

BERÄKNAD UTTORKNINGSPROGNOS FÖR BETONGKONSTRUKTIONER MED TILLGÄNGLIGA PROGNOSVERKTYG

*En jämförande studie av likheter och skillnader för beräknat
uttorkningsförlopp för några simulerade beräkningsfall*

Anders Lindvall

Juni 2012

SBUF stödjer
forskning & utveckling

som leder till
praktisk handling

FÖRORD

I detta projekt har en utvärdering gjorts av olika verktyg för bedömning av uttorkningstider hos betongkonstruktioner. Projektet är en fortsättning på SBUF-projekt 12389, där en jämförelse av olika verktyg för bedömning av uttorkningstider hos betongkonstruktioner presenterades. De verktyg som har studerats är datorprogrammen **TorkaS v. 2**, **TorkaS v. 3**, och **BI Dry (v. 1.3.7)** samt **SBUF:s Lathund**. Bedömningar av erforderliga uttorkningstider har gjorts med de olika verktygen för ett antal fiktiva beräkningsfall (samma i projekt SBUF-12389, fast med andra RF_{krit}) samt för ett antal laboratoriefall (uttorkning i kontrollerade klimat), där det också finns uppmätta data på uttorkning som prognoserna kan jämföras med.

Arbetet har utförts av Anders Lindvall, Thomas Concrete Group Centrala laboratorium i Göteborg.

Projektets referensgrupp har varit sammansatt av:

- Jesper Arfvidsson, Lunds tekniska högskola.
- Jonas Carlswärd, Betongindustri.
- Oskar Esping, Thomas Concrete Group C.lab.
- Fredrik Gränne, NCC.
- Hans Hedlund, Skanska.
- Tang Luping, Chalmers tekniska högskola.
- Kristina Mjörnell, SP.

Projektet har finansierats SBUF, AB Färdig Betong, NCC samt Skanska.

Ett tack framförs till projektets finansiärer samt referensgruppens medlemmar.

Göteborg, Juni 2012.

Anders Lindvall, projektledare. Thomas Concrete Group.

INNEHÅLL

INLEDNING	1
BAKGRUND	1
SYFTE OCH AVGRÄNSNINGAR	1
METOD.....	2
VERKTYG FÖR BEDÖMNING AV UTTORKNINGSTIDER HOS BETONGKONSTRUKTIONER	3
INLEDNING	3
UNDERSÖKTA VERKTYG FÖR BEDÖMNING AV UTTORKNING	3
BERÄKNINGSFALL	7
JÄMFÖRELSE MED LABORATORIEMÄTNINGAR.....	7
PROGNOSTISERINGAR AV ERFORDERLIGA UTTORKNINGSTIDER – FIKTIVA BERÄKNINGSFALL	7
RESULTAT OCH KOMMENTARER	11
JÄMFÖRELSE MED MÄTNINGAR I LABORATORIEKLIMAT	11
PROGNOSTISERINGAR AV ERFORDERLIGA UTTORKNINGSTIDER – FIKTIVA BERÄKNINGSFALL	15
AVSLUTNING	29
AVSLUTANDE KOMMENTARER	29
FÖRSLAG PÅ FORTSATTA UNDERSÖKNINGAR	30
REFERENSER	33

BILAGOR

BILAGA A: JÄMFÖRELSE MED MÄTNINGAR GJORDA I LABORATORIEKLIMAT – LABORATORIEKONSTRUKTIONER.

BILAGA B: ERFORDERLIGA UTTORKNINGSTIDER – FIKTIVA KONSTRUKTIONER.

INLEDNING

Bakgrund

Skador orsakade av höga fukttillstånd i betongkonstruktioner är ett relativt vanligt problem inom byggsektorn. En del av dessa skador orsakas av att betongen inte har tillåtit torka ut i tillräcklig omfattning innan täta ytskikt appliceras på betongens yta. Det finns därför ett behov av att kunna förutsäga hur lång uttorkningstiden blir för en betongkonstruktion innan tätskikt kan appliceras, för att undvika att skador uppstår.

I BBR (Boverkets Byggregler) kapitel 6:52 samt 6:53 finns det numera också krav ställda på nivåer på kritiska fukttillstånd samt att byggnader ska utformas så att varken konstruktionen eller utrymmen i byggnaden kan skadas av för höga fukttillstånd, Boverket (2008). Det anges att fukttillståndet i en byggnadsdel alltid ska vara lägre än det högsta tillåtna fukttillståndet om det inte är orimligt med hänsyn till byggnadsdelens avsedda användning. Fukttillståndet ska beräknas utifrån de mest ogynnsamma förutsättningarna, där bland annat hänsyn ska tas till fuktbelastningar både under byggtiden och under bruksskedet.

Det finns alltså både krav och behov av att bedöma hur fukttillståndet varierar hos en betongkonstruktion både under byggtiden och under dess användning. Denna bedömning görs lämpligast genom en fuktsäkerhetsprojektering där hänsyn tas till samtliga fuktbelastningar (och temperaturbelastningar) under konstruktionens användning och hur dessa påverkar samtliga ingående material och kombinationer av material. Det finns flera verktyg tillgängliga för prognostisering av hur fukt- och temperaturbelastningar påverkar fukt- och temperaturtillståndet i olika typer av byggnadskonstruktioner.

I SBUF-projekt 12389 presenterades en undersökning av olika verktyg för bedömning av uttorkningstid för betongkonstruktioner. De verktyg som presenterades var datorprogrammen **TorkaS v.2 & v. 3**, och **BI Dry (v. 1.3.7)**, **SBUF:s lathund** samt ett **erfarenhetsbaserat koncept utvecklat av Dry-IT** som är baserat på erfarenheter från fuktmätningar som Dry-IT har gjort. I SBUF-projekt 12389 har de olika verktygen använts för att bedöma erforderliga betongkvaliteter för fem fiktiva fall och erforderliga uttorkningstider för 36 fiktiva fall. Resultaten från bedömningarna visar på stora skillnader i prognostiserade erforderliga betongkvaliteter och uttorkningstider. Dock har ingen jämförelse gjorts med uppmätta data utan samtliga behandlade fall har varit fiktiva. Eftersom stora skillnader i resultat mellan de olika bedömningsverktygen observerades ställs frågan ”Vad skall man lite på?” i de avslutande kommentarerna i slutrapporten från projektet.

För att göra ytterligare bedömningar av erforderliga uttorkningstider, med andra RF_{krit} än i projekt 12389, och även göra jämförelser mellan prognostiseringar och uppmätta data har SBUF-projekt 12476 ”Jämförelse mellan verktyg för bedömning av uttorkning av betongkonstruktioner - kompletterande beräkningar” genomförts.

Syfte och avgränsningar

Syftet med SBUF-projekt 12476 ”Jämförelse mellan verktyg för bedömning av uttorkning av betongkonstruktioner - kompletterande beräkningar” är att:

- Genomföra ytterligare beräkningar av tidigare framtagna fiktiva fall (i SBUF-projekt 12389) men med andra kritiska RF, t.ex. $RF_{krit}=90\%$.
- Genomföra ytterligare prognostiseringar för fall där det också finns uppmätta data på fuktfördelningar och/eller uttorkningstider i laboratoriemiljö (dvs. med ”konstant” RF och temperatur). Resultaten från prognostiseringar och uppmätta data jämförs sedan.

Projektet har avgränsats till att behandla prognostiseringar av uttorkningstider med SBUF:s lat-hund samt datorprogrammen TorkaS v. 2 och v. 3 samt BI Dry (v. 1.3.7). I projektet har både uttorkningstider prognostiserade med de olika verktygen jämförts samt jämförelser mellan prognostiserade och uppmätta uttorkningstider i laboratorieklimat. Ingen jämförelse görs mellan prognostiserade uttorkningstider och uttorkningstider uppmätta i fält. Det görs heller inga djupare analyser till vad eventuella skillnader i prognostiserade uttorkningstider mellan de olika bedömningsverktygen beror på.

Metod

Projektet har genomförts i fyra steg: (i) inledande litteraturstudie (ii) framtagande av beräkningsfall, (iii) prognostiseringar av uttorkningstider med de olika verktygen samt (iv) utvärdering och analys av resultaten från genomförda prognostiseringar.

VERKTYG FÖR BEDÖMNING AV UTTORKNINGSTIDER HOS BETONGKONSTRUKTIONER

Inledning

Den huvudsakliga frågeställningen när det gäller fuktillstånd i betong är uttorkning av konstruktioner de första månaderna efter gjutning och när ytbeläggningar säkert kan appliceras på betongens yta utan att fuktrelaterade problem uppstår. Under de första månaderna har den kemiska bindningen av fukt en stor inverkan på fuktillståndet i betongen, speciellt för betonger med låga *wct*. Om *wct* väljs tillräckligt lågt går det att få en ”själv-torkande” betong, dvs. fuktillståndet blir tillräckligt lågt endast genom den kemiska bindningen av fukt. För att prognostisera uttorkning av betongkonstruktioner krävs således ett verktyg som både tar hänsyn till uttorkning på grund av skillnader i fukt-koncentrationer och temperaturvariationer samt kemisk bindning av fukten.

För att undvika att fuktrelaterade problem uppstår vid applicering av ytbeläggningar får inte ytbeläggningar appliceras när fuktillståndet i betongen överskrider ett högsta tillåtet fuktillstånd. Vad detta högsta tillåtna fuktillstånd är beror på typen av ytbeläggningen och vilken typ av fuktrelaterade problem som avses. När högsta tillåtna fuktillstånd bedöms skall hänsyn tas till kritiskt fuktillstånd samt också till osäkerheter i den använda beräkningsmodellen, ingångsparametrar (t.ex. materialdata) eller mätmetoder. I Nilsson (2006) finns en aktuell sammanställning över kritiska fuktillstånd för olika material och fuktrelaterade problem.

Undersökta verktyg för bedömning av uttorkning

Verktyg för prognostisering av uttorkningstider hos betongkonstruktioner har varit tillgängliga sedan 1970-talet. De första verktygen var utformade som **lathundar**, se t.ex. Nilsson (1977) och SBUF (1995), med vilka användaren på ett enkelt sätt kan prognostisera uttorkningstider för olika betongkonstruktioner. Under 1980- och 1990-talet utvecklades det datorbaserade verktyget **TorkaS** vid avdelningarna för Byggnadsmaterial och Byggnadsfysik vid Lunds tekniska högskola, se SBUF (1998) och SBUF (2002). Betongtillverkaren Betongindustri har tagit fram ett eget datorbaserat verktyg, **BI Dry**, för prognostisering av uttorkningstider hos Betongindustri betonger, se Betongindustri (2008). Dessutom finns verktyg där erforderlig uttorkningstider prognostiseras baserat på erfarenheter från tidigare undersökta konstruktioner – ett exempel är det system som fukt-konsulten DRY It använder sig av (se vidare i slutrapport från SBUF-projekt 12389).

I följande kapitel görs en kort genomgång av de olika undersökta verktygen.

SBUF:s lathund

SBUF:s lathund är ett enkelt verktyg för att bedöma uttorkningstider, som är framtaget baserat på erfarenheter från laboratorieförsök och fältmätningar. Exempel på tillgängliga lathundar finns beskrivna i t.ex. Nilsson (1977) samt i slutrapporten från SBUF-projekt 03107 ”Betongtorkning – lathund”, se SBUF (1995).

Lathunden är utformad så att uttorkningstiden bedöms genom att utgå från ett ”normalfall” som sedan korrigeras med ett antal ”multiplikatorer” vid avvikelser från normalfallet. Antalet multiplikatorer är fem, där hänsyn tas till (i) *wct* och RF-krav, (ii) tjocklek på konstruktionen, (iii)

enkel- eller dubbelsidig uttorkning, (iv) torkklimatet (temperatur och relativ fuktighet) samt (v) härdningsförhållanden. Lathunden är utvecklad för att bedöma uttorkning av betonger tillverkade av Cementa Slite Standard Portlandcement (CEM I), som är ett gammalt cement som inte finns tillgängligt på den svenska marknaden längre.

TorkaS

TorkaS är utvecklat vid Lund tekniska högskola i samarbete med SBUF, Cementa, NCC, Swerock och Thyrens. Datorverktyget TorkaS är ett generellt verktyg för att bedöma uttorkningstider hos betongkonstruktioner, där hänsyn tas till konstruktionens utformning, betongens sammansättning och torkklimatet. Fram tills nu har tre olika versioner av TorkaS släppts – den senaste versionen (v. 3) släpptes under hösten 2009 (utvecklat i samarbete med SBUF, se SBUF-projekt 11970). Under våren 2011 har en uppdaterad version av TorkaS släppts, TorkaS v. 3.1, där dock endast mindre förändringar av gränssnitt och beräkningsalgoritm gjorts. Prognostiseringarna i detta projekt gjordes dock innan TorkaS v. 3.1 fanns tillgängligt. Tidigare versioner av programmet finns beskrivna i SBUF-projekt 06005, SBUF (1998), TorkaS v. 1, och SBUF-projekt 10075, SBUF (2002), TorkaS v. 2. Äldre versioner finns ej tillgängliga längre. Bakomliggande teorier finns beskrivna i exempelvis Arfvidsson & Hedenblad (2007). Eftersom TorkaS inte är knutet till något företag, t.ex. betongtillverkare eller fuktconsult, har det blivit något av en ”branschstandard” när det gäller bedömningar av uttorkning av betongkonstruktioner.

I TorkaS v. 3 har bl.a. möjligheten att lägga till kiselstoft till betongen tagits bort och ytterligare möjligheter att variera randvillkoren vid torkning lagts till (olika typer av formmaterial samt inverkan av olika vindförhållanden) samt en möjlighet att exportera den prognostiserade fuktfördelningen. Vidare har klimatdata bytts ut till nya som är framtagna för perioden 1995-2005 samt att modellering av uttorkning har uppgraderats med en ny värmemodul och anpassning till nya mätdata, Arfvidsson (2010). TorkaS v. 3 är utvecklat för att bedöma uttorkning av betonger tillverkade med Cementa Byggcement (CEM II/A-LL 42,5 R).

TorkaS v. 3 har laddats ned från SBUF:s hemsida. www.sbuf.se, där TorkaS v. 3.0 använts.

BI Dry

BI Dry, beskrivet i Betongindustri (2008) samt bakomliggande teorier i Jonasson et al (1998), Jonasson et al (2005) samt Jonasson et al (2006). Datorverktyget BI Dry är ett verktyg utvecklat av betongtillverkaren Betongindustri i samarbete med Luleå tekniska högskola för att bedöma uttorkningstider för sex av Betongindustris betonger (benämnda TorkBI 1-5 samt C25/30) för olika konstruktionstyper och torkklimat. Betongerna TorkBI 1-5 ingår i konceptet ”BI Dry för fuktsäkert betongbyggande”.

