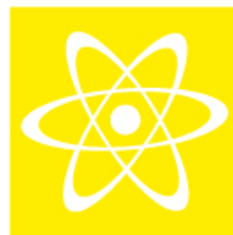
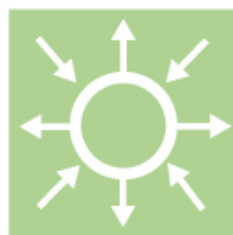




Eurokoder

Jämförande beräkningar för
betongkonstruktioner inom
vattenbyggnadsområdet

Elforsk rapport 13:69



Mikael Mathiesen, Henri Mäkelä

December 2012

ELFORSK

Eurokoder

Jämförande beräkningar för
betongkonstruktioner inom
vattenbyggnadsområdet

Elforsk rapport 13:69

Förord

Många stora konstruktioner inom vattenkraftindustrin består av betong. Att utveckla och effektivisera förvaltning av dessa är av största betydelse. Genom FoU-insatser ökar möjligheten att genomföra åtgärder vid rätt tid, till lägsta möjliga kostnad och till rätt kvalitet.

Vattenkraftföretagen*) har via Elforsk bedrivit forskning och utveckling inom det betongtekniska området sedan början av 90-talet.

Verksamheten syftar till att utveckla förvaltningen av vattenkraftens betongkonstruktioner för att minska produktionsbortfall orsakade av problem med betongkonstruktioner. Men det finns även en direkt koppling till dammsäkerhetstekniska krav på förvaltningen av betongkonstruktionerna.

Målet är att ta fram verktyg, riktlinjer, utförandebeskrivningar och teknik som fyller industrins behov. Målet är också att bygga kompetens. En uttalad ambition är att samarbeta med övrig industri och landets tekniska högskolor.

Under perioden 2010-2012 har tidigare inriktning mot kraftverkets yttre betongkonstruktioner kompletterats med aggregatnära betongkonstruktioner som utsätts för alltmer dynamisk belastning vid förändrade driftsätt och ökat reglerkraftbehov.

Programmet administreras med hjälp av en styrgrupp som under 2010-2012 bestått av följande ledamöter:

Mats Persson/Erik Nordström/Malte Cederström, Vattenfall Vattenkraft

Johanna Feldtman, E.ON Vattenkraft Sverige

Martin Hansson/Jan Liif, Statkraft Sverige AB

Robert Lundström/Markus Eriksson/Emma Sundelin, Skellefteå Kraft

Stefan Norberg/Karin Persson, Fortum

Marcus Hautakoski/Gunnar Sjödin, Vattenregleringsföretagen

Cristian Andersson/Marie Westberg Wilde, Elforsk AB

Stockholm november 2013



Cristian Andersson

Elforsk AB

*)Vattenfall Vattenkraft AB, Fortum Generation AB, E.ON Vattenkraft Sverige AB, Statkraft Sverige AB, Skellefteå Kraft AB, Jämtkraft AB, Sollefteåforsens AB, Karlstads Energi AB, Jönköping Energi AB deltar i Betongtekniskt program vattenkraft 2010-2012.

Sammanfattning

Sweco har på uppdrag av Elforsk utfört jämförande beräkningar med Eurokoder inom vattenbyggnadsområdet. Det har genomförts genom att man i pågående uppdrag åt Ångermanälvens Vattenregleringsföretag (ÅVF) utfört beräkningar både med Eurokod och tidigare gällande normer för förankringslängder, minimiarmering, sidopelare (moment och tvärkraft) och lucklager (prägling, spjälkning).

Resultaten har jämförts och skillnader och likheter har belysts.

Slutsatserna, som endast gäller för jämförelse av beräknat tvärsnitt, ger de nya riktlinjerna, EK, ingen eller marginellt ökad armeringsbehov i tvärsnittet med hänsyn till böjning. Dock har avsteg gjorts från BBK och EK då täckande betongskikt är valt efter rekommendation i RIDAS, vilket är högre än EK och BBK kräver. Det leder till att armeringsbehov med hänsyn till sprickviddskrav i EK blir högre än normen kräver. Dessutom har de hårdare kraven på begränsning av sprickvidd i RIDAS bedömts ge en orimligt hög armeringsmängd, varför ett lägre krav valts för dimensionering.

I praktiken leder detta till att dimensionerande armeringsbehov enligt EK blir lika RIDAS. Det är rimligt att anta att de speciella förutsättningar som råder kring vattenkraftkonstruktioner gör att rekommendation om erforderligt täckskikt kan kvarstå i RIDAS även för beräkning enligt EK.

Beräkning av tvärkraft och tvärkraftskapacitet för tvärsnitt utan statisk verksam armering visar att säkerheten mot brott vid dessa förutsättningar är lika för RIDAS och EK. Beräkningar av erforderligt armeringsbehov med hänsyn till tvärkraft tyder på en större erforderlig mängd tvärkraftsarmering enligt EK. Dessa beräkningar bör dock kompletteras med reduktion av tvärkraft med hänsyn till last nära upplag innan dimensionerande armeringsbehov kan fastställas. Beräkning med fackverksmodell enligt BBK jämförd med EK kan ytterligare tydliggöra eventuella skillnader i erforderlig tvärkraftsarmering.

