spännstaget som spänns upp mellan berggrundens ovkant och ankarplatta. Som minimikrav gäller att den fria längden bör vara minst fem (5) meter för linbaserade system och minst tre (3) meter för stånbaserade system.

*Val av spännstagsdimension**

Vid dimensionering fastställs spännstagets dimension. Valet bör göras så att stagets totala stålarea maximeras.

*Dimensionering av den förstärkta konstruktionens aktiva förankringszon**

Aktuell betongkonstruktions bärförmågan för den aktiva förankringszonen ska verifieras i enlighet med Eurocode 2.

För att säkerställa tillfredställande lastfördelning så skall ett spännstags ankarplatta alltid vila på en spänklack, ett fundament eller en undergjutning.

*Dimensionering av den förstärkta konstruktionens fastspänning**

Den fastspända delen av ett spännstag ska kontrolleras för följande fyra brottmekanismer:

1. Brott i spännstålet.
2. Vidhäftningsbrott mellan spännstål och injekteringsbruk.
3. Vidhäftningsbrott mellan injekteringsbruk och berg (i vissa fall betong).
4. Brott i bergmassan (i vissa fall betong).

I de fall spännstaget förankras i en befintlig betongkonstruktion så avser de två senare kontrollerna denna betong (istället för berg).

*Korrosionsskydd**

Spännstag ska i princip alltid, oavsett användningsområde, förses med dubbelt korrosionsskydd.

Ankarstycket ska skyddas mot korrosion med en skyddshuv² vilken fylls med rostskyddsfett. Skyddshuven ska fästas direkt i ankarplattan med skruv.

Den aktiva förankringszonen (inklusive den fettfyllda skyddshuven) ska skyddas av en sekundär skyddshuv som med god marginal innesluter hela ankarplattan med tillhörande spänklack.

Ett spännstags spänklack, fundament eller undergjutning bör utföras med lutning bort från ankarplattan. Som helhet ska den aktiva förankringszonen utformas så att

² Även kallad fett- eller skyddskanna.

ansamlingar av vatten med god marginal inte kan nå upp till ankarplattans underkant.

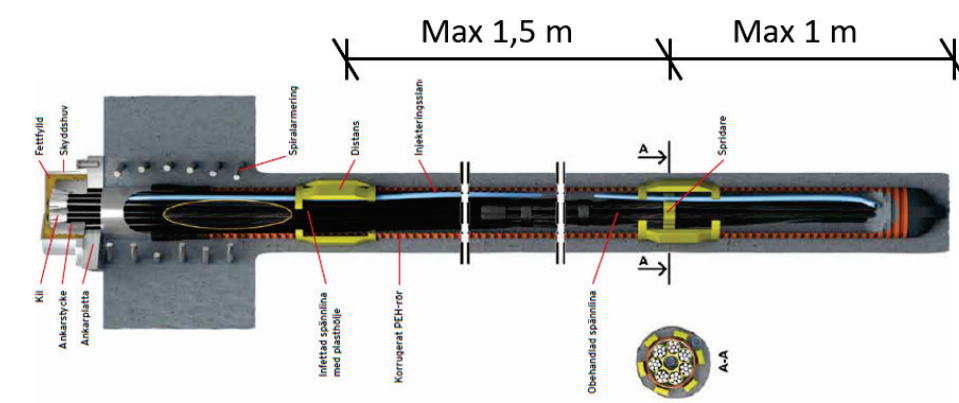
I det fall som den aktiva förankringen finns nedsänkt i den förstärkta konstruktionen (placerade i fördjupningar) så ska fördjupningen vara dränerad och skyddas mot inträngande vatten med ett vattentätt lock (infäst med nedsänkta skruvar). Lock i kör- och vägbanor ska vara dimensionerat för aktuell trafiklast.

Stångbaserade system som installeras i inomhusmiljö för förankring av mekanisk utrustning i betongkonstruktioner³ är undantaget kravet på dubbelt korrosionsskydd. Korrosionsskyddet bör istället utformas med ett fettfyllt foderrör. I detta fall så behövs inte någon skyddshuv.

Centrering*

För att säkerställa att spännstags fria längd löper centrerat utmed sitt borrhål så ska staget förses med distanshållare. Avståndet från stagets nedre del till den första distanshållaren får inte överstiga en (1) meter. Centrumavstånden mellan distanshållare styrs av ett spännstags styvhet och bestäms oftast av tillverkaren av systemet, centrumavståndet ska dock inte överstiga cirka 1,5 meter, se Figur 2-1.

För linbaserade spännstagssystem gäller att spridare placeras i samma positioner som det finns distanshållare (spridare används främst i förankringszonen). På så sätt säkerställs linornas spridning samtidigt med god omslutning av injekteringsbruk kring enskilda linor.



Figur 2-1. Avstånd och placering av distanshållare och spridare. Bild delvis från VSL produktdatablad.

Spännstags inbördes avstånd*

Inverkan på bärförmågan av närliggande spännstag ska beaktas vid dimensioneringen.

³ Förankring utförs med ankarmuttrarna i båda ändar av spännstaget (utan användning av injekteringsbruk).

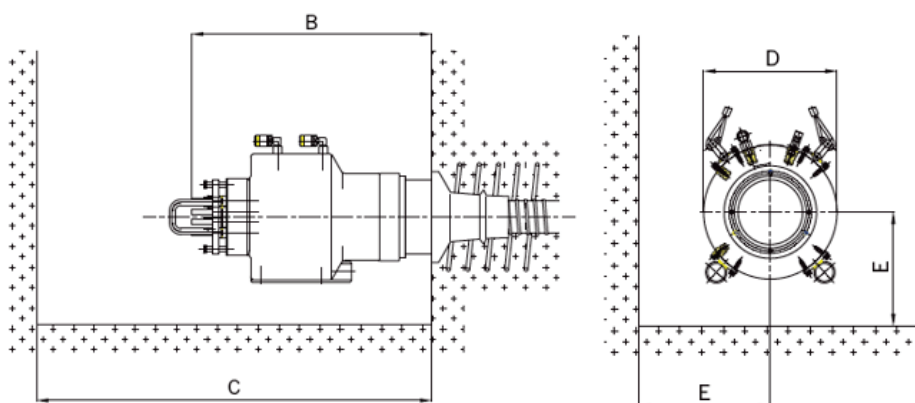
*Åtkomst**

Vid detaljprojektering av en spännstagsinstallationens utformning ska särskild hänsyn tas till arbetsmiljön för den personal som dels ska utföra själva installationen och dels ska utföra inspektioner och mätningar i förvaltningsskedet.

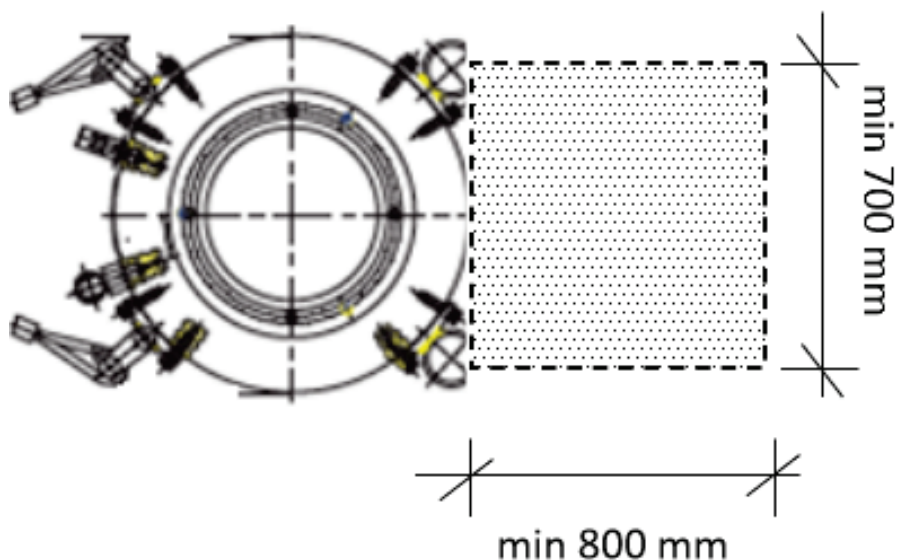
Det är att föredra om montage av ankarsystemet kan utföras i nivå med aktuell betongkonstruktions överyta (förankringen blir enkelt åtkomlig). Nedsänkta förankringar bör i möjligaste mån undvikas.

Den ska finnas tillräckligt med utrymme kring ett spännstag för att kunna utföra uppspanning, mätningar med domkraft och framtida ökning av spännkraft med mellanlägg på ett säkert sätt. Utrymmet runt ankarplattan ska utformas så att ankarstycket finns tillgängligt för arbetsinsatser. Här avses t.ex. utplacering av mellanlägg och inkoppling av mätutrustning, liksom att visuellt kunna kontrollera om ett ankarstycke rör sig vid en domkraftsmätning. Tillverkarnas specifikation avseende minsta fria utrymme kring domkraften ska uppfyllas, se Figur 2-2. Dessutom rekommenderas det att ett område med en minsta bredd på 700 mm vilket sträcker sig minst 800 mm ut från domkraftens sida görs tillgängligt i höjd med ankarplattans ovansida. I det fall då två spännstag placeras i närheten av varandra är det tillräckligt att detta utrymme görs tillgängligt mellan spännstagen, se Figur 2-3. Övriga komponenter i installationen ska även anpassas till utrymmet, t.ex. försegling med brunnslock.

Viktigt är även att lock för försegling av brunnar, som är avsedda att lyftas för hand, inte ska väga mer än 15 kg. I det fall tyngre lock krävs ska någon form av lyftanordning alltid finnas tillgänglig.



Figur 2-2. Exempel från VSL produktblad (2019) avseende utrymmen som ska hållas fria för arbete runt domkraften.



Figur 2-3. Område kring en förankring som minst bör lämnas tillgängligt för att säkerställa säkert domkraftsarbete kring ett spännstag.

2.2.4 Spännkraft

*Val av uppspänningskraft**

Uppspänningskraften ska väljas så att spännkraften i ett enskilt spännstag samt den totala spännkraften i en spännstagsgrupp, t.ex. samtliga spänntag i en konstruktionsdel, inte understiger spännkraftsbehovet under den avsedda tekniska livslängden för spännstaget. Det rekommenderas därför att uppspänningskraften sätts till 125 % av spännkraftsbehovet.

Val av uppspänningskraft ska även göras bl.a. utifrån ett spännstags materialegenskaper. Uppspänningskraften får inte överstiga:

- 60 % av spännstagets karakteristiska draghållfasthet.
- 70 % av spännstagets dimensionerande bärförmåga.

Ansvarig konstruktör ska kontrollera att vald spännkraft i brukstillståndet inte ger upphov till deformationer eller sprickbildning i omgivande betongkonstruktion. Kontrollen ska ske utifrån den aktuella betongkonstruktionens faktiska tillstånd (se avsnitt 2.2.2).

Godkännandeprov

I samband med uppspanning av nyinstallerade spännstag ska alltid ett godkännandeprov utföras enligt SS-EN 1537. Vid ett godkännandeprov belastas spännstaget till en provlast som är högre än den slutliga uppspänningskraften med syfte att säkerställa spännstagets bärförmåga. Vid dimensioneringen ska värdena på provlast samt acceptanskriterier för godkännandeprovet tas fram enligt SS-EN 1537 och SS 22477-5 [11]. Se vidare avsnitt *Godkännandeprov* i kapitel 2.4.3.

*Inspektionsprogram samt acceptanskriterier för spännkraft**

Dimensionering av spännstag ska åtföljas av ett underlag som stödjer anläggningsägares inspektionsprogram. Se vidare under Kapitel 3.

För att möjliggöra utvärdering av framtida spännkraftsmätningar ska följande utvärderingsparametrar definieras, se vidare kapitel 4.2:

1. Riktvärdet för spännkraften. Detta motsvarar det förväntade värdet på spännkraften i ett spännstag vid varje planerad spännkraftsmätning.
2. Acceptanskriteriet för spännkraften. Detta är den lägsta spännkraft som kan accepteras vid en spännkraftsmätning och som har en viss marginal gentemot den lägsta tillåtna spännkraften. Underskrids acceptanskriteriet ska spännkraften justeras.
3. Lägsta tillåtna spännkraft. Detta är den spännkraft som motsvarar spännkraftsbehovet för den konstruktion som ska förstärkas. Vid ett underskridande uppfylls inte förstärkningens syfte, t.ex. stabilitetsvillkor för en dämmande konstruktion.

Vid framtagandet av utvärderingsparametrarna skall någon av metoderna för framtagande av parametrarna i Kapitel 4 (Utvärdering av spännkraftsmätningar) användas.

*Anvisningar för uppspänning**

Detaljprojekteringen skall omfatta en anvisning som beskriver uppspänningsförfarandet för en entreprenads samtliga spännstag. Denna anvisning ska ingå i *Anvisningar för utförande*, avsnitt 2.2.1, och ska omfatta:

- Uppspänningskraft med tillhörande teoretiska förlängning för varje spännstag
- Genomförandet av godkännandeprov (provningmetod 1 i SS-EN ISO 22477-5 [11]) vilket inkluderar att bestämma provlast och acceptanskriterier för provet. Detta inkluderar även åtgärder som kan tas till i det fall acceptanskriterierna inte uppfylls.
- Genomförande av uppspänning och mätning av inlåst spännkraft (lift-off kontroll).
- Den ordning i vilken spännstag (om flera) ska spännas upp.
- Krav på den utrustning som ska användas vid uppspänning och godkännandeprov. Sådan utrustning ska uppfylla krav enligt SS-EN 1537 [6] samt SS-EN ISO 22477-5 [11]. De rekommendationer som ges i avsnitt 2.4.4 avseende spännkraftsmätningar ska även följas för utrustning som används vid uppspänning och godkännandeprov.
- I det fall spännstag ska förses med lastceller rekommenderas det att lastcellen används för att justera så att avsedd uppspänningskraft erhålls (i detta fall behövs ingen lift-off kontroll).

2.2.5 Injekteringsbruk**Normkrav samt tillägg till normkrav**

För spännstag i vattenkraftsanläggningar ska hela injekteringen utföras med samma sorts injekteringsbruk. Vid utförandet av en spännstagsinstallation ska

samtliga av de krav som ställs i normer, SS-EN 1537 med tillhörande standarder såsom SS-EN 447 [12] och SS-EN 206 [13] följas. Dessa krav bör kompletteras med att:

- Lågalkaliskt och sulfatresistent cement används.
- Injekteringsbrukets vct inte ska överstiga 0,45.
- Injekteringsbrukets karakteristiska tryckhållfasthet vid 28 dygn inte ska understiga 40 MPa (gäller för prover som tillverkats under de klimatförhållanden som råder vid injekteringen i fält). Provning av tryckhållfastheten som ska utföras på minst tre (3) provkroppar.
- Injekteringsbrukets karakteristiska tryckhållfasthet vid uppspanning ska inte understiga 30 MPa. Detta betyder att hållfasthetsutvecklingen styr när i tiden som uppspanning kan genomföras.

*Förprovning**

Genomförandet av en injektering bör föregås av en förprovning av injekteringsbrukets recept i enlighet med SS-EN 447 [12]. Denna kontroll utförs för att de egenskaper som fastställts vid dimensionering kan uppnås. Förprovningen bör utföras med samma typ av blandningsutrustning och blandningsförfarande som avses användas i fält.

Förprovning är inte nödvändig om ett befintligt recept används som tidigare genomgått en förprovning och som därmed verifierats för liknande förhållanden, med samma blandningsutrustning och blandningsförfarande. Vid ändring av t.ex. vct eller tillsatsmedel så bör en ny förprovning utföras.

*Acceptanskriterier för injekteringsbruk**

Acceptanskriterier för injekteringsbrukets egenskaper ska tas fram i samband med dimensioneringen. De krav som rekommenderas ovan samt krav i SS-EN 1537 och SS-EN 447 ska ses som minimikrav för acceptanskriterierna.

Åtgärder ska tas fram som kan vidtas i det fall som ett eller flera acceptanskriterier inte uppfylls. I det fall resultat från provning av ett injekteringsbrukets densitet och/eller flödesegenskaper inte uppfyller acceptanskriterierna (t.ex. enligt tabell 1 i SS-EN 447), så ska bruket kasseras.

2.3 INSTALLATION

2.3.1 Dokumentationskrav

I föreliggande riktlinjer ställs ett antal krav på dokumentation av utförda arbeten under utförandet av en spännstagsinstallation. Dokumentationskrav ställs för följande arbeten, mer detaljerad information ges i respektive avsnitt:

- Utfört borrhålsarbete i berg och betongkonstruktioner.
- Utfört injekteringsarbete, både eventuell täthetsinjektering samt injektering av spännstaget.
- Installationen av varje spännstag i respektive borrhål ska protokollföras. Här ingår även dokumentation om eventuella reparationer av skador på enskilda linor.
- Utförda uppspänningsarbeten inklusive godkännandeprov.

Dokumentation krävs även i samband med en utförd spännkraftsmätning, sådana kan dock även utföras på befintliga spännstag, varför kravet inte enbart gäller vid nyinstallation.

2.3.2 Personalens kompetens*

Det saknas en standard med kompetenskrav för den personal som ska utföra spännstagsinstallationer (ett sådant utvecklingsarbete pågår dock inom kommittén prEN 17678-1 [16]). Utföraren av en spännstagsinstallation ska minst uppnå kraven för PT1, enligt förslagen i prEN 17678-1, och en person med kompetens motsvarande minst PT2 ska alltid finnas på plats och övervaka installationen.

2.3.3 Håltagning

Rekommendationerna i detta avsnitt avser borrhålsarbete i både betongkonstruktioner och berg.

Val av borrhålsmetod för håltagning bör baseras på rådande förhållandena för den specifika anläggningen. För vattenkraftsanläggningars betongkonstruktioner rekommenderas kärnborrhålsarbete (ej hammarborrning).

SS-EN 1537 innehåller generella utförandekrav och toleranser för borrhålsarbete till spännstag. Resultatet av en detaljprojektering kan motivera framtagning av särskilda anvisningar för borrhålsarbetet, t.ex. vad gäller val av borrhålsmetod och borrhålsfixering till underlaget, borrhålsdimension, borrhålstolerans (raket) och hantering av borrhålskärnor.

Logg över utförd borrhålsarbete samt observationer under borrhålsarbete ska utformas i enlighet med SS-EN 1537. I anslutning till utförd borrhålsarbete ska borrhålet rensas och därefter inspekteras. Inspektionen bör utföras genom borrhålsfilmning för att på så sätt säkerställa avsaknad av löst material samt dokumentation av sprickor och andra diskontinuiteter. Resultatet från borrhålsfilmen ska ingå i borrhålsarbetets dokumentation.

Vid kärnborrhålsarbete bör samtliga uttagna kärnor, från både betongkonstruktioner och berg, sparas i kärnlådor för eventuell besiktning och klassning av

borrkärnorna i enlighet med [17] för betongkonstruktioner och Q- eller RMR-systemen för berg. Det rekommenderas att borrhålen sparas och förvaras på lämpligt vis under minst hela garantitiden för spännstagsinstallationen. Avslagning av borrhålen ska undvikas. Tydlig positionsangivelse ska anges för både borrhålsfilmning och uttagna borrhålen.

Det ska säkerställas att skydd finns mot nedfall av löst material i borrhål. I det fall avsett spännstag inte installeras i direkt anslutning till avslutad borrhål ska borrhålet förses med en omsorgsfullt utformad skyddstäckning.

Dokumentationen från avslutat borrhålsarbete ska för varje borrhål omfatta minst följande:

- Datum och tidpunkt för start och avslut av borrhålsarbetet,
- Specifikation av borrhålsregat, borrhålsmetod och typ av borrhålskrona.
- Borrhålsdimension.
- Spoltryck och spolvattenförluster.
- Position för övergången mellan betong och berg (grundläggningsnivå).
- Position för stabiliserad grundvattennivå.
- Typ av upplöst material.
- Eventuella kärnförluster (vid kärnborrhål).
- Eventuella avborrade armeringsjärn och/eller slaka bergförankringar.
- Borrhålslutning och resultat från utförda kontrollmätningar (vinkel och rakhet).
- Borrhålsfilmer (rådata och tolkningar).

2.3.4 Täthetsprovning av borrhål

Täthetsprovning genom vattenförlustmätning ska utföras av borrhål i anslutning till avslutat borrhålsarbete, i enlighet med SS-EN ISO 22282 [19].

Täthetsprovning av berg bör utföras med relativt låga tryck för att minimera risker för att skada berget (cirka 0,1 – 0,3 MPa).

För dämmande konstruktioner, där ytterligare bidrag till upptryck mot dess grundläggningsyta eller mot ytliga sprickplan kan förorsaka stabilitetsproblem, ska extra försiktighet vidtas vid täthetsprovning. Det introducerade trycket får inte överstiga det upptryck som konstruktionen är dimensionerad för.