För att undvika allt för korta prognostiserade uttorkningstider finns det en minimal uttorkningstid på 28 dygn inlagd i BI Dry (v. 1.3.7). Om prognostiseringen i BI Dry resulterar i en uttorkningstid som understiger 28 dygn indikerar programmet detta men anger 28 dygn som kortaste uttorkningstid.

Trots att BI Dry är utvecklat för att bedöma uttorkning hos betongerna TorkBI 1-5 och C25/30 går verktyget också att använda för att bedöma uttorkningstider för olika betongkvaliteter, genom att använda uppgifter om v_{ct} hos TorkBI 1-5 samt C25/30 ($v_{ct}=0,34-0,66$). Sedan BI Dry introducerades första gången har det skett en utveckling av programmet och den i dagsläget

(december 2010) mest aktuella versionen är BI Dry v. 1.3.7. BI Dry v. 1.3.7 är utvecklat för att bedöma uttorkning av betonger tillverkade med Cementa Byggcement (CEM II/A-LL 42,5 R).

BI Dry v. 1.3.7 har laddats ned från BI Dry:s hemsida: www.BIDry.se.

BERÄKNINGSFALL

I SBUF-projekt 12389 har ett antal beräkningsfall tagits fram för att utvärdera de olika verktygen för bedömning av uttorkningstider, där antingen erforderliga betongkvaliteter eller erforderliga uttorkningstider för betonger med olika vct prognostiserats utifrån givna förutsättningar rörande konstruktionens utformning och torkklimat.

Jämförelse med laboratiemätningar

De datorbaserade verktygen som har studerats är utvecklade för att prognostisera uttorkning för betonger blandade med Cementa Byggcement (CEM II/A-LL 42,5 R). Således behövs mätningar av uttorkning gjorda på betonger blandade med detta cement för att kunna jämföra resultaten mellan laboratiemätningar och prognostiseringar. Det visade sig vara svårt att finna bra undersökningar av uttorkning gjorda på moderna betonger blandade med Cementa Byggcement, där uttorkning har mätts upp i betongprovkroppar som har lagrats i laboratiemiljö med kontrollerat uttorkningsklimat (temperatur och RF). I detta projekt har data från Norling-Mjörnell (2003) samt SBUF-projekt 11196, SBUF (2003b), använts för att jämföra prognostiserade uttorkningstider mot uppmätta uttorkningstider.

I Norling-Mjörnell (2003) har uttorkning studerats i 100 mm tjocka betongprovkroppar gjutna i plåtburkar (enkelsidig uttorkning). Två betongkvaliteter har studerats, $vct=0,38$ samt $vct=0,60$, med avseende på självuttorkning (plåtburken har förseglats) samt uttorkning i laboratorklimat (+20°C samt 50 % RF). Fukttillståndet har bestämts i uppborrade hål med Humi-guard fuktgivare. Mätosäkerheten redovisas till ca 1,5 % RF på uppmätta medelvärden.

I SBUF-projekt 11196, SBUF (2003b), har uttorkning studerats i 110 mm tjock betongprovkroppar gjutna i plastbackar (enkelsidig uttorkning). Två betongkvaliteter har studerats, $vct=0,38$ samt $vct=0,70$, där uttorkning sker i laboratorklimat (ca +18°C samt 35 % RF). Fukttillståndet har bestämts med hjälp av ingjutna fuktgivare (Humi-guard fuktgivare). Mätosäkerheten redovisas till ca 2,2 % RF på uppmätta medelvärden.

För samtliga sex fall har prognostiseringar av erforderlig betongkvalitet gjorts med SBUF:s lat-hund, TorkaS v.2 & v. 3 samt BI Dry (v. 1.3.7).

Prognostiseringar av erforderliga uttorkningstider – fiktiva beräkningsfall

Prognostisering av erforderliga uttorkningstider har gjorts för fiktiva ”verkliga konstruktioner”. Med ”verklig konstruktion” avses en konstruktion där torkklimatet varierar under den del av torkperioden där klimatet inte är styrt. Syftet är att undersöka erforderliga uttorkningstider prognostiserade för fall som efterliknar verkliga förhållanden.

Tolv beräkningsfall har tagits fram för bedömning av erforderliga uttorkningstider för ”verkliga konstruktioner” utifrån givna förutsättningar rörande konstruktionernas utformning, torkklimat men för olika betongkvaliteter (vct). Sex olika konstruktioner har studerats, där varje konstruktion har studerats i ett sommarfall och i ett vinterfall. I TorkaS v.3 finns en möjlighet att variera randvillkoren för uttorkning, bl.a. typ av formmaterial, täckning vindförhållanden. För varje beräkningsfall har tre olika underfall undersökts där vindhastigheten vid ytan har varierats

(”Vindstill”, ”Vind” samt ”Stark vind”). Detta betyder att totalt har 36 olika underfall beräknats, betecknade fall 1-36. De konstruktioner som har studerats är:

- **Konstruktion A.** Platta på mark. Platta på mark (300 mm betong) med underliggande cellplastisolering (150 mm tjock) på en makadambädd. Fall 1-3 (sommarfall) och fall 31-33 (vinterfall).
- **Konstruktion B.** Plattbärlag. Plattbärlag (75 mm tjocklek) med pågjutning av betong (200 mm). Fall 4-6 (sommarfall) och fall 34-36 (vinterfall).
- **Konstruktion C.** Platta på mark. Platta på mark (200 mm betong) med underliggande cellplastisolering (100 mm tjock) på en makadambädd. Fall 7-9 (vinterfall) och fall 13-15 (sommarfall).
- **Konstruktion D.** Plattbärlag. Plattbärlag (75 mm tjocklek) med pågjutning av betong (100 mm). Fall 10-12 (vinterfall) och fall 16-18 (sommarfall).
- **Konstruktion E.** Mellanbjälklag med kvarsittande stålform. Platta (120 mm betong) på kvarsittande stålform. Fall 19-21 (vinterfall) och fall 22-24 (sommarfall).
- **Konstruktion F.** Mellanbjälklag utan kvarsittande form¹. Platta (200 mm betong) med dubbelsidig uttorkning. Fall 25-27 (vinterfall) och fall 28-30 (sommarfall).

För samtliga fall har erforderliga uttorkningstider för betonger med $v_{ct}=0,35-0,70$ (i steg om 0,05) prognostiserats och vattenhalten (W) har varit 180 kg/m^3 . Betongtemperaturen vid gjutning har valts till $+15 \text{ }^\circ\text{C}$ för samtliga beräkningsfall. Klimatdata har tagits ifrån Göteborgsområdet.

Platta på mark – fall 1-3	Plattbärlag – fall 4-6
Tjocklek isolering: 150 mm	Tjocklek plattbärlag: 75 mm
Tjocklek betong: 300 mm	Tjocklek betong: 200 mm
Gjutning: v. 21 2009	Gjutning: v. 21 2009
Tätt hus: v. 25 2009	Tätt hus: v. 25 2009
Styrd torkning: v. 27 2009 ($+20^\circ\text{C}$, 60 % RF)	Styrd torkning: v. 27 2009 ($+20^\circ\text{C}$, 60 % RF)

Platta på mark – fall 7-9	Plattbärlag – fall 10-12
Tjocklek isolering: 100 mm	Tjocklek plattbärlag: 75 mm
Tjocklek betong: 200 mm	Tjocklek betong: 100 mm
Gjutning: v. 2 2009	Gjutning: v. 2 2009
Tätt hus: v. 6 2009	Tätt hus: v. 6 2009
Styrd torkning: v. 8 2009 ($+20^\circ\text{C}$, 60 % RF)	Styrd torkning: v. 8 2009 ($+20^\circ\text{C}$, 60 % RF)

Platta på mark – fall 13-15	Plattbärlag – fall 16-18
Tjocklek isolering: 100 mm	Tjocklek plattbärlag: 75 mm
Tjocklek betong: 200 mm	Tjocklek betong: 100 mm
Gjutning: v. 21 2009	Gjutning: v. 21 2009
Tätt hus: v. 25 2009	Tätt hus: v. 25 2009
Styrd torkning: v. 27 2009 ($+20^\circ\text{C}$, 60 % RF)	Styrd torkning: v. 27 2009 ($+20^\circ\text{C}$, 60 % RF)

¹ Detta fall går inte att behandla i BI Dry (v. 1.3.7). Istället har ett mellanbjälklag (100 mm betong) med kvarsittande form behandlats. Uttorkningen av denna konstruktion (enkelsidig uttorkning av 100 mm betong) motsvarar uttorkningen av ett mellanbjälklag utan kvarsittande med dubbla tjockleken (dubbelsidig uttorkning av 200 mm betong).

Kvarsittande stålform – fall 19-21	Kvarsittande stålform – fall 22-24
Tjocklek betong: 120 mm	Tjocklek betong: 120 mm
Gjutning: v. 2 2009	Gjutning: v. 21 2009
Tätt hus: v. 6 2009	Tätt hus: v. 25 2009
Styrd torkning: v. 8 2009 (+20°C, 60 % RF)	Styrd torkning: v. 27 2009 (+20°C, 60 % RF)

Dubbelsidig uttorkning – fall 25-27	Dubbelsidig uttorkning – fall 28-30
Tjocklek betong: 200 mm	Tjocklek betong: 200 mm
Gjutning: v. 2 2009	Gjutning: v. 21 2009
Tätt hus: v. 6 2009	Tätt hus: v. 25 2009
Styrd torkning: v. 8 2009 (+20°C, 60 % RF)	Styrd torkning: v. 27 2009 (+20°C, 60 % RF)

Platta på mark – fall 31-33	Plattbärlag – fall 34-36
Tjocklek isolering: 150 mm	Tjocklek plattbärlag: 75 mm
Tjocklek betong: 300 mm	Tjocklek betong: 200 mm
Gjutning: v. 2 2009	Gjutning: v. 2 2009
Tätt hus: v. 6 2009	Tätt hus: v. 6 2009
Styrd torkning: v. 8 2009 (+20°C, 60 % RF)	Styrd torkning: v. 8 2009 (+20°C, 60 % RF)

RESULTAT OCH KOMMENTARER

Två olika typer av beräkningsfall har behandlats i projektet:

- **Jämförelse med mätningar i laboratorieklimat.** Bedömning av erforderliga uttorkningstider för betongkonstruktioner där det också finns uppmätta data på uttorkningstider i laboratorieklimat. Både uttorkning i laboratorieklimat samt självuttorkning har undersökts.
- **Prognostiseringar av erforderliga uttorkningstider.** Bedömning av erforderliga uttorkningstider för betongkonstruktioner med olika vct utifrån givna förutsättningar om konstruktionen och uttorkningsklimat. Fall 1-36.

För samtliga beräkningsfall har det kritiska fuktillstånd, RF_{krit} , satts till 90 % RF. Dessutom har kritiskt fuktillstånd, RF_{krit} , satts till 85 % RF vid bedömning av uttorkningstider i laboratorieklimat.

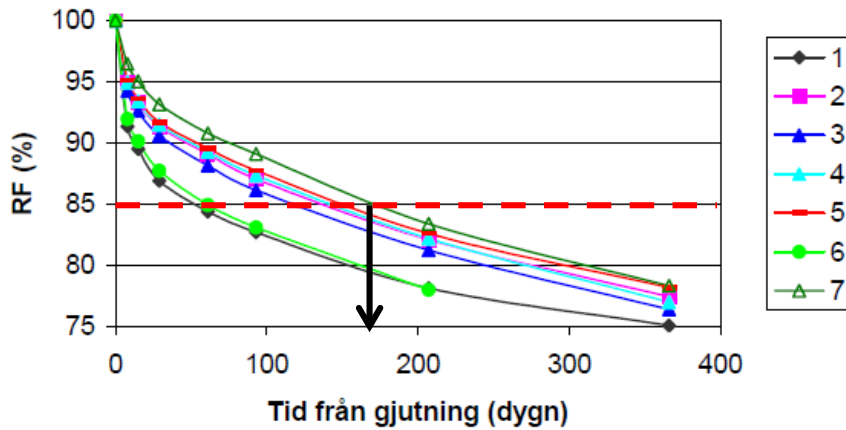
Jämförelse med mätningar i laboratorieklimat

Jämförelser mellan uppmätta och prognostiserade erforderliga uttorkningstider redovisas i Figur 2-Figur 5. I Figur 2-Figur 3 redovisas uttorkningstider rapporterade i Norling-Mjörnell (2003) för både uttorkning i laboratorieklimat (betecknat med "D", +20°C samt 50 % RF) samt självuttorkning (betecknat med "S", +20°C). Uttorkning uppmätt för betongsammansättning 6 ($vct=0,38$) och 7 ($vct=0,60$) har använts från Norling-Mjörnell (2003). I Norling-Mjörnell (2003) har uttorkning studerats under 1 års tid. I Figur 4-Figur 5 redovisas uttorkningstider rapporterade i SBUF (2003b) för uttorkning i laboratorieklimat (ca +18°C samt 35 % RF). Uttorkning uppmätt för betong härdad enligt alternativ A (uttorkning i luft, utan åtgärder för härdning) har använts från SBUF (2003b). I SBUF (2003b) har uttorkning studerats under 120 dygns tid.

Prognostiseringar av erforderliga uttorkningstider har gjorts med BI Dry (v. 1.3.7), TorkaS v. 2 & v. 3 samt SBUF:s lathund. De använda datorverktygen är framtagna för betonger blandade med Cementa Byggcement (CEM II/A-LL 42,5 R) medan SBUF: lathund är framtagen för Cementa Slite Standard Portlandcement (CEM I). Prognostisering av uttorkning i laboratorieklimat går att genomföra med samtliga bedömningsverktyg. Prognostisering av självuttorkning har endast genomförts med TorkaS v.3. Effekten av självuttorkning är också inkluderad i TorkaS v.2 och BI Dry (v. 1.3.7) men det går inte direkt att modellera denna på ett enkelt sätt. I BI Dry (v. 1.3.7) inkluderas även effekter från uttorkning genom diffusiv fukttransport inkluderad i resultatet medan i TorkaS v.2 krävs en del merarbete för att endast modellera självuttorkning².