Kontroll av krossning och spjälkning av betong bakom lucklager på pelaren visar att RIDAS ger en högre säkerhet mot brott jämfört med EK. Det kan dock övervägas om säkerheten enligt EK är tillräcklig. Lasterna på lucklagret bör vara väl kända och definierade, och materialvärdena för betong och armering är också väl definierade. En jämförelse kan göras med BBK. Då större delen av lasterna är permanenta blir säkerhetsfaktorn på last ca 1,0 enligt BBK, medan RIDAS kräver en förstoring av kraften med hydraulisk faktor på 1,8 för tryckkraft.

Beräkning av minimiarmering har visat att för grova konstruktionsdelar utsatta för böjning ger EK en större mängd erforderlig minimiarmering.

Innehåll

1	Introduktion	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Omfattning och syfte	1
2	Konstruktionsförutsättningar	3
2.1	Material	3
2.2	Lastfall	3
2.3	Partialkoefficienter på laster	4
3	Karakteristiska och dimensionerande materialvärden (ULS)	6
3.1	Armering.....	6
3.2	Betong.....	6
3.3	Skjuvpåkänning	7
4	Bärförmåga	8
4.1	Böjmomentkapacitet	8
4.2	Tvärkraftskapacitet	9
4.3	Tryckkraftskapacitet (prägling och spjälkning)	10
5	Sprickbredder (brukgränstillstånd)	12
5.1	Erforderlig armeringsarea m.h.t sprickor	12
5.2	Tillåtna spänningar i bruksgränstillstånd	13
5.3	Minimiarmering.....	13
6	Detaljutformning av armering	14
6.1	Förankringslängder	14
6.2	Skarvlängder	14
7	Sammanfattning av jämförelsen	15
7.1	Materialvärden och partialkoefficienter.....	15
7.2	Armeringsbehov.....	15
7.3	Slutsatser	17
8	Förslag till fortsatt arbete	18

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Sweco har på uppdrag av Elforsk utfört jämförande beräkningar med Eurokoder inom vattenbyggnadsområdet. Detta genomförs genom att man i pågående uppdrag åt Ångermanälvens Vattenregleringsföretag (ÅVF) utför beräkningar både med Eurokod och tidigare gällande normer. Presentation av preliminärt resultat har gjorts på SwedCOLDs temadag 2012-10-23.

Gällande riktlinjer, RIDAS, hänvisar för dimensionering av betongkonstruktioner till BKR, och därigenom till BBK. I RIDAS ställs dimensioneringsvillkor som utgör kompletteringar och avsteg från dimensionering enligt BBK. I dagsläget har dock BKR och BBK ersatts av Eurokod (EK) tillsammans med nationell bilaga, EKS, som gällande standard för dimensionering av betongkonstruktioner. Eurokoden består av ett antal huvuddokument benämnda SS-EN 1990 t.o.m. SS-EN 1997. Till dessa finns ett nationellt annex, EKS, utgivet av Boverket. EKS listar de avsteg från huvuddokumentet som gäller i Sverige. Utöver EKS finns en sammanställning från Trafikverket, TK Bro, som listar avsteg från huvuddokumentet gällande dimensionering av broar. TK Bro motsvarar det som tidigare var Vägverkets och Banverkets bronormer, innehållande kompletteringar och avsteg till BBK. Nedanstående hänvisningar till EK och BBK gäller med nationell tillämpning enligt EKS, respektive tillämpning enligt RIDAS där inte annat anges.

1.2 Omfattning och syfte

Uppdraget omfattas av jämförande beräkningar för:

- Förankringslängder
- Minimiarmering
- Sidopelare (moment och tvärkraft)
- Lucklager (prägling, spjälkning)

Beräkningar i denna jämförelse har utförts parallellt med detaljprojektering av ny konstruktion, vilken sker enligt EK. I denna jämförelse har valts att komplettera med ytterligare beräkningar enligt RIDAS, där kompletterande beräkningar gjorts på en sidopelare. I några fall har ytterligare kompletterande beräkningar utförts enligt BBK.

Syftet med de kompletterande beräkningarna är att ge en bild av vilka effekter beräkning enligt EK får på konstruktionen jämfört med tidigare RIDAS och BBK. Exempel på sådana effekter kan vara förändrade krav på armeringsbehov, förändrade säkerhetsmarginaler mot brott och förändrad livslängd på konstruktioner.

Vid upprättandet av detta PM har beräkning av kraftöverföring genom fog inte utförts inom ramen för pågående uppdrag åt ÅVF, varför inga jämförande beräkningar heller utförts. Inte heller reducering av tvärkraft med hänsyn till

lastangrepp nära upplag har beräknats, varför någon jämförelse inte görs nedan.

2 Konstruktionsförutsättningar

Beräkningarna har utförts på en sidopelare till ett ytutskov. Tvärsnittskrafter har kontrollerats i pelarens inspänningssnitt. Betongens tvärsnittstjocklek i inspänningssnittet är 2,37 meter, vilket innebär att konstruktionen är relativt grov.

I beräkningarna har förutom egentygnd och jordlast även vattenlast och islast betraktats som permanenta laster. Detta följer inte strikt de normkrav som ställs upp i EK respektive RIDAS och BBK. Vattenytan och därmed vattenlasten kommer under konstruktionens inledande användning att variera, då årsreglering sker i magasinet. Konstruktionen beräknas för en livslängd på 100 år, och framtida regleringsstrategier är oklara. Därför har vattenlasten valts till permanent last, vilket innebär en konstant hög vattenyta.