Provningsutrustningen bör vara försedd med ett säkerhetssystem för att undvika att tryck högre än det tillåtna tillförs berggrunden.

Någon av följande två metoder ska användas för täthetsprovning:

1. Provning som utförs samtidigt med borrning genom enkelmanschettmätning, mellan manschett och borrhålsbotten. Tryckmätning bör ske direkt i det sektionerade området (ej via indirekta mätningar).
2. Provning efter utförd borrning, med dubbelmanschett i av manschetterna bestämda sektioner.

Oavsett vilken metod som väljs så ska både automatisk och manuell mätning av både tryck och flöde utföras under hela provningen. Automatisk registrering ska minst ske var femte sekund och manuell avläsning minst en gång i minuten. Vid bestämning av totalt övertryck i ett borrhål ska även grundvattentrycket inkluderas.

För borrhål under vattentryck med flödande vatten, eller där vatten från borrningen sjunker undan, så bör berget först täthetsinjekteras och borraras om och därefter täthetsprovats (se avsnitt 2.3.4).

2.3.5 Täthetsinjektering

Borrhål som inte uppfyller kraven på täthet ska injekteras med cementbruk och därefter borraras om. Minimikraven för tätheten på borrhålet enligt SS-EN 1537 ska uppfyllas.

För anläggningar med dammar känsliga för upptryck ska extra försiktighet vidtas vid injekteringen på samma sätt som vid täthetsprovningen. Det är också viktigt att tillse att inte dränagehål och eventuell portrycksövervakning tätas vid injekteringen.

När täthetsinjektering av berg och betongkonstruktioner ska utföras gäller samma rekommendationer som ges i avsnitt 0 gällande utförande och utrustning för injekteringsarbetet. Då syftet med injekteringen är att tätas mot inträngande vatten ställs något andra krav på injekteringsbrukets egenskaper jämfört med de som rekommenderas i avsnitt 0. Det är främst brukets förmåga att tränga in i bergets spricksystem som är viktigast, d.v.s. dess flyt- och inträningssegenskaper. Generellt krävs ett mer finkornigt cement jämfört med det bruk som används för att gjuta fast spännstag i ett borrhåls förankringszon. För täthetsinjektering av betongkonstruktioner används ofta ett bruk med vct mellan 0,55 och 0,6 [20] med tillsats av flytmedel. Det rekommenderas att det injekteringsbruk som används har genomgått en förprovning och att egenskaperna anpassas till rådande sprickförhållanden i borrhålen. Ytterligare information gällande val av cementbruk och utförande av täthetsinjektering av berg och betongkonstruktioner ges i [20] och [21].

Följande ska dokumenteras efter utförd täthetsinjektering:

- Information om utrustningen som använts för blandning och pumpning.
- Injekteringsstryck, totala mängden injekterat bruk samt tiden för injekteringen.
- Injekteringsbrukets sammansättning avseende vct, cementtyp och eventuella tillsatsmedel.

2.3.6 Hantering av spännstag

Hantering och transport av spännstag med tillhörande komponenter (t.ex. ankarstycken, kilar och ankarmuttrar) ska ske enligt SS-EN 1537.

Skydd mot fukt

Spännstagen och dess komponenter ska skyddas mot alla former av fukt under transport, hantering och förvaring. De ska inte utsättas för regn, snö, is och ska inte förvaras direkt på mark. Spännstagen bör inte förvaras i direkt solsken, speciellt inte under sommarmånaderna.

Mekanisk åverkan

Spännstagen ska även skyddas mot alla former av mekanisk och termisk åverkan. Svetsning av spännstål eller förankringsdetaljer får inte utföras. Samtliga ingående komponenter ska dessutom skyddas mot svetsstänk samt öppen eld eller andra kraftiga värmekällor såsom gasbrännare.

Kapning av spännstål ska ske mekaniskt, med vinkelslip eller liknande och ska utföras av personal med kompetens minst motsvarande PT1 i enlighet med [16].

Mottagningskontroll

Samtliga leveranser av spännstag ska kontrolleras för avvikelser från specifikationerna samt för sådana förhållande som kan medföra att spännstagens funktion äventyras. Kontrollen omfattar defekter och/eller skador som kan ha uppkommit under tillverkning och/eller leverans. Ett protokoll för mottagande och godkännande av spännstagsleveranser ska upprättas för varje leverans. Protokollen ska ingå i en spännstagsinstallations dokumentationen. Mottagningskontroll ska utföras av personal motsvarande minst kompetensnivå PT 2 i enlighet med [16].

Installationskontroll

Före installation ska hela spännstaget inspekteras efter skador. Inspektionen ska utföras av personal motsvarande minst kompetensnivå PT 2 i enlighet med [16].

Skador på korrosionsskyddet som bedöms vara av mindre omfattning ska åtgärdas före installation, se *Hantering av skador* nedan.

Spännstag och tillhörande komponenter med skador som kan ha en möjlig påverkan på funktionen ska inte installeras.

Installation

Installation av enskilda spännstag ska utföras enligt tillverkarens anvisningar.

Eventuella skador som uppkommer under en installation ska åtgärdas enligt *Hantering av skador* nedan.

Genomförandet av enskilda spännstags installation ska protokollföras med datum och tidpunkt samt eventuella avvikelser som uppkommit under arbetet (t.ex. skador med åtföljande reparation). Eventuella installationsrelaterade skador och

utförda åtgärder ska fotograferas. Sådana skadors position och omfattning ska dokumenteras tillsammans med en beskrivning av utförd åtgärd. Dokumentationen ska utföras av personal motsvarande minst kompetensnivå PT 2 i enlighet med [16].

*Lyft av spännstag**

Alla lyft av spännstag ska utföras med mjuka lyftredskap av t.ex. textil. Vid lyft hanteras spännstag så de inte utsätts för skarpa böjar.

*Hantering av skador på korrosionsskyddet på enskilda linor**

Anvisningar för hantering av skador på korrosionsskyddet för enskilda linor ska tas fram i samband med detaljprojekteringen. I det fall tillverkaren eller utföraren av installationen inte har egna rutiner för reparation kan anvisningar från en amerikansk norm för bergförankringar [22] följas:

- Skador med dimensioner som underskrider cirka 25 x 3 mm kan lagas med vattentät och åldersbeständig tejp. Skadan ska då lindas i ett spiralformat mönster med minst dubbla lager tejp. Lindningen ska sträcka sig minst 75 mm utanför skadeområdet.
- Skador av större omfattning ska repareras genom att det skadade höljet avlägsnas och ersätts med ett nytt sådant. Skarvar mellan det befintliga och nya höljet ska tätas med krympslang. Krympslangen ska överlappa skarven med minst tre gånger förankringens (foderrörets) diameter, dock minst med 75 mm.

I samband med en reparation ska det alltid säkerställas att inget korrosionsskyddsfett har läckt från linan. Reparation av skador ska endast utföras av kvalificerad personal motsvarande minst PT1 enligt [16]. Reparationen ska granskas och godkännas av personal minst motsvarande PT2 enligt [16] och sedan dokumenteras där minst följande information:

- Fotografering av skadan och utförd åtgärd.
- Skadans storlek.
- Skadans placering på spännstaget, med angivet avstånd från aktiv förankring samt vilken lina i spännstaget som reparerats.
- Utförd reparationsåtgärd.
- Personal som utfört åtgärd samt godkänt åtgärden.
- Datum och klockslag för åtgärd.

2.3.7 Injekteringsarbeten av spännstag*

Injektering av ett spännstag ska följa krav som ställs i SS-EN 1537, SS-EN 446 samt SS-EN 13670 [23]. Därutöver tillkommer krav utifrån EN ISO 22282-3:2012 [20].

Övervakning, godkännande av åtgärder samt dokumentation av injekteringsarbeten ska utföras av personal med kompetens motsvarande minst PT2 enligt [16].

Anvisningar för injekteringsarbeten

Detaljerade anvisningar för utförande av injekteringsarbeten ska tas fram i samband med detaljprojektering och ingå i anvisningar för utförande enligt avsnitt 2.2.1. Denna anvisning ska omfatta:

- Speciella krav på maximala injekteringstryck beroende på dammens känslighet för upptryck.
- Vilken typ av utrustning som ska användas vid både blandning och injektering samt kraven på denna utrustning.
- Receptet till injekteringsbruket samt tydlig beskrivning av hur blandningen av injekteringsbruket ska utföras.
- Teoretisk mängd injekteringsbruk som krävs för varje enskilt spännstag.
- Hur ingående material, t.ex. cement och tillsatsmedel, skall förvaras. Minimikrav i enlighet med kapitel 7.3 i SS-EN 13670 [23] samt rekommendationer i avsnitt *Förvaring av injekteringsbruk under utförande* nedan.
- Kontinuerlig provtagning och inspektion under arbetets gång.
- Acceptanskriterier för injekteringsbruket avseende de provningar som utförs. Åtgärder och hantering av de fall där acceptanskriterierna inte uppfylls ska även inkluderas. Se tidigare avsnitt *Förprovning och Acceptanskriterier för injekteringsbruk* under kapitel 2.2.5.
- Åtgärder som ska vidtas vid oförutsedda händelser i samband med injekteringsarbeten, t.ex. oförutsedda avbrott.

Förvaring av injekteringsbruk under utförande

Ingående material till injekteringsbruket ska inte utsättas för temperaturer under 5°C. På plats vid spännstagsinstallationen ska materialen förvaras inomhus och inte under en längre period än cirka en månad. Cementets ålder vid blandning bör inte överstiga tre (3) månader. Material som inte förvarats på korrekt vis eller som blivit fuktskadat får inte användas.

Blandning av injekteringsbruk

Det rekommenderas att blandningen av de torra ingredienserna till injekteringsbruket har utförts i förväg, på t.ex. en betongfabrik, för att sedan transporteras till anläggningen. Detta kan t.ex. uppnås genom att använda en färdig produkt för injektering. Innan injekteringen tillsätts sedan på plats endast vatten och eventuella flytande tillsatsmedel.

Blandning av bruket ska utföras med en höghastighetsblandare, typen kolloidkvarn rekommenderas, med minst varvtalet 1800 varv i minuten. Slutligt

krav på kolloidkvarn skall dock utgå från resultat från förprovning av injekteringsbruket.

Övrig tillhörande utrustning som ska användas vid blandningsarbeten är [20]:

- Lagringskärl med omrörare för kortvarig förvaring av injekteringsbruket under injekteringsarbetet. Lagringskärls volym ska väljas så att det alltid finns en tillräcklig mängd injekteringsbruk tillgängligt. Vid överföring av injekteringsbruket från blandare till lagringskärl ska bruket passera ett filter med en maskvidd på 2 mm.
- Våg för mätning av ingående komponenter i injekteringsbruket. Mätnoggrannheten för vågen ska minst uppfylla kraven i SS-EN 447 [12]. Noggrannheten anges där till ± 2 % för allt torrt material och ± 1 % för flytande tillsatsmedel och blandningsvatten.

*Utförande av injektering**

Injekteringsarbeten ska utföras enligt krav i SS-EN 446. Vid utförandet av injekteringsarbeten ska förutom den utrustning som krävs för blandning av injekteringsbruket följande användas:

- Injekteringspump, t.ex. av typen skruvpump, med tillräcklig kapacitet för att kunna injektera det längsta spännstaget inom specificerad tid. Pumpen bör kunna upprätthålla ett tryck på minst 1 MPa och ska vara försedd med en säkerhetsventil som förhindrar övertryck.
- Utrustning för automatiserad kontinuerlig datainsamling av start- och stopptider, injekteringstryck, injekterad volym bruk.

Utrustningens slangar, kopplingar och avstängningskranar ska vara dimensionerade för de tryck och flöden som uppstår då injektering pågår, med säkerhetsmarginal för oförutsedda övertryck.

Spännstag ska installeras innan det att injektering påbörjas.

Efter att injekteringsbruket är färdigblandat ska det hållas under konstant omröring och ska användas inom 30 minuter. Färdigblandat injekteringsbruk som lagrats längre än 30 minuter får inte användas och ska kasseras.

Injekteringsbrukets temperatur ska mätas efter blandning samt före påbörjad injektering.

Lämpligt samt maximalt tillåtet injekteringstryck ska bestämmas i samband med dimensioneringen. Om inga andra begränsningar bedöms vara relevanta för de förhållanden som råder, såsom upptryck under dammen, bör injekteringstrycket inte överskrida 1 MPa.

Injektering av ett enskilt spännstag ska utföras kontinuerligt och utan avbrott. För att undvika luftfickor ska det säkerställas att planerad volym injekteringsbruk finns tillräcklig under hela injekteringsarbetet. Tidsåtgången för injektering av ett enskilt spännstag ska inte överskrida 15 minuter. Längre tidsåtgång, upp till 30 minuter, kan accepteras om det under förprovningen visats att injekteringsbrukets egenskaper inte påverkas negativt av detta. I det fall ett avbrott sker i injekteringen och detta leder till att ovan angivna tidsbegränsningar överskrids så ska

spännstaget demonteras varefter injekterat bruk avlägsnas alternativt att ett nytt hål borraras.

Enligt SS-EN 1537 anses det inte föreligga normala förhållanden om, utan att något övertryck appliceras, injekterad volym injekteringsbruk med tre gånger överskrider borrhålets volym. Vid sådana situationer bör spännstaget avlägsnas och hålet borraras om.

Temperatur på omgivande konstruktioner och luft ska mätas före det att injektering av spännstag påbörjas. Temperaturen ska i bägge fallen inte understiga 5 °C. Temperaturen får dessutom inte understiga 5 °C under 48 timmar efter avslutad injektering.

Injekteringsbrukets temperatur bör inte understiga 10°C vid injektering. I det fall injektering planeras att utföras då det finns risk att lufttemperaturen kan understiga cirka 10°C ska temperaturmätningar utföras kontinuerligt under minst 48 timmar efter utförd injektering. Mätningarna ska utföras med tillräcklig frekvens för att kunna bestämma variationen i max- och minimitemperaturer över dygnet.

Kravet att injekteringsbruk, injekteringsutrustning, samtliga förankringsdetaljer samt alla delar av omgivande konstruktioner ska vara helt fria från snö, is och/eller frost ska efterföljas.

För injektering vid höga temperaturer ska temperaturen i omgivande luft, konstruktion samt injekteringsbruk inte överskrida 30°C.

Provning av injekteringsbruk under utförande

Provning av injekteringsbrukets egenskaper ska utföras kontinuerligt under injekteringsarbetet för att säkerställa att brukets egenskaper stämmer överens med resultaten från förprovningen. Provningens omfattning bör minst uppfylla kraven för inspektionsklass 2 i SS-EN 446. Inspektionsklassen anger antalet prover som löpande ska tas under pågående injekteringsarbeten. Följande strängare krav än de som ges i normen för inspektionsklass 2 ska följas:

- Minst sex (6) provkroppar ska tillverkas för varje ny batch av injekteringsbruk som blandas. Det rekommenderas att dessa provkroppar lagras på plats vid samma klimatförhållanden som det spännstag som ska installeras.
- Provning av injekteringsbrukets flödesegenskaper i form av utbredningsmått. Ett (1) prov ska utföras för varje batch av injekteringsbruk.
- Provning av injekteringsbrukets stabilitet avseende vattenseparation och volymstabilitet, i enlighet med SS-EN 445 [15]. Provning av vattenseparation kan även utföras enligt SS-137540 [18]. Förutsatt att installationen innefattar fem spännstag eller fler, ska totalt minst tre (3) prov tas för hela spännstagsinstallationen.
- Provning av det färska injekteringsbrukets densitet enligt SS-EN 445. Omfattningen av provningen ska minst vara densamma som för brukets stabilitet, d.v.s. minst en provning per dag eller minst tre (3) provningar för samtliga spännstag. En provning omfattar i detta fall två (2) prover, där det

första provet tas direkt efter slutförd blandning och det andra provet tas från injekteringsmunstycket direkt efter utförd injektering.

Dokumentation

Utfört injekteringsarbete ska dokumenteras där kraven enligt kapitel 10 i SS-EN 1537 ska ses som minimikrav på omfattningen. Utöver detta ska följande dokumenteras för varje enskilt spännstag:

- Information om utrustningen som använts för blandning och pumpning.
- Injekteringsstryck, totala mängden injekterat bruk samt tiden för injekteringen.
- Injekteringsbrukets sammansättning avseende vct, cementtyp och eventuella tillsatsmedel.
- Resultatet från utförda temperaturmätningar enligt avsnitt *Utförande av injektering* nedan.
- Information från förprovning samt de kontinuerliga provningar som utförs under pågående injekteringsarbeten. Detta innefattar bl.a. antalet provkroppar, vilka spännstag respektive provkroppar tillhör, datum och tid för tillverkning och test, resultat från provning, temperatur på injekteringsbruket samt klimatförhållanden under gjutning och förvaring.
- Eventuella avvikelser från ställda krav samt vidtagna åtgärder.

2.4 UPPSPÄNNINGSARBETEN OCH SPÄNNKRAFTSMÄTNINGAR

2.4.1 Personalens kompetens

Uppspänningsarbeten och spännkraftsmätningar ska utföras av personal med kompetens som minst motsvarar PT1 enligt [16]. Arbetena ska utföras under övervakning av platsansvarig med kompetens som minst motsvarar PT2.

2.4.2 Utrustning*

Samma utrustning ska användas till godkännandeprov, uppspänning samt spännkraftsmätningar. Utrustningen ska utgöras av kalibrerad domkraft med tillhörande utrustning såsom kompressor som uppfyller kraven i SS-EN 1537 och SS-EN ISO 22477-5. Till detta tillkommer utrustning för att mäta förskjutningen av ankarstycket, temperaturgivare samt ett datainsamlingssystem. Dessutom ska utrustningen uppfylla följande krav:

- Domkraften ska vara försedd med en tryckgivare alternativt lastcell med elektronisk avläsning som går att koppla till ett datainsamlingssystem för kontinuerlig mätning av kraften. Mätnoggrannheten ska maximalt uppgå till 2 % av domkraftens kapacitet. Vid uppspänning och godkännandeprov ska domkraftens kapacitet överstiga provdragningslasten med minst 10 % [11]. Vid spännkraftsmätning ska kapaciteten överstiga den högsta kraft som ska uppnås under mätningen. Domkraftens slaglängd ska vara tillräcklig så att omtag undviks under spännkraftsmätning. Domkraften ska vara utformad så att en jämn belastning av hela spännstaget uppnås, t.ex. ska samtliga linor i ett linbaserat system belastas lika.
- Förskjutningen av ankarstycket ska mätas med en elektronisk lägesgivare, t.ex. LVDT-givare, med en mätnoggrannhet som är bättre än $\pm 0,1$ mm. Mätområdet för givaren bör vara minst ± 20 mm. I det fall mätningen utförs i direkt anslutning till en uppspänning av ett spännstag ska samma lägesgivare som användes vid uppspänning och godkännandeprov även användas för mätningen av spännkraft. Mätområdet ska då överstiga den maximala förlängning som förväntas under godkännandeprovet med minst 20 mm.
- Temperaturgivare med en mätnoggrannhet på mindre än 1°C .
- Datainsamlingssystemet ska kunna ta emot de elektriska signalerna från både domkraftens tryckgivare/lastcell och den elektroniska lägesgivaren. Systemet ska kunna registrera minst två mätvärden per sekund, d.v.s. en samplingsfrekvens på 2 Hz, vid en kraftökning som motsvarar 10 % av uppspänningskraften per minut. För t.ex. ett spännstag med en uppspänningskraft på 2 000 kN blir då belastningshastigheten 200 kN per minut. Vid högre belastningshastigheter ska samplingsfrekvensen ökas på motsvarande sätt. I exemplet ovan ska samplingsfrekvensen uppgå till minst 20 Hz om belastningshastigheten är 2 000 kN per minut. Systemet ska även ge möjlighet till automatisk eller manuell hantering av de registrerade mätvärdena i direkt anslutning till spännkraftsmätningen. Mätningen ska kunna följas i realtid. Minimikravet är att det ska vara möjligt att skapa ett diagram där den uppmätta kraften kan plottas mot förskjutningen ur vilket spännkraften sedan kan bestämmas enligt avsnitt *Bestämning av lift-off kraft*

nedan. Datainsamlingssystemet kan t.ex. utgöras av en bärbar dator till vilken båda givarna kopplas med lämplig programvara för mätdatahantering och analys.

Kalibrering av utrustning ska inte vara äldre än ett (1) år och kalibreringsintyg ska finnas tillgängliga.