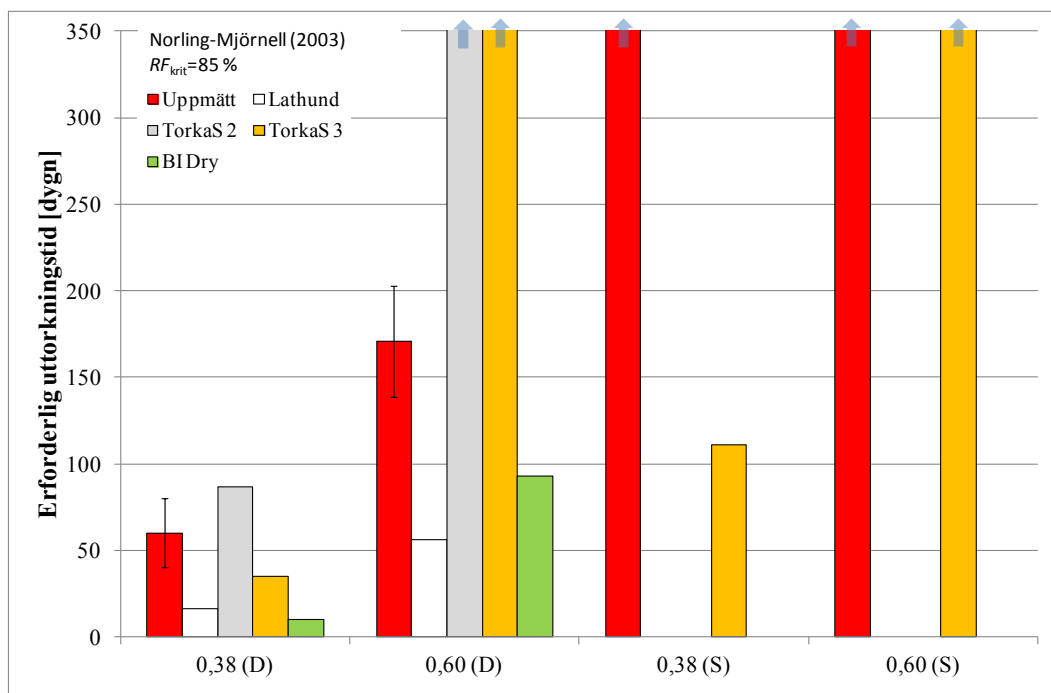
Uppmätta erforderliga uttorkningstider (och osäkerheter i dessa) har utvärderats från mätningar av RF på karakteristiskt djup vid olika tidpunkter. Ett exempel på hur detta har gjorts ges i *Figur 1*. För det aktuella fallet är erforderlig uttorkningstid ca 170 dagar för att uppnå 85 % RF på karakteristiskt djup för en 100 mm tjock betong med $vct=0,60$ (enkelsidig uttorkning – kurva 7 beskriver uttorkning för betong med $vct=0,60$).

² För att modellera självuttorkning i TorkaS v.2 kan följande procedur tillämpas, Gränne (2012). "Tätt hus" läggs dagen innan slutet på prognostiden och membranhärdning (M) läggs in under hela tidsperioden fram till "Tätt hus". Dessutom justeras klimatdata så att effekter av diffusiv fukttransport inte inkluderas i prognosen.



Figur 1. Utvärdering av erforderlig uttorkningstid från mätningar av RF på karakteristiskt djup. För det aktuella fallet är erforderlig uttorkningstid ca 170 dagar (100 mm tjock betong med $vct=0,60$, enkelsidig uttorkning – kurva 7). Figur från Norling-Mjörnell (2003).

Från resultaten som presenteras i Figur 2-Figur 5 framgår att det speciellt vid $RF_{krit}=85\%$ är stora skillnader mellan de olika bedömningsverktygen och uppmätta data medan skillnaderna blir mindre vid $RF_{krit}=90\%$. En förklaring till denna observation är att lutningen på kurvorna som beskriver fuktillståndet på karakteristiskt djup över tiden är större vid $RF_{krit}=90\%$ än vid $RF_{krit}=85\%$. TorkaS v.3 ger kortare uttorkningstider än de som mätts vid låga vct medan vid höga vct är förhållandet det omvända.

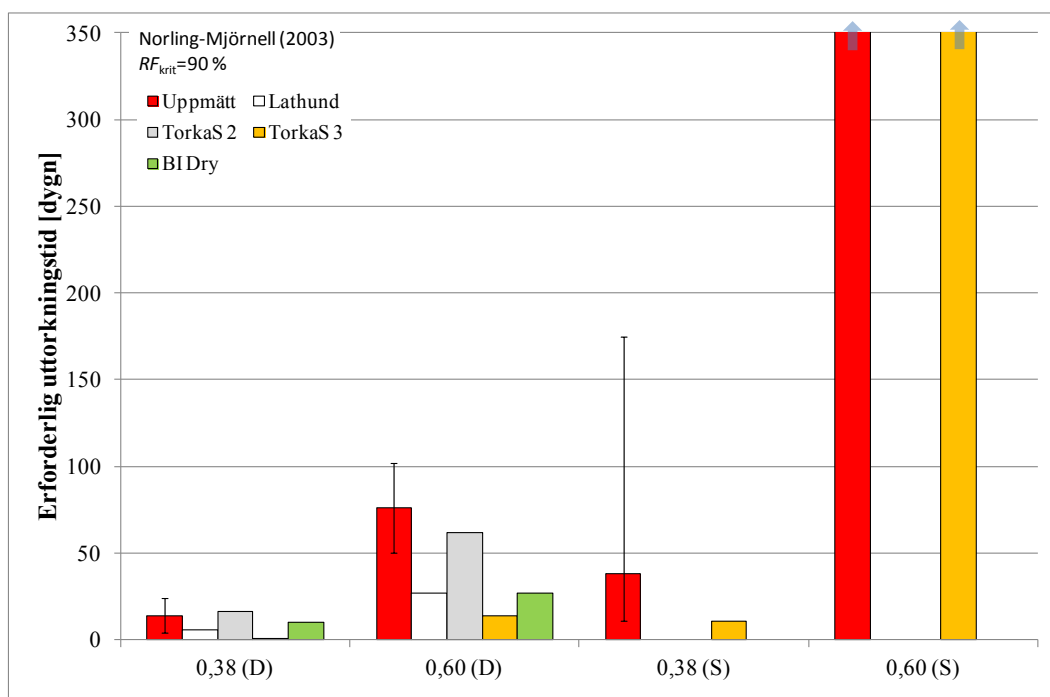


Figur 2. Jämförelse mellan uppmätta och prognostiserade erforderliga uttorkningstider. D betecknar uttorkning i laboratorieklimat och S betecknar självuttorkning. Karakteristiskt djup är 40 % av betongens tjocklek. Uttorkning uppmätt under 1 års tid. Mätosäkerheter för uppmätta uttorkningstider är inlagda. Data från Norling-Mjörnell (2003). $RF_{krit}=85\%$ RF.

I Figur 2 går det att observera relativt stora skillnader i erforderliga uttorkningstider mellan de olika bedömningsverktygen och uppmätta uttorkningstider. Generellt ger BI Dry (v. 1.3.7) samt lathunden kortare uttorkningstider än vad som mätts upp. Uttorkningstider prognostiserade med TorkaS v.2 & v.3 är både kortare och längre än uppmätta uttorkningstider.

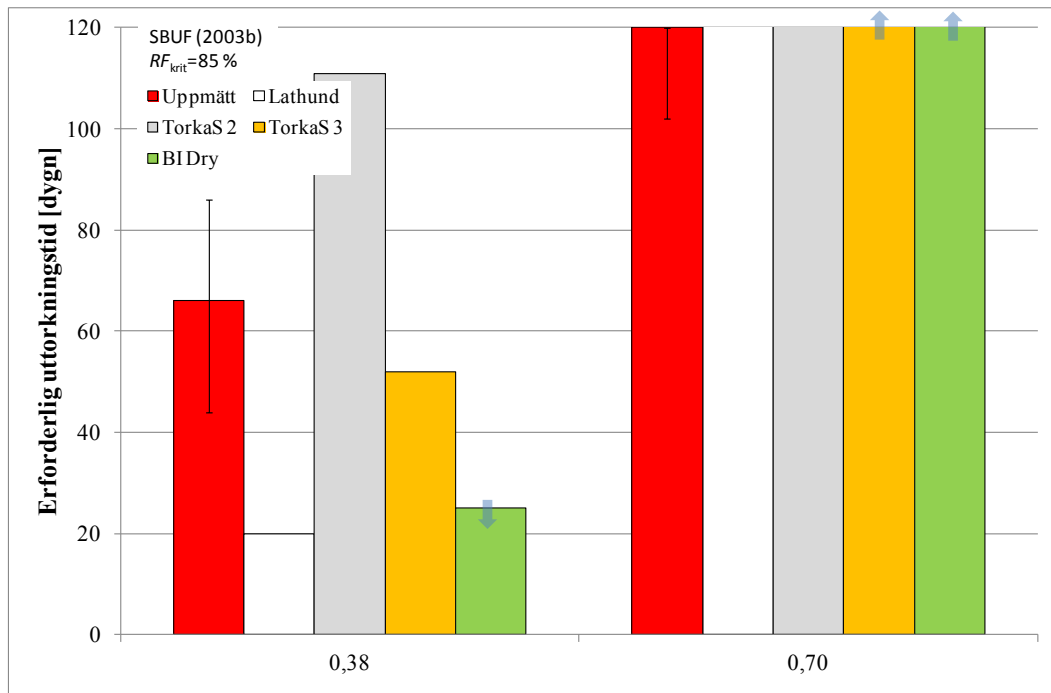
Vid uttorkning i laboratorieklimat (betecknat "D") finns det skillnader både mellan de olika verktygen och olika betongsammansättningar. För en betong med $v_{ct}=0,38$ blir uttorkningstider kortare med TorkaS v.3 (dock inom mätosäkerheten för mätningen), BI Dry (v. 1.3.7) samt SBUF:s lathund, medan de blir längre med TorkaS v.2, jämfört med uppmätta uttorkningstider. För en betong med $v_{ct}=0,60$ blir uttorkningstider längre för TorkaS v.2 & v.3, medan de blir kortare för SBUF:s lathund och BI Dry (v. 1.3.7), jämfört med uppmätta uttorkningstider. En förklaring till dessa resultat är att kurvorna som beskriver uttorkningstid är väldigt flacka vid speciellt $v_{ct}=0,60$ vilket medför att små ändringar i RF ger stora ändringar i uttorkningstid.

Vid självuttorkning av betong (betecknat med "S") ger TorkaS v.3 kortare uttorkningstider än vad som mätts upp för betong med $v_{ct}=0,38$ medan uttorkningstider för betong med $v_{ct}=0,60$ är längre än 1 år både för uppmätta och prognostiserade uttorkningstider.



Figur 3. Jämförelse mellan uppmätta och prognostiserade erforderliga uttorkningstider. D betecknar uttorkning i laboratorieklimat och S betecknar självuttorkning. Karakteristiskt djup är 40 % av betongens tjocklek. Uttorkning uppmätt under 1 års tid. Mätosäkerheter för uppmätta uttorkningstider är inlagda. Data från Norling-Mjörnell (2003). $RF_{krit}=90\%$ RF.

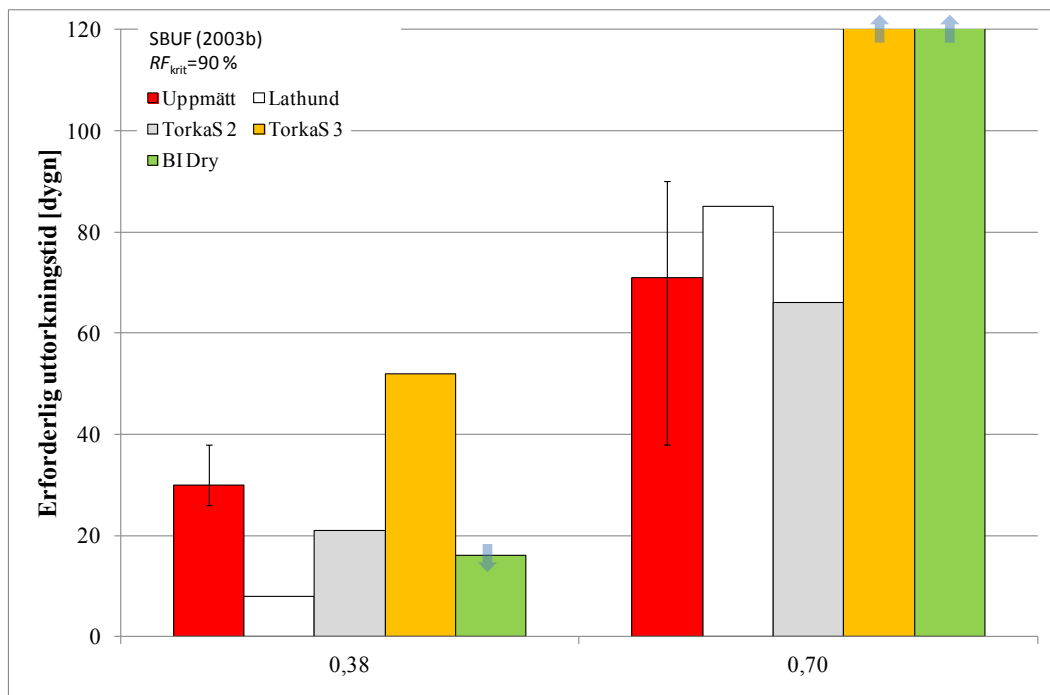
I Figur 3 går det att observera relativt stora skillnader i erforderliga uttorkningstider mellan de olika bedömningsverktygen och uppmätta uttorkningstider. Dock är skillnaderna mindre än när $RF_{krit}=85\%$, vilket kan förklaras med att kurvorna som beskriver erforderliga uttorkningstider är brantare vid högre RF_{krit} . Generellt ger samtliga bedömningsverktyg kortare uttorkningstider än de som har mätts upp. Av de datorbaserade verktygen ger TorkaS v.2 längst uttorkningstider medan TorkaS v.3 ger kortast uttorkningstider. En förklaring till dessa resultat är att kurvorna som beskriver uttorkningstid är väldigt flacka vid speciellt $v_{ct}=0,60$ vilket medför att små ändringar i RF ger stora ändringar i uttorkningstid.



Figur 4. Jämförelse mellan uppmätta och prognostiserade erforderliga uttorkningstider. Uttorkning i laboratorieklimat (ca +18°C och 35 % RF – fall A). Karakteristiskt djup är 40 % av betongens tjocklek. Uttorkning uppmätt under 120 dygns tid. Mätosäkerheter för uppmätta uttorkningstider är inlagda. Data från SBUF (2003b). $RF_{krit}=85\%$ RF.

Erforderliga uttorkningstider som redovisas i Figur 4 skiljer sig relativt mycket mellan varandra. Vid $vct=0,38$ är det endast TorkaS v.3 som prognostiserar en uttorkningstid som överensstämmer med den uppmätta. Övriga beräkningsprogram prognostiserar uttorkningstider som antingen är kortare (Lathunden samt BI Dry (v. 1.3.7)) eller längre (TorkaS v.2) än den uppmätta uttorkningstiden.