Täckande betongskikt för armeringen har för beräkning enligt EK och RIDAS satts till 70 mm. Detta är ett avsteg från EK. Detta avsteg har gjorts då delar av konstruktionen kommer att vara utsatt för strömmande vatten med stora hastigheter.

Terminologin skiljer sig något mellan normerna, för enkelhetens skull kallas brottgräns nedan för ULS och bruksgräns för SLS, vilket är termerna som används i EK.

2.1 Material

Vald betongkvalité är C30/37, med exponeringsklass XC4+XF3.

Konstruktionen antas belägen i 80 % RH. Kryptal sätts enligt BBK till ett heltal mellan 1 och 3, beroende på miljö. EK ger möjligheten att nyansera kryptalet något. Med ovan givna förutsättningar ger EK ett kryptal på 1,6, medan BBK ger ett kryptal på 2.

Slutgiltigt värde på uttorkningskrympning är i beräkningsmodellen satt till 0,25 ‰.

Sprickviddskrav är enligt EK sprickvidd $w_k=0,3$ mm, spricksäkerhetsfaktor $\xi=1,2$. RIDAS anger att för konstruktioner utsatta för ensidigt vattentryck bör sprickvidden inte överstiga 0,2 mm. RIDAS anger dock att om kravet ger "orimligt hög armeringsmängd" kan $w_k=0,3$ mm accepteras. Nedan kontrolleras därför båda. Spricksäkerhetsfaktor $\xi=1,2$ även enligt RIDAS.

Vald armering är K 500B-T

2.2 Lastfall

För jämförelse har totalt 5 lastfall studerats. 3 lastfall har studerats för ULS, varav 2 är vanliga lastfall och ett är exceptionellt lastfall. I ULS studeras följande lastfall:

- LF1 då vattenytan vid DG, betraktat utskov stängt med lucka. På pelarens insida verkar vattenlast uppströms lucka. En islast på 200 kN/m verkar på lucka och pelare. På pelarens utsida verkar jordlast från intilliggande fyllningsdamm. Laster på pelarens insida bedöms som ogynnsamma.
- LF2 då vattenytan är vid DG, betraktat utskov avstängt med sättar. På pelarens utsida verkar jordlast från intilliggande fyllningsdamm. Överlast på 20 kN/m² på fyllningsdammens krön leder till last på pelarens utsida. Laster på pelarens utsida bedöms som ogynnsamma.
- LF5 då vattenytan når ÖK TK på pelarens utsida. Vattenytan vid DG+0,5 m på pelarens insida. Last från lucka på lucklager motsvarande vattenlast till luckans överkant. Jordlast från intilliggande fyllningsdamm samt en överlast 20 kN/m² på jorddammens krön verkar på pelarens utsida. Laster på pelarens utsida bedöms som ogynnsamma.

Lastfall LF1 och LF2 bedöms som normala lastfall och lastfall LF5 bedöms som exceptionellt lastfall.

Följande 2 lastfall har studerats för SLS

- LF1 då vattenytan vid DG, betraktat utskov stängt med lucka. På pelarens insida verkar vattenlast uppströms lucka. Ingen islast verkar på pelare eller lucka. På pelarens utsida verkar jordlast från intilliggande fyllningsdamm.
- LF2b då magasinets vattenytan avsänkts, men ett porttryck kvarstår i den intilliggande fyllningsdammen. Detta lastfall beräknas med laster hämtade från LF2 ovan, dock utan trafiklast. Detta torde ge en överskattning av vattentrycket på pelarens utsida, men är på säkra sidan.

2.3 Partialkoefficienter på laster

Dimensionering enligt EK sker med partialkoefficientmetoden. Samma metod används vid dimensionering enligt BBK. Dimensionerande laster erhålls genom att karakteristiska laster förstoras/förminskas med partialkoefficienter för last.

Vid beräkning enligt EK dimensioneras konstruktionen efter det minst gynnsamma av nedanstående uttryck. (Formlerna nedan är förenklade)

$$E_d = \gamma_d * (\sum \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_{Q,1} * \psi_0 * Q_1), \text{ (SS-EN 1990 ekv. 6.10a, endast en variabel last)}$$

$$E_d = \gamma_d * (\sum \xi \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_{Q,1} * Q_1), \text{ (SS-EN 1990 ekv. 6.10b, endast en variabel last)}$$

I ULS väljs partialkoefficienter på laster enligt Tabell 1 nedan

Tabell 1 Partialkoefficienter ULS

Ekvation	Permanenta laster $\gamma_{G,j}$		Variabel last $\gamma_{Q,1}$
	Ogynnsamma	Gynnsamma	
6.10 a)	1,35	1	$1,5 \cdot \psi_0$
6.10 b)	1,2 (0,89 * 1,35)	1	1,5

För den variabla lasten (överlast på dammkrön) sätts ψ_0 enligt SS-EN 1990 Tabell A1.1, kategori G, till 0,7.

Beräkningar i SLS i denna jämförelse syftar till att ta fram lasteffekter för beräkning av sprickvidd, varför endast långtidslast beräknas. Med ovanstående antaganden innebär detta att samtliga långtidslaster är permanenta laster, och samtliga partialkoefficienter på laster är därmed 1.

