

Cisterner

Bärförmåga enligt SS-EN 1993-4-2 och SS-EN 14015

PM - Sammanfattning av slutrapport

Projektnr: 12016
Uppdragsgivare: Boverket

I detta PM ges en sammanfattning av den kommande slutrapporten för uppdraget *Utredning av cisterner* (Boverket dnr 100-4069/2012), som ProDevelopment AB genomfört på uppdrag av Boverket. Från ProDevelopments sida har arbetet utförts av Ove Lagerqvist och Bernt Johansson. Boverkets kontaktperson under arbetets genomförande har varit Björn Mattsson.

Uppdraget har omfattat att utreda under vilka förutsättningar dimensionering av cisterner enligt SS-EN 14015 ger en lika hög eller högre säkerhet mot brott jämfört med dimensionering enligt EKS och eurokoderna. Syftet med utredningen är att försöka besvara frågan om SS-EN 14015 kan användas parallellt med EKS och eurokoderna och om vissa förbehåll i så fall krävs eller inte för att det ska vara lämpligt.

Jämförelse mellan SS-EN 1993-4-2 och SS-EN 14015

SS-EN 1993-4-2, *Cisterner* (ej översatt till svenska), ingår i de europeiska konstruktionsstandarderna och omfattar krav för stålcisterners bärförmåga och stabilitet. För tillverkning och utförande hänvisas till SS-EN 1090. För andra dimensionerings- och utformningskrav hänvisas till SS-EN 14015 för cisterner som har samma temperatur som omgivningen och till SS-EN 14620 för kryogeniska cisterner. Hänvisningarna till SS-EN 1090, SS-EN 14015 och SS-EN 14620 kan uppfattas som motstridiga. Reglerna ska tolkas som att SS-EN 1090 gäller för krav på tillverkning och utförande av ingående komponenter i stål som är kopplade till cisternernas bärförmåga och stabilitet. För andra krav kopplade till utformning, tillverkning, utförande och uppförande av cisterner i stål kan SS-EN 14015, alternativt SS-EN 14620, tillämpas.

Principer och råd för dimensionering av stödkonstruktioner i stål för cisterner ges i SS-EN 1993-1-1, för takkonstruktioner i aluminium till stålcisterner i SS-EN 1999-1-5, för grundkonstruktioner i armerad betong för stålcisterner i SS-EN 1992 och SS-EN 1997 medan särskilda krav för dimensionering av cisterner utsatta för seismisk belastning (ej aktuellt i Sverige) återfinns i SS-EN 1998-4. För bärförmåga vid brand hänvisas till SS-EN 1993-1-2.

Vid dimensionering enligt eurokoderna gäller generellt SS-EN 1990 och SS-EN 1991 för laster, lasteffekter och lastkombinationer. Numeriska värden för laster och lasteffekter som ska tas särskild hänsyn till vid dimensionering av stålcisterner ges i SS-EN 1991-4 *Laster på bärverk – Silor och behållare* (ej översatt till svenska). Kompletterande information om laster på cisterner ges även i bilaga A till SS-EN 1993-4-2.

SS-EN 14015, *Anvisningar för konstruktion och tillverkning av stationära, vertikala, cylindriska, svetsade stålcisterner, ovan jord med plan botten, för lagring av vätskor vid omgivningstemperatur eller högre temperatur* (ej översatt till svenska), är en fristående standard för konstruktion och tillverkning av platsbyggda cisterner för lagring av vätskor. Standarden ger, enligt 1.1 *Scope*, riktlinjer för materialval, konstruktion, tillverkning, montering, provning och kontroll av platsbyggda cylindriska flatbottnade svetsade stålcisterner ovan mark avsedda för vätskor vid omgivningstemperatur och högre, samt vilka tekniska lösningar som ska avtalas.

SS-EN 14015 täcker alltså in betydligt fler frågeställningar än SS-EN 1993-4-2. Samtidigt är intervallen för inre tryck ovanför vätskeytan liksom för dimensionerande ståltemperatur något snävare än i SS-EN 1993-4-2, och materialet begränsas i praktiken till stål med $f_{yk} \leq 390$ MPa i och med kravet på tillåten spänning ≤ 260 MPa. SS-EN 14015 ger inte heller någon differentiering av säkerheter eller konsekvenser av brott motsvarande indelningen i konsekvensklasser i SS-EN 1993-4-2 eller tillämpningen av säkerhetsklasser enligt EKS.