Det finns inga uppmätta uttorkningstider för betong med $vct=0,70$. Om prognostiserade uttorkningstider vid $vct=0,70$ jämförs framgår att resultaten från de olika verktygen skiljer sig åt en del, där SBUF:s Lathund och TorkaS v.2 ger ungefär 170 dygn uttorkningstid medan TorkaS v.3 och BI Dry (v. 1.3.7) ger uttorkningstider som överstiger 1 år. En förklaring till dessa resultat är att kurvorna som beskriver erforderlig uttorkningstid är väldigt flacka vid speciellt $vct=0,70$ vilket medför att små ändringar i RF ger stora ändringar i uttorkningstid.



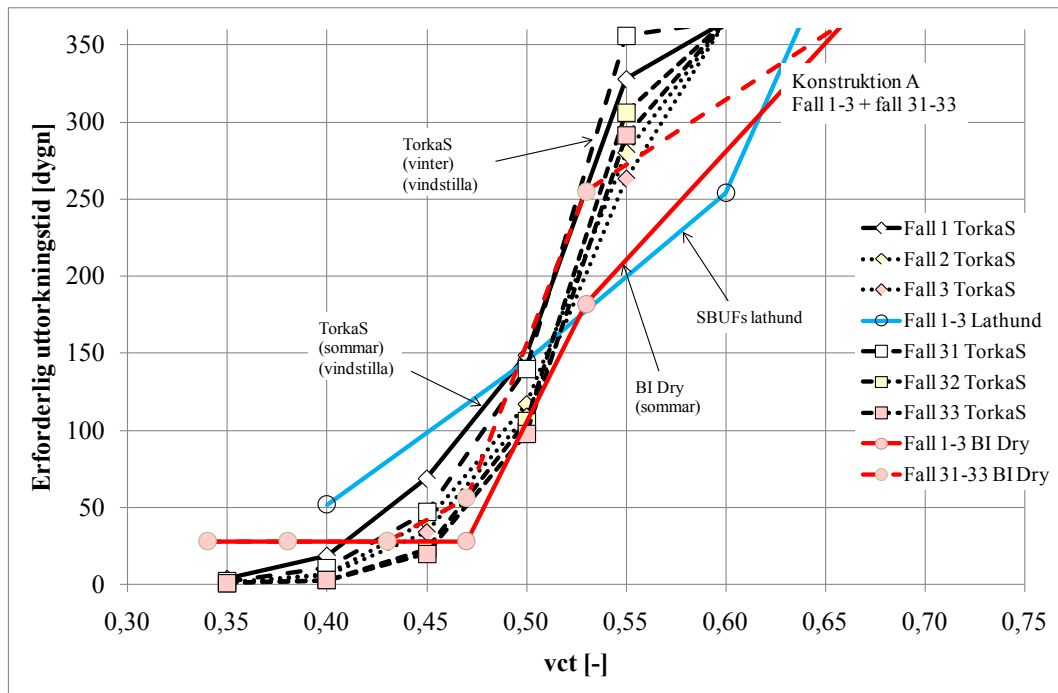
Figur 5. Jämförelse mellan uppmätta och prognostiserade erforderliga uttorkningstider. Uttorkning i laboratorieklimat (ca +18°C och 35 % RF – fall A). Karakteristiskt djup är 40 % av betongens tjocklek. Mätosäkerheter för uppmätta uttorkningstider är inlagda. Data från SBUF (2003b). Data från SBUF (2003b). $RF_{krit}=90\%$ RF.

I Figur 5 går det att observera relativt stora skillnader i erforderliga uttorkningstider mellan de olika bedömningsverktygen och uppmätta uttorkningstider. Vid $vct=0,38$ ger TorkaS v.3 något längre uttorkningstider än övriga verktyg (och även något längre än vad mätningar visar). Vid $vct=0,70$ ger TorkaS v.2 och SBUF:s lathund ungefär samma uttorkningstid som mätningen visar. TorkaS v.3 och BI Dry (v. 1.3.7) ger längre uttorkningstider än den uppmätta (längre än 120 dygn). Om prognostiserade uttorkningstider vid $vct=0,70$ jämförs framgår att TorkaS v.3 ger en uttorkningstid som överstiger 1 år, BI Dry (v. 1.3.7) ger en uttorkningstid på ca 230 dygn och SBUF:s lathund medan TorkaS v.2 ger en uttorkningstid på ca 70-80 dygn. En förklaring till dessa resultat är att kurvorna som beskriver uttorkningstid är väldigt flacka vid speciellt $vct=0,70$ vilket medför att små ändringar i RF ger stora ändringar i uttorkningstid.

Prognostiseringar av erforderliga uttorkningstider – fiktiva beräkningsfall

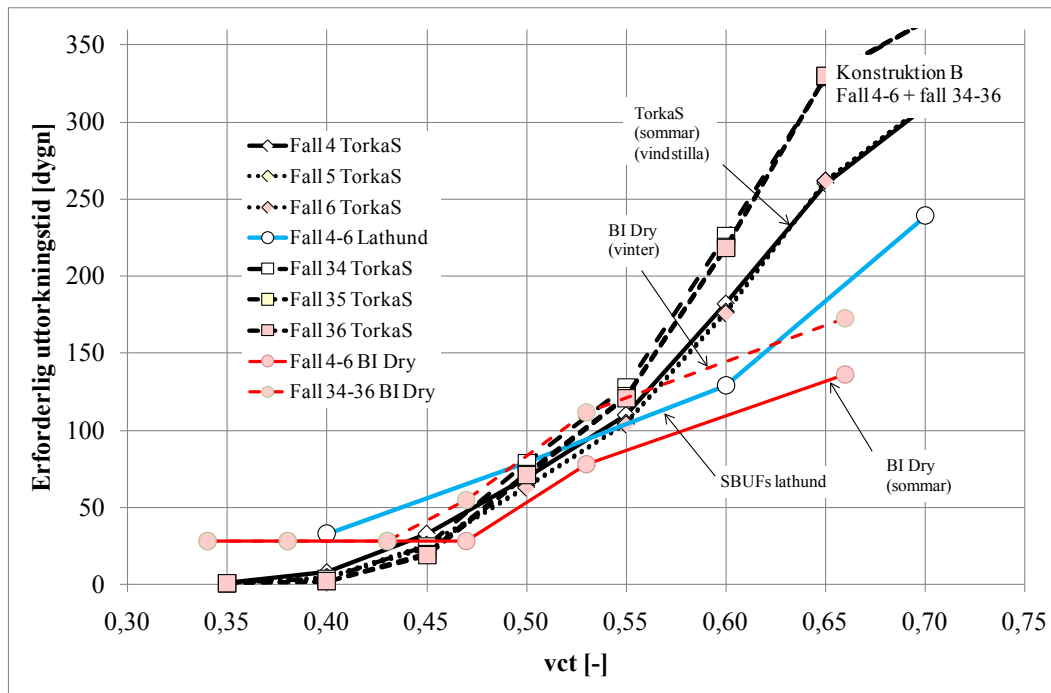
Nya beräkningsfall (verkliga konstruktioner) – fall 1-36

Bedömningar av uttorkningstider för ”verkliga konstruktioner” har gett följande resultat, se Figur 6 (Konstruktion A – platta på mark med underliggande cellplastisolering), Figur 7 (Konstruktion B - plattbärlag), Figur 8 (Konstruktion C – platta på mark med underliggande cellplastisolering), Figur 9 (Konstruktion D - plattbärlag), Figur 10 (Konstruktion E – mellanbjälklag med kvarsittande form) samt Figur 11 (Konstruktion F – mellanbjälklag utan kvarsittande form). Prognoser av uttorkning har endast gjorts för uttorkningstider upp till 1 år. För uttorkningstider över 1 år ger prognosverktygen alltför osäkra bedömningar och därför tas dessa resultat inte med i sammanställningen. Prognostiseringar har gjorts med SBUF:s lathund, TorkaS v.3 samt BI Dry (v. 1.3.7). Kritiskt fuktillstånd har satts till $RF_{krit}=90\%$ RF.

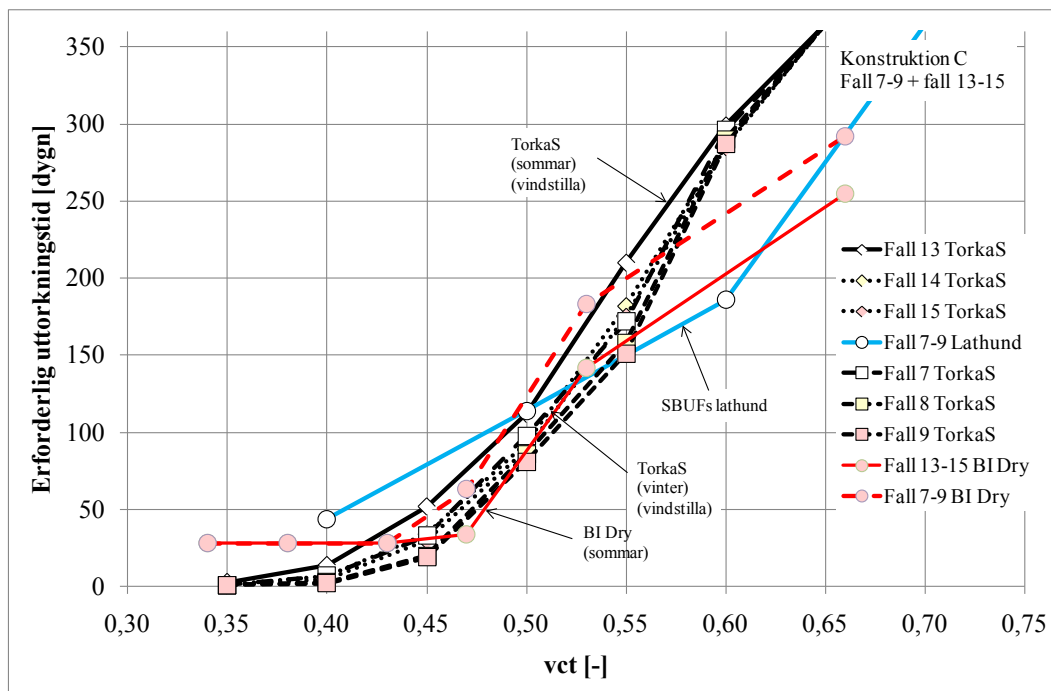


Figur 6. Bedömning av uttorkningstider för konstruktion A (platta på mark – 150 mm isolering och 300 mm betong). Prognoser har endast gjorts för uttorkningstider på upp till 1 år. Prognostiseringar med BI Dry (v. 1.3.7) för vinterfallet gav uttorkningstider på över 1 år och redovisas därför inte. Karakteristiskt djup är 40 % av betongens tjocklek, dvs. 120 mm. $RF_{krit} = 90\%$ RF.

I Figur 6 framgår att det finns vissa skillnader mellan de olika bedömningsverktygen. Skillnaden mellan BI Dry (v. 1.3.7) och TorkaS v.3 är relativt liten vid låga vct men ökar vid ökande vct, där BI Dry (v. 1.3.7) är mer optimistiskt än TorkaS v.3. Skillnaden i uttorkningstider mellan BI Dry (v. 1.3.7) och TorkaS v.3 är upp till ca 100 dygn som mest (vid $vct > 0,55$). SBUF:s lathund ger mer pessimistiska prognostiseringar vid låga vct och mer optimistiska prognostiseringar vid höga vct jämfört med BI Dry (v. 1.3.7) och TorkaS v.3.



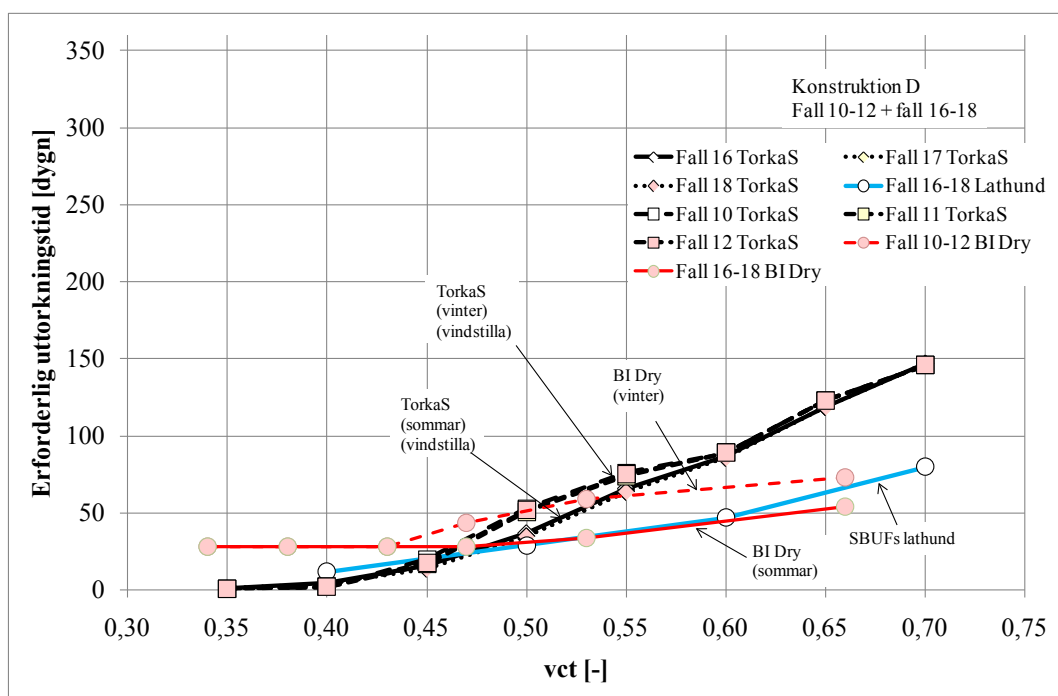
Figur 7. Bedömning av uttorkningstider för konstruktion B (plattbärlag – 75 mm plattbärlag och 200 mm pågjutning). Prognoser har endast gjorts för uttorkningstider på upp till 1 år. Karakteristiskt djup är 25 % av betongens tjocklek, dvs. 50 mm. $RF_{krit} = 90\% RF$.



Figur 8. Bedömning av uttorkningstider för konstruktion C (platta på mark – 100 mm isolering och 200 mm betong). Prognoser har endast gjorts för uttorkningstider på upp till 1 år. Karakteristiskt djup är 40 % av betongens tjocklek, dvs. 80 mm. $RF_{krit} = 90\% RF$.