Vid beräkning enligt RIDAS sätts inga partialkoefficienter på laster. Istället multipliceras snittkrafterna med en Hydraulisk faktor γ_h . I Tabell 2 nedan redovisar hydraulisk faktor för brottgränstillstånd. Faktorn γ_h sätts till 1,0 i bruksgränstillstånd.

Tabell 2 Hydraulisk faktor, γ_h

	γ_h Vanligt lastfall	γ_h Exceptionellt lastfall
Moment	1,5	1,25
Tvärkraft	1,5	1,25
Normalkraft, drag	1,5	1,25
Normalkraft, tryck	1,8	1,5

Ovanstående hydrauliska faktor tillkom vid införandet av beräkningsnormen BBK. I den äldre normen B7 beaktades brottsäkerhet genom att ange tillåtna påkänningar för vanliga och exceptionella lastfall. I samband med införande av RIDAS genomfördes kontrollberäkningar enligt B7 och BBK för jämförelse, och därigenom kunde relation mellan bärförmåga enligt B7 och BBK anges. Resultatet blev införandet av hydraulisk faktor, vars syfte är att tillse att dimensionering enligt BBK sker med samma säkerhet som enligt B7. Att den hydrauliska faktorn valdes att multipliceras direkt med snittkrafter istället för laster leder till en enhetlig hantering av laster och lastfall mellan stabilitetsberäkning och tvärsnittsdimensionering.

3 Karakteristiska och dimensionerande materialvärden (ULS)

Nedan redovisas dimensionerande materialhållfastheter enligt BBK för säkerhetsklass 3, vilket är den klass de flesta delar av dammkonstruktionerna hamnar i

3.1 Armering

Karakteristiska hållfasthetsvärden för armeringsstål K 500B-T är lika enligt båda normer medan dimensionerande värden skiljer sig, då säkerhetsfaktorn γ_n enligt BBK läggs på materialvärdet. En jämförelse av karakteristiska och dimensionerande materialvärden ses i Tabell 3 nedan.

Tabell 3 Hållfasthetsvärden armeringsstål

	RIDAS	EK	EK / RIDAS
Karakteristisk draghållfasthet, f_{yk}	500 MPa	500 MPa	1,0
Dimensionerande draghållfasthet, f_{yd} / f_{st}	362 MPa	435 MPa	1,20

3.2 Betong

Enligt EK får betongen tillgodoräknas en något högre karakteristisk tryck- och draghållfasthet jämfört med BBK. Detta för samtliga hållfasthetsklasser. Betongens karakteristiska E-modul är dock lika i BBK och EK.

Dimensionerande värden skiljer sig, då säkerhetsfaktorn γ_n läggs på materialvärdet enligt BBK. Dessutom kan man enligt EK tillgodoräkna sig en något högre tryckhållfasthet hos betongen, i samtliga hållfasthetsklasser.

Tabell 4 Hållfasthetsvärden betong C30 / 37

	RIDAS	EK	EK / RIDAS
Karakteristisk tryckhållfasthet f_{cck} / f_{ck}	29,0 MPa	30,0 MPa	1,03
Dimensionerande tryckhållfasthet f_{cc} / f_{ccd}	16,1 MPa	20,0 MPa	1,24

3.3 Skjuvpåkänning

Betongens tvärkraftskapacitet bestäms i BBK som en funktion av betongens draghållfasthet. I EK beräknas betongens tvärkraftskapacitet utan armering som en funktion av betongens tryckkapacitet. Skillnader i beräknad tvärkraftskapacitet redovisas under avsnitt 4.2 nedan.

4 Bärförmåga

Två snitt i konstruktionen kontrolleras med avseende på moment och tvärkraft. Snitt 1 uppströms lucka, 4,5 meter från uppströmskant på utskovet, och Snitt 2 nedströms lucka, 10,0 meter från uppströmskant på utskovet.

Vid beräkning av armeringsbehov antas dragarmering $\varnothing 25$ mm och omslutande skjuvbyglar $\varnothing 16$. Täckande betongskikt antas i beräkningar vara 70 mm, utom vid beräkning av armering med hänsyn till sprickviddsbegränsning enligt RIDAS. Detta då RIDAS anger att täckande betongskikt i beräkningarna inte behöver sättas större än 50 mm.

4.1 Böjmomentkapacitet

I Tabell 5 nedan redovisas beräknade moment i brottgräns. Vid beräkning enligt EK är skillnaden i belastande moment i lastfall LF2 och LF5 endast några procent. Den större skillnaden mellan lastfall LF2 och LF5 enligt RIDAS förklaras av att den hydrauliska faktorn för LF2 är 1,5 medan för LF5 är 1,25.

Tabell 5 Belastande moment ULS [kNm / m]

	Snitt 1		Snitt 2	
	RIDAS	EK2	RIDAS	EK2
LF1	1737	727	2253	1217
LF2	4349	3853	3812	3386
LF5	3526	3900	3049	3351

LF1 beräknas för kontroll av laster på pelarens insida. Beräkningen visar dock att i inspänningssnittet är pelarens insida tryckt, och dragspänningar uppstår på utsidan.

I lastfall LF1 blir skillnaden i belastande moment stor mellan RIDAS och EK. En anledning är antagandena av gynnsamma respektive ogynnsamma permanenta laster enligt EK.

Armeringsbehov i pelarens utsida med hänsyn till brottmoment beräknas för dimensionerande last, markerad i grönt i Tabell 5 ovan. I Tabell 6 nedan redovisas erforderligt armeringsbehov med hänsyn till brottmoment.