SIS tekniska kommitté SIS/TK 295, Cisterner och processkärl, som ansvarar för SS-EN 14015, har utarbetat dokumentet *Cisternanvisningar I:2012* (33 s.) som, enligt förordet, ger information om beräkning och konstruktion, materialval, tillverkning och montage enligt SS-EN 14015, men även information om besiktning, provning, underhåll och fortlöpande tillsyn enligt nationella svenska regelverk med referens till föreskrifter från Arbetsmiljöverket (AFS 2005:2, AFS 2005:3), Myn-digheten för samhällsskydd och beredskap (SRVFS 2004:7, MSBFS 2011:8, SÄIFS 2002:2) och Naturvårdsverket (NFS 2003:24). Man uppper även att *Cisternanvisningar I:2012* är avsedd att vara

en hjälp att tillämpa SS-EN 14015 genom att peka ut vilka avvikelser som finns mellan SS-EN 14015 och kraven i de svenska regelverken samt svensk praxis.

I detta sammanhang är det värt att notera att i SS-EN 1993-4-2 såväl som i SS-EN 14015 tillämpas endast värdet 1,0 för den så kallade styrkefaktorn för stumsvetsar. I *Cisternanvisningar I:2012* ges dock ett par ytterligare alternativ med hänvisning till Arbetsmiljöverkets AFS2005:2. Där (AFS 2005:2, 7.2) framgår det att för svetsade förband ska styrkefaktorn vara högst lika med

- 1,0 för anordning som underkastas förstörande och oförstörande kontroller vilka medger verifikation på att samtliga förband inte uppvisar brister av betydelse.
- 0,85 för anordning som underkastas oförstörande provning stickprovsvis.
- 0,7 för anordning som inte underkastas andra oförstörande kontroller än okulär kontroll.

Enligt AFS 2005:2 kräver alltså styrkefaktorn 1,0 att samtliga svetsförband provas, och det är tillåtet att nöja sig med okulär kontroll av svetsarna om man tillämpar styrkefaktorn 0,7. Det första kravet känns orimligt kostsamt och det andra alternativet, endast okulär kontroll, känns riskabelt. För tillverkarna kan det dock vara attraktivt att tillämpa styrkefaktorn 0,7 för att därigenom undvika tillkommande kostnader för oförstörande provning.

För utförarna av detta uppdrag är det oklart vilken status *Cisternanvisningar I:2012*, liksom de svenska regelverk man refererar till, har i relation till giltighetsområdet för SS-EN 1993-4-2 och de europeiska konstruktionsstandarderna inklusive EKS i allmänhet. Boverket bör, tillsammans med övriga involverade myndigheter, utreda och förtydliga vilka gränsdragningar som gäller i denna fråga.

I tabellen på nästa sida har sammanställts en jämförelse av ett antal regler från SS-EN 1993-4-2 och SS-EN 14015 som berör säkerheten för cisterner. I tabellen har även beaktats regler i förslag till EKS9. Det finns många fler skillnader mellan dessa standarder men förhoppningsvis har de av mest betydelse kommit med.

Genomgången visar att SS-EN 14015 är på säkra sidan jämfört med SS-EN 1993-4-2 förutsatt att den förenklade metoden i SS-EN 1993-4-2, kapitel 11, är tillämplig. Vi vill dock poängtera att det föreligger skillnader avseende kontrollomfattning som är svåra att värdera konsekvenserna av.

De förutsättningar som ges i SS-EN 1993-4-2 för att den förenklade metoden ska vara tillämplig kan i de flesta fall uppfyllas genom val av konstruktionsutförning. Ett hinder kan vara regeln att invändigt undertryck får vara högst 0,85 kPa och övertrycket högst 5 kPa. Ett annat hinder kan vara om utmattning är aktuell. Det finns ingen begränsning av användning av den förenklade metoden avseende konsekvensklass.