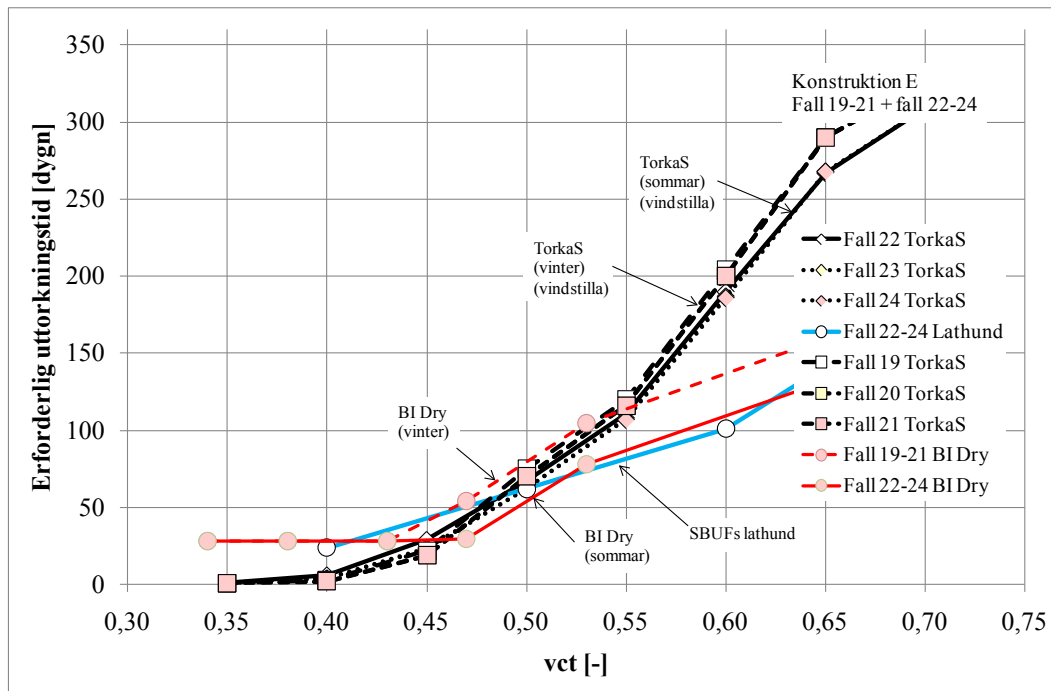
I Figur 7-Figur 8 framgår att skillnaderna mellan de olika bedömningsverktygen är relativt små vid $vct < 0,55$. Vid $vct > 0,55$ blir skillnaderna större där BI Dry (v. 1.3.7) ger kortare uttorkningstider än TorKaS v.3. Skillnaderna mellan BI Dry (v. 1.3.7) och TorKaS v.3 kan vara över 100

dygn, speciellt för konstruktion B. En intressant observation är att vid $vct < 0,45$ är skillnaden mellan sommar- och vinterfall relativt små i TorkaS v.3, medan de är större för BI Dry (v. 1.3.7) och TorkaS v.2. Uttorkningstider från SBUF:s lathund överensstämmer relativt väl med tider från BI Dry (v. 1.3.7) (sommarfall).



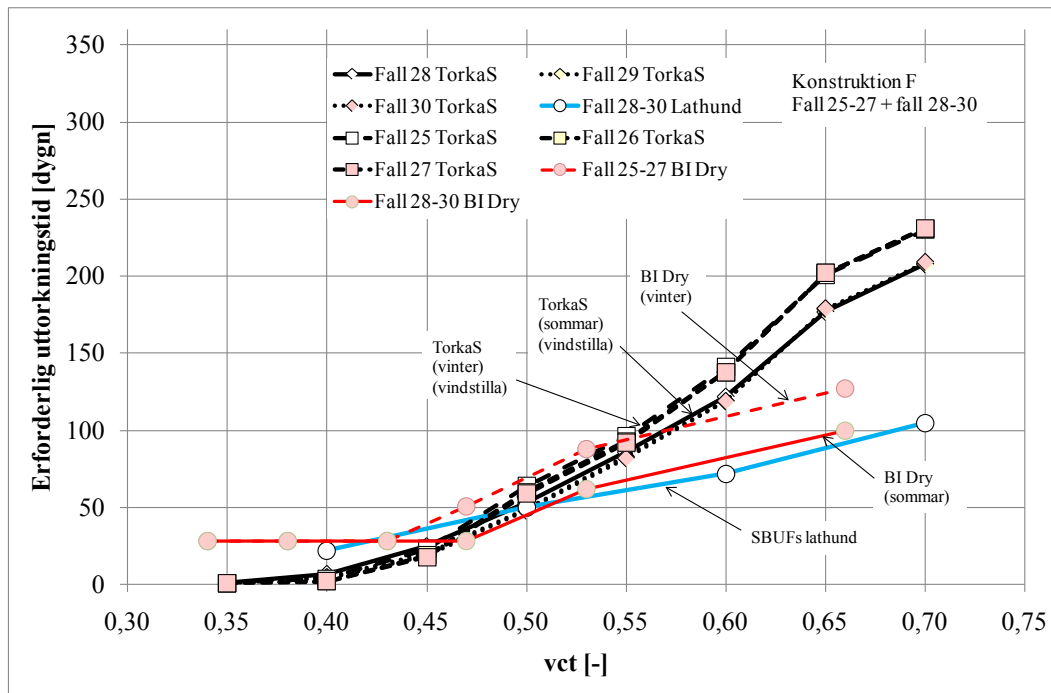
Figur 9. Bedömning av uttorkningstider för konstruktion D (plattbärlag – 75 mm plattbärlag och 100 mm pågjutning). Prognoser har endast gjorts för uttorkningstider på upp till 1 år. Karakteristiskt djup är 25 % av betongens tjocklek, dvs. 25 mm. $RF_{krit} = 90 \% RF$.

Från resultaten som presenteras i Figur 9 framgår att skillnaderna mellan de olika bedömningsverktygen är relativt små vid $vct < 0,50$. Vid $vct > 0,50$ blir skillnaderna något större, där BI Dry (v. 1.3.7) ger kortare uttorkningstider än TorkaS v.3. En intressant observation är att skillnaderna mellan sommar- och vinterfall relativt är små i TorkaS v.3, medan de är större för BI Dry (v. 1.3.7) och TorkaS v.2. Prognostiseringar gjorda med SBUF:s lathund överensstämmer väl med BI Dry (v. 1.3.7) (sommarfall).



Figur 10. Bedömning av uttorkningstider för konstruktion E (mellanbjälklag med enkelsidig uttorkning – 120 mm betong på kvarsittande stålform). Prognoser har endast gjorts för uttorkningstider på upp till 1 år. Karakteristiskt djup är 40 % av betongens tjocklek, dvs. 48 mm. $RF_{krit} = 90 \% RF$.

I Figur 10 går det att observera att skillnaderna mellan de olika bedömningsverktygen är relativt små vid $vct < 0,55$. Vid $vct > 0,55$ blir skillnaderna större, där BI Dry (v. 1.3.7) ger kortare uttorkningstider än TorKaS v.3. Skillnaden mellan BI Dry (v. 1.3.7) och TorKaS v.3 är över 150 dygn vid $vct > 0,65$. En intressant observation är att skillnaden mellan sommar- och vinterfall är relativt små i TorKaS v.3, medan de är större för BI Dry (v. 1.3.7) och TorKaS v.2. Prognostiseringar gjorda med SBUF:s lathund överensstämmer väl med BI Dry (v. 1.3.7) (sommarsfall).

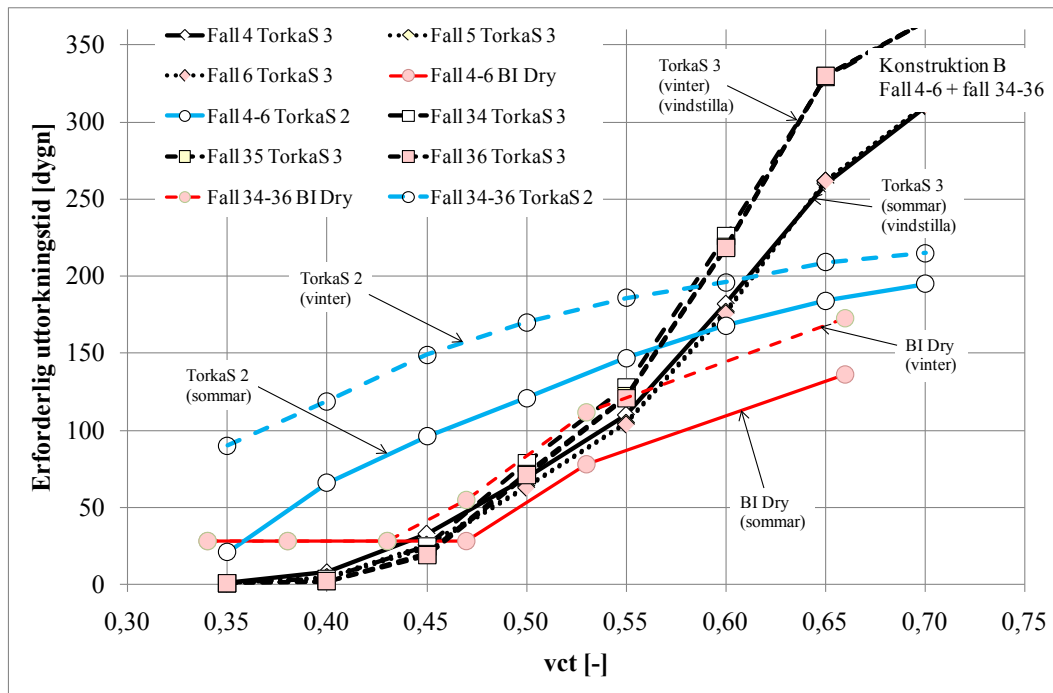


Figur 11. Bedömning av uttorkningstider för konstruktion F (mellanbjälklag med dubbelsidig uttorkning– 200 mm utan kvarstående form). Prognoser har endast gjorts för uttorkningstider på upp till 1 år. Karakteristiskt djup är 20 % av betongens tjocklek, dvs. 40 mm. $RF_{krit}=90\% RF$.

Från Figur 11 går det att observera att skillnaderna mellan de olika bedömningsverktygen är relativt små vid $vct < 0,55$. Vid $vct > 0,55$ blir skillnaderna något större, där BI Dry (v. 1.3.7) ger kortare uttorkningstider än TorkaS v.3. Skillnaden mellan BI Dry (v. 1.3.7) och TorkaS v.3 är ca 80 dygn vid $vct > 0,65$. En intressant observation är att skillnaden mellan sommar- och vinterfall är relativt små i TorkaS v.3, medan de är större för BI Dry (v. 1.3.7) och TorkaS v.2. Prognostiseringar gjorda med SBUF:s lathund överensstämmer väl med BI Dry (v. 1.3.7) (sommarfall).

Jämförelse TorkaS v. 2, v. 3 och BI Dry (v. 1.3.7)

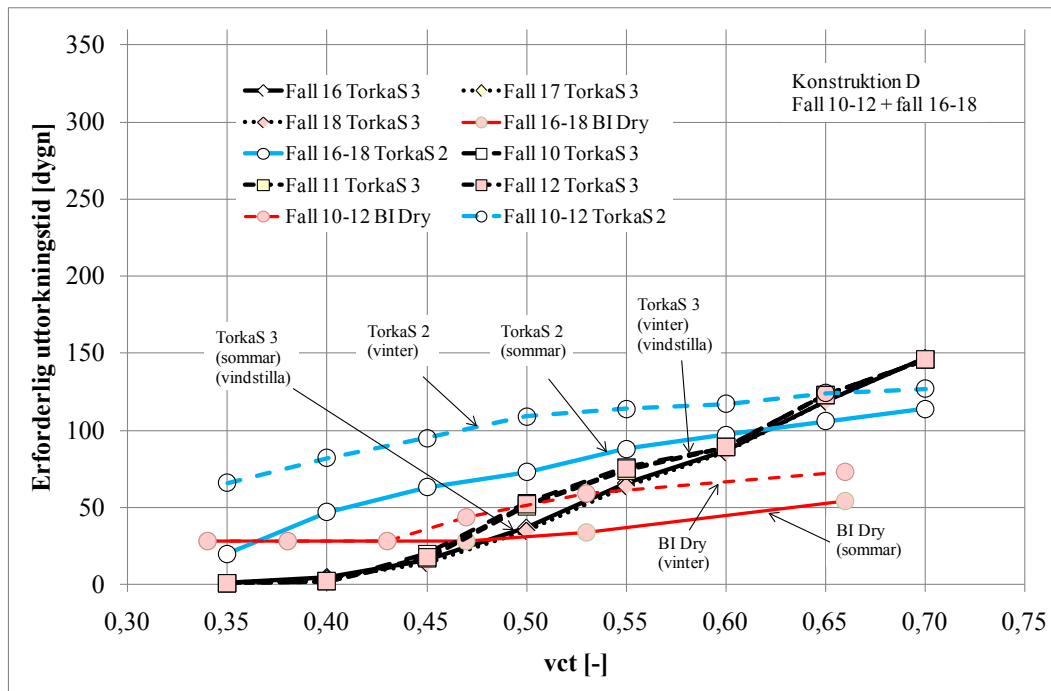
För några av de framtagna konstruktionerna (konstruktion B, D, E och F) har en jämförelse gjorts mellan erforderliga uttorkningstider prognostiserade med TorkaS v.2 och v.3 samt BI Dry (v. 1.3.7). Resultaten från prognostiseringar av erforderliga uttorkningstider redovisas i Figur 12 (konstruktion B), Figur 13 (konstruktionen D), Figur 14 (konstruktion E) och Figur 15 (konstruktion F). Kritiskt fuktillstånd har satts till $RF_{krit}=90\% RF$.



Figur 12. Bedömning av uttorkningstider för konstruktion B (plattbärlag – 75 mm plattbärlag och 200 mm pågjutning). Prognoser har endast gjorts för uttorkningstider på upp till 1 år. Karakteristiskt djup är 25 % av betongens tjocklek, dvs. 50 mm. Jämförelse mellan TorkaS v. 2 och v.3 samt BI Dry (v. 1.3.7). $RF_{krit}=90\% RF$.

I Figur 12 går det att observera stora skillnader i erforderliga uttorkningstider mellan de olika bedömningsverktygen. Mest optimistiska är TorkaS v.3 (för $vct < 0,45$) och BI Dry (v. 1.3.7) ($vct > 0,45$ och sommarfall). Skillnaden i uttorkningstider mellan BI Dry (v. 1.3.7) och TorkaS v.3 är upp till ca 150 dygn (vinterfall, $vct=0,66$). En intressant observation är att skillnaden mellan sommar- och vinterfall är relativt små i TorkaS v.3, medan de är större för BI Dry (v. 1.3.7) och TorkaS v.2.

