

Avancerade metoder för planering och uppföljning av betongkonstruktioner

Slutrapportering av SBUF-projekt nr 11015 med rubricerad titel.

Sammanfattning

Aktuellt forskningsprojekt avser en studie med teoretisk inriktning att analysera tvånget i betongkonstruktioner och utifrån komplicerade samband eller tredimensionella datorberäkningar utveckla förenklade metoder som är både snabba och tillförlitliga. Tvånget, eller annorlunda uttryckt graden av mothåll till rörelser orsakade av temperatur- eller fuktändringar, är en viktig del av sprickrisikanalysen för ung betong. Sådana analyser måste enligt dagens svenska normsystem göras för alla anläggningskonstruktioner med avsikt att förhindra eller begränsa antalet sprickor i konstruktionen. Även inom industribyggandet börjar sprickrisikanalysen för ung betong bli mer förekommande.

Arbetet har resulterat i en doktorsavhandling, där det framgår att den s k semi-analytiska metoden (SAM) är en framkomlig väg att beskriva tvånget för den viktiga konstruktionsgruppen vägg-på-platta. Metoden baseras på att tvångsanalysen delas upp i fyra delar, nämligen effekt av: 1) höga väggar, 2) glidning i gjutfogen, 3) konstruktionens (vägg + platta) längsrörelse samt 4) av konstruktionens böjning. SAM bygger på att delarna 3 och 4 görs analytiskt enligt redovisade formler och att delarna 1 och 2 måste bestämmas separat i förväg för den aktuella konstruktionen. Resultatet blir att man får information om tvångsfördelningen från gjutfogen i botten till toppen av väggen. För grundfallet fri längsrörelse och fri böjning har de resulterande sambanden inkluderats som en nödvändig del i Excel-arket CraX1. Detta Excel-ark är ett av huvudresultaten i SBUF-projekt nr 06087.

I avhandlingen redovisas också en metod att bestämma storleken av motståndet för konstruktionens böjning baserat på analys av rörelser för en konstruktion grundlagd på elastiskt underlag. För relativt långa konstruktioner krävs denna typ information i mer avancerade datorberäkningar.

Inledning

Bestämning av graden av tvång är en mycket viktig del i varje sprickrisikanalys. Nedan presenteras en relativt enkel modell för bestämning av tvånget i unga betongelement gjutna på äldre och existerande element, och då speciellt för konstruktionsgruppen nygjuten vägg på tidigare gjuten platta. Fallet vägg-på-platta kan appliceras på många gjutsituationer, till exempel plattrambroar, tunnlar, stödmurar och liknande konstruktioner.

Modellen för beskrivning av tvånget i väggen startar med en analys av situationen då motgjutna konstruktionen (plattan) formellt inte har några rörelser, vilket kan beskrivas med 1) effekt av höga väggar (resilienser) samt 2) effekter av mjuknande/glidning i eller omkring gjutfogar. Därefter görs analys med s k utjämnande planteori (eng. "Compensation plane theory") dels för 3) konstruktionens längsrörelse, dels för 4) konstruktionens böjning. Den totala analysen benämns *den semi-analytiska modellen (SAM)*, och de analytiska delarna (pkt 3 och 4) sker med ett betraktelsesätt ursprungligen utvecklat för analys av spännbetongbalkar.

SAM finns utvecklad både i en förenklad modell utifrån effekter av höga balkar gjorda med tvådimensionella beräkningar för plana väggar helt låsta i väggens botten och i en mer avancerad modell med utgångspunkt från tredimensionella elastiska finita elementmetodberäkningar för hela konstruktionen vägg-på-platta. I det första fallet krävs totalt storleksordningen femton (15) 2D-beräkningar för en fullständig bild av geometriska

variationer för höga balkar. I det senare fallet är antalet fall ”oändligt” stort, och det tillkommer parametrar som plattans geometri respektive väggens relativa läge på plattan. För den avancerade modellen har i avhandlingen exakt 2920 3D-beräkningar använts för utvärdering av erforderliga samband.