Tabell 6 Armeringsbehov i tvärsnittet, ULS, [mm² / m]

	A_{s,erf}, RIDAS [mm² / m]	A_{s,erf}, EK [mm² / m]	A_{s,erf}, EK / A_{s,erf}, RIDAS
Snitt 1	5391	4006	0,74
Snitt 2	4709	3463	0,74

Beräkning visar att EK endast kräver 74 % av armeringsinnehåll i ULS jämfört med RIDAS. Ytterligare krav kan dock komma att bli dimensionerande för det totala armeringsbehovet i tvärsnittet, exempelvis krav på begränsning av sprickor.

4.2 Tvärkraftskapacitet

I Tabell 7 nedan redovisas tvärkraft på pelaren för lastfallen i ULS.

Tabell 7 Belastande tvärkraft ULS [kN/m]

	Snitt 1		Snitt 2	
	RIDAS	EK2	RIDAS	EK2
LF1	461	211	620	370
LF2	995	884	846	753
LF5	882	837	809	738

Dimensionerande tvärkraft markerad i grönt i Tabell 7 ovan. I Tabell 8 nedan jämförs dimensionerande tvärkraft.

Tabell 8 Dimensionerande tvärkraft [kN/m]

	V_{Ed} [kN] RIDAS	V_{Ed} [kN] EK	V_{Ed} EK / V_{Ed} RIDAS
Snitt 1	995	884	0,89
Snitt 2	846	753	0,89

Tabell 8 ovan visar att beräkning enligt EK ger ca 10 % lägre tvärkraft.

I Tabell 9 nedan redovisas betongens tvärkraftskapacitet. Betongens tvärkraftskapacitet enligt RIDAS ovan är beräknad utan statisk verksam tvärkraftsarmering. Beräknas erforderlig tvärkraftsarmering enligt BBK med additionsprincipen och statisk verksam tvärkraftsarmering läggs i tvärsnittet får betongens tvärkraftskapacitet ökas med ytterligare ca 10%.

Tabell 9 Betongens tvärkraftskapacitet [kN/m]

	V_{Rd,c} [kN] RIDAS	V_{Rd,c} [kN] EK	V_{Rd,c} EK / V_{Rd,c} RIDAS
Snitt 1	687	632	0,92
Snitt 2	677	618	0,91

Tabell 9 ovan visar att betongens tvärkraftskapacitet enligt RIDAS är ca 10% högre jämfört med EK.

I Tabell 10 nedan redovisas erforderlig tvärkraftsarmering. Erforderlig tvärkraftsarmering enligt RIDAS är beräknad enligt additionsprincipen, enligt

BBK. I BBK finns även möjlighet att beräkna erforderlig skjuvarmering med fackverksmodell. Fackverksmodell används även för beräkning av skjuvarmering enligt EK. Någon jämförelse av beräkning med fackverksmodell enligt de två normerna har inte utförts.

Tabell 10 Erforderlig bygelarea [mm^2 / m]

	$V_{Rd,s}$ RIDAS	$V_{Rd,s}$ EK	$V_{Rd,s}$ EK / $V_{Rd,s}$ RIDAS
Snitt 1	647	876	1,35
Snitt 2	647	876	1,35

Beräkningarna visar att EK kräver 35% mer tvärkraftsarmering. Beräknad tvärkraft och beräknad skjuvhållfasthet för betongen är båda ca 10% lägre vid beräkning enligt EK.

Enligt BBK krävs en minsta mängd tvärkraftsarmering för att denna ska få räknas som statiskt verksam vid dimensionering.

4.3 Tryckkraftskapacitet (prägling och spjälkning)

Kontrollberäkning av bärförmåga vid lokalt tryck, prägling, samt kontroll av spjälkning har utförts för lucklagret.

Beräkningsmetodiken för prägling enligt BBK och EK är lika. Skillnaden mellan de två normerna är att EK beräknar belastande kraft och maximal tillåten kraft, medan BBK beräknar spänningar. Belastningarna är last i brottgränstillstånd. Hydraulisk faktor på 1,8 för tryckande kraft har lagts på lasten vid beräkning enligt RIDAS. I Tabell 11 nedan redovisas belastning, bärförmåga och belastningens andel av bärförmågan. I tabellen redovisas dessutom last beräknad utan hydraulisk faktor, i tabellen benämnd BBK.

Tabell 11 Prägling

	Belastning	Bärförmåga	Belastning / Bärförmåga
RIDAS	23,5 MPa	30,3 MPa	0,78
BBK	13,0 MPa	30,3 MPa	0,43
EK	1936 kN	4142 kN	0,47

Vid beräkning enligt RIDAS utnyttjas en högre andel av tillåten bärförmåga. Grundvärden på last är desamma för normerna, varför skillnaden i utnyttjandegrad av bärförmågan förklaras av olika värden på partialkoefficienter. Då endast permanenta laster verkar på luckan vid beräkning enligt EK kan dessa faktorer direkt jämföras. Vid beräkning enligt EK har $\gamma_g=1,35$ lagts på lasten, medan motsvarande $\gamma_h=1,8$ enligt RIDAS. På bärförmågesidan tillåter EK 20 % större last enligt kap 3.2 ovan.