För att möjliggöra att ankarstycket lyfter från ankarplattan krävs någon form av mothåll, ofta kallad stol, som för ner belastningen från domkraften i den omkringliggande betongkonstruktionen. Det ska säkerställas att stolens bärförmåga är tillräcklig för att klara belastningen från domkraften. Det ska även säkerställas att deformationer vid maximal belastning inte är för stora och på så sätt påverkar en mätning negativt. Vidare ska det även säkerställas att de koncentrerade spänningar som uppkommer under stolen inte skadar den aktiva förankringszonens betong.

2.4.3 Uppspänningsarbeten

*Placering av domkraft**

Domkraften ska både vid uppspanning och mätningar av spännkraft placeras så att belastningen av spännstaget sker centriskt och parallellt med spännstagets längsriktning.

*Godkännandeprov**

I samband med uppspanning, och före läsningen av slutlig spännkraft, ska ett godkännandeprov utföras. Detta krav gäller endast spännstag som utgör bergförankring.

Godkännandeprovet ska utföras i enlighet med SS-EN 1537 och SS-EN ISO 22477-5 (Provningsmetod 1).

Provdraagningslast ska väljas i enlighet med Eurocode 7. För att minimera risk för överspänning rekommenderas att vald provdraagningslast inte överskrider 75 % av spännstålets karakteristiska draghållfasthet.

Avslutande spännkraftsmätning

En avslutande spännkraftsmätning ska utföras för kontroll av att korrekt värde på spännkraften har uppnåtts. För utförande se avsnitt 2.4.4.

Efter avslutad uppspanning ska en visuell inspektion av förankring och omgivande konstruktioner genomföras (se avsnitt 3.2).

Dokumentation från uppspanning

Resultat från godkännandeprov och uppspanning ska dokumenteras i enlighet med SS-EN ISO 22477-5 kapitel 8.4.4, med följande tillägg:

- Kraft-förskjutningsdiagram från hela proceduren.
- Inlåst spännkraft.
- Eventuella mellanlägg som placerats under ankarstycket.

- Eventuella problem och/eller avvikelser i samband med uppspänningen och vidtagna åtgärder (t.ex. vara uppsprickning av omgivande betongkonstruktion, spännstagsbrott, eller ett godkännandeprov med oacceptabla spännstagsrörelser).
- Resultat från visuell inspektion av installationen.
- Använd utrustning med tillhörande kalibreringsintyg.

2.4.4 Spännkraftsmätningar*

Nedan beskrivs den metod som rekommenderas för mätning av ett spännstags spännkraft. Metoden ska användas både vid kontroll av inlåst spännkraft i samband med uppspänning av nyinstallerade spännstag samt vid inspektioner med verifikationstest enligt avsnitt 3.2.2 där spännkraften i ett befintligt spännstag ska kontrolleras.

En spännkraftsmätning ska utföras i följande steg:

1. Mätning av temperaturen i omgivande klimat. Det är tillräckligt med en mätning precis före montering av domkraften på spännstaget.
2. Montering av domkraft på ankarstycket.
3. Montering av lägesgivare mot ankarstycket alternativt på domkraftens kolv. Samma placering av lägesgivaren ska framgent användas vid alla efterföljande mätningar. För att undvika eventuella störningar på lägesgivaren p.g.a. själva kraftmätningen så bör lägesgivarens fasta del vid förskjutningsmätning på ankarstycket monteras på betong utanför den aktiva förankringszonen (ej mot ankarplattan). Vid mätning på domkraftens kolv bör givarens fasta del monteras på en separat ställning (ej på själva domkraften).
4. Start av datainsamlingsystemet och avläsning av startvärden på kraft och förskjutning. Det är viktigt att registreringen av mätdata startas före domkraften börjar verka på ankarstycket.
5. Start av själva domkraftsmätningen. Kraften i spännstaget ska ökas till det lägsta värdet av följande:
 - a. 120 % av ursprungliga uppspänningskraften i spännstaget.
 - b. 75 % av spännstagets brotthållfasthet.
 - c. Den kraft som ger en töjning på 0,1 % i spännstaget.

Uppnås en förlängning (separation mellan ankarstycke och ankarplatta) som motsvarar mer än 0,1 % av spännstagets fria längd under mätningen kan mätningen stoppas även om kraften inte uppnått värdet enligt begränsningen i punkt a-c ovan.

Kraften ska ökas med en hastighet som är anpassad till mätutrustningens samplingsfrekvens (antal mätvärden som registreras per sekund). Mätutrustningens samplingsfrekvens bör vara 1 Hz, vilket innebär att ett värde på kraft och en förskjutning registreras varje sekund. Andra värden

på belastningshastigheten och samplingsfrekvensen kan användas om det bedöms mer lämpligt för det specifika fallet.

Ökning av belastningshastigheten bör ske med motsvarande höjning av samplingsfrekvensen, d.v.s. vid en fördubblad belastningshastighet så bör samplingsfrekvens fördubblas.

6. Visuell säkerställning av att ankarstycket lyft från ankarplattan vid ovan angivna maximala kraft i spännstaget.
7. Avlastning av spännstaget.
8. Utvärdering av mätningen med bestämning av lift-off kraften. Lift-off kraften ska bestämmas enligt anvisningarna i avsnitt *Bestämning av lift-off kraft* nedan.
9. Vid en spännkraftsmätning i samband med en inspektion på ett befintligt spännstag ska den uppmätta spännkraften jämföras mot acceptanskriteriet för spännkraften, se avsnitt 4.
10. Eventuell justering av spännkraften i spännstaget till riktvärdet för spännkraften vid den aktuella inspektionen se avsnitt 4.1.
11. Avlastning och demontering av domkraft och mätutrustning.
12. Återställning av ankarstyckets korrosionsskydd.
13. Montering av skyddshuv.
14. Dokumentation av förfarandet tillsammans med mätresultatet i det förslag på inspektionsprotokoll som ges i bilaga A.

*Bestämning av lift-off kraft**

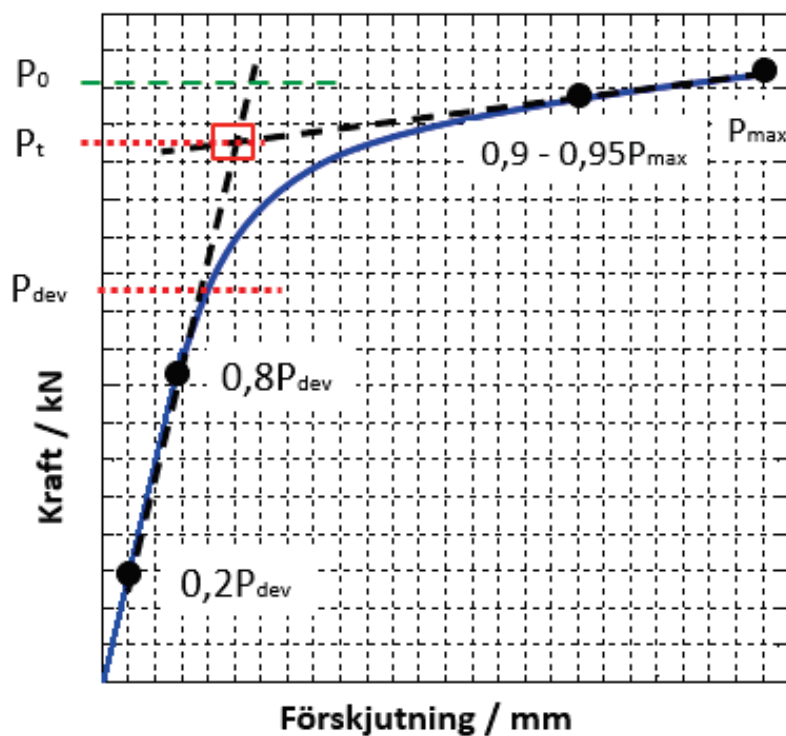
I samband med domkraftsmätning ska lift-off kraften bestämmas, d.v.s. den kraft som utgör ett spännstags spännkraft.

Lift-off kraften ska bestämmas ur en mätning kraft-förskjutningsdiagram, se Figur 2-4. Metoden för detta innebär att den punkt där kurvan först avviker från dess nedre linjära del bestäms (denna punkt benämns P_{dev}). I nästa steg ska en linje läggas in som bestäms av de punkterna som motsvarar 20 % respektive 80 % av P_{dev} . Därefter ska, för kurvans övre linjära del, en linje dras från den punkt som motsvarar den högsta uppmätta kraften, P_{max} , och den punkt som motsvarar 90 % till 95 % av P_{max} . Slutligen ska de två linjerna interpoleras bakåt. Lift-off kraften (P_l) utgörs av de två linjernas skärningspunkt.

Andra metoder för bestämning av lift-off kraften kan användas om följande förutsättningar uppfylls för uppspänningen, samt för samtliga efterföljande spännkraftsmätningar:

- Samma mätmetod, bl.a. avseende utrustning och placering av givare har använts.
- Samma metod för bestämning av lift-off kraften har använts.

- Samma utförare har utfört både uppspänning och samtliga efterföljande mätningar.



Figur 2-4. Metod för att uppskatta lift-off kraften från ett kraft-förskjutningsdiagram från en domkraftmätning [3]. Den röda kvadraten visar uppskattad lift-off kraft. P_{max} = Maximal kraft som uppnåtts under mätningen, P_t = lift-off kraft, P_{dev} = den kraft då kurvan avviker från nedre linjära delen, P_0 = ursprunglig spännkraft.

Dokumentation från spännkraftsmätning på befintliga spännstag

Utförandet samt resultat från spännkraftsmätningar på befintliga spännstag ska dokumenteras (förslag på protokoll för dokumentation ges i Bilaga A) där minst följande information ska ingå:

- Utförare av mätningen samt tidpunkt för mätningen.
- Temperatur i omgivande klimat vid mätningen.
- Typ av spännstag och ursprunglig uppspänningskraft.
- Utrustning:
 - × Typ av domkraft med aktuellt kalibreringsintyg.
 - × Typ av lägesgivare, mätområde och mätnoggrannhet.
 - × Annan utrustning som använts, t.ex. förlängare, övergångshylsor och stol eller annan mothållande konstruktion.
- Placering av lägesgivare på spännstaget.
- Samplingsfrekvens och belastningshastighet.
- Maxkraft som uppnåtts under mätningen.
- Samtliga mätdata i digitalt format, d.v.s. samtliga registrerade krafter och förskjutningar.

- Kraft-förskjutningsdiagram med tillhörande punkter enligt Figur 2.3 samt interaktionslinjer för tolkning av lift-off kraften.
- Spännkraften i spännstaget i form av lift-off-kraften.

*Höjning av spännkrafter**

I det fall en höjning av spännkraften ska utföras ska det ske till riktvärdet för spännkraften vid den aktuella inspektionen med verifikationstest alternativt till maximalt 98 % av uppspänningskraften.

*Utförande av spännkraftsmätning på äldre eller skadade spännstag**

Den rekommenderade metoden för spännkraftsmätningar bör inte användas på spännstag som antingen är äldre än 25 år och som inte blivit provade tidigare eller på spännstag där det finns misstanke om skador på staget. I dessa fall hänvisas till metoden som beskrivs i [3].

2.5 ARBETSMILJÖASPEKTER

Installationsarbeten för spännstag innefattar flera moment där risk för personskador föreligger. Vid injekterings- och uppspänningsarbeten förekommer bl.a. arbeten med höga tryck i utrustningen.

Anvisningar och krav för säker arbetsmiljö ska tas fram i samband med en detaljprojektering eller, för befintliga spännstag, som en del av ett företags anläggningsförvaltning). Det är härvidlag viktigt att beakta de särskilda förutsättningar som gäller vid arbete på vattenkraftsanläggningar. Underlag återfinns i relevanta författningar och allmänna råd från Arbetarskyddsstyrelsen och Arbetsmiljöverket. Tillämpliga delar i följande författningar och råd från Arbetsmiljöverket kan vara relevanta för installationsarbeten av spännstag.

- Skydd mot skada genom fall, AFS 1981:14.
- Byggnads- och anläggningsarbete, AFS 1999:03
- Användning av personlig skyddsutrustning, AFS 2001:3,
- Stegar och arbetsbockar, AFS 2004:03
- Vibrationer, AFS 2005:15
- Buller, AFS2005:6
- Användning av arbetsutrustning, AFS 2006:04,
- Användning av lyftanordningar och lyftredskap, AFS 2006:6,
- Provning med över- eller undertryck, AFS 2006:8,
- Maskiner AFS 1993:10 eller AFS 2008:03 beroende på det årtal då maskinen släpptes på marknaden,
- Berg- och gruvarbete, AFS 2010:1, främst delarna rörande borrhning i berg.
- Kemiska arbetsmiljörisker, AFS 2011:19
- Belastningsergonomi, AFS 2012:2.
- Ställningar, AFS 2013:4,

*Tillägg till arbetsmiljöverkets krav**

Utöver de krav som ställs i Arbetsmiljöverkets föreskrifter ska följande kompletterande rekommendationer specifika för spännstagsarbeten följas vid installationsarbeten och spännkraftsmätningar:

- All utrustning, t.ex. domkraft, pumpar, borrhutrustning med tillhörande komponenter såsom hydraulslangar och kopplingar, ska inspekteras före användning efter brister som kan påverka dess funktion och säkerhet, t.ex. sprickor i hydraulslangar, onormala läckage av hydraulolja eller trasiga borrhkronor.
- Hydraulslangar till utrustningen ska placeras så att risken för personskador vid ett eventuellt brott i slangar eller av infästningar minimeras. Personer skall aldrig befinna sig direkt bakom kopplingarna till hydraulslangar då de är trycksatta.
- Det ska säkerställas att inga personer befinner sig bakom domkraften under pågående uppspännings- eller mättningsarbeten. Passage bakom en domkraft ska vara förbjudet under pågående uppspännings- och mättningsarbeten.
- Vid ett eventuellt brott i spännstaget då en domkraft verkar på spännstaget kan delar av spännstaget eller domkraften skjutas iväg bakåt i domkraftens riktning. Det ska säkerställas att eventuella sådana projektiler inte kan orsaka

person- eller oacceptabel egendomsskada, t.ex. genom att placera någon form av projektilskydd bakom domkraften eller att tillräckliga säkerhetsavstånd kring spännstaget upprättas.

- Tunga lyft, d.v.s. vikter som överstiger 15 kg, ska aldrig behöva utföras utan hjälpmedel.

3 Utformning av inspektionsprogram

I detta avsnitt ges rekommendationer för upprättandet av ett inspektionsprogram för både nyinstallerade och befintliga spännstag. Rekommendationerna är baserade på resultaten i [3]. För mer detaljerade beskrivningar samt bakgrund till rekommendationerna hänvisas till [3]. Exempel på inspektionsprotokoll finns i Bilaga A. I Bilaga B ges ett exempel på implementering av riktlinjerna i detta kapitel.

3.1 SAMMANSTÄLLNING AV BAKGRUNDSINFORMATION*

I samband med upprättandet av ett inspektionsprogram rekommenderas att nedanstående information om spännstagen i anläggningen sammanställs:

- Antal installerade spännstag.
- Installationsår.
- Var i anläggningen spännstagen finns installerade, d.v.s. vilka anläggningsdelar som har installerade spännstag samt syftet med spännstagen (t.ex. stabiliserande funktion, förankring av mekanisk utrustning),
- Ursprunglig spännkraft och spännkraftsbehov, d.v.s. lägsta spännkraft för att uppfylla syftet med installationen, t.ex. säkerställa anläggningens stabilitet mot yttre laster.
- Spännstagssystem: typ av system, tillverkare, förankringssystem, antal linor/trådar och diameter på spännstaget.
- Spännstagets draghållfasthet.
- Spännstagets längd: totala längden samt fri- och förankringslängd.
- System för korrosionsskydd.
- Resultat från tidigare inspektioner eller mätningar av kvarvarande spännkraft.
- Eventuell instrumentering och tidigare mätdata.

Övrig information som inte är nödvändig för utformandet av inspektionsprogrammet, men som är relevant för t.ex. tillståndsbedömningar eller beräkning av förankringens bärförmåga, och som därför bör sammanställas är:

- Kvalitet på ingjutningsbruk.
- Bergkvalitet i undergrunden.

3.2 INSPEKTION

Ett inspektionsprogram ska baseras på följande två olika typer av inspektioner, vilka beskrivs mer ingående nedan:

- Årlig okulär inspektion.
- Inspektion med verifikationstest.

3.2.1 Årlig okulär inspektion*

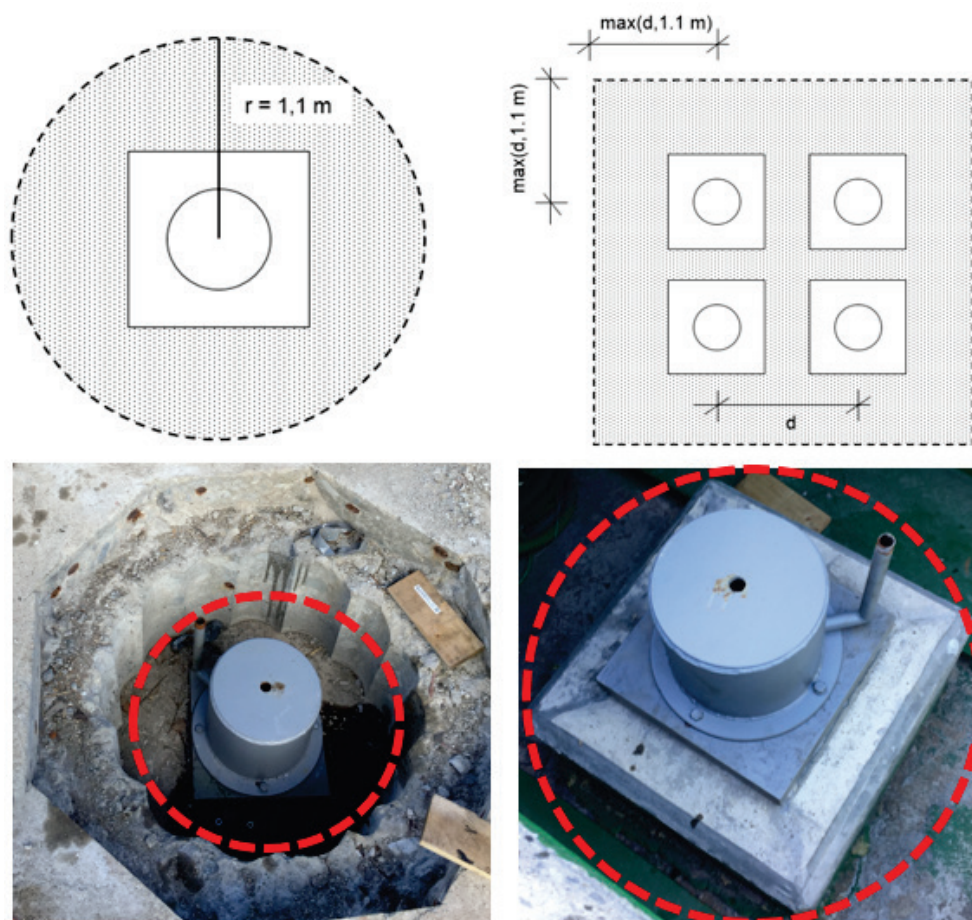
Detta är en okulär inspektion som ska utföras årligen av samtliga spännstags aktiva förankringszoner. Den aktiva förankringszonen definieras som det område i konstruktionen som kraften i spännstaget påverkar, se Figur 3-1. Den fettfyllda skyddshuven behöver ej demonteras, det är tillräckligt med utvändigt översyn av skyddshuven.

Syftet med årliga inspektioner är att i ett tidigt skede upptäcka eventuella förändringar som kan ha en negativ påverkan på spännstagets funktion.

Okulär inspektion avser att detektera uppkomst av synliga defekter och degradering av ingående komponenter såsom synliga sprickor i betong och stålkomponenter, läckage av rostskyddsfett och synliga korrosionsangrepp på stålkomponenter. Inspektionen ska även omfatta eventuell instrumentering med tillhörande delar såsom kablage.

Vid en installations första årliga inspektion ska samtliga spännstag, omgivande förankringszon samt konstruktionsdelen där spännstagen installerats fotograferas. Kamerans position i förhållande till förankringen, både i plan och höjd, ska dokumenteras. Dessa fotografier skall användas som referens vid kommande årliga inspektioner. I det fall som avvikelser från referensfotot upptäcks ska detta dokumenteras både i en inspektionsrapport och genom fotografering.

Okulära inspektioners resultat ska föras in i ett inspektionsprotokoll och/eller i en databas. I Bilaga A ges ett förslag på inspektionsprotokoll. Protokollet bör som minst omfatta inspekterade spännstags namn/nummer, tidpunkt, utförare, samt resultat. I det fall en degradering eller skada upptäcks så ska orsaken till detta fastställas och lämplig åtgärd ska vidtas. Inspektionen ska då utökas med en demontering av spännstagets skyddshuv. Indikationer som pekar på att spännstaget är skadat så bör även en spännkraftsmätning utföras.