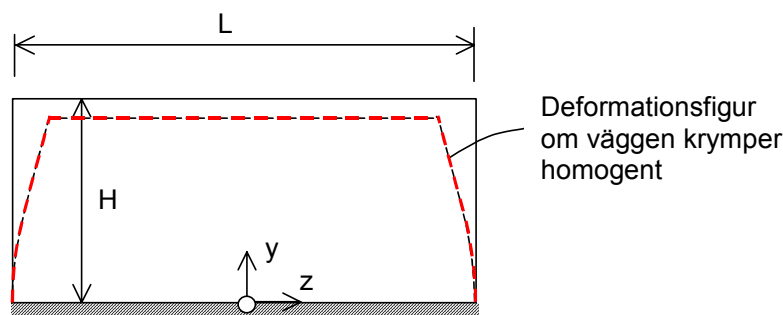
Den studerade konstruktionen vägg-på-platta förutsätts vara grundlagd på packad fyllning, vilket i praktiken innebär att hela konstruktionen kan betraktas vara fri att röra sig i längsled (fri längsrörelse). Däremot kan det för aktuella konstruktioner förekomma att samverkan mellan konstruktion och underlag för långa och/eller slanka konstruktioner på relativt styva underlag leder till ett signifikant motstånd mot konstruktionens böjning. Ett användarvänligt sätt att bestämma detta randtvång kan beskrivas med en koefficient för rotationstvång. Denna typ information kan behövas i mer avancerade datorberäkningar.

Den semi-analytiska metoden (SAM)

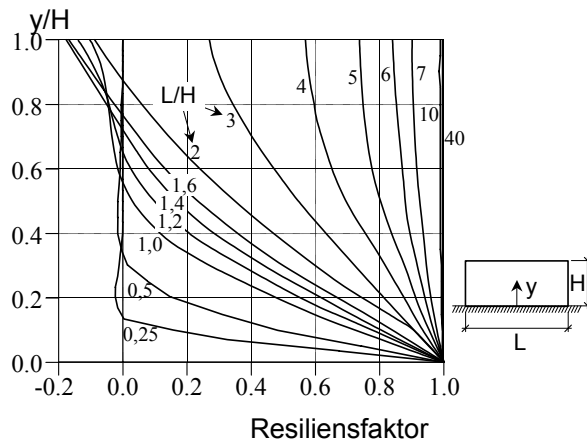
Det tvång som påverkar en nygjuten betongkonstruktion kan beskrivas som hindrandet av den unga betongens fria rörelser under hydrationsfasen. Om betongen är helt fri att röra sig upp kommer inga tvångsspänningar. Om istället en nygjuten betong är förhindrad att röra sig av angränsande konstruktion eller styva grundläggningmaterial uppstår ett tvång. Graden av tvång kan bestämmas på olika sätt, exempelvis genom att jämföra uppmätta töjningar i verkliga konstruktioner med töjningarna vid fri deformation eller utifrån bedömning av spänningar jämföra med spänningen vid total fastlåsning. Tvånget kan även bestämmas med mer eller mindre sofistikerade finita element-beräkningar eller teoretiska modeller. Den senare metodiken är använd i detta projekt med avsikt att få snabba och tillförlitliga metoder för bestämning av graden av tvång för konstruktionsgruppen vägg-på-platta.

Steg 1

Den sk kallade semi-analytiska metoden (SAM) att studera tvånget har som första steg i sin enklaste variant att enbart studera väggens deformation under förutsättning att den anslutande konstruktionen (plattan) inte deformeras. Fenomenet höga väggar, dvs att väggen deformeras mer eller mindre fritt ju längre från gjutfogen ($y=0$) man kommer illustreras i figur 1. Under förutsättning att väggen är plan kan man med tvådimensionella beräkningar visa hur spänningen varierar över vägghöjden, dvs som funktion av y/H , se figur 2. De på detta sätt etablerade kurvorna benämns basresilienser (eng. ”Resilience”).



Figur 1 Illustration av fenomenet deformation i höga väggar. Steg 1 i den förenklade semi-analytiska modellen för bestämning av tvång i vägg-på-platta.



Figur 2

Illustration av effekten av höga balkar i form av resiliensfaktor som funktion av vägghöjd för olika längd-höjdförhållanden (L/H). Dessa kurvor benämns basresilienser.