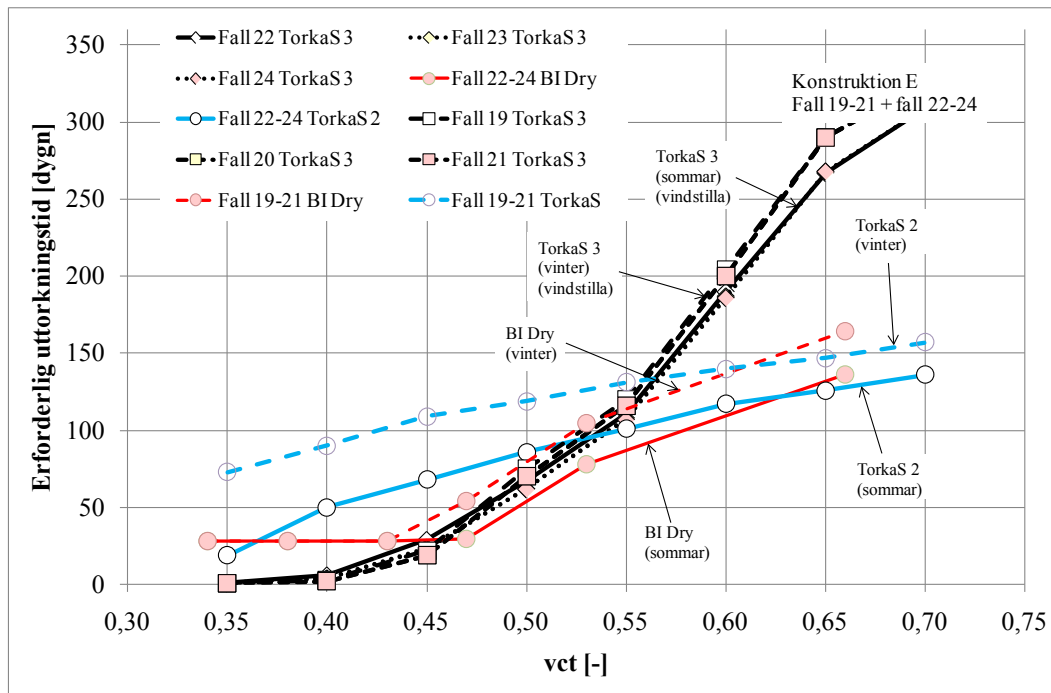
TorkaS v.2 ger längre uttorkningstider än TorkaS v.3 för $vct < 0,55-0,60$, där det skiljer upp till ca 120 dygn (vinterfall, $vct=0,45$). För $vct > 0,60$ ger TorkaS v.2 däremot kortare uttorkningstider än TorkaS v.3, där skillnaden i uttorkningstider är upp till ca 120 dygn (vinterfall, $vct > 0,65$).



Figur 13. Bedömning av uttorkningstider för konstruktion D (plattbärlag – 75 mm plattbärlag och 100 mm pågjutning). Prognoser har endast gjorts för uttorkningstider på upp till 1 år. Karakteristiskt djup är 25 % av betongens tjocklek, dvs. 25 mm. Jämförelse mellan TorkaS v. 2 och v.3 samt BI Dry (v. 1.3.7). $RF_{krit} = 90\% RF$.

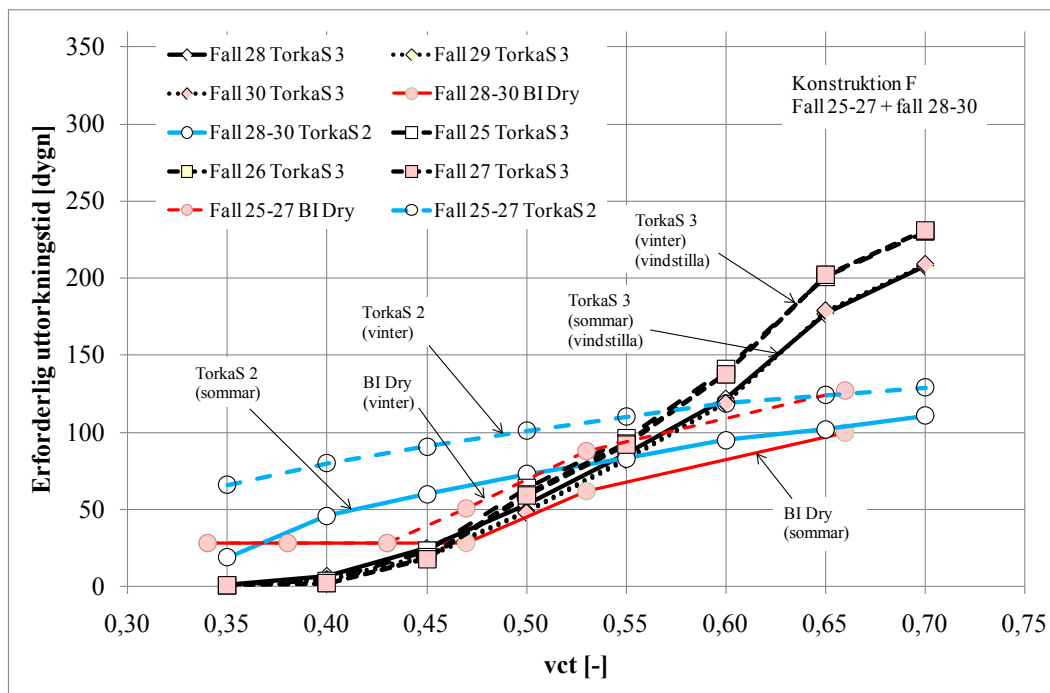
I Figur 13 framgår att det finns vissa skillnader i uttorkningstider prognostiserade med de olika verktygen. För $vct < 0,45-0,50$ ger TorkaS v.3 kortast uttorkningstider – dock skulle troligen också BI Dry (v. 1.3.7) få korta uttorkningstider för låga vct om inte programmet begränsade kortast möjliga uttorkningstid till 28 dygn. För $vct > 0,50-0,55$ ger BI Dry (v. 1.3.7) kortare uttorkningstider än TorkaS v.3, där den största skillnaden är ca 50 dygn (sommarsfall). En intressant observation är att skillnaden mellan sommar- och vinterfall är relativt små i TorkaS v.3, medan de är större för BI Dry (v. 1.3.7) och TorkaS v.2.

TorkaS v.2 ger längre uttorkningstider än TorkaS v.3 för $vct < 0,65$, där skillnaden är upp till ca 75 dygn (vinterfall, $vct = 0,45$).



Figur 14. Bedömning av uttorkningstider för konstruktion E (mellanbjälklag med enkelsidig uttorkning – 120 mm betong på kvarsittande stålform). Prognoser har endast gjorts för uttorkningstider på upp till 1 år. Karakteristiskt djup är 40 % av betongens tjocklek, dvs. 48 mm. Jämförelse mellan TorkaS v. 2 och v.3 samt BI Dry (v. 1.3.7). $RF_{krit}=90\% RF$.

I Figur 14 går det att observera relativt stora skillnader i uttorkningstider mellan de olika bedömningsverktygen. Vid $vct < 0,45$ ger TorkaS v.3 kortast uttorkningstider medan vid $vct > 0,55$ ger BI Dry (v. 1.3.7) och TorkaS v.2 kortast uttorkningstider. Skillnaden i erforderliga uttorkningstider mellan BI Dry (v. 1.3.7) och TorkaS v.3 är upp till ca 130 dygn (sommarfall, $vct=0,65$). En intressant observation är att skillnaden mellan sommar- och vinterfall är relativt små i TorkaS v.3, medan de är större för BI Dry (v. 1.3.7) och TorkaS v.2.



Figur 15. Bedömning av uttorkningstider för konstruktion F (mellanbjälklag med dubbelsidig uttorkning– 200 mm utan kvarsittande form). Prognoser har endast gjorts för uttorkningstider på upp till 1 år. Karakteristiskt djup är 20 % av betongens tjocklek, dvs. 40 mm. Jämförelse mellan TorkaS v. 2 och v.3 samt BI Dry (v. 1.3.7). $RF_{krit}=90\% RF$.

I Figur 15 går det att observera relativt stora skillnader i uttorkningstider mellan de olika bedömningsverktygen. Vid $vct < 0,50-0,55$ ger TorkaS v.3 kortast uttorkningstider medan vid $vct > 0,55$ ger BI Dry (v. 1.3.7) kortast uttorkningstider. Skillnaden i erforderliga uttorkningstider mellan BI Dry (v. 1.3.7) och TorkaS v.3 är upp till ca 75 dygn (vinter- och sommarfall, $vct=0,65$).

En annan sak som går att observera i Figur 12-Figur 15 är att både BI Dry (v. 1.3.7) och TorkaS v. 2 ger kortare erforderliga uttorkningstider för sommarfallet än för vinterfallet. I TorkaS v.3 ger vinterfallet de kortaste erforderliga uttorkningstiderna. Det är också betydligt mindre skillnader mellan sommar- och vinterfallen i TorkaS v. 3 jämfört med BI Dry (v. 1.3.7) och TorkaS v. 2.

Generella kommentarer till genomförda prognostiseringar

Från resultaten som presenteras ovan kan ett antal generella trender identifieras. Dessa kommenteras i följande stycken.

Jämförelse med laboriemätningar

De genomförda jämförelserna av prognostiseringar och uppmätta uttorkningstider visar att det finns några generella tendenser. Hur väl prognostiserade och uppmätta uttorkningstider överensstämmer förefaller bero på det kritiska fuktillståndet. Två kritiska fuktillstånd har studerats, $RF_{krit}=85\%$ respektive $RF_{krit}=90\%$, och överensstämmelsen mellan prognostiserade och uppmätta uttorkningstider något bättre vid $RF_{krit}=90\%$ än vid $RF_{krit}=85\%$.

När uttorkningstider prognostiserade med de olika bedömningsverktygen jämförs med uppmätta uttorkningstider kan några generella observationer göras. Dessa resultat är baserade på jämförelser med två mätningar, vilket är för lite för att dra några mer omfattande slutsatser, utan resul-

taten ger mer en indikation. För att kunna dra mer generella slutsatser krävs mer mätningar att jämföra med (vilket också föreslås i fortsatta undersökningar). Jämförelsen mellan prognostiserade och uppmätta uttorkningstider som har genomförts i detta projekt indikerar följande:

- **TorkaS v.3.** Uttorkningstider prognostiserade med TorkaS v.3 överensstämmer ungefär med uppmätta uttorkningstider för fall med låga vct ($vct < 0,50$), medan de är längre än uppmätta uttorkningstider för fall med högre vct ($vct > 0,50$).
- **TorkaS v.2.** Uttorkningstider prognostiserade med TorkaS v.2 är längre än uppmätta uttorkningstider för fall med låga vct ($vct < 0,50$), medan de överensstämmer relativt väl med uppmätta uttorkningstider för fall med högre vct ($vct > 0,50$).
- **BI Dry (v. 1.3.7).** Uttorkningstider prognostiserade med BI Dry (v. 1.3.7) är kortare eller ungefär samma som uppmätta uttorkningstider för samtliga studerade fall.
- **SBUF:s lathund.** Uttorkningstider prognostiserade med SBUF:s lathund följer ingen speciell trend utan är både kortare och längre än uppmätta uttorkningstider. Detta är inte oväntat eftersom lathunden endast gör en enkel bedömning av erforderliga uttorkningstider. Dessutom är SBUF:s lathund framtagen för ett annat cement (Cement Slite Standard Portlandcement) än det som har använts i de undersökningar av uttorkning som har använts.

Av resultaten framgår att BI Dry (v. 1.3.7) i många fall prognostiserar kortare uttorkningstider än de som har mätts upp. Dessutom visar resultaten att BI Dry (v. 1.3.7) ger kortare uttorkningstider än TorkaS v.3 utom för betonger med låga vct ($vct < 0,45-0,50$).

Erforderliga uttorkningstider med olika bedömningsverktyg

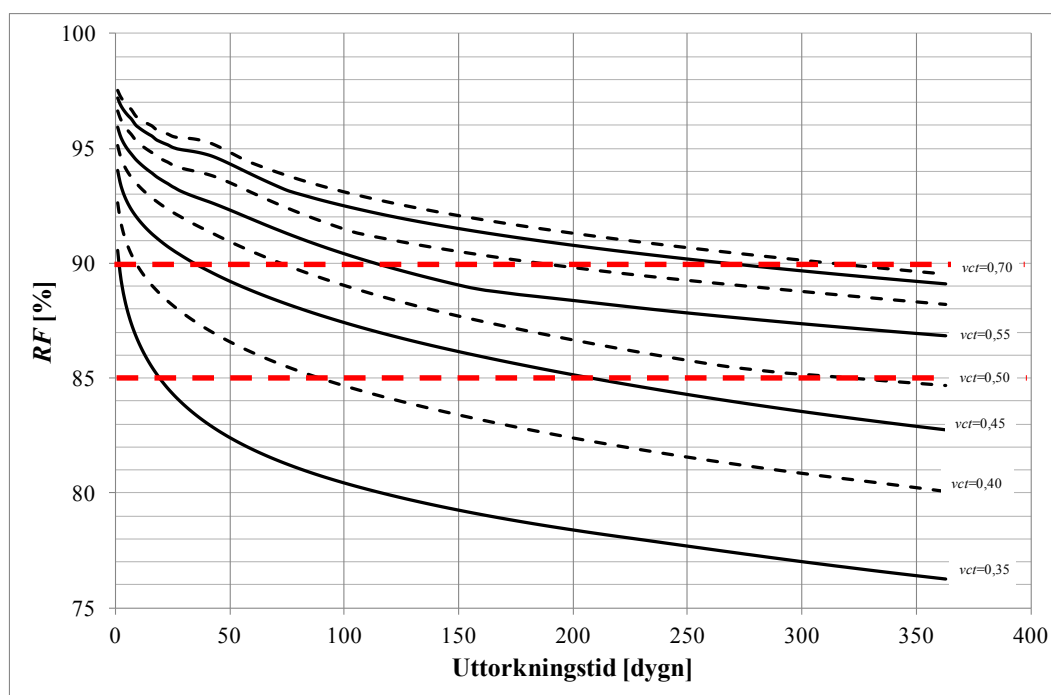
Genomförda prognostiseringar av uttorkningstider visar att det finns några generella skillnader mellan de olika undersökta verktygen. Generellt ger TorkaS v.3 kortast uttorkningstider vid låga vct ($vct < 0,45-0,50$) medan BI Dry (v. 1.3.7) (sommarfall) och SBUF:s lathund ger kortast uttorkningstider vid högra vct ($vct > 0,45-0,50$).