EK ger inget generellt kriterium för huruvida det behövs spjälkarmering eller ej. Dimensionering med fackverksmodeller rekommenderas vid exempelvis koncentrerade laster eller vid upplag. I denna jämförelse väljs att

dimensionera med den fackverksmodell som återfinns i BBK. I Tabell 12 nedan redovisas resultat av beräkning.

Tabell 12 Spjälkning

Beräkning enligt norm	Lasteffekt	Spjälkkraft som ska tas av dragarmering	Erforderlig armering
RIDAS	2581 kN	362 kN	1187 mm ²
BBK	1434 kN	239 kN	660 mm ²
EK	1936 kN	323 kN	742 mm ²

5 Sprickbredder (brukgränstillstånd)

RIDAS anger att för konstruktionsdelar utsatta för ensidigt vattentryck bör inte sprickbredden w_k överstiga 0,2 mm. Dock kan, om kravet innebär orimligt hög armeringsmängd, i vissa fall tillåtas att w_k maximalt 0,3 mm. För ytor mot luft bör w_k inte överstiga 0,3 mm. Sprickbredder beräknas enligt BBK. Vid beräkning av sprickbredd sätts täckande betongskikt till maximalt 50 mm.

EK anger maximal acceptabel sprickbredd m.h.t exponerings- och livslängdsklass. I detta fall blir kravet $w_k=0,3$ mm.

5.1 Erforderlig armeringsarea m.h.t sprickor

I Tabell 13 nedan redovisas belastande moment i bruksgränstillstånd, för långtidslast. Belastande moment i bruksgränstillstånd blir lika, oavsett beräkningsnorm då samtliga partialkoefficienter på laster och lasteffekt är 1,0 i detta fall. Lastfall LF2 blir dimensionerande.

Tabell 13 Belastande moment SLS [kNm / m]

	Snitt 1		Snitt 2	
	RIDAS	EK	RIDAS	EK
LF1 kvasi	2288	2288	2127	2127
LF2 kvasi	2628	2628	2355	2355

I Tabell 14 nedan redovisas erforderlig armeringsarea med hänsyn till krav på begränsning av sprickvidd.

Tabell 14 Erforderlig armeringsarea i tvärsnittet, [mm² / m]

	A_{s,erf}, RIDAS [mm² / m] w_k=0,2 mm	A_{s,erf}, RIDAS [mm² / m] w_k=0,3 mm	A_{s,erf}, EK [mm² / m] w_k=0,3	A_s EK (w_k=0,3) / A_s, RIDAS (w_k=0,2 mm)	A_s EK (w_k=0,3) / A_s, RIDAS (w_k=0,3 mm)
Snitt 1	6510	5112	5388	0,83	1,05
Snitt 2	6028	4739	4906	0,81	1,04

Om armeringsmängd beräknad enligt RIDAS, med sprickviddskrav 0,2 mm, bedöms som "orimligt stor", och beräkning utförs med krav på maximal sprickvidd 0,3 mm fås ett erforderligt armeringsinnehåll ungefär lika stort som enligt EK. Det kan noteras att med lika stora belastande moment, och samma krav på säkerhet mot sprickor ger de båda normerna ungefär samma

armeringsmängd. Förklaringen till detta är att täckande betongskikt begränsats till 50 mm vid beräkning enligt RIDAS, jämfört med 70 mm i EK.

5.2 Tillåtna spänningar i bruksgränstillstånd

Med en dimensionerande armeringsmängd beräknas spänning i armering i bruksgränstillstånd, vid långtidslast. I Tabell 15 nedan redovisas beräknad armeringsspänning.

Tabell 15 Armeringsspänning vid dimensionerande långtidslast

	σ_s , RIDAS [MPa]	σ_s , EK [MPa]	σ_s , EK / σ_s , RIDAS
Snitt 1	186	187	1,0
Snitt 2	189	184	0,97

Beräkningarna visar att armeringsspänningen vid långtidslast är lika vid beräkning enligt de två olika beräkningsnormerna.

5.3 Minimiarmering

Erforderlig minimiarmering enligt BBK 04 bestäms av effektiv betongarea, vilket är en funktion av täckande betongskikt och armeringsdimension. Vid beräkning enligt EK bestäms erforderlig minimiarmering som en funktion av betongytan inom tvärsnittets dragna zon. För konstruktionsdelar med stora tvärsnittsdimensioner leder detta till att EK ger en större mängd erforderlig minimiarmering. I Tabell 16 nedan redovisas erforderlig minimiarmeringsarea för beräknat tvärsnitt.

Tabell 16 Erforderlig minimiarmeringsarea i tvärsnittet, [mm² / m]

	$A_{s,min}$, RIDAS [mm ² / m]	$A_{s,min}$, EK [mm ² / m]	$A_{s,erf}$, EK / $A_{s,erf}$, RIDAS
Snitt 1&2	1059	1282	1,21

Vid beräkning av minimiarmering enligt EK har det antagits att tvärsnittet är utsatt för ren böjning, och att tvärsnittets dragna zon är halva tvärsnittsarean.

6 Detaljutformning av armering

6.1 Förankringslängder

Beräkning av erforderlig förankringslängd av armering har utförts för två betongkvaliteter, C25/30 och C30/37. Beräkningar har utförts med två olika täckande betongskikt, 50 mm och 70 mm, för armeringsstänger av dimension $\varnothing 8$ mm till $\varnothing 32$ mm. I beräkningarna har antagits ett inbördes stångavstånd på 200 mm. Beräkningarna visar att för armeringsdimensioner upp till och med 16 mm ger de två olika normerna ingen skillnad i erforderlig förankringslängd. Med ett täckande betongskikt på 70 mm ger de båda normerna ingen skillnad heller med grövre armeringsdimensioner. Med ett täckande betongskikt på 50 mm är resultatet inte entydigt, då skillnaden i erforderlig förankringslängd varierar +/- 10 % beroende på armeringsdimension.