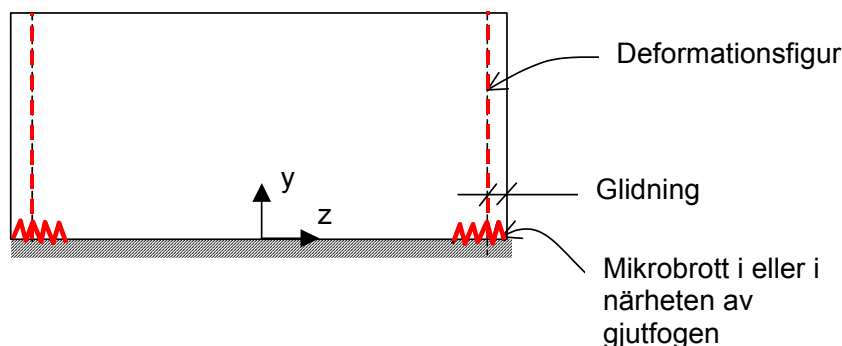
Resiliensfaktorn = 1 i figur 2 innebär att den punkten i väggen inte deformeras alls, medan resiliensfaktorn = 0 innebär att aktuell punkt deformeras utan motstånd. I avhandlingen redovisas analytiska uttryck för sambanden visade i figur 2.

Den mer avancerade modellen resulterar i motsvarande information som i 2, men den baseras nu på 3D-beräkningar, där den *sammansatta* konstruktionen vägg på platta analyserats. Antalet geometriska parametrar blir betydligt fler, och totalt har 2920 3D-beräkningar genomförts. Utvärderingen av beräkningarna blir betydligt mer komplicerad, och den intresserade läsaren hänvisas till avhandlingen för mer detaljerad information.

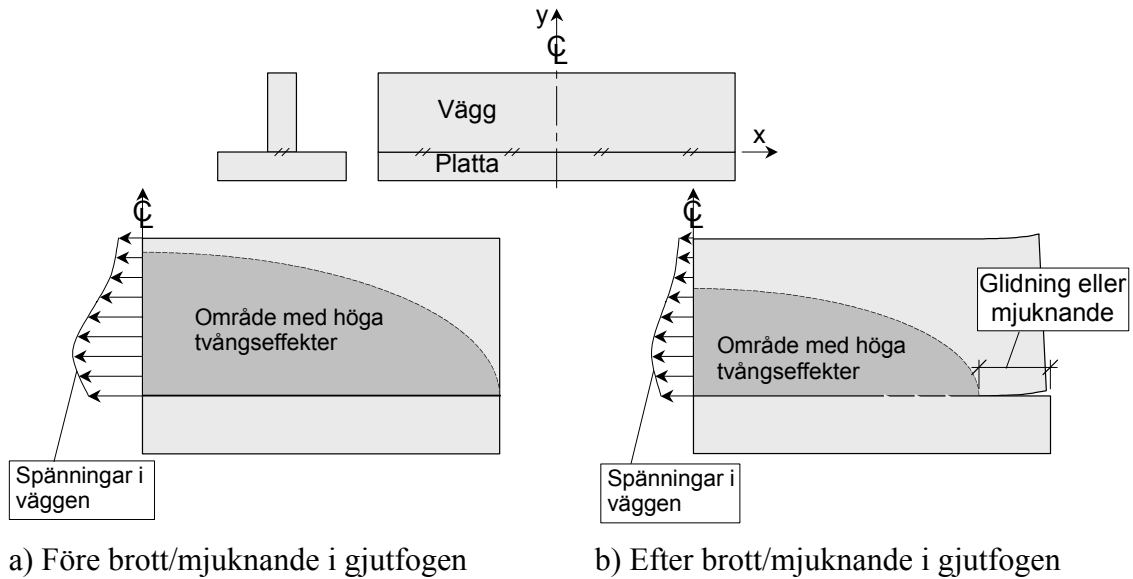
Steg 2

Andra steget i den semi-analytiska metoden att beskriva tvång är att beakta att det finns ett fenomen som benämns mjuknande/glidning i eller omkring gjutfogar. Fenomenets existens har visats i försök, och illustreras förenklat i figur 3. Effekterna på spänningarna i väggen av ett mikrobrott i eller i närheten av gjutfogen framgår av figur 4. Av delfigur b i jämförelse med delfigur a framgår att glidning/mjuknande både reducerar området med höga tvångseffekter samtidigt som spänningarna i väggen minskar.