Figur 3-1. Definition av aktiv förankringszon. Enskilt spännstag (överst vänster) och grupp av spännstag (överst höger) som är ytligt placerade i konstruktionen. Spännstag nedsänkta i konstruktionen (nederst vänster) samt spännstag med spännklack (nederst höger).

3.2.2 Inspektion med verifikationstest*

Inspektion med verifikationstest skall utföras med ett intervall på fyra till sex år. Fem års intervall rekommenderades om ingen särskild anledning föreligger som kan motivera kortare eller längre intervall, t.ex. harmonisering med andra inspektioner i anläggningen.

En inspektion med verifikationstest omfattar följande aktiviteter:

1. Den årliga okulära inspektionen av samtliga spännstag enligt avsnitt 3.2.1.
2. Mätning av spännkrafter i ett antal spännstag. Mätning av spännkrafter utförs med domkraft enligt beskrivning i avsnitt 2.4.4. Då enbart spännkraftsmätning ska utföras kan en domkraft enbart anpassad för mätningar användas. Dessa är mindre och mer lätthanterliga än de som behövs vid en uppspanning. I Bilaga A ges ett förslag på protokoll som kan användas för att dokumentera spännkraftsmätningar.
3. I samband med domkraftsmätningen måste skyddshuven demonteras. En okulär inspektion av samtliga komponenter under skyddshuven ska utföras före mätningen utförs. Rostskydds fett ska kontrolleras med avseende på dess

korrosionsskyddande egenskaper, att korrekt volym fett finns i skyddshuven samt att inget läckage av fett förekommer. Vid misstanke om eventuell degradering av fettets korrosionsskyddande egenskaper, t.ex. färgförändring av fettets ska prover tas för laboratorieanalys. Rostskyddsfettets egenskaper ska överensstämma med kraven i bilaga B till SS-EN-1537. Även eventuell förekomst av fukt eller framträngande vatten skall dokumenteras.

Samtliga spännstag i en anläggning ska, för att underlätta dess förvaltning, delas in i spännstagsgrupper. Indelningen baseras på följande:

- Spännstag inom en enskild konstruktionsdel, t.ex. pelare, skibord, monolit, ledmur, utskov eller mekanisk utrustning såsom generatorring eller lucklager, anses tillhöra en enskild spännstagsgrupp.
- Om en konstruktionsdel är försedd med spännstag som uppfyller olika funktioner ska dessa delas in i separata spännstagsgrupper. Detta kan t.ex. vara en konstruktionsdel där vissa av spännstagen installerats för förankring i berg och vissa för att motverka sprickbildning. Dessa bör då betraktas som två enskilda spännstagsgrupper trots att de ingår i samma konstruktionsdel.

Andelen av spännstagen som ska inkluderas i en inspektion med verifikationstest är beroende av anläggningens dammsäkerhetsklass och framgår av Tabell 1. I Tabell 1 anges även det intervall inom vilket *samtliga* spännstag i en anläggning ska ha genomgått en inspektion med verifikationstest. I största möjliga mån ska det eftersträvas att denna andel av spännstagen provas i varje spännstagsgrupp. Det ska påpekas att det endast är icke instrumenterade spännstag som avses. På de spännstag som är försedda med lastceller som kontinuerligt mäter spännkraften behöver inte domkraftsmätningar utföras. För t.ex. en anläggning i dammsäkerhetsklass A där hälften av spännstagen är försedda med lastceller är det således 50 % av de icke instrumenterade spännstagen som ska ingå i en inspektion med verifikationstest. Användning av lastceller beskrivs mer utförligt i kapitel 5.

I de fall antalet spännstag i en spännstagsgrupp är udda kan antalet spännstag som ska inkluderas i inspektionen rundas av neråt till närmaste hela antal spännstag. Anpassning av urvalet i övriga spännstagsgrupper ska då vara sådant att det rekommenderade antalet spännstag i anläggningen inkluderas i inspektionen. Övriga spännstag i spännstagsgruppen ska testas vid nästa inspektion med verifikationstest. Minst ett spännstag i varje spännstagsgrupp bör testas vid varje inspektion.

I de anläggningar som har relativt få spännstag installerade, mindre än cirka tio spännstag totalt, rekommenderas att samtliga spännstag testas vid varje inspektion med verifikationstest.

Tabell 1. Riktlinjer för omfattningen av en inspektion med verifikationstest.

Dammsäkerhetsklass	Andel spännstag som ska ingå i inspektionen / % ⁴	Period då samtliga spännstag ska inspekteras / år
A, B	50	8 – 12
C	33	12 – 18
D	20 eller 33 ⁵	12 – 24 ⁶
E	20	20 – 24 ⁶

⁴ Spännstag med lastceller där kontinuerliga mätningar av spännkraft utförs är undantagna från en inspektion med verifikationstest. Det är således endast andelen av de icke instrumenterade spännstag som ska ingå i en inspektion med verifikationstest.

⁵ Det är upp till respektive dammägare att bestämma hur spännstagen i anläggningen ska hanteras beroende på anläggningens förutsättningar.

⁶ För spännstag i säkerhetsklass D och E bör inte ett intervall på sex år väljas då det medför långa tidsperioder inom vilka samtliga spännstag ska provas.

4 Utvärdering av spännkraftsmätningar*

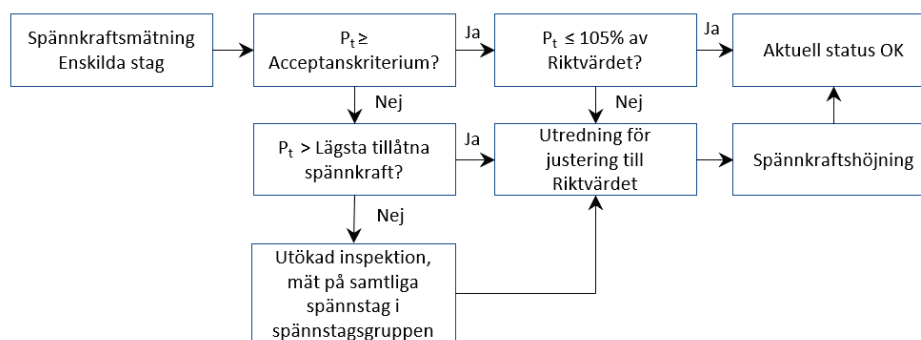
I detta avsnitt ges rekommendationer för utvärdering av resultat från spännkraftsmätningar⁷. I Bilaga B ges ett exempel på implementering av riktlinjerna i detta kapitel.

4.1 UTVÄRDERING AV MÄTRESULTAT*

För varje spännstagsgrupp ska följande utvärderingsparametrar bestämmas vid inspektioner med verifikationstest (se även avsnitt 2.2.4).

1. Riktvärdet för spännkraften, vilket är det predikterade medelvärdet på spännkraft vid en enskild inspektion med verifikationstest.
2. Acceptanskriterium för spännkraften. Detta är den spännkraft som den uppmätta spännkraften inte bör understiga vid en inspektion med verifikationstest. Vid underskridande av acceptanskriteriet ska spännkraften justeras.
3. Lägsta tillåtna spännkraft vilken är den spännkraft som aldrig ska underskridas.

Vid utvärdering av mätresultatet från ett enskilt spännstag ska nedanstående flödesschema användas.



Figur 4-1. Flödesschema för utvärdering av uppmätta spännkrafter. P_t = uppmätt spännkraft vid inspektion,

⁷ För en detaljerad bakgrundsbeskrivning av metoden hänvisas till [4].

4.2 FRAMTAGNING AV UTVÄRDERINGSPARAMETRAR*

I nedanstående avsnitt presenteras flera olika metoder för framtagning av utvärderingsparametrar för uppmätta spännkrafter. Metoderna är baserade på de modeller som presenteras i [4]. För spännstag som utgör bergförankringar eller förankras i en betongkonstruktion på samma sätt som en bergförankring rekommenderas främst att den generella metoden i avsnitt 4.2.1 används. I det fall den generella metoden inte bedöms vara applicerbar bör någon av de övriga metoderna nedan användas. Dessa metoder baseras på regressionsanalys av mätdata.

En av de metoder som beskrivs nedan baseras på modellering av materialens långtidseffekter. Denna metod bör endast användas på spännstag som är installerade inomhus och där båda ändar av spännstaget är tillgängliga (se avsnitt 4.2.3). d.v.s. förankringen ska inte utgöras av injekteringsbruk.

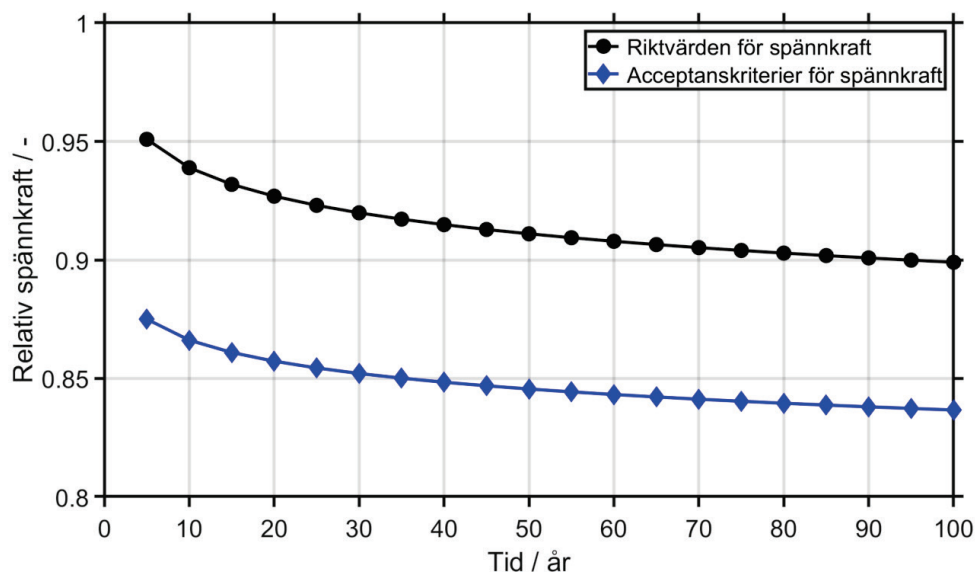
4.2.1 Generell metod för nyinstallation och vissa befintliga spännstag*

Denna generella metod baseras på för bestämning av utvärderingsparametrar kan användas då följande förutsättningar finns uppfyllda:

1. Användning av linbaserade spännstagssystem.
2. Spännstag som utgör bergförankring av en betongkonstruktion, alternativt spännstag som utgör förankring i betongkonstruktioner på samma sätt som vid bergförankring.
3. Det gäller en nyinstallation av spännstag där utvärderingsparametrar tas fram vid installationens detaljprojektering, alternativt befintliga spännstag där marginalen mellan ursprunglig uppspänningskraft och spännkraftsbehovet uppgår till minst 18 % av uppspänningskraften.

I Figur 4-2 visas hur värdena för riktvärde och acceptanskriterier varierar med tiden från uppspänningen fram till 100 års teknisk livslängd. I Tabell 2 ges värdena från Figur 4-2 med fem års intervall. För längre livslängder än 100 år kan spännkrafterna antas vara konstanta för resten av livslängden. Värdena anges som relativa spännkrafter och genom att multiplicera uppspänningskraften med dessa värden erhålls värdena för varje parameter. Som exempel ger en uppspänningskraft på 2 000 kN ett riktvärde på 1 902 kN och acceptanskriterium på 1 750 kN fem år efter uppspänningen. Lägsta tillåtna spännkraft sätts enligt denna modell till 82 % av uppspänningskraften. Enligt rekommendationerna i avsnitt 2.2.4 ovan rekommenderas att uppspänningskraften sätts till 125 % av spännkraftsbehovet.

I det fall ett annat intervall har valts för inspektionen, d.v.s. fyra eller sex år, så kan värdena i tabellen användas även för dessa fall. I fallet med fyra års intervall kan spännkrafterna anses vara konstanta för de sista inspektionerna, d.v.s. efter 80 år.



Figur 4-2. Exempel på utvärderingsparametrarnas utveckling med tiden.

Tabell 2. Rekommenderade värden för utvärderingsparametrarna för spännkrafter i relation till uppspänningskraften. För mellanliggande värden kan linjär interpolation användas.

Tid efter uppspanning / år	Riktvärde för spännkraften / -	Acceptanskriterium för spännkraften / -
5	0,951	0,875
10	0,939	0,866
15	0,932	0,861
20	0,927	0,857
25	0,923	0,854
30	0,920	0,852
40	0,915	0,848
50	0,911	0,846
60	0,908	0,843
70	0,905	0,841
80	0,903	0,840
90	0,901	0,838
100	0,899	0,837

4.2.2 Alternativ metod för spännstag med tillgänglig mätdata*

Denna metod kan appliceras på alla typer av befintliga spännstag i anläggningar där omfattande mätdata från spännkraftsmätningar finns tillgänglig.

Utvärderingsparametrarna tas då fram genom regressionsanalys av mätdata.

Riktlinjer för detta ges i [4]. Förutsättningarna för att använda metoden i [4] är att:

- Marginalen mellan ursprunglig uppspänningskraft och spännkraftsbehovet bör uppgå till minst 18 % av uppspänningskraften, d.v.s. spännkraftsbehovet motsvarar minst 82 % av uppspänningskraften.
- Mätdata finns tillgängligt från mätningar på minst 20 spännstag.
- Mätningar ska ha utförts kontinuerligt med mellan fyra till sex års mellanrum från uppspänningen.
- Mätresultat ska finnas från uppspänningen och sedan i minst 20-25 år därefter. Det rekommenderas att data från minst fyra mätningar förutom uppspänningen finns tillgängliga.

4.2.3 Metod för spännstag som förankrar mekanisk utrustning*

Denna metod är baserad på att uppskatta spännkrafternas variation med tiden genom modellering med empiriska modeller för betongens krypning och krympning samt stålets relaxation. Riktlinjer för hur denna beräkning utförs ges i [4]. Metoden är avsedd att appliceras på spännstag som förankrar mekanisk utrustning, t.ex. generatorfundament, till en betongkonstruktion, främst i det fall då det saknas tillräckliga mätdata för att applicera den alternativa metoden i 4.2.2. Övriga förutsättningar för användandet av denna metod är att:

- Spännstagen utgörs av stångbaserade spännstag som förankras med ankarplatta och ankarmutter i båda ändar.
- Spännstagen är placerade inomhus i t.ex. stationsbyggnaden.
- Spännstagen är enkelt tillgängliga för domkraftsmätningar, d.v.s. domkraftsmätningar har utförts alternativt planeras att utföras kontinuerligt.

4.2.4 Spännstag med otillräckliga marginaler mellan spännkraft och spännkraftsbehov*

Denna metod avser fallet med befintliga spännstag där tillräcklig marginal saknas, d.v.s. skillnaden mellan uppspänningskraft och spännkraftsbehov är mindre än 20 %, men inte mindre än 10 %. Det bör även ha gått minst 10 år sedan uppspänningen av spännstagen.

För att kompensera de låga marginalerna rekommenderas det att spännkrafterna justeras vid nästkommande inspektion med verifikationstest. Justeringen ska utföras till en spännkraft som motsvarar 98 % av den ursprungliga uppspänningskraften. Den justerade spännkraften ska användas som utgångspunkt för framtagandet av utvärderingsparametrar.

Utvärderingsparametrar för resten av spännstagets tekniska livslängd tas sedan fram genom att multiplicera den justerade spännkraften med aktuell faktor i Tabell 3. Slutligen ska den lägsta tillåtna spännkraften sättas lika med spännkraftsbehovet.

Tabell 3. Faktorer för utvärderingsparametrar efter justering av spännkraft.

Tid efter justering / år	Riktvärde för spännkraften / -	Acceptanskriterium för spännkraften / -
5	0,987	0,929
10	0,980	0,924
15	0,975	0,920
20	0,971	0,917
25	0,967	0,914
30	0,962	0,910
40	0,958	0,907
50	0,955	0,905
60	0,952	0,903
70	0,950	0,901
80	0,947	0,900

Vidare rekommenderas det att i samband med nästkommande inspektion med verifikationstest att minst det antal spännstag som rekommenderas i 5.1.1 ska förses med lastceller. Det innebär att t.ex. för en anläggning i dammsäkerhetsklass A bör minst hälften av spännstagen instrumenteras.

4.2.5 Spännstag utan marginaler*

Denna grupp innefattar spännstag där det helt saknas marginaler eller där marginalerna understiger 5 % - 10 %. I detta fall rekommenderas det att följande utförs vid nästkommande spännkraftsmätning.

1. Spännkrafterna i de spännstag där spännkrafterna är lägre än 98 % av uppspänningskraften justeras till 98 % av uppspänningskraften. Spännkrafterna i övriga spännstag behöver inte justeras.
2. Instrumentering med lastceller på samtliga spännstag. Rekommendationerna angående lastceller i avsnitt 5 samt val av larmgränser i avsnitt 4.2.7 nedan ska följas.

4.2.6 Svårtillgängliga spännstag*

Med svårtillgängliga spännstag avses spännstag med begränsad tillgänglighet för inspektioner och domkraftsmätningar, vilket t.ex. kan vara spännstag till lucklager eller andra förankringar i utskovspelare. För denna grupp av spännstag rekommenderas att samtliga spännstag instrumenteras med lastceller. Lastcellerna ska kontinuerligt övervaka spännkraften så att åtgärder kan vidtas vid behov. Rekommendationerna angående lastceller i avsnitt 5 samt val av larmgränser i avsnitt 4.2.7 ska följas.

4.2.7 Spännstag med lastceller

Nyinstallation av spännstag

Vid instrumentering i samband med nyinstallation av spännstag ska rekommendationerna angående marginaler i avsnitt 2.2.4 alltid beaktas, d.v.s. uppspänningskraften ska vara 125 % av spännkraftsbehovet. Vid användandet av datainsamlingssystem, med övervakning av spännkrafterna i realtid, rekommenderas det att riktvärdet för spännkraften används som larmgräns för spännkraften.

Installation av lastceller på befintliga spännstag med låga marginaler

Vid instrumentering av befintliga spännstag med otillräckliga marginaler mellan spännkraftsbehov och uppspänningskraft (se avsnitt 4.2.4 och 4.2.5) rekommenderas inkoppling till ett datainsamlingssystem med övervakning av spännkrafterna i realtid. Rekommendationen gäller även för svårtillgängliga spännstag (se avsnitt 4.2.6). För uppföljning av övervakningen så bör en larmgräns införas utifrån det högsta värdet på spännkraften av följande:

- Spännkraftsbehovet för spännstaget.
- Riktvärdet för den sista planerade inspektionen med verifikationstest inom spännstagets tekniska livslängd i enlighet med avsnitt 4.2.4. (Detta gäller under förutsättning att det finns tillräckliga marginaler, d.v.s. minst 10 %, mellan uppspänningskraften och spännkraftsbehovet).

5 Instrumentering med lastceller

5.1 INLEDNING*

I detta kapitel ges rekommendationer för installation av lastceller vilka placeras mellan ankarstycke och ankarplatta och direkt mäter kraften i spännstaget, se Figur 5-1. För en utförlig beskrivning av lastceller hänvisas till [3].

Mätnoggrannheten för en lastcell kan förväntas vara god. Den mätnoggrannhet som specificeras av tillverkaren gäller dock under förutsättning att medföljande rekommendationer följs vid installation och mätning. Kompletterande rekommendationerna ges i detta kapitel.

Vid en installation kommer sannolikt resultat från spännkraftsmätning med domkraft att avvika från lastcellens resultat, se [3]. I detta fall bör lastcellens resultat anses vara bäst överensstämmande med spännkraften i spännstaget.



Figur 5-1. Lastcell monterad mellan ankarstycke och ankarplatta.

5.2 INSTALLATIONENS OMFATTNING

Vid nyinstallation av spännstag rekommenderas det att minst samma antal spännstag ska förses med lastceller motsvarande omfattningen av en inspektion med verifikationstest enligt avsnitt 3.2.2. Fördelningen över de olika spännstagsgrupperna ska vara samma som de spännstag där spännkraftsmätningar ska utföras vid en inspektion med verifikationstest.

Vid installation på befintliga spännstag rekommenderas att samma antal spännstag instrumenteras som vid nyinstallation. Före installation på linbaserade system ska det säkerställas att det finns en tillräcklig mängd med mellanlägg mellan ankarplatta och ankarstycke som kan ersättas med lastcellen. För spännstag där detta krav inte uppfylls ska lastceller inte installeras. I det fall det inte finns tillräckligt med mellanlägg för att helt spämma ner spännstaget finns det delbara lastceller på marknaden som kan installeras utan att spännstaget behöver spämmas ner. För stångbaserade system finns det p.g.a. dess gångning i princip alltid möjligheten att spämma ner spännstagen.