Vad gäller undersökta datorprogram ger generellt TorkaS v. 3 kortare uttorkningstider än BI Dry (v. 1.3.7) för betonger med låga vct ($vct < 0,50$) medan BI Dry (v. 1.3.7) ger kortare uttorkningstider än TorkaS v. 3 för betonger med högre vct ($vct > 0,50$). TorkaS v. 2 ger längre uttorkningstider än TorkaS v. 3 vid $vct < 0,55-0,60$ – vid $vct > 0,55-0,60$ ger TorkaS v.3 längre uttorkningstider än TorkaS v.2.

En skillnad i hur erforderliga uttorkningstider varierar för betonger med olika vct kan observeras mellan de olika bedömningsverktygen. Trenden för hur uttorkningstiden varierar för olika vct är ungefär samma för TorkaS v.2, BI Dry (v. 1.3.7) och SBUF:s lathund medan den avviker för TorkaS v.3. För samtliga undersökta beräkningsfall har TorkaS v. 3 prognostiserat erforderliga uttorkningstider som är betydligt längre än för övriga verktyg för betonger med $vct > 0,55$, utom för relativt tunna konstruktioner (t.ex. konstruktion D). För betonger med $vct < 0,45$ prognostiserar däremot TorkaS v.3 kortare uttorkningstider än övriga verktyg. Det förefaller som TorkaS v.3 gör en mer positiv prognostisering av betongens uttorkning vid låga vct ($vct < 0,45$) medan prognostiseringen är mer negativ för betonger med högre vct ($vct > 0,55$).

Jämfört med resultaten som presenterades i slutrapporten från SBUF projekt 12389 är skillnaderna mellan de olika bedömningsverktygen mindre i denna undersökning. En förklaring är att

kritiskt fuktillstånd är högre, $RF_{krit}=90\%$, vilket betyder att uttorkningskurvorna som beskriver RF på karakteristiskt djup har större lutning. Troligen påminner kurvorna, som beskriver hur RF på karakteristiskt djup varierar vid olika uttorkningstider, från de olika bedömningsverktygen, om varandra. Om då lutningen hos kurvorna är relativt stor får inte variationer mellan kurvorna eller ändringar i RF så stora konsekvenser på uttorkningstiderna. Om däremot kurvorna som beskriver uttorkningstid är väldigt flacka medför små ändringar i RF stora ändringar i uttorkningstid. Ett exempel ges i Figur 16 där RF på karakteristiskt djup över tiden för åtta olika betongkvaliteter redovisas ($vct=0,35-0,70$). Beräkningar för fall 20.



Figur 16. Uttorkningskurvor som beskriver RF på karakteristiskt djup över tiden för åtta olika betongkvaliteter ($vct=0,35-0,70$). Beräkningar gjorda för fall 20.

I Figur 16 framgår att lutningen hos de olika kurvorna vid $RF=85\%$ och 90% skiljer sig åt. Kurvan för betongen med $vct=0,35$ har störst lutning och kurvan för betongen med $vct=0,70$ har minst lutning. Detta betyder att samma ändring i RF, t.ex. en minskning på 1 % RF, ger större ändring i erforderlig uttorkningstid för betongen med $vct=0,70$ (ca 91 dygn vid en minskning från ca 91 % RF till 90 % RF) än för den med $vct=0,35$ (ca 1 dygn vid en minskning från ca 91 % RF till 90 % RF). Resultaten i Figur 16 visar också att de skillnader i erforderliga uttorkningstider som redovisas i Figur 6-Figur 15 inte behöver betyda några större skillnader i RF, beroende på lutningen hos kurvorna som beskriver uttorkningsförloppet.

Temperaturens inverkan på erforderliga uttorkningstider

TorkaS v.3 visar att uttorkning går något fortare för vinterfallet än för sommarfallet medan BI Dry (v. 1.3.7) visar att uttorkningen går betydligt fortare för sommarfallet än för vinterfallet. Motsvarande går också att observera i resultaten från TorkaS v.2, medan i SBUF:s lathund tas ingen hänsyn till om uttorkningen sker under sommaren eller vintern. Prognostiseringar utförda med TorkaS v.3 visar att uttorkningen går fortare ju lägre betongens temperatur är (så länge den överstiger 0°C , för att undvika frysning av betongen). Detta förklaras med en temperatureffekt under de första dygnens uttorkning (sannolikt på grund av något förändrad porstruktur, där härd-

ning vid lägre temperatur medför lägre fuktillstånd), Gränne (2012). Längre fram under uttorkningsförloppet medför en lägre temperatur att uttorkningen går långsammare. Dock har temperatureffekten på den tidigare uttorkningen en sådan stor påverkan att den slutliga uttorkningen ser ut gå snabbare vid minskande temperatur.

AVSLUTNING

Avslutande kommentarer

I detta projekt har en utvärdering gjorts av olika verktyg för bedömning av uttorkningstider hos betongkonstruktioner. De verktyg som har studerats är datorprogrammen **TorkaS v. 2**, **TorkaS v. 3**, och **BI Dry (v. 1.3.7)** samt **SBUF:s Lathund**. Det bör observeras att SBUF:s Lathund är framtagen för ett cement som inte finns tillgängligt längre (Slite Standard Portlandcement) medan övriga verktyg är framtagna för Cementa Byggcement (CEM II/A-LL 42,5 R). Därför går det inte direkt att jämföra prognoser gjorda med SBUF:s Lathund med prognoser gjorda med övriga undersökta verktyg. Det aktuella projektet har inte haft som syfte att förklara vad skillnader i resultaten beror på och därför har heller inte någon djupare analys av orsaken till observerade skillnader i erforderliga uttorkningstider från de olika bedömningsverktygen gjorts

Resultaten av utvärderingen visar att det finns skillnader i prognostiserade erforderliga uttorkningstider mellan de undersökta bedömningsverktygen, både för framtagna fiktiva beräkningsfall och för laboriefall där en jämförelse mot uppmätta uttorkningstider har gjorts. Detta är samma observation som gjordes i SBUF-projekt 12389 och därför är frågan ”**Vad skall man lita på?**” fortfarande relevant..

I följande kapitel ges mer specifika kommentarer rörande resultaten från de jämförelser som gjorts mellan de olika bedömningsverktygen för fiktiva beräkningsfall samt vid jämförelser med laboriemätningar.

Prognostiseringar av erforderliga uttorkningstider – fiktiva beräkningsfall

Vid jämförelser mellan de olika bedömningsverktygen för de framtagna fiktiva beräkningsfallen går relativt stora skillnader att observeras mellan de olika verktygen. Skillnaderna är dock mindre än de som observerades i SBUF-projekt 12389, eftersom ett högre RF_{krit} har använts ($RF_{krit}=90\%$ istället för $RF_{krit}=85\%$). Detta kan förklaras med kurvorna som beskriver erforderliga uttorkningstider är brantare vid högre RF_{krit} . Några generella trender går att observera:

- **TorkaS v. 3** ger i många fall mest optimistiska prognostiseringar av erforderliga uttorkningstider för betonger med låga vct ($vct < 0,40-0,45$).
- **TorkaS v. 2**, ger mer pessimistiska prognostiseringar av erforderliga uttorkningstider än övriga studerade bedömningsverktyg för betonger med lägre vct ($vct < 0,55-0,60$).
- **BI Dry (v. 1.3.7)** och **SBUF:s lathund** ger mest optimistiska prognostiseringar av erforderliga uttorkningstider än TorkaS v. 2 & 3 för betonger med höga vct ($vct > 0,40-0,45$).
- Trenden för hur uttorkningstiden varierar för olika vct är ungefär samma för TorkaS v.2, BI Dry (v. 1.3.7) och SBUF:s lathund medan den avviker för TorkaS v.3. För TorkaS v.3 ökar erforderliga uttorkningstider brant vid ökande vct .

En förklaring till de skillnader i erforderliga uttorkningstider som har observerats är hur temperaturens inverkan på uttorkningen verkar behandlas olika i de olika bedömningsverktygen. I BI Dry (v. 1.3.7) och TorkaS v. 2 ger ökande temperaturer kortare uttorkningstider, medan i TorkaS v. 3 är inte temperatureffekten lika tydlig. I TorkaS v. 3 blir uttorkningstiden kortare för

betonger med låga vct ($vct < 0,45$) vid minskande temperatur medan den blir kortare för betonger med höga vct ($vct > 0,45$) vid ökande temperatur.

Jämförelse med laboratoriemätningar

Avvikelse mellan prognostiserade och uppmätta erforderliga uttorkningstider har observerats vid jämförelser med uppmätta uttorkningstider i laboratorieklimat. Det bör dock noteras att detta är baserat på jämförelser med två separata undersökningar, vilket är för lite för att dra några mer omfattande slutsatser. För att kunna dra mer generella slutsatser krävs mer mätningar att jämföra med (vilket också föreslås i fortsatta undersökningar).

Resultaten visar att det är relativt stora skillnader mellan prognostiserade och uppmätta erforderliga uttorkningstider, speciellt när $RF_{krit} = 85\%$. Detta kan förklaras med kurvorna som beskriver erforderliga uttorkningstider är brantare vid högre RF_{krit} .

För de olika studerade bedömningsverktygen kan följande kommentarer ges:

- **TorkaS v.3.** Uttorkningstider prognostiserade med TorkaS v.3 överensstämmer ungefär med uppmätta uttorkningstider för fall med låga vct ($vct < 0,50$), medan de är längre än uppmätta uttorkningstider för fall med högre vct ($vct > 0,50$).
- **TorkaS v.2.** Uttorkningstider prognostiserade med TorkaS v.2 är längre än uppmätta uttorkningstider för fall med låga vct ($vct < 0,50$), medan de överensstämmer relativt väl med uppmätta uttorkningstider för fall med högre vct ($vct > 0,50$).
- **BI Dry (v. 1.3.7).** Uttorkningstider prognostiserade med BI Dry (v. 1.3.7) är kortare eller ungefär samma som uppmätta uttorkningstider för samtliga studerade fall.
- **SBUF:s lathund.** Uttorkningstider prognostiserade med SBUF:s lathund följer ingen speciell trend utan är både kortare och längre än uppmätta uttorkningstider. Detta är inte oväntat eftersom lathunden endast gör en enkel bedömning av erforderliga uttorkningstider.

Förslag på fortsatta undersökningar

Resultaten som presenteras i denna rapport visar att det finns osäkerheter kring resultaten från de studerade verktygen för bedömning av uttorkningstider hos betongkonstruktioner. En viktig faktor visade sig vara det kritiska fuktillståndet, RF_{krit} , eftersom lutningen hos kurvorna som beskriver uttorkningstider minskar med minskande RF_{krit} . Bedömningsverktygen är också utvecklade för vissa specifika cement (Cementa Byggcement samt Slite Standard Portlandcement) vilket betyder att om andra cement används stämmer inte prognostiserade uttorkningstider.

Följande föreslås för fortsatta undersökningar:

- **Framtagande av mer allmänna bedömningsverktyg.** Behov av ett mer allmänt bedömningsverktyg för prognostisering av uttorkningstider, där det finns större möjligheter för användaren att bestämma egna indata, t.ex. vad gäller egenskaper hos bindemedel. I både TorkaS v.2 och v.3 samt BI Dry v.1.3.7 går det endast att prognostisera uttorkningen för betonger tillverkade av Cementa Byggcement (CEM II/A-LL 42,5 R). I dagsläget används även andra cement än Byggcement till huskonstruktioner, t.ex. cement från

CEMEX, och i framtiden kommer ytterligare nya cement att introduceras på den svenska marknaden. Dessutom används även i vissa fall mineraliska tillsatsmaterial, t.ex. flygaska och slagg, som kan påverka hur betongens uttorkning blir. Således finns det också ett behov av att prognostisera uttorkning av betonger tillverkade med andra bindemedel än Cementa Byggcement samt med mineraliska tillsatsmaterial.

- **Ytterligare validering av bedömningsverktyg.** Stora skillnader i prognostiserade erforderliga uttorkningstider har observerats mellan de olika bedömningsverktygen. Detta projekt har inte haft som syfte att validera de olika bedömningsverktygen eller förklara vad skillnader i resultaten beror på. Därför finns det ett behov för validering av tillgängliga bedömningsverktyg. I denna studie har en validering gjorts mot mätningar av uttorkningstid i laboratorieklimat, men inte i fält. Det visade sig dock vara svårt att finna bra undersökningar av uttorkning gjorda på moderna betonger blandade med Cementa Byggcement (CEM II/A-LL 42,5 R). Därför föreslås att kompletterande studier görs både genom ytterligare laboratoriestudier, med kontrollerade torkklimat, hos betonger blandade med Cementa Byggcement. Dessutom föreslås att fältstudier genomförs, där torkklimatet kontrolleras genom loggning av fukt- och temperaturtillstånd under uttorkningstiden.
- **Ytterligare kvantifiering av kritiska fuktillstånd.** En faktor som är avgörande för bedömning av uttorkningstider är nivån på kritiska fuktillstånd, RF_{krit} . Om ett högre RF_{krit} kan tillämpas får detta stora konsekvenser för erforderliga uttorkningstider, eftersom kurvorna som beskriver erforderlig uttorkningstid är brantare vid höga RF_{krit} . Enligt BBR skall kritiska fuktillstånd vara ”väl undersökta och dokumenterade” och om så inte är fallet föreskrivs i BBR att 75 % RF skall används som kritiskt fuktillstånd. I Nilsson (2006) samt Nilsson (2007) finns aktuella sammanställningar av kritiska fuktillstånd men som det påpekas i Nilsson (2007) är dock många redovisade kritiska tillstånd inte alltid ”väl undersökta och dokumenterade”. Således finns det ett behov av att genomföra ytterligare kvantifieringar av kritiska fuktillstånd.