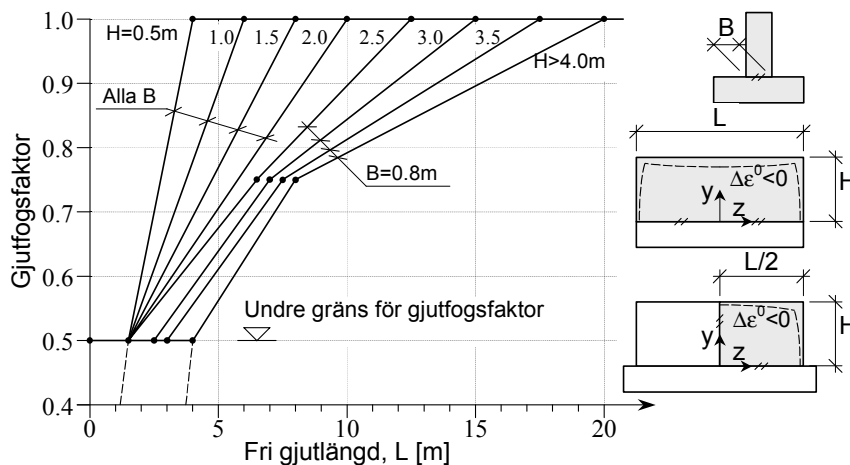
Numeriska bedömningar av effekten av glidning/mjuknande i eller i närheten av gjutfogar har etablerats som bygger på erfarenhet från verkliga gjutningar och logiskt övervägande, och resultatet presenteras i figur 5. En gjutfogsfaktor < 1 innebär att tvånget för den nygjutna väggen minskar vilket reducerar risken för genomgående sprickor.



Figur 3. Illustration av fenomenet glidning/mjuknande i eller i närheten av gjutfogar. Steg 2 i den semi-analytiska metoden för bestämning av tvång i vägg-på-platta.



Figur 4. Principiell beskrivning av spänningsfördelningen i en vägg på platta a) före respektive b) efter ett eventuellt mikrobrott i gjutfogen.

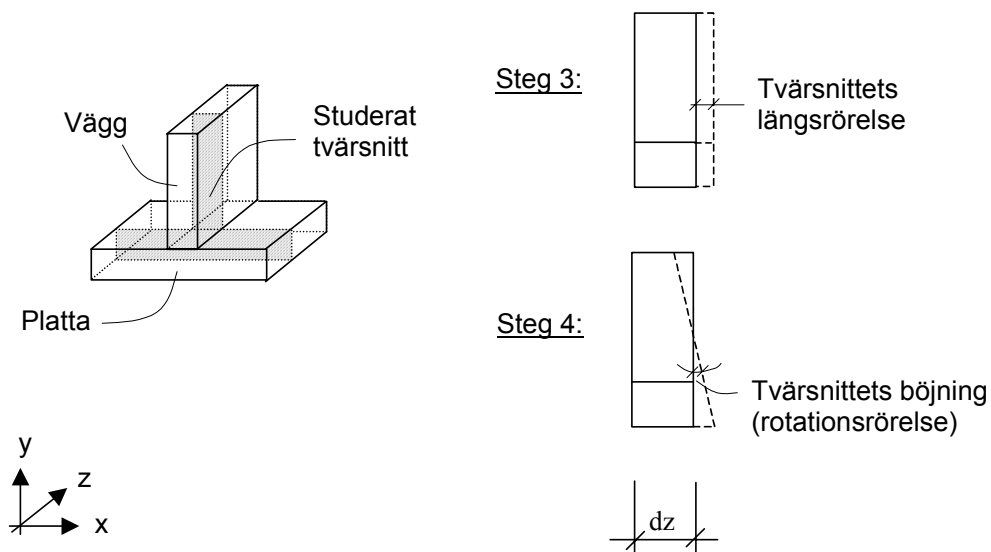


Figur 5 Faktor för effekter av gjutfogsglidning eller mjuknande i närheten av gjutfogen.

Genom införandet av gjutfogsfaktor enligt figur 5 kan man till exempel i beräkningar ta hänsyn till att mycket korta konstruktioner såsom pelare eller mindre stödmurar gjutna på fundament varken får för ögat synliga sprickor i gjutfogen eller att sprickor uppkommer i den nygjutna betongen. Dessa resultat är bekräftade från mångårig erfarenhet inom anläggningsbyggandet.

Steg 3 och 4

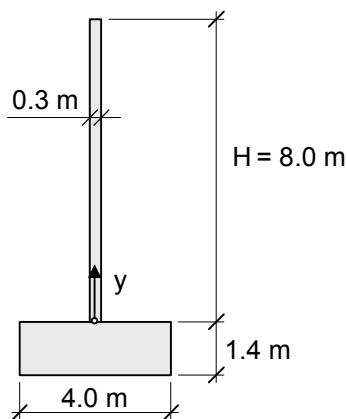
Det tredje och fjärde steget i den semi-analytiska modellen innebär att analytiska beräkningar genomförs för den sammansatta konstruktionen vägg-på-platta för det mest ansträngda tvärsnittet, vilket för en fristående monolit utgörs av mittsnittet i konstruktionens längsled (z-led), se figur 6. Denna del av analysen genomförs formellt för fallet att plana tvärsnittsytor förblir plana under deformationen, och i avhandlingen redovisade samband har utvecklats i enlighet med ett betraktelsesätt ursprungligen framtaget för analys av spännbetongbalkar.