De allmänna reglerna för analys i SS-EN 1993-4-2, avsnitt 4.2.2, ger strängare krav ju högre konsekvensklassen är. För konsekvensklass 1 och 2 räcker en handberäkning baserad på formler men för 3 fordras en FE-analys. Man hänvisar till SS-EN 1993-1-6 där fyra gränstillstånd definieras. LS1 avser plasticering och man kan välja en spänningsfördelning som är i jämvikt med lasterna. Det betyder att moment av förhindrad deformation kan försummas. För kombination av spänningar används von Mises flytkriterium. För en cistern utsätts manteln för drag i ringled och axiellt tryck från taklasten. Den senare är dock så liten att den är försumbar. LS3 avser buckling och i det fallet är det lastfall som ger tryck i längsled och i ringled som är av intresse. Det finns formler för att räkna på detta men det är snårigt och tidskrävande. Som sammanfattning kan sägas att även de allmänna reglerna kan användas och de kan i vissa fall vara lönsamma, även om de är mera arbetskrävande.

Även om det är på säkra sidan att använda SS-EN 14015 bygger denna standard på grundläggande principer som är en generation äldre än partialkoefficientmetoden, som tillämpas i SS-EN 1993-4-2, och att fortsätta att tillämpa SS-EN 14015 verkar oekonomiskt och onödigt stelt för framtida utveckling. Om SS-EN 14015 formellt ska tillåtas som ett alternativ till SS-EN 1993-4-2 krävs ett förtydligande av hur den föreskrivna vindhastigheten översätts till vindlast. I *Cisternanvisningar I:2012* har man lagt till en hänvisning till reglerna i SS-EN 1991-1-4. Detta kan duga men då bör referenshastigheten ges som ett 10 min medelvärde.

EN 1993-4-2	EN 14015	Kommentarer						
<p>Konsekvensklasser lika med säkerhetsklasser</p> <p>CC3 farligt innehåll >50 m³</p> <p>CC2 farligt innehåll <50 m³</p> <p>CC1 vatten</p> <p>Utförandeklasser följer konsekvensklasserna</p> <p>CC3 = EXC3 osv</p>	<p>Ingen differentiering av kraven.</p>							
<p>Max sträckgräns 700 MPa för allmänna regler, 435 MPa för förenklade regler i kap 11</p>	<p>Max sträckgräns 390 MPa. Sträckgränsen tas som 0,2%-gränsen för kolstål och 1%-gränsen för rostfritt.</p>							
<p>$\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1,0$</p> <p>$\gamma_{Gsup} = 1,35$</p> <p>$\gamma_{Qi} = 1,4$</p> <p>I EN 1991-4 anges dock $\gamma_F = 1,2$ för last från vätskor, vilket inte har ändrats i EKS 9. Detta bör rättas till.</p>	<p>$\sigma_{till} = f_{yk}/1,5$</p>	<p>För enbart hydrostatiskt tryck ger EN 1993-4-2 följande totala säkerhetsfaktorer:</p> <p>Säkerhetsklass 3 1,4</p> <p>Säkerhetsklass 2 1,27</p> <p>Säkerhetsklass 1 1,16</p> <p>Jämförbar faktor i EN 14015 är 1,47.</p>						
<p>Styrkefaktor för svetsar 1,0 för stumsvets, vilket förutsätter provning (radiografi eller ultraljud) enligt EN 1090-2. Vertikala svetsar i manteln belastade med mer än 50 % av bärförmågan ska provas i följande omfattning:</p> <table border="0" data-bbox="183 1288 406 1411"> <tr> <td>EXC 1</td> <td>0 %</td> </tr> <tr> <td>EXC 2</td> <td>10 %</td> </tr> <tr> <td>EXC 3</td> <td>20 %</td> </tr> </table>	EXC 1	0 %	EXC 2	10 %	EXC 3	20 %	<p>Styrkefaktor för svetsar 1,0 för stumsvets, vilket förutsätter provning av vertikala svetsar 1 -10 % för stål lägre än S355 och 5 – 20 % för S355 och högre. Lägst värde för t < 13 mm och högst värde för t > 30 mm. För första sargen ca dubbelt så mycket kontroll. Horisontala svetsar 1-5 %</p>	<p>Enligt AFS regler fordras ingen provning om utnyttjandet är mindre än 70 %, vilket ofta är vad entreprenören föredrar. Standarderna ger dock inte denna valmöjlighet.</p>
EXC 1	0 %							
EXC 2	10 %							
EXC 3	20 %							
<p>Dimensioneringsvärdet för plåttjockleken är nominellt värde minskad med minustoleransen och eventuell korrosion.</p> <p>Minsta plåttjocklek för manteln anges inte.</p>	<p>Dimensioneringsvärdet för plåttjockleken är nominellt värde minskad med halva minustoleransen och eventuell korrosion.</p> <p>Minsta plåttjocklek är 5 mm upp till diameter 15 m och ökar stegvis till 12 mm för 60-90 m diameter.</p> <p>För rostfritt gäller 2 mm upp till 4 m diameter ökande till 6 mm upp till 45 m.</p>	<p>Inga anvisningar ges om avdrag för korrosion.</p> <p>Opraktiskt att reducera tjockleken för toleranser. Det vore enklare att beakta dem vid val av säkerhetsfaktorer.</p>						

