

Sammanfattande beskrivning

av projektet

Förstärkning av konstruktioner med extern förspänning

Projektet

Föreliggande projekt har genomförts vid Luleå tekniska universitet (Ltu). Projektet påbörjades redan år 2000 då vi började intressera oss för att förspänna kompositer. I detta skede förspände samt limmade vi kolfibern mot eller i betongen. Resultaten var mycket lovande och vi beslöt därför att vidareutveckla tekniken, nu med utanpåliggande kablar och mekanisk förankring.

Projektet kantades från början av problem, som delvis var att hänföra till underskattning av svårighetsgraden i det vi önskade åstadkomma. Därtill slutade projektansvarig doktorand. En ny doktorand rekryteras och projektet kunde återupptas. Vid starten av projektet fanns det i världen ingen känd mekanisk förankring som kunde uppfylla tekniskt ställda krav. Vi har nu i detta projekt lyckats med detta och utvecklat en prototyp som är mycket lovande. Förutom att förankringen uppfyller de krav man ställer så har flera innovativa tekniklösningar utvecklats. Nedan ges en kort sammanfattning av projektet.

Bakgrund

Genom förspänningen kan man öka såväl stålets flytlast som betongens uppsprickning på ett effektivt sätt. Redan i konstruktionsfasen kan man applicera en normalkraft i de områden som senare ska dragbelastas och man kan således tillse att en större belastning av strukturen kan ske innan den blir dragen. Det innebär inte nödvändigtvis att konstruktionen tål en högre maximal belastning men sprickbildningen i betongen kommer att minska och likaså deformationerna. Förspänning är nödvändigt när konstruktionsdetaljer ska göras slanka och långa, typiska exempel är golvbjälklag i betong eller broar med långa spann. Nackdelen med den här typen av konstruktion är svårigheten att kontrollera tillståndet på de så kallade spännlinor av höghållfast stål som vanligtvis används vid påförning av den tryckande lasten.

Förspänning kan också användas vid förstärkning av befintliga konstruktioner. Här placerar man då spännlinor externt på den konstruktionsdetalj som behöver förstärkas. Linorna förankras i respektive ände och spänns sedan upp för att på så sätt ge ett tryckande bidrag till konstruktionen. Metoden kan med gott resultat användas på Sveriges åldrande infrastruktur, med äldre betongbroar som huvudsakligt fokus. Försök har i tidigare SBUF finansierade forskningsprojekt visat att den här typen av förstärkning kan ge en mycket god effekt.

Naturligtvis finns de också nackdelar med förstärkningsmetoden i fråga, framförallt gäller det känsligheten mot korrosion. Stålkablar som används måste skyddas väl mot den miljö som råder i och utanför betongen. Extra känslig blir korrosionsfrågan eftersom stålet ständigt befinner sig i ett spänt tillstånd. En lösning kan i det fallet vara att använda sig av det nya materialet kolfiberkomposit som har visat sig ha mycket fördelaktiga egenskaper med avseende på förspänning.

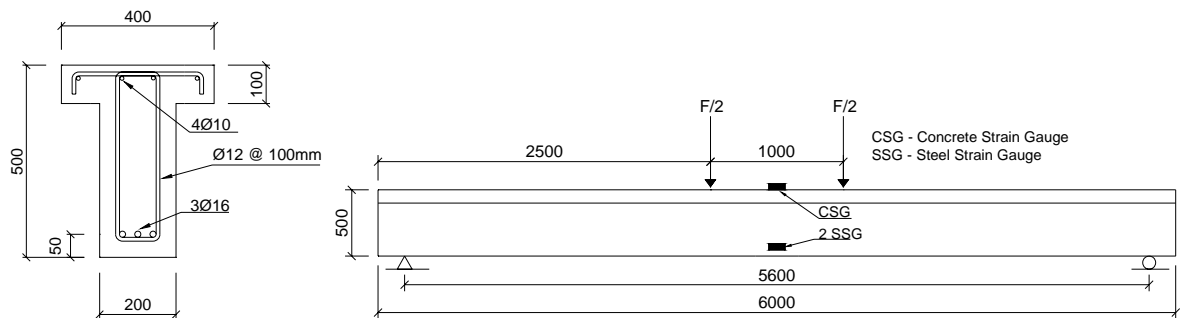
Syfte

Under projektets gång har syftet med forskningen som bedrivits blivit reviderad. Från början var avsikten att prova betongbalkar som skulle förstärkas med olika utanpåliggande konfigurationer av förspänning. Utvecklingen av förankring ingick även i detta. Utifrån de

resultaten skulle sedan ett fungerande förstärkningssystem baserat på fiberkompositstag utvecklas för användning i fält. Då de första balkarna skulle spännas upp uppstod dock stora problem med förankringen av de cirkulära fiberkompositstagen och trots att det fungerade till en viss del kunde de ej anses tillförlitliga. Fokus riktades därför mot att finna en fungerande förankring. Huvudsyftet med det arbete som utförts har alltså varit att utveckla en förankring som på ett tillförlitligt sätt kan förankra kolfiberstag och samtidigt också är praktiskt hanterbart.