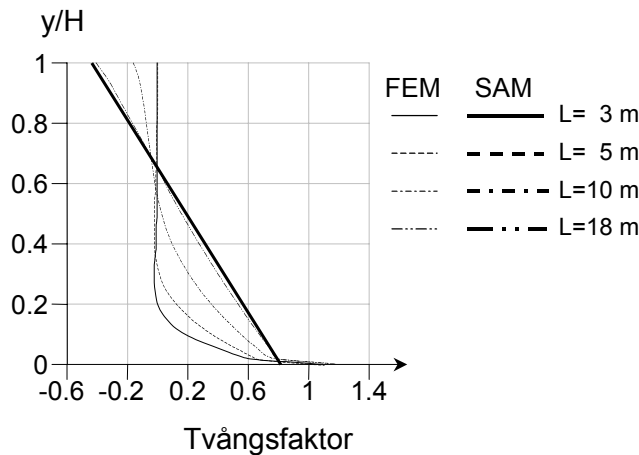
Figur 6. Illustration av steg 3 och steg 4 i den semi-analytiska metoden för bestämning av tvång i vägg-på-platta.

Exempel på tillämpning av SAM

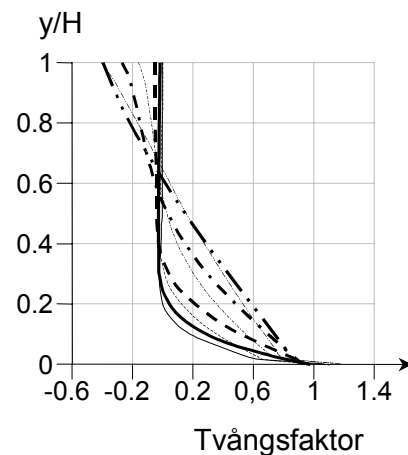
För att med SAM bestämma tvångsfördelning i väggen, från gjutfogen och uppåt, kan man välja att inkludera steg 1 och/eller steg 2, medan steg 3 och steg 4 alltid måste genomföras. Vidare kan man välja att för steg 1 använda basresilienser enligt figur 2 eller använda den mer avancerade modellen. För konstruktionen visad i figur 7 har olika alternativ att bestämma tvånget i väggen genomförts, och resultaten visas i figur 8. Att steg 2 inte ingår i något av alternativen beror på att jämförelsen sker mot elastiska FEM-beräkningar och inte mot mätningar i verklig konstruktion. Vid tillämpning av SAM för analys av sprickriser för verkliga konstruktioner är det däremot viktigt att inkludera steg 2 i beräkningen.



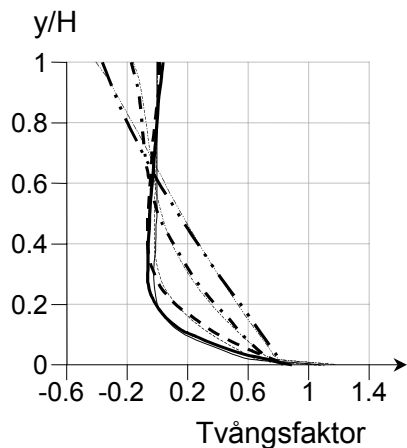
Figur 7
Tvärsnitt för studerad konstruktion vägg-på-platta för analys av tvångsfördelning i väggen.



a) Enbart steg 3 och 4



b) Steg 1, 3 och 4 m med basresilienser enligt figur 2



c) Steg 1, 3 och 4 m med resilienser enligt avancerad modell

Figur 8
Tvångsfaktorer bestämda med varianter av SAM jämfört med beräkningar enligt metoden med finita element (FEM). Konstruktionens tvärsnitt enligt figur 6, och randvillkoren är fri längsrörelse och fri böjning.

Av delfigur a i figur 8 framgår att effekt av höga balkar (steg 1) måste ingå i analys av tvånget i en vägg för konstruktioner med L/H mindre än ca 2.25 ($=18/8$).