5.3 VAL AV LASTCELL*

För installation i vattenkraftsanläggningar rekommenderas att endast använda någon av följande två typer av lastceller:

1. Hydrauliska lastceller, d.v.s. lastceller där kraften mäts via trycket i en hydraulisk vätska. Denna typ bör vara förstahandsval.
2. Lastceller som mäter kraften via töjningsgivare med vibrerande sträng.

Oavsett val så ska samtliga installerade lastceller vara försedda med temperaturgivare, med temperaturmätningar som utförs med samma frekvens som kraftmätningar.

Förutom typ av lastcell bör följande beaktas:

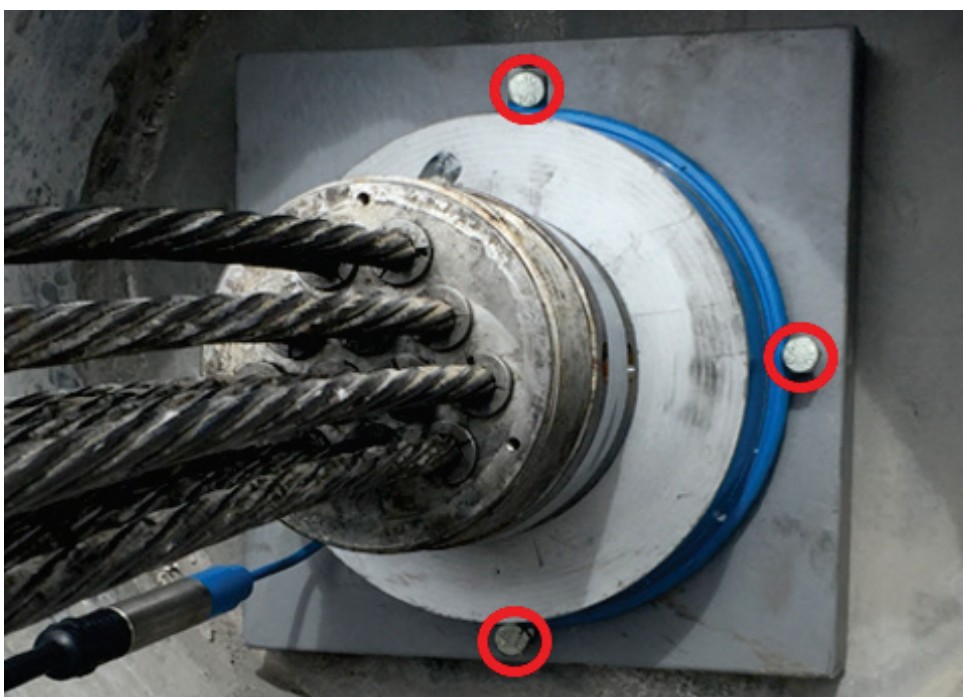
- En viss marginal mellan spännkraft och lastcellens kapacitet ska finnas, den bör dock inte vara för stor. Ett riktvärde är att den maximala spännkraft som uppnås under uppspänningen (vilken oftast överstiger den inlåsta kraften) bör uppgå till cirka 90 % av lastcellens kapacitet.
- Vid godkännandeprov av spännstag som företas före uppspänningen så kommer spännkraften ökas till högre nivåer än under själva uppspänningen. Det rekommenderas därför att en lastcell installeras först efter utfört godkännandeprov. I det fall lastcellen ska installeras före godkännandeprovet bör det kontrolleras att provbelastningen med marginal understiger lastcellens nominella överlastkapacitet.
- Arbetsmiljön vid installationen utifrån lastcellens vikt och att ett tillräckligt stort arbetsutrymme finns runt bl.a. ankarstycket för genomförandet.
- Om möjligt bör lastcellens överlastkapacitet inte nyttjas. Om lastcellen installeras före godkännandeprovet kan överlastkapaciteten tas i anspråk vid godkännandeprovet. Mer än 70 % av överlastkapaciteten bör dock ej nyttjas.
- Kontrollera med leverantör och/eller tillverkare att lastfördelningsplattor mellan lastcell och ankarstycke har tillräcklig bärförmåga. För små eller för vecka fördelningsplattor kan medföra en felaktig lastverkan på lastcellen och

därmed öka mätfelen. Vid behov ska det komplettering göras med extra lastfördelningsplattor.

- Centrumhålet i lastcellen ska passa till diametern för både spännstaget och centrumhålet i ankarplattan. Överstiger diametern på lastcellens centrumhål det för ankarplattan så bör extra lastfördelningsplattor (med samma håldiameter som ankarplattan) användas både mellan ankarplatta och lastcell (dessa lastfördelningsplattor ska ha minst samma storlek som lastcellen) och mellan ankarstycke och lastcell. Det är viktigt att alla tillkommande lastfördelningsplattor kontrolleras för tillräcklig bärförmåga och styvhet.

Följande praktiska aspekter bör tas hänsyn till vid planering av instrumentering med lastceller:

- Spännstag som instrumenteras med lastceller bör vara möjliga att avlasta helt för att kunna ta bort eller ersätta lastcellen, om inte delbara lastceller har installerats.
- Ankarplattan ska vid behov modifieras så att lastcellen med god marginal får plats. Vidare bör fyra styrpinnar monteras på ankarplattan vilka placeras med 90° förskjutning längs en cirkel med något större radie än lastcellens yttermått, se Figur 5-2. Syftet med dessa är att säkerställa att lastcellen centreras mitt över hålet i ankarplattan. Dessutom bör styrpinnarna förses med gängor som möjliggör att lastcellen kan fixeras mot ankarplattan med mutter.
- Den fettfyllda skyddshuven bör inte innesluta lastcellen. Om möjligt bör skyddshuven modifieras så att den kan placeras mot lastcellens fördelningsplatta. Lastcell med tillhörande givare ska sedan i sin tur skyddas från påverkan av klimatet och mekanisk åverkan med en skyddshuv i stål.



Figur 5-2. Styrpinnar, markerade med röda cirklar, placerade i ankarplattan för centrering och fixering av lastcellen.

5.4 RIKTLINJER VID INSTALLATION

Vid installation av lastceller bör nedanstående generella riktlinjer beaktas. Andra riktlinjer som är aktuella för den specifika lastcellen kan ges i produktdatabladet, dessa ska då följas före nedanstående riktlinjer.

- Iaktta försiktighet vid hantering av lastcell och tillhörande kablage, lyft t.ex. aldrig lastcellen i kabeln eller i givaren till vilken kabeln är ansluten. Skydda givaren på lastcellen från mekanisk åverkan.
- Lastcellen bör förvaras i samma klimat som råder under installationen i minst 24 timmar. Detta för att minimera påverkan av temperaturskillnader på lastcellen under och direkt efter installationen.
- Lastcellen ska placeras direkt mot ankarplattan, mellanläggen ska sedan placeras mellan lastcell och ankarstycke.
- Var noga med centreringsen av spännstaget över lastcellen för att undvika excentrisk belastning av lastcellen. Detta är särskilt viktigt i de fall lastceller med töjningsgivare används.
- Se till att lastcellens kontaktytor, d.v.s. ankarplatta, lastcell samt eventuella lastfördelningsplattor, är helt plana och rena.
- Trådlös överföring av mätdata från lastcellen till datainsamlingsenheten är att föredra. Det finns kommersiellt tillgängliga sändare som kan kopplas direkt till varje lastcell. Detta blir ofta ekonomiskt gynnsamt då kostnad för kabeldragning helt elimineras. Vid val av trådlös överföring bör behovet av strömförsörjning till sändarna beaktas vilket oftast sker med batteri. Planering för byte av batterier måste därför beaktas.
- Lastcellen samt kablarna mellan lastcell och datainsamlingsystem (logger) ska skyddas från mekanisk påverkan.
- Kablar som är placerade utomhus ska skyddas från direkt exponering av uteklimatet med kabelskyddsror eller liknande. Eventuella kabelskarvar och anslutningar ska skyddas från inträngande fukt.
- Placera inte kablar från lastcell till datainsamlingsenheten nära magnetfält eller elektrisk utrustning.
- Tillverkaren och/eller leverantören av lastcellen bör konsulteras om medföljande kablar till lastcellen behöver modifieras.
- Starta mätningen med lastcellen före uppspänning påbörjas, d.v.s. i det läge då kraften i spännstaget är noll, och kontrollera att mätvärde erhålls. Lastcellens startvärde är sällan lika med 0 kN och för att erhålla korrekt värde på spännkraften måste varje mätvärde justeras utifrån startvärdet. På så vis elimineras ett eventuellt nollpunktsfel i mätningen.

5.5 DATAINSAMLINGSSYSTEM

Val av datainsamlingssystem bör ske efter behov och utifrån en lastcellsinstallations omfattning. Utbudet av olika datainsamlingssystem och deras omfattning varierar över tid. Nedan listas olika system för datainsamling med olika komplexitet.

1. Det enklaste datainsamlingssystemet är analoga alternativt digitala givare utan logger som läses av manuellt vid varje mätning. Mätdata får sedan manuellt föras in i en databas eller liknande.
2. Nästa steg i komplexitet är installation av lokala loggrar. Utläsningen sker genom att koppla in en dator till dessa loggrar och föra över mätdata till datorn för vidare behandling.
3. Bäst lösning åstadkoms om befintligt mätsystem för dammövervakning eller kraftproduktionen finns på plats i anläggningen. Lastceller kan då kopplas till detta system utan att passera en konventionell logger⁸.
4. Flera leverantörer av instrumentering erbjuder olika tjänster där loggrar till t.ex. lastceller kopplas upp till en server för datalagring. Databasen tillgängliggörs via en prenumerationstjänst.

I det fall som det finns ett befintligt datainsamlingssystem i anläggningen så rekommenderas att spännstagens lastceller kopplas till detta. Utläsning av mätdata kan då enkelt integreras med hanteringen av anläggningens övriga damminstrumentering.

⁸ I princip samtliga typer av lastceller kräver en drivspänning för utläsning av spännkraft. Utsignalen består t.ex. av en ström eller spänning. Designen är standard för de flesta typer av givare och några hinder för integration med det befintliga datainsamlingssystemet bör inte finnas.

6 Referenser

- [1] RIDAS – Kraftföretagens riktlinjer för dammsäkerhet, Energiföretagen, 2019.
- [2] Lundqvist P., Bernstone C., Sammanställning över spännstag inom vattenkraften, Energiforskrapport 2017:398, 2017.
- [3] Lundqvist P., Bernstone C., Marklund A., Nilsson C-O., Övervakning av status på vattenkraftens spännstag Energiforskrapport 2018:545, 2018.
- [4] Lundqvist P., Bernstone C., Marklund A., Nilsson C-O., Rekommendationer för hantering av vattenkraftens spännstag, Energiforskrapport 2020:688, 2020.
- [5] SS-EN 1997-1, Eurocode 7 – Dimensionering av geokonstruktioner – Del 1: Allmänna regler, 2005.
- [6] SS-EN 1537:2013, Utförande av geokonstruktioner – Förankringar, 2013.
- [7] SS-EN 1992-1-1:2005, Eurocode 2 – Dimensionering av betongkonstruktioner, del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader, 2008.
- [8] SS-212551:2013 – Spännarmering – Allmänna krav, 2013.
- [9] SS-212553:2013 – Spännarmering – Lina, 2013.
- [10] SS-212554:2013 – Spännarmering – Stång, 2013.
- [11] SS-EN ISO 22477-5:2018, Geoteknisk undersökning och provning – Provning av geokonstruktioner – Del 5: Provning av förankringar, 2018.
- [12] SS-EN 447:2007, Betongkonstruktioner – bruk för injektering av foderrör för spännkablar – fordringar, 2007.
- [13] SS-EN 206:2013, Betong – Fordringar, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse, 2016.
- [14] SS-EN 446:2007, Betongkonstruktioner – injektering av foderrör för spännkablar – utförande, 2007.
- [15] SS-EN 445:2007, Betongkonstruktioner – injektering av foderrör för spännkablar – provningar, 2007.
- [16] prEN17678-1, Installation of post-tensioned kits for prestressing of structures – Part 1: Competence of personnel.
- [17] Grönholm R., Utvärdering av borrhärlor från betongkonstruktioner, Elforskrapport 01:01, 2000.
- [18] SS-137540:2008, Betongprovning – Cementbruk – Vattenseparation och volymändring, 2008.

- [19] SS-EN ISO 22282-3:2012, Geoteknisk undersökning och provning – Geohydraulisk provning – Del 3: Vattenförlustmätning i berg, 2012.
- [20] Rosenqvist M, Vägledning för cementinjektering av betongkonstruktioner – Projektering, utförande och kontroll, Elforsk rapport 11:60, 2011.
- [21] Stille H., Rock Grouting – Theories and Applications, Vulkan förlag, 2015.
- [22] Post-tensioning institute, Recommendations for prestressed rock and soil anchors, PTI DC35.1-14, 2014.
- [23] SS-EN 13670:2009, Betongkonstruktioner – Utförande, 2012.
- [24] SS 27104:2016, Provning av geotekniska konstruktioner – förankringar, 2016.

Bilaga A: Förslag på inspektionsprotokoll

Inspektionsprotokoll för spännstag

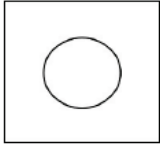
Allmän information

Anläggning	Typ av inspektion	<input type="text"/>
Datum och tid	Utförare	

Information om spännstaget

Spännstagsgrupp	Spännstagsnummer	Lastcell	<input type="text"/>
Spännstagstyp	Korrosionsskydd	Uppspänningskraft, kN	

Okulär inspektion

Temperatur, °C	Väderlek	Skyddshuv demonterad	<input type="text"/>
Viktiga noteringar från föregående protokoll			
Noteringar			
Statusbedömning			
Förslag på eventuella åtgärder			
Foto	Ange kamerans position relativt förankringen. Höjd över ankarplattan samt avstånd i plan.		
			
Övriga kommentarer			

Protokoll, spännkraftsmätning

Allmän information

Utförare	Datum och tid	
Domkraft och datum för senaste kalibrering	Temperatur, °C	Väderlek
Typ av kraftgivare och mätnoggrannhet	Typ av lägesgivare och mätnoggrannhet	

Information om spännstaget

Spännstagsgrupp	Spännstagsnummer	Spännstagstyp
Uppspänningskraft, kN	Total längd, m	Fri längd, m
Riktvärde för spännkraft, kN	Acceptanskriterium för spännkraft, kN	Lägsta tillåtna spännkraft, kN

Mätning

Maximal spännkraft under mätning, kN		Maximal förskjutning under mätning, mm	
Lägesgivarens placering	Samplingsfrekvens	Belastningshastighet, kN/min	
Kraft-förskjutningsdiagram			
Lift-off kraft, kN	<input type="text"/>	Ankarstycket lyft	<input type="text"/> ▼
Justering av spännkraft	<input type="text"/> ▼	Justerad spännkraft, kN	<input type="text"/>
Övriga kommentarer			

Bilaga B: Exempel på tillämpning av riktlinjerna

I nedanstående avsnitt ges ett exempel på hur riktlinjerna som presenteras i föreliggande rapport kan tillämpas på en fiktiv vattenkraftsanläggning. Ett exempel på en utförd inspektion med verifikationstest samt utvärderingen av resultaten från denna presenteras även i nedanstående exempel.

INFORMATION OM ANLÄGGNINGEN

Anläggningen som riktlinjerna ska appliceras på är klassad i dammsäkerhetsklass B enligt RIDAS. Den dämmande konstruktionen har försetts med linbaserade spännstag i stabilitetshöjande syfte. Installationen utfördes under sommarmånaderna, juni till september. Den del av anläggningen som försetts med spännstag består av två utskov med tillhörande pelare och skibord. Totalt har 24 spännstag av lintyp installerats i de tre pelarna och de två skiborden. 18 av dessa utgör förankringar till underliggande berggrund och är därför placerade mer eller mindre vertikalt i konstruktionen. De återstående sex spännstagen är monterade horisontellt i pelarna för att motverka uppkomna vertikala sprickor i pelarna och på så vis säkerställa monolitisk verkan.

Två olika typer av spännstag har installerats, som bergsförankringar i pelarna har 6-19 installerats, d.v.s. spännstag bestående av 19 linor med en diameter på 15,7 mm (0,6 "). Övriga spännstag utgörs av 6-12, d.v.s. 12 linor med en diameter på 15,7 mm. Den karakteristiska draghållfastheten för spännstålet är 1 860 MPa, vilket motsvarar en brottlast på 5 300 kN för 6-19 och 3 348 kN för 6-12. Spännstagens dimensionerande bärförmåga, $R_{a,d}$, har beräknats till 4 300 kN för 6-19 respektive 2 900 kN för 6-12. Förankringslängderna i berg uppgår till 9 m för 6-19 samt 7 m för 6-12. De fria längderna för 6-19 uppgår till 18 m och till 8 m för samtliga 6-12 (i både skiborden och i pelarna). Förankringslängderna för de spännstag som installerats horisontellt i pelarna är den dimensionerande bärförmågan 2 900 kN och förankringslängden i betongen är 5 m.

Spännkraftsbehovet, d.v.s. den spännkraft som krävs för att uppfylla stabilitetsvillkoren har beräknats för respektive konstruktionsdel. Utifrån spännkraftsbehovet har även lämplig typ av spännstag, antal samt spännkraftsbehov för respektive spännstag bestämts. Placering, typ av spännstag samt spännkraftsbehov presenteras i Tabell 4.

Tabell 4. Information om spännstagen som installerats i anläggningen.

Spännstag #	Konstruktionsdel	Syfte	Typ av spännstag ⁹	Spännkraftsbehov (grupp/enskilt spännstag) / kN
1, 2	Pelare 1	Bergförankring	6-19	4 800 / 2 400
3 – 6	Pelare 2	Bergförankring	6-19	9 600 / 2 400
7, 8	Pelare 3	Bergförankring	6-19	4 800 / 2 400
9, 10	Pelare 1	Motverka sprickor	6-12	3 000 / 1 500
11, 12	Pelare 2	Motverka sprickor	6-12	3 000 / 1 500
13, 14	Pelare 3	Motverka sprickor	6-12	3 000 / 1 500
15 – 19	Skibord 1	Bergförankring	6-12	8 000 / 1 600
20 – 24	Skibord 2	Bergförankring	6-12	8 000 / 1 600

SPÄNNKRAFTER

Val av uppspänningskraft

Enligt rekommendationerna i avsnitt 2.2.4 ska uppspänningskraften väljas till 125 % av spännkraftsbehovet samt inte överstiga något av nedanstående krav:

- 60 % av spännstålets karakteristiska draghållfasthet (f_{puk}).
- 70 % av spännstagets dimensionerande bärförmåga ($R_{a,d}$).

Första steget i utvecklandet av ett inspektionsprogram är att dela in spännstagen i spännstagsgrupper i enlighet med rekommendationerna i avsnitt 3.2.2. I detta fall är spännstagen placerade i två olika konstruktionstyper, skibord och pelare. Spännstagen i varje enskilt skibord kommer utgöra enskilda spännstagsgrupper. Spännstagen i de tre pelarna har olika funktion, de vertikala utgör bergsförankringar och de horisontella motverkar uppkomna sprickor i pelarna. Spännstagen i varje pelare delas därför in i två olika grupper: bergsförankringarna i respektive pelare utgör enskilda grupper och de horisontella utgör enskilda grupper. En sammanställning av spännstagsgrupperna redovisas i Tabell 8.

I Tabell 5 redovisas värdena på begränsningarna av spännkrafterna samt uppspänningskraften enligt rekommendationerna ovan. Uppspänningskrafterna sattes till 125 % av spännkraftsbehoven då det för samtliga spännstag underskred begränsningarna enligt avsnitt 2.2.4.

Tabell 5. Uppspänningskrafter för spännstagen.

Spännstag #	Spännkraftsbehov / kN	$0,6f_{puk}$ / kN	$0,7R_{a,d}$ / kN	Uppspänningskraft / kN
1 – 8 (6-19)	2 400	3 180	3 010	3 000
9 – 14 (6-12)	1 500	2 010	2 030	1 875
15 – 24 (6-12)	1 600	2 010	2 030	2 000

⁹ Första siffran i beteckningen avser diametern på linorna, i detta fall 0,6", d.v.s. 15,7 mm. Andra siffran anger hur många linor som varje spännstag består av, i detta fall, 12 eller 19 st.