Genomförande

I en första etapp genomfördes försök på referensbalkar förstärkta med ställinor både invändigt och utvändigt. Balkarna är 6 meter långa och består av ett så kallat T-tvärsnitt. Dimensionerna för tvärsnittet kan ses i nedanstående figur tillsammans med en schematisk bild av försöksuppställningen.



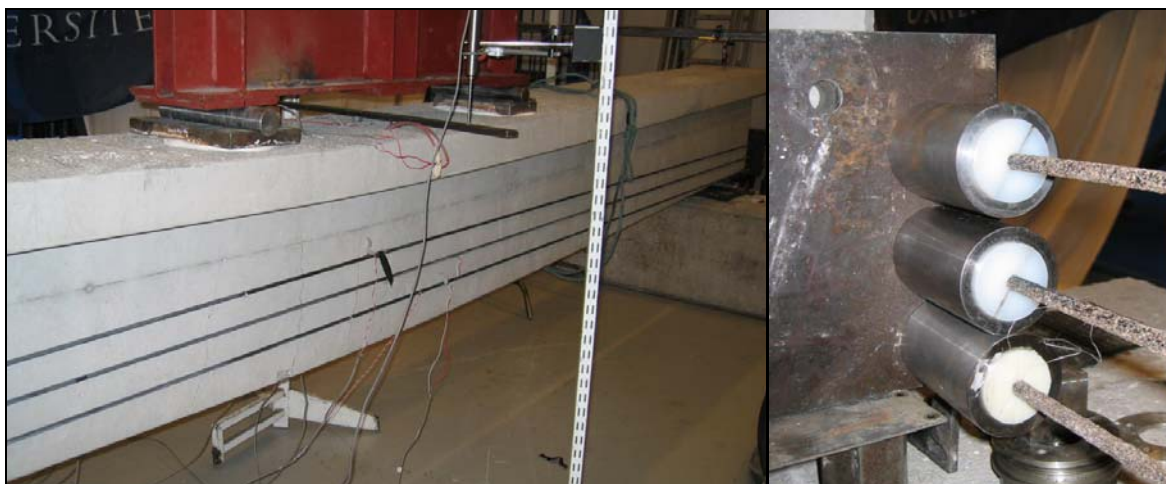
Figur 1 Genomsnitt av det T-tvårsnitt som används för försök på balkar samt en schematisk bild av försöksuppställningen.

I de här försöken användes flertalet olika konfigurationer av spännlinornas placering. En av de mer typiska är den som visas i bilden nedan där förankringen i ändarna placeras högt medan ett lågt monterat styrspar ser till att ställinan befinner sig i underkant av balkmitten under hela försöket.



Figur 2 Typisk spännlinekonfiguration under referensbalksförsök

Genom denna konfiguration behåller kraften som linan ansätter i betongen sin hävarm, excentricitet, i relation till axeln kring vilken balken böjer sig i varje tvärsnitt. Speciellt i balkar över flera spann där drag uppstår i underkant av balken i spannen och i överkant av balken över stöden fungerar den här typen av lindragning mycket bra. Vid första försöket med kolfiberstag såg konfigurationen något annorlunda ut, inget styrspar användes och för att uppnå samma kapacitet med de tunnare stagen/linorna användes 3 stag på varje sida. För förankring användes killås med en hylsa av stål och nylonkilar. Förankringen var ganska stor men trots den stora friktionsytan som låset bildar mot kolfiberstaven gled stagen och full utveckling av kolfiberkompositens kapacitet var inte möjlig att uppnå.



Figur 3 Försöksupplättning och närbild av förankringen vid första försöket med kolfiberkompositstag

Resultatet av försöken var således nedslående och det beslutades att ett funktionellt och tillförlitligt låssystem var nödvändigt för att kolfiberkablar ska kunna användas i samband med extern förstärkning.

I ett första skede genomfördes en fördjupad litteraturstudie och en sammanställning av vad som gjorts inom ämnet samt vilka problem som uppstår när en övergång från förankring av ställinor till förankring av fiberkompositstavar ska ske. Bland annat uppmärksammades fiberkompositens olika mekaniska egenskaper i olika riktningar. När ett ordinärt killås överför spänknkrafterna från en ställina sker det till stor del genom att greppa stålet med hjälp av invändiga gängor på kilen. Det är möjligt tack vare stålets seghet samt plastiska egenskaper som på ett mycket effektivt sätt omfördelar uppkomna stresskoncentrationer och istället deformerar materialet. Den processen är inte möjlig när det kommer till kolfibrer som generellt är mycket spröda och inte har någon flytzone där spänningen kan hållas konstant trots höga deformationer. Till viss del kan sprödheten motverkas med hjälp av den matris som fibrerna bakas in i då man tillverkar en komposit. Det hjälper dock inte vid förankringen där gängade kilar snabbt böjer individuella fibrer i kompositen och skapar stresskoncentrationer som gör att de brister och orsakar alltför tidiga brott. Å andra sidan krävs en bra mothållande kraft för att förhindra att kompositen glider ut ur förankringen vilket var fallet i det första balkförsöket. Nedan visas hur ett typiskt brott föranlett av en gängad kilyta sker och hur det ser ut efteråt.