En jämförelse mellan delfigurerna b och c i figur 8 visar att resilienser enligt den avancerade modellen ger bäst överensstämmelse mellan SAM- och FEM-resultaten, vilket här är en kontroll på att utvärderingen av 3D-beräkningarna är tillfredsställande genomförd. Dock framgår av delfigur b att överensstämmelsen vid användning av basresilienser enligt figur 2 är tillräckligt bra för att ge nöjaktiga resultat vid tillämpning i praktiken. Dessutom är den snabb att använda och enkel att programmera, varför denna variant av SAM har inkluderats som en nödvändig del i Excel-arket CraX1. Detta Excel-ark är ett av huvudresultaten i SBUF-projekt nr 06087.

Konstruktionens rotationstvång

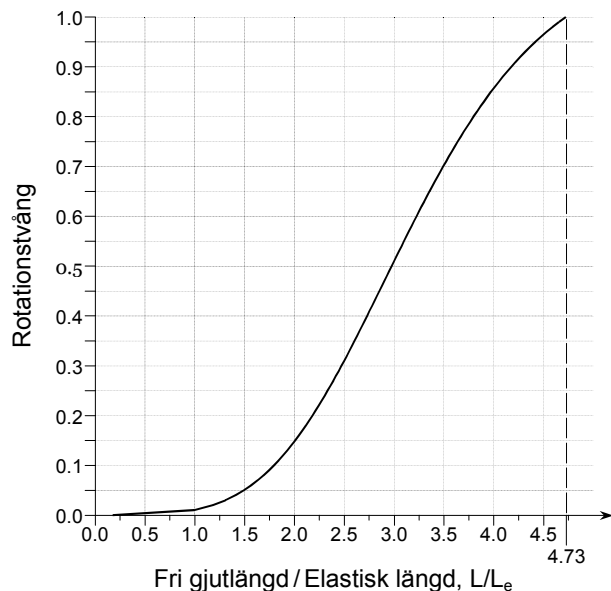
För konstruktionen vägg-på-platta i kontakt med marken presenteras i avhandlingen ett samband mellan rotationstvång och kvoten längd/elastic längd, se figur 9. Beteckningen längd avser här gjutetappens fria längd (L), och elastic längd (L_e) beräknas med hänsyn till tvärsnittets storlek och markens deformerbarhet. Vid stora tvärsnitt ökar den elastiska längden och den minskar med ökad styvhet i marken. För att kvoten L/L_e ska bli hög krävs att

konstruktionen har lång gjutlängd och/eller att marken är styv samtidigt som konstruktionens tvärsnitt är relativt litet. Tekniskt innebär det senare att konstruktionens böjstyvhet ska vara relativt liten.

För de allra flesta anläggningskonstruktioner grundlagda på packad fyllning hamnar man i situationen att L/L_e är mindre än 1.5, vilket enligt figur 9 resulterar i att rotationstvånget är mindre än 0.05 (< 5 % tvång). Detta innebär för tillämpningen att rotationstvånget kan försummas, dvs normalfallet beskrivs med fri böjning (= fri rotation). För att få en viss uppfattning om vilka konstruktioner som kan ge högre rotationstvång har en analys genomförts för en typkonstruktion (vägg 3·1 m på platta 5·1.5 m), där följande konstruktionslängder ger rotationstvång större än 0.05 beroende på markens beskaffenhet:

Sandig siltig lera:	$L > 45$ m
Medelfast sand:	$L > 30$ m
Fast sand / fast grus:	$L > 24$ m

Dessa gjutlängder är större än vad som är vanligen förekommande, men de framtagna sambandet enligt figur 9 kan behövas i speciella tillämpningar.



Figur 9
Samband mellan
rotationstvång och L/L_e .

Projektets huvudrapporter

Aktuellt forskningsprojekt har resulterat i två huvudrapporter, en doktorsavhandling och en teknisk rapport med detaljerad information om data som är använda i avhandlingen. De beskrivs med följande referenser:

Nilsson M (2003a): *Restraint Factors and Partial Coefficients for Crack Risk Analyses of Early Age Concrete Structures*. Division of Structural Engineering, Luleå University of Technology. Doctoral Thesis 2003:19, pp 170.

Nilsson M (2003b): *Restraint Factors and Partial Coefficients for Crack Risk Analyses of Early Age Concrete Structures - Diagrams and Tables*. Division of Structural Engineering, Luleå University of Technology. Technical Report 2003:11, pp-199.