6.2 Skarvlängder

Erforderliga skarvlängder enligt EK har inte beräknats och jämförts i denna rapport. Däremot har noterats skilda krav gällande skarvning i samma snitt för de olika normerna.

BBK tillåter hälften av armeringsarean i ett tvärsnitt att skarvas i samma snitt. I samma lager skarvas högst varannan stång.

Enligt EK beräknas dimensionerande skarvlängd som en grundförankringslängd multiplicerad med faktorer för bland annat form, täckande betongskikt och andel skarvade stänger i samma snitt. Faktorn för andel skarvade stänger varierar från 1,0 för max 25 % skarvar i samma snitt till 1,5 för mer än 50 % i samma snitt. Detta skulle innebära krav på 50 % större skarvlängd vid skarvning av hälften av järnen i samma snitt. Då dimensionerande skarvlängder ännu inte är beräknade och jämförda med krav enligt BBK dras inga definitiva slutsatser om skillnader i dimensionerande skarvlängder.

7 Sammanfattning av jämförelsen

7.1 Materialvärden och partialkoefficienter

Karakteristiska materialvärden för armeringsstålet är enligt de båda normerna samma. För betong tillåter EK generellt en något högre tryck- och draghållfasthet. Då partialkoefficienten med hänsyn till säkerhetsklass, γ_h , läggs på materialvärdet enligt BBK kommer dimensionerande materialhållfastheter blir ca 20 % högre enligt EK, vid vald säkerhetsklass. De högre dimensionerande materialvärdena enligt EK kompenseras dock på lastsidan.

I EK sätts partialkoefficienter på laster. I normen skiljs på Gynnsamma och Ogynnsamma permanenta laster, Variabel huvudlast och Samverkande variabla laster. I genomförda beräkningar varierar partialkoefficienternas värde mellan 1,35 och 1,0 i brottgräns. RIDAS väljer att sätta en partialkoefficient på den totala lasteffekten, vilken i genomförda beräkningar varierar mellan 1,8 och 1,25. Trots en högre partialkoefficient ger dock inte RIDAS ett högre brottmoment för varje enskilt lastfall.

7.2 Armeringsbehov

I Tabell 17 nedan sammanställs erforderlig armeringsarea med hänsyn till brottmoment (ULS), begränsning av sprickor (SLS) samt minimiarmering. I nedanstående jämförelse har erforderlig armering i bruksgräns enligt RIDAS valt med hänsyn till sprickviddskrav på 0,3 mm.

Tabell 17 Erforderlig armeringsarea [mm^2/m]

	Snitt 1		Snitt 2	
	RIDAS	EK2	RIDAS	EK2
As, erf, ULS	5391	4006	4709	3463
As, erf, SLS	5112	5388	4739	4906
As, min	1059	1282	1059	1282

Tabellen visar att för beräkning enligt EK kommer begränsning av sprickor att bli dimensionerande för det maximala armeringsbehovet. Vid beräkning enligt RIDAS kommer brottmoment att dimensionera maximala armeringsbehovet. Detta var också en av avsikterna vid införandet av den hydrauliska faktorn, γ_h . I praktiken utförs dock idag beräkningar även i bruksgränstillstånd då RIDAS används.

I Tabell 18 nedan jämförs dimensionerande armeringsarea i tvärsnittet.

Tabell 18 Dimensionerande armeringsarea i tvärsnittet, [mm² / m]

	A_{s,min}, RIDAS [mm² / m]	A_{s,min}, EK [mm² / m]	A_{s,erf}, EK / A_{s,erf}, RIDAS
Snitt 1	5391	5388	1,00
Snitt 1	4739	4906	1,04

Skillnaden i erforderlig armeringsarea för det beräknade tvärsnittet understiger 5 %.

De antagna förutsättningar och förenklingar som genomförts i dessa jämförande beräkningar leder till att endast permanenta laster uppträder vid långtidslast i bruksgränstillstånd. Partialkoefficienterna på last och lasteffekt blir då 1,0, och lasteffekterna får samma värde enligt båda normer. Vid beräkning av erforderlig armering med hänsyn till sprickor kräver EK ca 5 % mer armering. Beräkning av armeringsspänning i bruksgränstillstånd vid långtidslast visar dock att armeringsspänningen är lika enligt båda normer.

Täckande betongskikt för armering är valt till 70 mm, vilket är större än minimikraven enligt EK. Valet är gjort med hänsyn till beständighet, då delar av konstruktionen kommer att utsättas för strömmande vatten med hög hastighet. Detta leder dock till att beräknad konstruktionsdel ovan kräver en större armeringsmängd med hänsyn till böjning, jämfört med om minimikraven enligt EK följts.