Godkännandeprov

Ett godkännandeprov ska utföras på samtliga spännstag innan den slutliga uppspänningen enligt EC7 [5]. Själva godkännandeprovet ska utföras enligt metod 1 i SS-EN ISO 22477-5. Godkännandeprovet utförs vanligtvis direkt före själva uppspänningen genom belastning av spännstaget i fem steg upp till en provlast, P_p , som motsvarar 105 % av spännstagets dimensionerande bärförmåga. Som ett första steg belastas spännstaget med en kraft motsvarande $0,1P_p$. Vid varje steg hålls kraften konstant i 1 minut förutom vid provlasten då kraften ska hållas konstant i 5 minuter. Under provlasten ska även förskjutningen i spännstaget mätas, vilken inte får överstiga 0,2 mm under 5 minuter. Slutligen ska kraften sänkas ner till $0,1 P_p$, vilken ska hållas i 1 minut därefter ska spännstaget spännas upp till vald uppspänningskraft. I Tabell 6 visas de krafter som ska användas vid godkännandeprovet för respektive spännstag. Det är endast de spännstag som sitter förankrade i berg som behöver genomgå ett godkännandeprov.

Enligt rekommendationerna i avsnitt 2.4.3 bör inte kraften under godkännandeprovet överstiga 75 % av spännstålets karakteristiska draghållfasthet. Provlasten för de två typerna i detta fall uppgår till 4 515 kN för 6-19 samt 3 045 för 6-12, vilket motsvarar 85 % respektive 89 % av spännstålens draghållfasthet. Provlasten, P_p , justeras därför ner till 3 440 kN respektive 2 320 kN.

Tabell 6. Kraftnivåer för godkännandeprovet.

Belastningssteg	Kraftnivåer / -	6-19 / kN	6-12 / kN
0	$0,1P_p$	344	232
1	$0,40P_p$	1376	928
2	$0,55P_p$	1892	1276
3	$0,70P_p$	2408	1624
4	$0,85P_p$	2924	1972
5	$1,0P_p$	3440	2320
6	$0,1P_p$	344	232

Utvärderingsparametrar för spännkraften

Enligt rekommendationerna i avsnitt 4.2 ska s.k. utvärderingsparametrar för spännkraften tas fram som en del av upprättandet av ett inspektionsprogram. Utvärderingsparametrarna används dels som riktvärde och dels som acceptanskriterier för den uppmätta spännkraften vid varje planerad inspektion med verifikationstest. I Tabell 7 visas utvärderingsparametrarna bestämda enligt den generella metoden i avsnitt 4.2.1. Uppspänningskraften för respektive spännstag har multiplicerats med respektive faktor i Tabell 2.

Tabell 7. Utvärderingsparametrar för spännkraften för de olika spännstagstyperna.

	6-19, $P_0 = 3\ 000\ \text{kN}$ $P_{\min}^{10} = 2\ 460\ \text{kN}$		6-12, $P_0 = 2\ 000\ \text{kN}$ $P_{\min} = 1\ 640\ \text{kN}$		6-12, $P_0 = 1\ 875\ \text{kN}$ $P_{\min} = 1\ 535\ \text{kN}$	
Tid / år	Riktvärde / kN	Acceptanskriterium / kN	Riktvärde / kN	Acceptanskriterium / kN	Riktvärde / kN	Acceptanskriterium / kN
5	2853	2625	1902	1750	1783	1641
10	2817	2598	1878	1732	1760	1624
15	2796	2583	1864	1722	1747	1614
20	2781	2572	1854	1715	1738	1607
25	2769	2563	1846	1709	1731	1602
30	2760	2556	1840	1704	1725	1598
40	2745	2545	1830	1697	1715	1591
50	2733	2537	1822	1691	1708	1585
60	2724	2530	1816	1687	1702	1581
70	2716	2524	1810	1683	1697	1577
80	2709	2519	1806	1679	1693	1574
90	2703	2514	1802	1676	1689	1571
100	2697	2510	1798	1673	1686	1569

¹⁰ P_{\min} = lägsta tillåtna spännkraft, 82 % av uppspänningskraften.

INSPEKTIONSPROGRAM OCH INSTRUMENTERING

Indelning i spännstagsgrupper

Första steget i utvecklandet av ett inspektionsprogram är att dela in spännstagen i spännstagsgrupper i enlighet med rekommendationerna i avsnitt 3.4.2. I detta fall är spännstagen placerade i två olika konstruktionstyper, skibord och pelare. Spännstagen i varje enskilt skibord kommer utgöra enskilda spännstagsgrupper. Spännstagen i de tre pelarna har olika funktion, de vertikala utgör bergsförankringar och de horisontella motverkar uppkomna sprickor i pelarna. Spännstagen i varje pelare delas därför in i två olika grupper: bergsförankringarna i respektive pelare utgör enskilda grupper och de horisontella utgör enskilda grupper. En sammanställning av spännstagsgrupperna redovisas i Tabell 8.

Tabell 8. Indelning i spännstagsgrupper.

Spännstagsgrupp #	Spännstag #	Antal spännstag	Konstruktionsdel	Syfte
1	1, 2	2	Pelare 1	Bergförankring
2	3 – 6	2	Pelare 2	Bergförankring
3	7, 8	4	Pelare 3	Bergförankring
4	9, 10	2	Pelare 1	Motverka sprickor
5	11, 12	2	Pelare 2	Motverka sprickor
6	13, 14	2	Pelare 3	Motverka sprickor
7	15 - 19	5	Skibord 1	Bergförankring
8	20 - 24	5	Skibord 2	Bergförankring

Instrumentering

I enlighet med rekommendationerna i kapitel 5 ska en instrumentering omfatta samma antal spännstag som ingår i en inspektion med verifikationstest för anläggningen. Anläggningen tillhör dammsäkerhetsklass B och därför ska 50 % av spännstagen förses med lastceller vid installationen. Fördelningen av spännstag ska vara samma som vid en inspektion med verifikationstest, d.v.s. 50 % av spännstagen i respektive spännstagsgrupp ska förses med lastceller. I spännstagsgrupperna 7 och 8 är det ett udda antal spännstag, i detta fall instrumenteras tre spännstag i spännstagsgrupp 7 och två i spännstagsgrupp 8. Totalt instrumenteras 12 av de 24 spännstagen. De spännstag som instrumenteras framgår av Tabell 9.

Typen av lastceller som installeras i detta fall är hydrauliska lastceller med integrerad temperaturgivare. Rekommendationerna i avsnitt 5.2 ger riktlinjer kring val av lastcellens egenskaper såsom kapacitet och överlastkapacitet. En riktlinje avseende lastcellens kapacitet enligt rekommendationerna är att den högsta kraft som uppnås under uppspänningen ska uppgå till cirka 90 % av lastcellens kapacitet. I detta fall väljs två typer av lastceller, en typ för 6-19 och en för 6-12, se Tabell 9.

Tabell 9. Spännstag som instrumenterats med lastceller.

Spännstag #	Spännkraft / kN	Max kraft under uppspanning / kN ¹¹	Lastcellens kapacitet / kN
1, 3, 5, 7	3 000	3 300	3 600
9, 11, 13	1 875	2 100	2 500
16-18, 22, 24	2 000	2 200	2 500

I anläggningen finns ett befintligt mätdatasystem som lastcellerna kopplas till. Överföringen av mätdata till systemet utförs genom att en trådlös sändare kopplas till varje lastcell. Dessa sändare kommunicerar med en gateway som i sin tur är kopplad till mätdatasystemet.

Larmgränserna för spännkrafterna väljs till acceptanskriteriet för respektive spännstag. Larmgränserna kommer sedan uppdateras en gång vart femte år enligt värdena i Tabell 7.

Inspektionsprogram – årlig okulär inspektion

Installationen av spännstagen var slutförd i början av september och då utfördes även den första årliga inspektionen, se rekommendationer i avsnitt 3.2.1, som sedan utgör referens för samtliga framtida inspektioner. Samtliga framtida inspektioner bör därefter utföras under september månad.

Inspektionsprogram – inspektion med verifikationstest

Anläggningen tillhör dammsäkerhetsklass B och därför ska 50 % av de icke instrumenterade spännstagen ingå i varje inspektion med verifikationstest. Det innebär i detta fall att 12 spännstag kommer vara aktuella för en inspektion med verifikationstest. Vid varje inspektion ska således sex spännstag inkluderas i inspektionen. Eftersom spännstagen är indelade i åtta spännstagsgrupper kommer inte spännstag från varje spännstagsgrupp testas vid varje inspektion. Intervallet sätts till fem år och samtliga spännstag ska genomgå en inspektion med verifikationstest under en period på tio år, vilket i praktiken innebär att två olika inspektioner med verifikationstest utförs där samma spännstag är inkluderade. I Tabell 10 redovisas de spännstag som kommer ingå i respektive inspektion.

Tabell 10. Spännstag som inkluderas i varje inspektion med verifikationstest.

inspektion	Spännstagsgrupper	Spännstag #
1	1, 2, 4, 6, 7, 8	2, 4, 10, 14, 15, 20
2	2, 3, 5, 7, 8	6, 8, 12, 19, 21, 23

¹¹ Värde från utföraren av uppspanningen, endast ett exempel i detta fall.

FÖRSTA INSPEKTIONEN MED VERIFIKATIONSTEST

Den första inspektionen med verifikationstest utfördes fem år efter uppspänningen. Inspektionen bestod av en okulär inspektion av samtliga spännstag samt inspektion med verifikationstest av de spännstag som framgår av Tabell 10. Resultatet från den okulära inspektionen dokumenterades i inspektionsprotokoll enligt förslagen i Bilaga A. I Figur B-1 redovisas resultatet av inspektionen i form av ett ifyllt inspektionsprotokoll.

Inspektionsprotokoll för spännstag

Allmän information

Anläggning	Dammen dammen	Typ av inspektion	Detaljerad inspektion
Datum och tid	2020-09-05 kl. 10:15	Utförare	Inspektör 1

Information om spännstaget

Spännstagsgrupp	7	Spännstagsnummer	15	Lastcell	Nej
Spännstagstyp	6-12	Korrosionskydd	Dubbelt	Uppspänningskraft, kN	2 000

Okulär inspektion

Temperatur, °C	15°C	Väderlek	Molnigt	Skyddsburv demonterad	Ja
----------------	------	----------	---------	-----------------------	----

Viktiga noteringar från föregående protokoll

Noteringar

Inga avvikelser som negativt påverkar förankringen kunde noteras

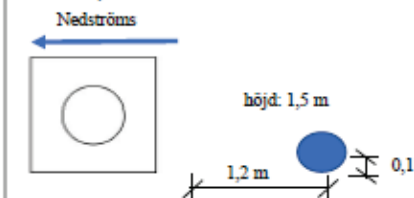
Statusbedömning OK

Förslag på eventuella åtgärder

Foto



Ange kamerans position relativt förankringen. Höjd över ankarplattan samt avstånd i plan.



Övriga kommentarer

Figur B-1. Exempel på ifyllt inspektionsprotokoll från Bilaga B.

Spännkraftsmätningen utfördes i enlighet med rekommendationerna i avsnitt 2.4.4. Innan spännkraftsmätningen påbörjas ska den maximala kraften som ska appliceras på spännstagen bestämmas, den motsvarar det lägsta värdet av följande (som exempel ges värdena för spännstag nr 15):

- 120 % av ursprungliga uppspänningskraften i spännstaget. Detta motsvarar 2 400 kN för spännstag 15.
- 75 % av spännstagets brotthållfasthet. Detta motsvarar 2 511 kN.
- Den kraft som ger en ytterligare töjning på 0,1 % i spännstaget. Detta motsvarar en förlängning på 8 mm, vilket ger en kraft på 351

kN. Detta värde ska sedan adderas till uppspänningskraften, vilket ger en kraft i spännstaget på 2 351 kN.

Det maximala värdet på kraften i spännstaget under mätningen ska således vara 2 351 kN. Vidare kan mätningarna stoppas om en förlängning motsvarande 0,1% av spännstagets fria längd erhålls vid mätningen. För spännstag nr 15 motsvarar detta en förlängning (separation mellan ankarstycke och ankarplatta) på 8 mm.

Utvärderingen av resultaten utfördes enligt flödesschemat i Figur 4-1. Resultaten från mätningen med domkraft och resultatet av utvärderingen redovisas i Tabell 11 för samtliga spännstag som ingick i inspektionen. Ifyllt protokoll enligt förslaget i Bilaga A för spännstag 15 visas i Figur B-2. Vid mätningen på spännstag 15 erhöles en separation mellan ankarstycke och ankarplatta på 8 mm vid en kraft på 2 201 kN, mätningen stoppades då och 2 201 kN användes som maximala kraften, se Figur B-2.

I detta fall understiger spännkraften acceptanskriteriet för två av spännstagen, nr 14 och 15, se Tabell 11. Spännkrafterna överstiger dock lägsta tillåtna spännkraft. Samtliga uppmätta spännkrafter ligger under den övre gränsen på 105 % av riktvärdet. Enligt rekommendationerna ska orsaken till de avvikande spännkrafterna utredas och spännkrafterna ska justeras till riktvärdet för inspektionen, vilket enligt Tabell 7 är 1 779 kN för spännstag 14 respektive 1 897 kN för spännstag 15.

Hur en utredning av orsaken till avvikelserna i spännkraft ska genomföras beror bl.a. på omständigheterna kring mätningarna och egenskaperna hos spännstaget och konstruktionen det är installerat i. Utredningen i detta specifika fall bestod av följande delar:

- Noggrann okulär inspektion av båda förankringar med omkringliggande betongkonstruktion med demonterade skyddshuvar. Syftet var att undersöka förekomsten av skador på betong eller förankringar som skulle kunna påverka spännstagen negativt.
- Genomgång av dokumentationen från uppspänningen för att undersöka förekomsten av eventuella problem eller andra avvikelser som kan ha betydelse för spännstagets funktion.
- Jämförelse med resultaten från lastcellerna för att undersöka om även spännkrafterna i de spännstag som ingår i respektive spännstagsgrupp avviker från acceptanskriteriet.

Någon orsak till avvikelserna från acceptanskriterierna kunde inte hittas i denna utredning. Inga skador eller degraderingar kunde detekteras, inget avvikande kunde heller ses i dokumentationen från uppspänningen. Spännkrafterna i de instrumenterade spännstagen i samma spännstagsgrupper, spännstag 13 i grupp 6 och spännstag 19-18 i grupp 7, överstiger acceptanskriterierna, vilket indikerar att det sannolikt inte föreligger något fel som allvarligt påverkar spännstagets integritet. Eftersom spännkrafterna överstiger lägsta tillåtna spännkraft utförs inga ytterligare åtgärder förutom att, i enlighet med rekommendationerna, justera spännkrafterna till respektive riktvärde. Spännkrafterna i dessa två spännstag ska dessutom mätas igen vid nästkommande inspektion med verifikationstest för att säkerställa att inga ytterligare oförväntade förändringar i spännkrafterna har skett.

Protokoll, spännkraftsmätning

Allmän information

Utförare	Spännkraftsmätning AB	Datum och tid	2020-09-10 kl. 13:20		
Domkraft och datum för senaste kalibrering	3000S, kal. 2020-09-01	Temperatur, °C	12°C	Väderlek	Halvklart
Typ av kraftgivare och mätnoggrannhet	Lastcell, ± 1% F.S. (= 30 kN)	Typ av läsgivare och mätnoggrannhet	LVDT ± 0,05 mm		

Information om spännstaget

Spännstagsgrupp	7	Spännstagsnummer	15	Spännstagstyp	6-12
Uppspänningskraft, kN	2 000 kN	Total längd, m	15 m	Fri längd, m	8 m
Riktvärde för spännkraft, kN	1 902 kN	Acceptanskriterium för spännkraft, kN	1 750 kN	Lagsta tillåtna spännkraft, kN	1 640 kN

Mätning

Maximal spännkraft under mätning, kN	2201 kN		Maximal förskjutning under mätning, mm	8 mm	
Läsgivarens placering	Samplingsfrekvens	2 mätvärden / s	Belastningshastighet, kN/min	1 000 kN/min	
Ankarstycket					
Kraft-förskjutningsdiagram					
Lift-off kraft, kN	1725 kN	Ankarstycket lyft	<input checked="" type="checkbox"/>		
Justering av spännkraft	<input checked="" type="checkbox"/>	Justerad spännkraft, kN	1 900 kN		
Övriga kommentarer					
Spännkraften uppfyller inte acceptanskriteriet för spännkraften. Utredning bör utföras. Spännkraften justerades till riktvärdet för inspektionen.					

Figur B-2. Exempel på protokoll innehållandes kraft-förskjutningsdiagram för spännstag 15.

Tabell 11. Resultat från första inspektionen med verifikationstest.

Spännstag #	Uppmätt spännkraft, P_t / kN	$P_t >$ Acceptans-kriteriet	$P_t >$ Lägsta tillåtna spännkraft	$P_t <$ 1,05Rikt-värde	Status
2	2 810	Ja	Ja	Ja	OK
4	2 890	Ja	Ja	Ja	OK
10	1 810	Ja	Ja	Ja	OK
14	1 610	Nej	Ja	Ja	Ej OK
15	1 725	Nej	Ja	Ja	Ej OK
20	1 900	Ja	Ja	Ja	OK
Lastceller					
1	2850	Ja	Ja	Ja	OK
3	2890	Ja	Ja	Ja	OK
4	2865	Ja	Ja	Ja	OK
7	2820	Ja	Ja	Ja	OK
9	2835	Ja	Ja	Ja	OK
11	1810	Ja	Ja	Ja	OK
13	1800	Ja	Ja	Ja	OK
16	1930	Ja	Ja	Ja	OK
17	1870	Ja	Ja	Ja	OK
18	1880	Ja	Ja	Ja	OK
22	1920	Ja	Ja	Ja	OK
24	1930	Ja	Ja	Ja	OK

Bilaga C: Kommentarer till riktlinjerna.

I nedanstående avsnitt ges kommentarer till rekommendationerna i avsnitt 2 till 5.

2. KRAVSTÄLLNING

2.1. INLEDNING

2.2. DETALJPROJEKTERING

2.2.1. Anvisningar för utförande

2.2.2. Statusbedömning av betongkonstruktion och berggrund

Betongkonstruktioner

Kommentar: Fokus i statusbedömningen ska vara de delar av den befintliga betongkonstruktionen där de aktiva förankringarna till spännstagen ska placeras samt underliggande delar i spännstagets längsriktning.

Berggrundens egenskaper

2.2.3. Spännstagssystem med ändamålsenlig utformning

Spännstagssystem

Kommentar: Det finns stångbaserade system som klarar spännkrafter över 3500 kN och därmed skulle kunna ersätta linbaserade spännstag som bergförankringar. Linbaserade system är dock att föredra av följande anledningar:

- *Det finns automatiskt en redundans inbyggt i och med att de består av flera linor. De är därför mer robusta då en eller ett fåtal linor kan gå till brott utan att hela spännstaget förloras, t.ex. p.g.a. korrosionsskador.*
- *Spännstag som utgör bergförankringar är oftast relativt långa, vilket inte är ett problem för linbaserade system. Stänger tillverkas oftast i längder om maximalt 11-12 m, vilket för längre spännstag medför att dessa måste skarvas. Skarvarna medför en svaghet i spännstagen då fler komponenter införs och därmed ökar risken för brott beroende på t.ex. fel i komponenterna eller brister i montage. Skarvarna är även mer känsliga ur korrosionssynpunkt då de kan medföra risk att injekteringsbruket inte helt omsluter spännstaget. Till sist ska inga skarvar förekomma i förankringszonen vilket ytterligare begränsar denna typ av spännstag.*
- *Linbaserade spännstag är även enklare att installera då de kan böjas, stänger är betydligt svårare att hantera p.g.a. att de inte går att böja.*

Materialkrav

Möjlighet till avlastning

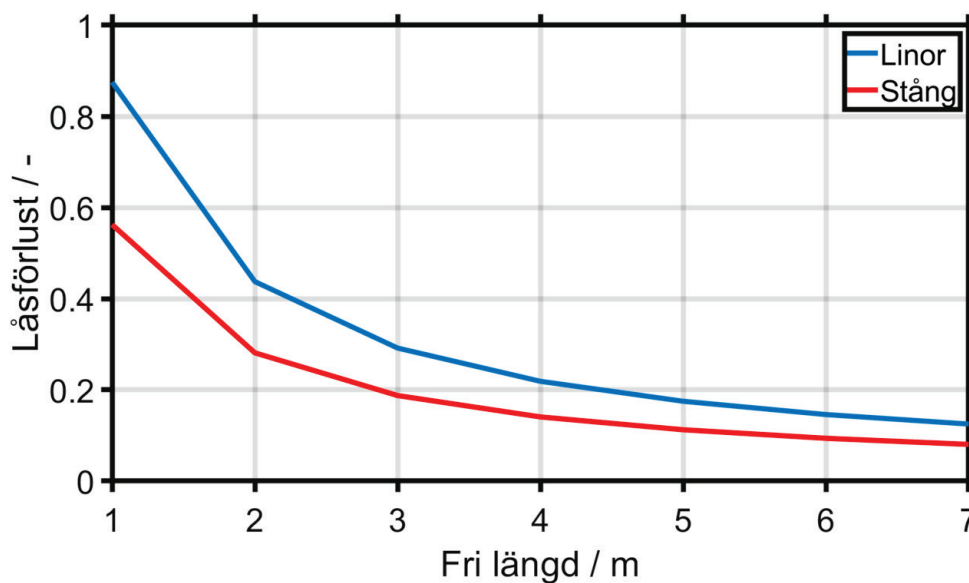
Kommentar: Möjligheten att spänna ner spännstaget är viktigt ur följande aspekter:

- Arbetsmiljösynpunkt då det vid en rioning av anläggningen går att spänna ner spännstaget på ett säkert sätt.
- I det fall lastceller ska installeras i efterhand så är detta enklare på ett nedspänsta spännstag då installationen inte behöver utföras under en verkande domkraft. Dessutom är kostnaden för lastceller som är avsedda att installeras på obelastade spännstag betydligt lägre än för delbara lastceller som kan installeras på belastade spännstag.