Dimensionering för buckling görs enligt EN 1993-1-6 för invändigt undertryck och utvändigt vindlast enligt EN 1991-1-4 samt en förenklad ekvivalent vindlast. För tankar med små öppningar ges invändigt undertryck av formfaktorn 0,4. Vindhastigheter uttryckta som 10 min medelvärden varierar från 21 till 26 m/s.	Inga beräkningsregler för buckling. Istället ges regler för dimensioner på avstyvningsringar. Vindlast minst 45 m/s byvindhastighet, vilket motsvarar ca 34 m/s 10 min medelvärde. Inget sägs om hur vindhastigheten översätts till last, t ex om terrängtyper.	
Lastkombinationer tas enligt EN 1990 med några tillägg enligt EN 1991-4, bilaga B. Tilläggen avser vätsketryck och inre tryck.	Laster specificeras och ska kombineras till mest ogynnsamma kombination. Inga lastkombinationsfaktorer.	Lasterna är desamma. Normalt får temperatur försummas liksom kombination av nyttig last och snölast.
För tak ges regler för självbärande plåttak och tak med bärande stomme. För stommen hänvisas till EN 1993-1-1. Även en del detaljregler ges.	Samma som SS-EN 1993-4-2	Omfattningen är rätt lika men det skiljer i en del detaljer.
För botten ges minimitjocklek för kolstål 5 mm vid stumsvets och 6 mm för överlappsskarvar. För rostfritt gäller 3 respektive 5 mm.	Samma som SS-EN 1993-4-2	
För grundläggning hänvisas till Eurokoder.	I den informativa bilagan I ges en del rekommendationer för grundläggning inklusive förslag på detaljer. Inga hänvisningar till normativa dokument.	

Sammanfattande rekommendationer

Den jämförande studie som genomförts inom ramen för detta uppdrag leder till följande rekommendationer beträffande tillämpning av SS-EN 1993-4-2 respektive SS-EN 14015 i Sverige:

- 1) Boverket bör, i samråd med övriga involverade myndigheter, utreda om det finns andra föreskrifter att ta hänsyn till inom ramen för giltighetsområdet för SS-EN 1993-4-2 och, i förekommande fall, fastställa vilken föreskrift som har företräde.
- 2) EKS bör inte ge tillämpning av SS-EN 14015 som alternativ till SS-EN 1993-4-2 inom giltighetsområdet för SS-EN 1993-4-2. Av detta följer att SS-EN 1090 gäller för krav på tillverkning och utförande av ingående komponenter i stål som har betydelse för cisternernas bärförmåga och stabilitet. För andra krav kopplade till utformning, tillverkning, utförande och uppförande av cisterner i stål som inte täcks av SS-EN 1090 kan SS-EN 14015, alternativt SS-EN 14620, tillämpas.
- 3) I SS-EN 1991-4, B.3, rekommenderas $\gamma_F = 1,20$ för last från vätskor. Detta bör korrigeras till 1,40 i EKS för att undvika problem med säkerhetsklass 1.
- 4) SS-EN 1993-4-2 och SS-EN 1991-4 bör översättas till svenska för att öka tillgängligheten och underlätta tillämpningen av standarderna.