Vid beräkning av tvärkraft ger BBK ca 10 % högre belastande tvärkraft, men också ca 10 % högre tvärkraftskapacitet hos betongen utan tvärkraftsarmering. Ovanstående tyder på att det båda normerna ger ungefär samma säkerhet för tvärsnitt som inte erfordrar tvärkraftsarmering. Belastning på beräknad konstruktionsdel överstiger dock betongens tvärkraftskapacitet. Vid beräkning av erforderlig tvärkraftsarmering kräver EK ca 35 % mer tvärkraftsarmering för jämförd beräkning. Detta kan förklaras av att för ett tvärsnitt där belastningen överstiger betongens kapacitet kräver EK att hela tvärkraften bärs av tvärkraftsarmering. BBK tillåter att armering iläggs för den andel av tvärkraften som överstiger betongens kapacitet. Dock krävs en minsta mängd för att armeringen ska räknas som verksam. För tvärkrafter nära över betongens kapacitet leder detta till stora skillnader i erforderlig armeringsmängd mellan de olika normerna. För tvärkrafter betydligt större än betongens kapacitet kommer skillnader i erforderlig armeringsmängd att vara mindre. I ovanstående jämförelse har reducering av tvärkraft med hänsyn till lastangrepp nära upplag inte utförts. Detta kommer påverka slutgiltigt dimensionerande armeringsbehov med hänsyn till tvärkraft för denna konstruktionsdel.

Vid beräkning enligt EK bestäms erforderlig minimiarmering som en funktion av betongytan inom tvärsnittets dragna zon. För konstruktionsdelar med stora tvärsnittsdimensioner leder detta till att Eurokoden ger en större mängd erforderlig minimiarmering.

Beräkning av prägling, krossning av betongen, samt spjälkning sker med laster i brottgränstillstånd. Då BBK ger ca 20 % lägre materialhållfastheter,

samtidigt som den hydrauliska faktorn enligt RIDAS ger en högre lasteffekt kommer beräkningar enligt RIDAS att ge en högre säkerhet mot krossnings- och spjälkbrott. En kontroll har därför utförts med laster enligt BBK, vilket i praktiken innebär enligt RIDAS men utan hydraulisk faktor. Detta ger en något lägre säkerhet jämfört med EK.

7.3 Slutsatser

Observera att nedanstående slutsatser endast gäller för jämförelse av beräknat tvärsnitt enligt ovan.

För jämfört tvärsnitt ger de nya riktlinjerna, EK, ingen eller marginellt ökad armeringsbehov i tvärsnittet med hänsyn till böjning. Dock har avsteg gjorts från BBK och EK då täckande betongskikt är valt efter rekommendation i RIDAS, vilket är högre än EK och BBK kräver. Det leder till att armeringsbehov med hänsyn till sprickviddskrav i EK blir högre än normen kräver. Dessutom har de hårdare kraven på begränsning av sprickvidd i RIDAS bedömts ge en orimligt hög armeringsmängd, varför ett lägre krav valts för dimensionering. I praktiken leder detta till att dimensionerande armeringsbehov enligt EK blir lika RIDAS. Det är rimligt att anta att de speciella förutsättningar som råder kring vattenkraftkonstruktioner gör att rekommendation om erforderligt täckskikt kan kvarstå i RIDAS även för beräkning enligt EK.

Beräkning av tvärkraft och tvärkraftskapacitet för tvärsnitt utan statisk verksam armering visar att säkerheten mot brott vid dessa förutsättningar är lika för RIDAS och EK. Beräkningar av erforderligt armeringsbehov med hänsyn till tvärkraft tyder på en större erforderlig mängd tvärkraftsarmering enligt EK. Dessa beräkningar bör dock kompletteras med reduktion av tvärkraft med hänsyn till last nära upplag innan dimensionerande armeringsbehov kan fastställas. Beräkning med fackverksmodell enligt BBK jämförd med EK kan ytterligare tydliggöra eventuella skillnader i erforderlig tvärkraftsarmering.

Kontroll av krossning och spjälkning av betong bakom lucklager på pelaren visar att RIDAS ger en högre säkerhet mot brott jämfört med EK. Det kan dock övervägas om säkerheten enligt EK är tillräcklig. Lasterna på lucklagret bör vara väl kända och definierade, och materialvärdena för betong och armering är också väl definierade. En jämförelse kan göras med BBK. Då större delen av lasterna är permanenta blir säkerhetsfaktorn på last ca 1,0 enligt BBK, medan RIDAS kräver en förstoring av kraften med hydraulisk faktor på 1,8 för tryckkraft.

Beräkning av minimiarmering har visat att för grova konstruktionsdelar utsatta för böjning ger EK en större mängd erforderlig minimiarmering.

8 Förslag till fortsatt arbete

För fortsatta studier av effekter av konstruktion enligt EK jämfört med RIDAS rekommenderas följande fortsatta arbeten:

- Minimiarmering i grova konstruktioner. Skillnader mellan BBK och EK vid andra tvärsnittstjocklekar än i denna jämförelse samt konstruktionsdelar utsatta för annan belastning än ren böjning.
- Erforderliga skarvlängder och begränsning av skarvning i samma snitt
- Erforderlig tvärkraftsarmering
- Erforderlig säkerhet vid krossning och spjälkning

Efter att ovanstående fortsatta arbeten utförts kan resultaten sammanställas. En sådan sammanställning bör ge en uppskattning om eventuell förändrad säkerhet hos konstruktioner vid användande av EK, och även förändrade kostnader på grund av förändrade krav.

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS - ELFORSK - AB

Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 25 30, Telefax: 08-677 25 35
www.elforsk.se