Orsaken till att kraven på avlastning inte behöver uppfyllas för spännstag vars fria längd överskrider 35 m är att höjden på mellanlägggen blir alltför stor.

Fri spännstagslängd

Kommentar: Spännkraften i ett spännstag är en funktion av spännstagets förlängning. En kort fri längd kan därför medföra att det inte går att uppnå avsedd spännkraft då det alltid uppkommer förluster vid låsning p.g.a. glidning. Storleken på dessa förluster kan ofta hämtas i ETA (Europeiska tekniska godkännandet) för det aktuella systemet. Den fria längden bör därför anpassas för att möjliggöra kompensation av förlusterna vid låsning. Typiska värden på låsförluster är mellan fyra och sex mm för linbaserade spännstag och cirka 2 mm för stångbaserade spännstag. I figur C-1 nedan redovisas beräkningar på låsförluster för fria längder från en till sju meter. Som framgår av resultaten så är det vid cirka fem och tre meters fria längd för linbaserade respektive stångbaserade spännstag som storleken på låsförlusterna börjar plana ut.



Figur C-1. Låsförluster som funktion av den fria längden på lin- och stångbaserade spännstag.

Val av spännstagsdimension

Kommentar: Syftet med att maximera stålarean är att kunna minska belastningen på spännstålet och på så vis t.ex. minska spännkraftsförluster. Som exempel så är dimensionerna på förankringssystemet för 6–12 (12 stycken linor med en diameter på 15,2 mm) samma som för 5-19 (19 linor med en diameter på 12,7 mm). Dock är stålarean cirka tretton procent större för 5-19, 1900 mm² jämfört med 1680 mm² för 6-12. Vid en spännkraft som motsvarar 60 % av brottlasten för 6-12 blir motsvarande spänningsnivå för 5-19 cirka 53%. På samma vis är även t.ex. 6-7 utbytbart mot 5-12. Här ska det dock påpekas att just linor med en diameter på 0,5" eller 12,9 mm generellt inte tillhandahålls av utförare längre och därför inte bör specificeras för spännstag.

Dimensionering av den aktiva förankringszonen

Kommentar: Det har förekommit brott i underdimensionerade spännklackar i samband med uppspänningen av spännstag, d.v.s. de betongkonstruktioner som utgör upplag för den aktiva förankringen. Den koncentrerade kraften från spännstaget kan medföra lokal krossning och sprickbildning i betongen. Korrekt utformning av den aktiva förankringszonen är därför en viktig detalj i detaljprojekteringen.

Dimensionering av förankringszonen i berget

Kommentar: Dimensioneringsprinciperna för de fyra brottmoderna beskrivs kortfattat nedan:

1. *Brott i spännstål. Dimensioneringen utförs genom att välja ett spännstag som med god marginal klarar uppspänningskraften.*
2. *Vidhäftningsbrott mellan spännstål och injekteringsbruk. En vidhäftningshållfasthet ansätts för injekteringsbruket. Vidhäftningshållfastheten kan t.ex. bestämmas utifrån den europeiska normen för betongkonstruktioner, Eurocode 2. Förankringslängden beräknas sedan utifrån varje linas mantelarea som är i kontakt med injekteringsbruket och den beräknade vidhäftningshållfastheten.*
3. *Vidhäftningsbrott mellan injekteringsbruk och berg. På samma sätt som ovan ansätts ett värde på en vidhäftningshållfasthet mellan berg och injekteringsbruk beroende av typ av berg samt injekteringsbrukets draghållfasthet. Bärförmågan för spännstaget med avseende på denna brottmekanism är sedan en funktion av vidhäftningshållfastheten, diametern på borrhålet samt förankringszonens längd.*
4. *Brott i bergmassan (bergförankring). Denna brottmod antas ske genom att en konformad volym av bergmassan släpper från berggrunden. Konen antas normalt ha sin topp vid halva höjden av förankringslängden med en spetsvinkel som uppgår till 60° till 90°. Tyngden på denna bergkon antas sedan stå för hela bärförmågan hos bergmassan. Förankringslängden bestäms sedan utifrån volymen på den bergkon vars tyngd motsvarar spännkraften den ska stå emot.*

I de fall då förankringen sker i en befintlig betongkonstruktion så är det draghållfastheten i den befintliga konstruktionen som ska användas vid kontroll för punkt 3 ovan. När det gäller brottmod 4 ska det istället säkerställas att den befintliga betongkonstruktionen kan ta upp den koncentrerade lasten från spännstaget.

Det bör påpekas att dimensioneringsprinciperna för punkt 2-4 ovan samtliga är väldigt konservativa, se vidare i [4]. Mindre konservativa metoder kan användas, men kräver betydligt mer detaljerade analyser och beräkningar samt tillgång till goda materialdata. Generellt så bör därför de dimensioneringsmetoderna som presenteras ovan främst användas.

Korrosionsskydd

Kommentar: Den sekundära skyddshuven ska fungera som klimatskydd för hela den aktiva förankringszonen. I de fall spännstag t.ex. är installerat inomhus är det inte nödvändigt med en sekundär skyddshuv då är den fettfyllda skyddshuven som enbart skyddar ankarstycket tillräcklig.

Centrering

Kommentar: Oftast har tillverkaren av systemet redan bestämt antal spridare och distanshållare samt deras position längs spännstaget. Kraven som ges angående centrum- och kantaavstånd ska ses som de absoluta maximalt acceptabla avstånden.

Spännstags inbördes avstånd

Kommentar: Ett enskilt spännstags bärförmåga i förankringszonen i berget påverkas av intilliggande spännstag, främst avseende brottmoden brott i bergmassan, se tidigare kommentarer under Dimensionering av förankringszonen i berget.

Enligt den amerikanska normen för bergförankringar ska avståndet mellan två intilliggande spännstag vara minst fyra gånger borrhålens diameter, men minst 1,2 m. Även om detta krav på minsta avstånd uppfylls så måste ändå inverkan av närliggande spännstag inkluderas i dimensioneringen.

En metod för att minska inverkan av tätt placerade spännstag är att variera den fria längden på spännstagen och på så sätt variera nivåerna i höjddled på förankringszonen i berget.

Åtkomst

Kommentar: Att tillgodose att tillräckligt utrymme finns runt den aktiva förankringen för säker hantering av domkraft är väldigt viktigt ur ett arbetsmiljöperspektiv. Praktisk erfarenhet från branschen är att denna aspekt ofta förbises vid dimensioneringen. Vid den fysiska utformningen av den aktiva förankringen ska det även säkerställas att domkraften ska kunna hanteras med någon form av lyftanordning.

2.2.4. Spännkraft

Val av uppspänningskraft

Kommentar: Rekommendationen att uppspänningskraften ska väljas till 125 % av spännkraftsbehovet härrör från regressionsanalys av mätdata av spännkrafter i svenska vattenkraftsanläggningar, se t.ex. [4]. Prediktionen över spännkrafterna visade att 100 % efter uppspänningen uppgick medelvärdena på spännkrafterna till 82 % av uppspänningskraften. 125 % motsvarar 80 % förlust av spännkraft, vilket bör ge en god marginal så att spännkraften inte behöver justeras under ett spännstags tekniska livslängd.

Kravet på begränsning av uppspänningskraften syftar till att hålla spänningen i spännstålet på en låg nivå i syfte att minimera spännkraftsförluster, minska spänningar i både förankringszonen i berget och i den förankrade betongkonstruktionen samt minska effekten av eventuell spänningskorrosion.

Godkännandeprov

Kommentar: Syftet med ett godkännandeprov är att verifiera förankringens funktion. Spännstaget belastas till en kraft som överstiger den slutliga spännkraften, den s.k. provdragningslasten. Provdagningslasten bibehålls under en given tid under vilken deformationerna i spännstaget inte får överstiga ett visst krav.

Provningsmetod 1 rekommenderas då det var den metod som skulle användas enligt den tidigare standarden för provning av förankringar, SS27104 [24].

Inspektionsprogram samt acceptanskriterier för spännkraft

Kommentar: Ett inspektionsprogram kan, i undantagsfall, även upprättas efter dimensioneringen. Eftersom ett inspektionsprogram är kopplat till bl.a. spännkrafterna i spännstagen är dock rekommendationen att upprättandet av detta ingår i dimensioneringsprocessen.

Riktvärdet för spännkraften är medelvärdet för spännkraften vid en specifik spännkraftsmätning och är framtaget utifrån en modellering av spännkraften över tid. Riktvärdet motsvarar den kraft som spännstaget helt enkelt förväntas ha vid en viss tidpunkt.

Acceptanskriteriet för spännkraften är det lägsta värdet på spännkraften som kan accepteras vid en spännkraftsmätning. Det är framtaget utifrån samma modellering som riktvärdet, dock något lägre. Det finns alltid en marginal ner till den lägsta tillåtna spännkraften. Denna marginal är framtagen så att så länge som spännkraften vid en mätning överskrider acceptanskriteriet så är sannolikheten låg att spännkraften kommer underskrida lägsta tillåtna spännkraften under spännstagets återstående livslängd. Underskrids acceptanskriteriet ska spännkraften justeras.

Lägsta tillåtna spännkraft är den spännkraft som motsvarar spännkraftsbehovet alternativt en något högre spännkraft för ett spännstag och ska aldrig underskridas.

Metoder för framtagande av utvärderingsparametrarna ges i kapitel 4.2.

Anvisningar för uppspanning

Kommentar: Rekommendationen att använda lastceller för att uppnå korrekt uppspänningskraft grundar sig i det faktum att lastceller vid installationen kommer ha en högre noggrannhet än ett lift-off test med domkraft. Särskilt om rekommendationerna och råden i avsnitt 5 följs. Erfarenheter från installationer av lastceller visar att domkraftsmätningar generellt överskattar spännkraften [3]. Genom att styra uppspanningen utifrån en installerad lastcell ger då en högre tillförlitlighet i bestämmandet av uppspänningskraften.

I det fall acceptanskriterierna för godkännandeprovet inte uppfylls ska ansvarig konstruktör konsulteras. Åtgärder som kan bli aktuella är:

- Sänka spännkraften i spännstaget till en nivå som klarar stabilitetsvillkoren, vilket även innebär en lägre proovlast som spännstaget ska klara. Detta kräver dock nya beräkningar av bl.a. spännkrafter samt ett nytt godkännandeprov.
- I det fall spännkraften i spännstaget blir så låg att stabilitetskraven inte kan uppfyllas bör om möjligt ett nytt spännstag installeras så nära som möjligt till det spännstag som inte uppfyller godkännandeprovet.
- Ett sista alternativ är att extrahera spännstaget, injektera och borra upp hålet på nytt. Därefter ska täthetsprovning av borrhålet utföras följt av eventuell täthetsinjektering samt installation av ett nytt spännstag.

1.2.5 Injekteringsbruk

Kommentar: Generella krav på det injekteringsbruk som skall användas till spännstag som bergsförankring ges i SS-EN 1537 i kapitel 6.3 och 6.4. I normen ställs olika krav på injekteringsbruket beroende om det ska användas inuti foderröret eller ska injekteras utanför foderröret och därmed vara i kontakt med berget eller omgivande betongkonstruktion. Enligt SS-EN 1537 ska injekteringsbruket inuti foderröret uppfylla kraven i SS-EN 447 [10]. I SS-EN 447 ges krav på bl.a. brukets egenskaper i både färskt och hårdnat tillstånd samt vilka tester som ska utföras på bruket. Både SS-EN 1537 och SS-EN 447 hänvisar även till SS-EN 206 [17] avseende bl.a. användandet av tillsatsmedel och exponeringsklasser. För spännstag i vattenkraftstillämpningar är dock kravet att samma injekteringsbruk ska användas till hela spännstaget då hela spännstaget ska kunna injekteras vid ett och samma tillfälle.

Tillägg till normkrav

Kommentar: De extra krav som ställs på injekteringsbruket avseende vct och cementegenskaper syftar till att främst säkerställa en god beständighet mot t.ex. kemiska eller fysikaliska angrepp.

Förprovning

Kommentar: Rekommendationerna angående förprovning av injekteringsbruket syftar till att säkerställa kvaliteten på bruket samt att få en spårbarhet av brukets egenskaper till de olika spännstagen. Erfarenheter visar att bristfälliga metoder har använts för både blandning och injektering av spännstag vilket har lett till att bruket gått till brott under uppspänningen.

Acceptanskriterier för injekteringsbruk

Kommentar: En viss avvikelser från kraven på injekteringsbrukets tryckhållfasthet kan accepteras. Det gäller främst tryckhållfasthetsutvecklingen som kan avvika från den avsedda t.ex. på grund av lägre omgivande temperatur. En åtgärd kan i sådana fall vara att senarelägga uppspänningen av spännstaget tills avsedd tryckhållfasthet uppnåtts.

1.3 INSTALLATION

1.3.1 Personalens kompetens

Kommentar: I prEN678-1 föreslås fyra olika nivåer på personalens kompetens: PT0 till PT3.

- *PT0 motsvarar en nyanställd med mindre än sex månaders erfarenhet.*
- *PT1 motsvarar en tekniker som utför själva installationen och har minst sex månaders erfarenhet samt dokumenterad kunskap.*
- *PT2 leder arbetet på plats och har minst 2 års erfarenhet samt relevanta utbildningar.*
- *PT3 är den ansvarige för en installation med mer än tre års erfarenhet samt relevanta utbildningar.*

2.3.2 Dokumentationskrav

2.3.3 Håltagning

2.3.4 Täthetsprovning

2.3.5 Täthetsinjektering

2.3.6 Hantering av spännstag

Skydd mot fukt

Mekanisk åverkan

Mottagningskontroll

Installationskontroll

Installation

Lyft av spännstag

Kommentar: Användandet av mjuka lyftredskap rekommenderas för att de har en mjuk anliggningsyta mot lyftobjektet och på så vis minimeras risken för skador på spännstaget och/eller foderröret i samband med lyft. Det bör påpekas att det bara är lyftredskapet som kommer i direkt kontakt med foderrör eller spännstag som behöver vara mjuka, övriga lyftredskap kan utgöras av t.ex. kätting. Mjuka lyftredskap kan t.ex. utgöras av rundsling vilken består av ett runt textilband eller lyftstroppar vilka består av ett textilband med öglor i båda ändar.

Hantering av skador på korrosionsskyddet på enskilda linor

Kommentar: Skador som avses är endast de som uppkommit på skyddshöljet till enskilda linor. Skador på foderröret ska inte repareras med dessa metoder i fält utan bör kasseras och bytas ut mot nya.

2.3.7 Injekteringsarbeten av förankringszonen

Kommentar: I SS-EN 1537 ställs relativt få krav på hur injekteringsarbeten ska utföras. Istället hänvisas till SS-EN 446, vilken behandlar utförande av injektering av foderrör till spännkablar. I [20] ges en omfattande vägledning gällande cementinjektering av betongkonstruktioner. Relevanta delar av denna vägledning som bör beaktas vid utförande av injekteringsarbeten av spännstag har inkluderats i rekommendationerna i detta avsnitt.

Anvisningar för injekteringsarbeten

Dokumentation

Blandning av injekteringsbruk

Utförande av injektering

Kommentar: Den omgivande temperaturen är den yttre faktor som har störst påverkan på hållfasthetsutvecklingen av injekteringsbruket. Vid temperaturer under cirka +10°C går hållfasthetsutvecklingen ungefär hälften så fort som vid +20°C (även beroende av cementtyp). Injektering vid låga temperaturer medför därför långsammare hållfasthetsutveckling och risk för att kraven på hållfasthet inte uppnås vid uppspänningen. Gränsen på +5°C är satt för att ha god marginal till temperaturer som understiger 0°C och därmed medför risk för frysning av det färska injekteringsbruket. Temperaturer överstigande +30°C kan medföra risk för snabbare hållfasthetsutveckling än avsett. Det kan även medföra risk för klumpbildning av härdat bruk som försämrar kvaliteten på injekteringen.

Det kan generellt tillåtas högre tryck vid injekteringen av förankringszonen än vid täthetsprovning och täthetsinjektering av borrhål. Anledningarna till detta är främst att det handlar om vätskor med väldigt olika egenskaper (cementbruk är egentligen inte en vätska utan en suspension av cementpartiklar i vatten). Vattnet som används vid täthetsprovning har en betydligt större förmåga att tränga ut i porssystemet i berget. Cementbruket som används vid en täthetsinjektering har en liknande förmåga. Det cementbruk som används för injekteringen av förankringszonen är betydligt styvare och då krävs ett högre injekteringsstryck för att få ut det i borrhålet så att det helt fyller ut hålet och innesluter spännstaget. Dessutom är borrhålet redan tillräckligt tätt (antingen naturligt tätt eller täthetsinjekterat) vid injekteringen av förankringszonen vilket medför att ett högre tryck kan tillåtas då. Vid den första täthetsprovningen är statusen avseende borrhålets täthet okänd.

2.4 UPPSPÄNNINGSARBETEN OCH SPÄNNKRAFTSMÄTNINGAR

2.4.1 Personalens kompetens

2.4.2 Utrustning

Kommentar: Omtag med domkraften p.g.a. för kort slaglängd är acceptabelt och oftast oundvikligt under uppspänning av spännstag. Omtag ska dock undvikas i samband med spännkraftsmätning och om möjligt även vid godkännandeprov.

2.4.3 Uppspänningsarbeten

Placering av domkraft

Kommentar: Det är viktigt att domkraften belastar spännstaget i dess längsriktning, en acceptabel vinkelavvikelse är maximalt 2° enligt SS27104 [24].

Godkännandeprov

Kommentar: Syftet med ett godkännandeprov är att verifiera förankringens funktion. Spännstaget belastas till en kraft som överstiger den slutliga spännkraften, den s.k. provdragningslasten. Provdragningslasten bibehålls under en given tid under vilken deformationerna i spännstaget inte får överstiga ett visst krav.

Provningsmetod 1 rekommenderas då det var den metod som skulle användas enligt den tidigare standarden för provning av förankringar, SS27104 [24].

Avslutande spännkraftsmätning

Dokumentation från uppspänning

2.4.4 Spännkraftsmätningar

Kommentar: Rekommendationerna i detta avsnitt är baserade på resultat från [3]. Syftet med den föreslagna metoden är att en standardiserad mätmetod ska användas av samtliga utförare inom vattenkraftsindustrin. På så vis säkerställs att samma mätmetod alltid används oavsett utförare. Fördelen med detta är bl.a. att resultaten från olika mätningar blir jämförbara oavsett utförare eller när i tiden de har utförts.

Andra mätmetoder än den föreslagna kan användas förutsatt att samma mätmetod har använts vid uppspänning och efterföljande spännkraftsmätningar. Vidare bör samma utförare ha utfört samtliga spännkraftsmätningar samt uppspänningen. I detta fall uppfylls kravet på jämförbarhet mellan olika mätningar och då bör samma mätmetod användas även för framtida spännkraftsmätningar.

Den maximala kraften som ska appliceras på spännstaget vid mätningen ska begränsas enligt anvisningarna i steg 5 a-c. Oftast är spännkraften lägre än uppspänningskraften och om en separation mellan ankarstycke och ankarplatta motsvarande 0,1% av den fria längden uppnås för den maximala kraften kan mätningen stoppas. Ytterligare förlängning av spännstaget bidrar inte till en mer noggrann mätning av spännkraften.

Temperaturen i omgivande klimat påverkar mätutrustningen. Genom mätningar av temperaturen kan dess inverkan på spännkraftsmätningen elimineras, eller i varje fall reduceras kraftigt, vid jämförelse mellan olika spännkraftsmätningar.

Om inga särskilda krav finns avseende belastningshastigheten vid spännkraftsmätningen är den generella rekommendationen att den uppgår till 50 % av uppspänningskraften per minut.

Efter avslutad spännkraftsmätning är det väldigt viktigt att korrosionsskyddet på ankarstycket återställs. I vissa fall kan det bli aktuellt att fylla på med mer rostskyddsfett.