REFERENSER

- Arfvidsson, J. & G Hedenblad (2007), A new Model to Calculate the Drying of Concrete, I proceedings från *The 10th International Building performance Simulation Association Conference and Exhibition*, Tsinghua University, Beijing, China, Sep. 3-6, 2007
- Arfvidsson, J. (2010), E-post skickat 2010-10-22.
- Betonghandboken – Material (1994), redigerad av C. Ljungkrantz, G. Möller and N. Petersons, Svensk Byggtjänst, Stockholm, 1994.
- Betongindustri (2008), Datorprogrammet BI Dry –Handledning för framtagning av uttorkningsprognoser, Betongindustri, Stockholm, 2008.
- Boverket (2008), Regelsamling för byggande, BBR, Boverket, Karlskrona, 2008.
- Gränne, F. (2012), E-post skickat 2012-04-20.
- Hedenblad, G. (1998), Jämförelse mellan uppmätta uttorkningstider och uttorkningstider beräknade med ”TorkaS 1.0”, Rapport TVBM 7133, Lunds tekniska högskola, Byggnadsmateriallära, Lund, 1998.
- Johansson, N. (2003), Fältstudie av olika metoder att påskynda betongs uttorkning, Rapport TVBM-7172, Lunds tekniska högskola, Avdelningen för byggnadsmaterial, Lund 2003.
- Jonasson, J.-E., Carlsson, C.-A. & Mjörnell, K. (2005), Modell för beräkning av fuktighet i moderna betonger vid variabel temperatur, *Bygg & Teknik*, Nr 7, 2005. sid. 36-41.
- Jonasson, J.-E., Carlsson, C.-A. & Mjörnell, K. (2006), Beräkning av uttorkning för betong med Byggcement, *Bygg & Teknik*, Nr 7, 2006. sid. 56-59.
- Jonasson, J.-E., Mjörnell, K. & Carlsson, C.A. (2008), Modelling of simultaneous temperature and moisture transportation in modern concrete, i proceedings från *International RILEM Symposium on Concrete Modelling – CONMOD’08*, 26-28 maj 2008, Delft, 2008. sid. 665-672.
- Nilsson, L.-O. (1977), Fuktproblem vid betonggolvs, Rapport TVBM 3002, Lunds tekniska högskola, Byggnadsmateriallära, Lund. 1977.
- Nilsson, L.-O. (2006), Fuktpåverkan på material – Kritiska fuktnivåer, Fuktcentrums Informationsskrift, Fuktsäkerhet i byggnader, Forskningsrådet FORMAS, Stockholm, 2006.
- Nilsson, L.-O. (2007), Fukt – Byggvägledning 9. En handbok i anslutning till Boverkets byggregler, Svenska Byggtjänst, Stockholm, 2007.
- Norling-Mjörnell, K. (2003), Uttorkning av byggfukt i självkompakterande betong, Slutrapport från SBUF-projekt 10041, Göteborg, 2003.
- SBUF (1995), Betongtorkning – lathund, SBUF Informerar nr 95:14, Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, Stockholm, 1995.
- SBUF (1998), Bedömning av betongs uttorkningstid – programvara, SBUF Informerar nr 98:24, Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, Stockholm, 1998.
- SBUF (2002), Bedömning av betongs uttorkningstid – ny version av TorkaS, SBUF Informerar nr 02:25, Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, Stockholm, 2002.
- SBUF (2003a), Metoder att påskynda torkning av betong, SBUF Informerar nr 03:23, Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, Stockholm, 2003.
- SBUF (2003b), Insugning av fukt i betong med lågt vattenbindemedelstal, Slutrapport SBUF-projekt 11196, Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, Stockholm, 2003.

BILAGA A: JÄMFÖRELSE MED MÄTNINGAR GJORDA I LABORATORIEKLIMAT – LABORATORIEKONSTRUKTIONER

Jämförelser mellan prognostiseringar och mätningar av uttorkningstid gjorda i laboratorieklimat har gjorts med data från Norling-Mjörnell (2003) och SBUF (2003b). Uppmätta erforderliga uttorkningstider (och osäkerheter i dessa) har utvärderats från mätningar av RF på karakteristiskt djup vid olika tidpunkter. Ett exempel på hur detta har gjorts ges i *Figur 1*.

I Norling-Mjörnell (2003) har uttorkning studerats i 100 mm tjocka betongprovkroppar gjutna i plåtburkar (enkelsidig uttorkning). Två betongkvaliteter har studerats, $vct=0,38$ samt $vct=0,60$, med avseende på självuttorkning (plåtburken har förseglats) samt uttorkning i laboratorieklimat ($+20^{\circ}\text{C}$ samt 50 % RF). Fukttillståndet har bestämts i uppborrade hål med Humi-guard fuktgivare. Mätosäkerheten redovisas till ca 1,5 % RF på uppmätta medelvärden. Uttorkning uppmätt under 1 års tid.

I SBUF-projekt 11196, SBUF (2003b), har uttorkning studerats i 110 mm tjock betongprovkroppar gjutna i plastbackar (enkelsidig uttorkning). Två betongkvaliteter har studerats, $vct=0,38$ samt $vct=0,70$, där uttorkning sker i laboratorieklimat (ca $+18^{\circ}\text{C}$ samt 35 % RF). Fukttillståndet har bestämts ingjutna fuktgivare (Humi-guard fuktgivare). Mätosäkerheten redovisas till ca 2,2 % RF på uppmätta medelvärden. Uttorkning uppmätt under 120 dygns tid.

Resultat – Norling-Mjörnell (2003)

I tabellen nedan redovisas resultaten från prognostiseringar ($RF_{\text{krit}}=85\%$) – D=uttorkning i laboratorieklimat, S=självuttorkning. Mätosäkerheter inkluderade i uppmätta uttorkningstider.

	Uppmätt	TorkaS v.2	TorkaS v.3	BI Dry (v. 1.3.7)	Lathund
0,38 (D)	60 dygn ± 20 dygn	87 dygn	35 dygn	10 dygn	16 dygn
0,60 (D)	171 dygn ± 32 dygn	>1 år	>1 år	93 dygn	56 dygn
0,38 (S)	>1 år	-	111	-	-
0,60 (S)	>1 år	-	>1 år	-	-

- : Självuttorkning går ej att bedöma.

I tabellen nedan redovisas resultaten från prognostiseringar ($RF_{krit}=90\%$) – D=uttorkning i laboratorieklimat, S=självtorkning. Mätosäkerheter inkluderade i uppmätta uttorkningstider.

	Uppmätt	TorkaS v.2	TorkaS v.3	BI Dry (v. 1.3.7)	Lathund
0,38 (D)	14 dygn ±10 dygn	16 dygn	1 dygn	10 dygn	6 dygn
0,60 (D)	76 dygn ±26 dygn	62 dygn	14 dygn	27 dygn	27 dygn
0,38 (S)	38 dygn -27 dygn +137 dygn	-	11 dygn	-	-
0,60 (S)	>1 år	-	>1 år	-	-

- : Självtorkning går ej att bedöma.

Resultat – SBUF (2003b)

I tabellen nedan redovisas resultaten från prognostiseringar ($RF_{krit}=85\%$) – D=uttorkning i laboratorieklimat. Mätosäkerheter inkluderade i uppmätta uttorkningstider.

	Uppmätt	TorkaS v.2	TorkaS v.3	BI Dry (v. 1.3.7)	Lathund
0,38 (D)	66 dygn ±22 dygn	111 dygn	52 dygn	25 dygn	20
0,70 (D)	71 dygn -33 dygn +19 dygn	172	>1 år	>1 år	161 dygn

I tabellen nedan redovisas resultaten från prognostiseringar ($RF_{krit}=90\%$) – D=uttorkning i laboratorieklimat. Mätosäkerheter inkluderade i uppmätta uttorkningstider.

	Uppmätt	TorkaS v.2	TorkaS v.3	BI Dry (v. 1.3.7)	Lathund
0,38 (D)	30 dygn -4 dygn +8 dygn	21 dygn	5 dygn	16 dygn	8 dygn
0,70 (D)	>120 dygn ->18 dygn (102 dygn) -	66 dygn	219 dygn	229 dygn	85 dygn

BILAGA B: ERFORDERLIGA UTTORKNINGSTIDER – FIKTIVA KONSTRUKTIONER

Följande fall har behandlats, där erforderliga uttorkningstider skall prognostiseras:

- **Konstruktion A.** Uttorkning platta på mark. Platta på mark (300 mm betong) med underliggande cellplastisolering (150 mm tjock) på en makadambädd. Fall 1-3 (sommarfall) och fall 31-33 (vinterfall).
- **Konstruktion B.** Uttorkning plattbärlag. Plattbärlag (75 mm tjocklek) med pågjutning av betong (200 mm). Fall 4-6 (sommarfall) och fall 34-36 (vinterfall).
- **Konstruktion C.** Uttorkning platta på mark. Platta på mark (200 mm betong) med underliggande cellplastisolering (100 mm tjock) på en makadambädd. Fall 7-9 (vinterfall) och fall 13-15 (sommarfall).
- **Konstruktion D.** Uttorkning plattbärlag. Plattbärlag (75 mm tjocklek) med pågjutning av betong (100 mm). Fall 10-12 (vinterfall) och fall 16-18 (sommarfall).
- **Konstruktion E.** Uttorkning av mellanbjälklag med kvarsittande stålform. Platta (120 mm betong) på kvarsittande stålform. Fall 19-21 (vinterfall) och fall 22-24 (sommarfall).
- **Konstruktion F.** Uttorkning mellanbjälklag utan kvarsittande form³. Platta (200 mm betong) med dubbelsidig uttorkning. Fall 25-27 (vinterfall) och fall 28-30 (sommarfall).

I avsnitten nedan presenteras resultat från TorkaS v.2 och v. 3, BI Dry (v. 1.3.7) samt SBUF:s lathund.

Resultat – Torkas v. 2

I tabellen nedan redovisas resultaten från prognostiseringar med TorkaS v. 2. Resultat redovisas endast för betonger upp till $vct=0,70$ samt för uttorkningstider upp till 365 dagar.

Konst.	Årstid	Fall	vct [-]							
			0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70
A	Sommar	1-3	20	78	137	183	217	242	277	293
A	Vinter	31-33	112	167	209	233	252	264	278	290
B	Sommar	4-6	21	66	96	121	147	168	184	195
B	Vinter	34-36	90	119	149	170	186	196	209	215
C	Sommar	13-15	20	70	102	126	155	174	186	203
C	Vinter	7-9	90	127	150	167	180	193	200	208
D	Sommar	16-18	20	47	63	73	88	97	106	114
D	Vinter	10-12	66	82	95	109	114	117	124	127
E	Sommar	22-24	19	50	68	86	101	117	126	136
E	Vinter	19-21	73	90	109	119	131	140	147	157
F	Sommar	28-30	19	46	60	73	83	95	102	111
F	Vinter	25-27	66	80	91	101	110	119	124	129

³ Detta fall går inte att behandla i BI Dry (v. 1.3.7). Istället har ett mellanbjälklag (100 mm betong) med kvarsittande form behandlats.

Resultat – Torkas v. 3

I tabellen nedan redovisas resultaten från prognostiseringar med TorkaS v. 3. Resultat redovisas endast för betonger upp till $vct=0,70$ samt för uttorkningstider upp till 365 dagar.

Konst.	Årstid	Fall	vct [-]							
			0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70
A	Sommar	1	4	19	69	149	328	>1 år	>1 år	>1 år
A	Sommar	2	1	7	41	117	280	>1 år	>1 år	>1 år
A	Sommar	3	1	6	34	109	263	>1 år	>1 år	>1 år
A	Vinter	31	2	11	47	140	>1 år	>1 år	>1 år	>1 år
A	Vinter	32	1	3	23	106	306	>1 år	>1 år	>1 år
A	Vinter	33	1	3	20	98	291	>1 år	>1 år	>1 år
B	Sommar	4	1	8	33	69	110	182	260	310
B	Sommar	5	1	5	26	64	105	177	262	311
B	Sommar	6	1	4	24	63	104	176	262	311
B	Vinter	34	1	4	25	79	128	226	329	>1 år
B	Vinter	35	1	2	20	72	122	219	330	>1 år
B	Vinter	36	1	2	19	71	121	218	330	>1 år
C	Sommar	13	3	14	52	112	210	299	>1 år	>1 år
C	Sommar	14	1	7	34	93	182	288	>1 år	>1 år
C	Sommar	15	1	5	30	89	175	285	>1 år	>1 år
C	Vinter	7		7	33	98	172	296	>1 år	>1 år
C	Vinter	8	1	3	20	86	158	290	>1 år	>1 år
C	Vinter	9	1	2	19	81	151	287	>1 år	>1 år
D	Sommar	16	1	5	16	37	66	87	119	147
D	Sommar	17	1	4	15	35	64	86	119	147
D	Sommar	18	1	4	14	35	64	86	119	147
D	Vinter	10	1	2	20	53	76	89	123	146
D	Vinter	11	1	2	17	51	7	89	123	146
D	Vinter	12	1	2	18	52	75	89	123	146
E	Sommar	22	1	6	29	67	111	190	267	309
E	Sommar	23	1	4	24	62	108	187	268	309
E	Sommar	24	1	4	23	62	107	186	268	309
E	Vinter	19	1	3	22	75	120	204	290	326
E	Vinter	20	1	2	19	70	116	200	290	326
E	Vinter	21	1	2	19	70	116	200	290	326
F	Sommar	28	1	7	25	53	86	122	177	208
F	Sommar	29	1	5	20	49	83	119	179	208
F	Sommar	30	1	4	19	48	82	119	179	209
F	Vinter	27	1	2	18	59	92	138	202	231
F	Vinter	25	1	4	23	64	96	141	201	230
F	Vinter	26	1	2	19	60	93	138	202	231

Resultat – BI Dry (v. 1.3.7)

I tabellen nedan redovisas resultaten från prognostiseringar med BI Dry (v. 1.3.7). Resultat redovisas endast för betonger upp till $vct=0,66$ (Tork BI 1-5 samt C25/30) samt för uttorkningstider upp till 365 dagar.

Konst.	Årstid	Fall	vct [-]					
			0,34	0,38	0,43	0,47	0,53	0,66
A	Sommar	1-3	<28	<28	<28	<28	182	>1 år
A	Vinter	31-33	<28	<28	<28	56	255	>1 år
B	Sommar	4-6	<28	<28	<28	<28	78	136
B	Vinter	34-36	<28	<28	<28	55	112	173
C	Sommar	13-15	<28	<28	<28	34	142	255
C	Vinter	7-9	<28	<28	<28	63	183	292
D	Sommar	16-18	<28	<28	<28	<28	34	54
D	Vinter	10-12	<28	<28	<28	44	59	73
E	Sommar	22-24	<28	<28	<28	30	78	136
E	Vinter	19-21	<28	<28	<28	54	105	164
F	Sommar	28-30	<28	<28	<28	<28	62	100
F	Vinter	25-27	<28	<28	<28	51	88	127

Resultat – SBUF:s lathund

I tabellen nedan redovisas resultaten från prognostiseringar med SBUF:s lathund. Resultat redovisas endast för betonger upp till $vct=0,55$ samt för uttorkningstider upp till 365 dagar.

Konst.	Årstid	Fall	vct [-]			
			0,40	0,50	0,60	0,70
A	Sommar	1-3	52	145	254	>1 år
A	Vinter	31-3	52	145	254	>1 år
B	Sommar	4-6	33	79	129	239
B	Vinter	34-36	33	79	129	239
C	Sommar	13-15	44	114	186	>1 år
C	Vinter	7-9	44	114	186	>1 år
D	Sommar	16-18	12	29	47	80
D	Vinter	10-12	12	29	47	80
E	Sommar	22-24	24	62	101	182
E	Vinter	19-21	24	62	101	182
F	Sommar	28-30	22	50	72	105
F	Vinter	25-27	22	50	72	105