Bestämning av lift-off kraft

Kommentar: Även denna metod togs fram i en tidigare rapport [3]. Syftet är detsamma som ovan, d.v.s. att ha en standardiserad metod för utvärdering av en spännkraftsmätning. I de fall som en annan metod ska användas så måste krav ställas på utföraren av mätningen att samma metod även kommer användas för framtida spännkraftsmätningar.

Dokumentation från spännkraftsmätning på befintliga spännstag

Höjning av spännkrafter

Kommentar: Tidigare resultat från kärnkraftsindustrin indikerar att höjning av spännkrafter till nivåer som överstiger de ursprungliga kan ge upphov till accelererade spännkraftsförluster. Detta har inte varit fallet för de spännstag där spännkrafterna höjts till nivåer som understiger de ursprungliga. Av denna anledning bör höjningar av spännkraft endast utföras då det är nödvändigt. Höjningar ska dessutom alltid utföras till nivåer som är lägre än de ursprungliga, i detta fall riktvärdet för spännkraften för den aktuella mätningen.

Utförande av spännkraftsmätning på äldre eller skadade spännstag

2.5 ARBETSMILJÖASPEKTER

Tillägg till arbetsmiljöverkets krav

Kommentar: De stora arbetsmiljömässiga risker som är förknippade med domkraftsarbeten är p.g.a. de trycksatta systemen med stora inbyggda krafter. Det viktigaste är att minimera dessa risker bl.a. genom att kunna hålla avstånd till trycksatta delar såsom hydraulslangar samt ha tillräckligt utrymme kring domkraften under arbetet.

3. UTFORMNING AV INSPEKTIONSPROGRAM

1.1 SAMMANSTÄLLNING AV BAKGRUNDSINFORMATION

Kommentar: Kvaliteten på injekteringsbruket avser dess tryckhållfasthet. Annan information som är relevanta att sammanställa är vilken typ av cement som använts, vct, eventuella tillsatsmedel, förhållanden vid injektering samt injekteringsbrukets ålder vid uppspänning.

Bergkvaliteten avser eventuella kvalitetsbedömningar utifrån t.ex. Q- eller RMR-systemen som utförts i samband med att spännstagen installerats.

3.4 OLIKA TYPER AV INSPEKTIONER

3.4.1 Årlig okulär inspektion

Kommentar: Den aktiva förankringszonens utbredning är definierad som den zon kring förankringen som påverkas av kraften i spännstaget. Det betyder också att en förändring i denna zon kan ha en eventuell negativ påverkan på spännstaget och dess beständighet.

Den årliga okulära inspektionen kan utföras t.ex. som en del av ronderingen/allmänna översynen av anläggningen och bör omfatta samtliga installerade spännstag. Efterföljande inspektioner bör utföras under ungefär samma tid nästföljande år. De år som en inspektion med verifikationstest utförs så ingår den okulära inspektionen i denna.

Vid nyinstallation kan effekterna av spännstagsinstallationen eventuellt dokumenteras om hela den konstruktionsdel där spännstagen ska installeras fotograferas både före och efter installationen.

Den första årliga okulära inspektionen bör utföras samtidigt som uppspänningen.

3.4.2 Inspektion med verifikationstest

Kommentar: Kraven avseende antalet spännstag som ska ingå i varje inspektion med verifikationstest, intervallen för inspektionerna samt tidsperioden inom vilken samtliga spännstag ska testas ska generellt ses som minimikrav för respektive dammsäkerhetsklass. Kraven för A och B-anläggningar kan t.ex. appliceras för anläggningar i de lägre klasserna om förutsättningarna kräver det. Det kan t.ex. vara anläggningar som är av stor betydelse för ägaren avseende bl.a. produktionskapacitet eller där statusen på anläggningen kräver tätare intervaller men som är mindre viktiga ur ett dammsäkerhetsperspektiv. Det finns även möjlighet att hantera anläggningar enligt kraven för lägre klasser om det är motiverat. Det kan t.ex. vara anläggningar där spännstagens funktion inte bidrar i nämnvärd utsträckning till konstruktionens säkerhet.

Generellt är någon mätning av spännkrafter med domkraft inte nödvändigt för de spännstag som är försedda med lastceller då spännkrafterna i dessa spännstag övervakas kontinuerligt. Alla typer av elektroniska givare driver dock med tiden. Vid misstanke om att lastcellerna visar felaktiga resultat så bör en spännkraftsmätning med domkraft utföras vid nästkommande inspektion med verifikationstest. Felaktiga resultat kan t.ex. vara konstanta krafter över en årscykel, trots variation i omgivande temperatur, eller under en längre period av flera år.

4. UTVÄRDERING AV SPÄNNKRAFTSMÄTNINGAR

Kommentar: Syftet med rekommendationerna är att med hög sannolikhet säkerställa att spännkraften inte riskerar att understiga spännkraftsbehovet under spännstagens tekniska livslängd, vanligtvis 100-120 år.

4.1 UTVÄRDERING AV MÄTRESULTAT

Kommentar: Bakgrunden till den föreliggande metoden för utvärdering av mätningar ges i [4]. Metoden baseras på en prediktion av utvecklingen av medelvärdet på spännkrafterna med tiden. Prediktionen syftar till att uppskatta hur medelvärdet på spännkraften i en anläggning eller i en spännstagsgrupp utvecklas med tiden under hela spännstagens tekniska livslängd. Två olika metoder för prediktioner kan användas, regressionsanalys av mätdata från spännkraftsmätningar eller modellering av långtidseffekterna i betong och spännstål. Kortfattat gäller följande för de tre utvärderingsparametrarna.

1. *Riktvärdet för spännkraften motsvarar det predikerade medelvärdet på spännkraft vid en enskild inspektion med verifikationstest. Enligt prediktionen är detta det värde som spännkraften i ett enskilt spännstag eller spännstagsgrupp förväntas ha vid en specifik inspektion. Det motsvarar helt enkelt det förväntade värdet på spännkraften i ett spännstag vid en enskild spännkraftsmätning. I de fall en prediktion görs från grunden ska även standardavvikelserna för de predikerade medelvärdena också beräknas och används för att ta fram de övriga utvärderingsparametrarna.*
2. *Acceptanskriterium för spännkraften. Detta är den spännkraft som den uppmätta spännkraften inte får understiga vid en inspektion med verifikationstest. Acceptanskriterierna är framtagna så att så länge som spännkraften vid en enskild spännkraftsmätning överstiger acceptanskriteriet så är sannolikheten låg att spännkraften kommer understiga lägsta tillåtna spännkraft under kvarvarande livslängd. Om spännkraften understiger acceptanskriteriet krävs en justering av spännkraften. Acceptanskriteriet motsvarar den nedre konfidensgränsen för ett konfidensintervall med konfidensgraden 0,95 baserat på uppskattat medelvärde (riktvärdet enligt ovan) och standardavvikelse från punkt 1.*
3. *Lägsta tillåtna spännkraft vilken aldrig får underskridas. Detta värde motsvarar den nedre konfidensgränsen för ett konfidensintervall med konfidensgraden 0,99 baserat på uppskattat medelvärde och standardavvikelse från punkt 1 alternativt spännkraftsbehovet för spännstaget.*

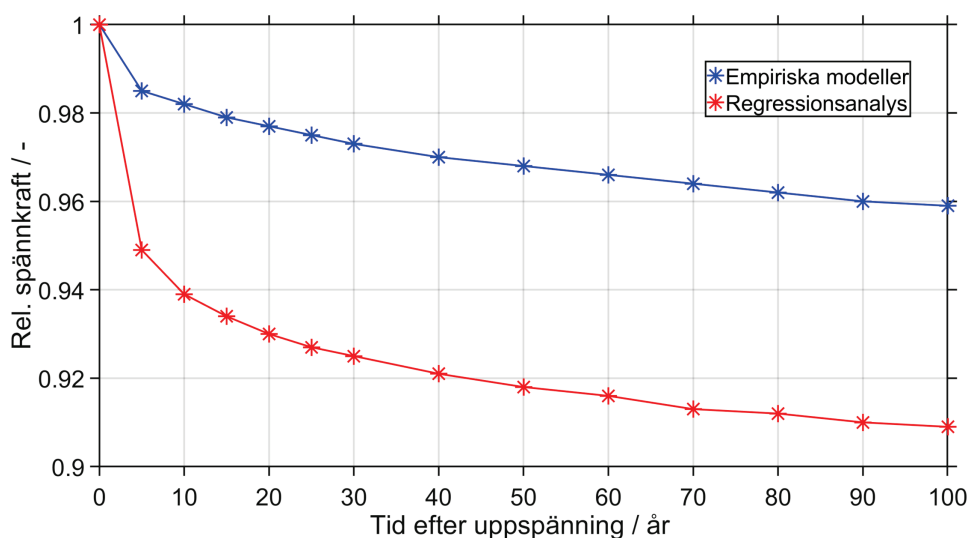
Kommentar figur 4.1: Figur 4.1 används för att utvärdera resultatet från en spännkraftsmätning på ett enskilt spännstag. Statusen på spännstaget anses uppfylla kraven om den uppmätta spännkraften överstiger acceptanskriteriet samt understiger 105 % av riktvärdet för inspektionen (motsvarande det predikerade medelvärdet för spännkraften). I det fall spännkraften understiger acceptanskriteriet men överstiger lägsta tillåtna spännkraft ska orsaken till avvikelserna utredas och spännkraften justeras till riktvärdet för inspektionen. I det fall den uppmätta spännkraften även understiger lägsta tillåtna spännkraft ska en utökad inspektion utföras där spännkrafterna mäts i samtliga spännstag som ingår i spännstagsgruppen. Syftet med den utökade inspektionen är att utreda om spännkrafterna i övriga spännstag i spännstagsgruppen avviker från acceptanskriterierna. Detta bör åtföljas av en utredning kring orsaken till avvikelserna

samt en justering av spännkrafterna (till riktvärdet för inspektionen) i samtliga spännstag där spännkraften understiger acceptanskriteriet. Vid nästkommande inspektion med verifikationstest ska samtliga spännstag där spännkrafterna har understigit acceptanskriterierna inkluderas (utöver det föreskrivna antalet) för att säkerställa att justeringen av spännkraften har haft avsedd effekt.

4.4 FRAMTAGNING AV UTVÄRDERINGSPARAMETRARNA

Kommentar: Anledningen till att metoder som baseras på regressionsanalys främst rekommenderas är att de även inkluderar andra aspekter än enbart långtidsförluster i materialen, t.ex. mätosäkerheter i domkraftsmätningen, metoden för bestämning av lift-off kraft och eventuella deformationer i förankringszonen i berget. En prediktion med empiriska modeller för uppskattning av krypning och krympning i betongen samt relaxation i spännstålet ger sannolikt relativt låga förluster jämfört med regressionsanalys av mätdata. Anledningen är att spännstag ofta installeras i gamla betongkonstruktioner där större delen av uttorkningen redan skett vilket minskar både krympningen och till viss del i krypningen i betongen. Vidare är spänningen i betongen i konstruktionen relativt låg vilket även minskar bidraget av krypningen till spännkraftsförlusterna.

I Figur C-2 nedan visas resultaten från de två olika metoderna för att prediktera medelvärdena på spännkrafterna i en vattenkraftsanläggning. Skillnaden i resultat mellan de båda metoderna är tydlig, där metoden med empiriska modeller ger betydligt högre spännkrafter än regressionsanalysen. För den aktuella anläggningen visade spännkraftsmätningar att cirka 96 % av spännkrafterna återstod fem år efter uppspänningen, vilket stämmer väl överens med resultaten från regressionsanalysen. Enligt resultaten från modelleringen med de empiriska modellerna ska spännkrafterna vara på denna nivå 100 år efter uppspänningen, vilket indikerar att denna metod inte bör tillämpas på bergförankringar.



Figur C-2: Jämförelse mellan två olika modeller för prediktion av spännkrafter för spännstag i en vattenkraftsanläggning.

4.4.1 Generell metod för nyinstallation och vissa befintliga spännstag

Kommentar: Den generella modellen är baserad på den tidigare framtagna modellen för regressionsanalys på mätdata från tidigare utförda spännkraftsmätningar. I detta fall har regressionsanalysen utförts på den mätdata som presenteras i [4] samt ytterligare insamlade data. Värdena på spännkrafterna för riktvärde, acceptanskriterium samt lägsta tillåtna spännkraft har plockats ut från denna regressionsanalys och presenteras som relativa värden i tabell och diagramform. Utifrån denna info kan utvärderingsparametrarna bestämmas genom att multiplicera uppspänningskraften med respektive faktor. Då modellen är framtagen på en stor mängd mätdata finns även vissa begränsningar för användning av modellen:

1. *Eftersom all mätdata är från bergförankringar så bör modellen endast användas för spännstag som är förankrade i berg alternativt förankrade på samma sätt i betongkonstruktioner.*
2. *och 3. Om marginalen mellan spännkraftsbehov och uppspänningskraften är minst 18 % så kan modellen appliceras. I annat fall ska en av de övriga modellerna användas.*
4. *Modellens tillämpbarhet på stångbaserade system är osäker p.g.a. begränsade data från stångbaserade system.*

Vid nyinstallation rekommenderas det som tidigare att uppspänningskraften sätts till 125 % av spännkraftsbehovet.

4.4.2 Alternativ metod för spännstag med tillgängliga mätdata

Kommentar: Denna metod kan användas för befintliga anläggningar där det finns tillgängliga mätdata från tidigare utförda spännkraftsmätningar. Eftersom metoden enbart är baserad på mätdata från den aktuella anläggningen så kommer den ge mer tillförlitliga prediktioner jämfört med den generella metoden. Regressionsanalysen ska då utföras enligt metoden beskriven i [4].

4.4.3 Metod för spännstag som förankrar mekanisk utrustning

Kommentar: Denna metod baseras på den andra metoden som presenteras i [4] vilken grundar sig på empiriska modeller för att uppskatta långtidseffekter i materialen, d.v.s. krypning och krympning i betongen samt relaxation i spännstålet. Modellerna som rekommenderas är de som finns i Eurocode 2. I de fall då det finns mätdata tillgänglig bör regressionsanalys användas enligt förutsättningarna i [4].

4.4.4 Spännstag med otillräckliga marginaler mellan spännkraft och spännkraftsbehov

Kommentar: Resultaten i [2] visade att ett vanligt acceptanskriterium för svenska vattenkraftsanläggningar är att den uppmätta spännkraften maximalt får vara 10 % lägre än uppspänningskraften. Detta är anledningen till att denna metod anpassats till en marginal på minst 10 % mellan uppspänningskraft och spännkraftsbehov.

Anledningen till att spännkrafterna ska justeras till 98 % av uppspänningskraften är att det finns indikationer på att en höjning av spännkrafterna till nivåer som överstiger de ursprungliga kan medföra accelererade förluster. Genom begränsningen på höjningen så erhålls en viss säkerhetsmarginal.

Syftet med rekommendationen avseende instrumentering med lastceller är att öka säkerheten i anläggningen genom kontinuerlig övervakning av spännkrafterna.

4.4.5 Spännstag utan marginaler

Kommentar: Instrumentering med lastceller rekommenderas i detta fall då mätdata från spännkraftsmätningar visar att spännkrafterna minskar mellan 5 % och 10 % redan under de första fem till tio åren efter uppspänning. För anläggningar där marginalerna understiger 5 % till 10 % så är risken därmed stor att spännkraftsbehovet inte kommer uppfyllas och därmed äventyras säkerheten i anläggningen. Genom instrumentering kan spännkrafterna övervakas kontinuerligt vilket ger en förvarning om spännkrafterna riskerar att understiga spännkraftsbehovet. Åtgärder kan då planeras i god tid och sättas in vid behov. Enbart mätningar med domkraft med jämna intervall ger inte samma möjlighet att åtgärda låga spännkrafter i tid.

Justeringen av spännkraften till 98 % av uppspänningskraften bör enbart utföras om det finns tillräckliga marginaler.

I vissa fall kan ett visst avsteg från omfattningen av instrumenteringen vara motiverat, exempelvis i nedanstående fall.

- *Det finns mätdata tillgängligt från mätningar av spännkrafterna som visar på nivåer som överskrider spännkraftsbehovet. Det bör då ha utförts mätningar i minst 15 år efter uppspänningen. Hälften av de spännstag med marginaler till spännkraftsbehovet behöver då inte instrumenteras.*
- *Det bedöms inte vara ekonomiskt försvarbart ur ett dammsäkerhetsperspektiv att instrumentera samtliga spännstag. Detta gäller främst anläggningar i dammsäkerhetsklass C eller lägre. Minst hälften av spännstagen bör dock instrumenteras med lastceller.*

4.4.6 Svårtillgängliga spännstag

Kommentar: Frekvensen på spännkraftsmätningar på svårtillgängliga spännstag är generellt betydligt lägre jämfört med mer lättillgängliga spännstag. Vilket är anledningen till att det rekommenderas lastceller på sådana spännstag. I vissa fall är denna typ av spännstag avgörande för den dämmande konstruktionens säkerhet, t.ex. spännstag som förankrar lucklager.

4.4.7 Spännstag med lastceller

Nyinstallation av spännstag

Installation av lastceller på befintliga spännstag

5. INSTRUMENTERING MED LASTCELLER

5.1 INLEDNING

Kommentar: Hela detta avsnitt är baserat på resultaten från en tidigare rapport [3], för mer detaljerad info kring rekommendationerna hänvisas till den tidigare rapporten.

Det finns fall då skillnader mellan domkraftsmätning och lastcell medfört att man kalibrerat lastcellen med hjälp av domkraftsmätningar. Detta bör undvikas och endast vidtas om det finns en stark misstanke kring att lastcellen ger fel mätvärde. Sannolikheten är stor att det är just lastcellen som i detta fall ger det mest tillförlitliga resultatet.

5.2 INSTALLATIONENS OMFATTNING

Kommentar: Lastceller ska inte installeras på befintliga spännstag om det inte finns tillräcklig mängd mellanlägg som motsvarar höjden på lastcellen. Anledningen är att om en lastcell som är högre än befintliga mellanlägg installeras så medför det en höjning av spännkraften, vilket inte får ske (se motiveringen under Höjning av spännkraft ovan). Teoretiskt kan spännkraften dock justeras i detta fall genom att flytta kilarna uppåt längs linorna och därmed kompensera för den extra förlängning som lastcellen medför (under förutsättning att det finns tillräcklig extra längd på linorna på ovansidan av ankarstycket). Att förlänga spännstaget på detta sätt ska aldrig utföras då de mekaniska skador som linorna ger upphov till på linorna, s.k. kiltugg, då hamnar i den belastade delen av spännstaget. Kiltuggen utgör då en brottanvisning eftersom tvärsnittet på linorna där är mindre än i övriga delar av linorna.

5.3 VAL AV LASTCELL

Kommentar: I praktiken kan det ofta vara svårt att centrera lastcellerna vid installationen. Hydrauliska lastceller har fördelen att de inte påverkas av excentrisk belastning, vilket innebär att centreringen av lastcellen under ankarstycket inte måste vara helt perfekt. Lastceller med töjningsgivare är betydligt mer känsliga för excentrisk belastning.

RIKTLINJER FÖR HANTERING AV SPÄNNSTAG I VATTENBYGGNADSKONSTRUKTIONER AV BETONG

Spännarmering i form av så kallade spännstag används inom vattenkraftsindustrin som en metod för att bland annat öka vattenkraftsdammars stabilitet mot yttre laster. I och med att de svenska vattenkraftsanläggningarna åldras och den tekniska livslängden förlängs så kommer användandet och betydelsen av spännarmering att öka. För tillfället saknas en branschgemensam hantering för design, installation och underhåll av spännstagsystem. Då funktionen hos installerade spännstagsystem direkt påverkar stabilitetsvillkoren vid en anläggnings fastspända betongkonstruktioner så är en standardiserad metodik gällande såväl vid design, som vid installation och drift av spännstagsystem, en förutsättning för att bibehålla en hög säkerhet och integritet hos anläggningarna.

Sedan 2016 har det inom Energiforsks betongtekniska program inom vattenkraft utförts fyra projekt som undersökt olika aspekter kring spännstag inom vattenkraften. Det övergripande syftet med projekten har varit att ta fram rekommendationer och förslag på metoder för hantering av spännstag inom vattenkraften. Flertalet aspekter kring användandet av spännstag har behandlats såsom åldringshanteringsprogram, inspektioner, kravställning för dimensionering och installation och instrumentering med lastceller.

I den här rapporten presenteras riktlinjer baserade på resultaten från de tidigare utförda projekten. Riktlinjerna syftar till att utgöra grunden för en branschgemensam metodik för hantering av spännstag inom vattenkraften. Riktlinjerna riktar sig främst till anläggningsägare, men även till konsulter och entreprenörer som jobbar med spännstagsfrågor inom vattenkraftsindustrin.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se