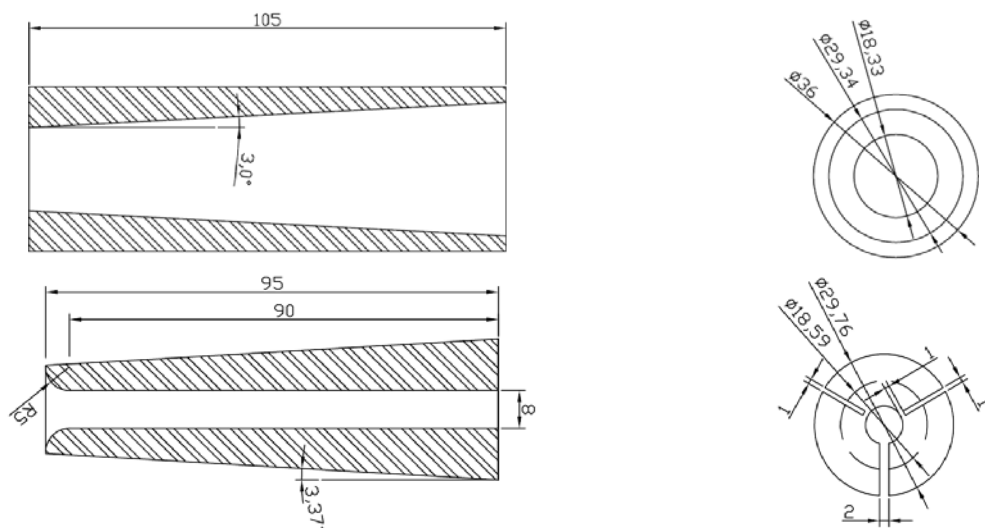


Figur 4 Principen bakom och utseendet orsakat av tidigt brott på grund av gängade kilar

Efter insikten om de här problemen vidtog en forskningsprocess där analytiska modeller och numeriska, så kallade, finita element modeller användes för att utveckla ett fungerande killås där kraften från staget överförs via ren friktion. Slutligen genomfördes försök på sammanlagt fem olika utföranden av killåset innan ett tillfredsställande resultat uppnåddes.

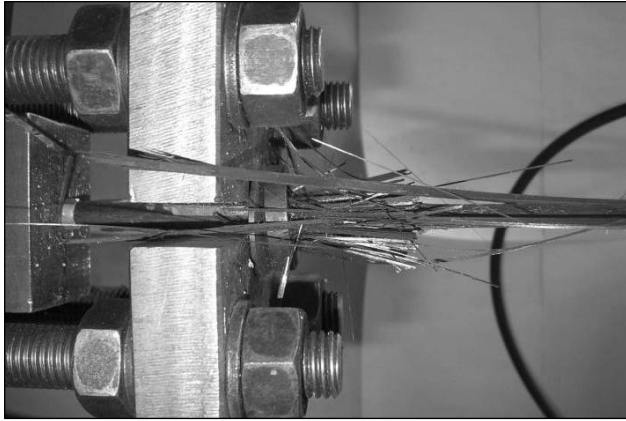
Resultat

Som en sammanfattning av resultaten av den forskning som genomförts i det här projektet kan den slutliga designen av det fungerande killlåset användas. Låset består av en hylsa i homogent stål, en kilenhet i aluminium och ett tunt lager bindemedel. Designen för de här delarna är utformad så att en så stor del av kraftöverföringen ska ske så långt bak i förankringen som möjligt, på så vis kan man kompensera de höga dragspänningarna vid ingången i låset med låga radiella spänningar där. Att en sådan fördelaktig längsgående spänningsfördelning uppnås säkerställs med hjälp av olika konicitet på hylsan inneryta och kilenhetens ytteryta. Tack vare en skarp vinkel på kilen kommer den först att komma i kontakt med hylsan i den bakre ändan av låset och där överföra störst kraft. Ritningar för designen visas nedan. Som man kan se är kilenheten tillverkad i ett stycke, fördelarna med den utformningen är flera och iden med en sammansatt kilenhet bestående av flera kilelement har också patentsökts som ett led i införandet av produkten på marknaden. Då endast en längsgående öppning i kilen existerar kommer den yta som möjliggör friktion mellan kilen och staven att öka och få en maximal storlek, om längden på kilen antas förutbestämd. Att så många mellanrum mellan kilelementen som möjligt är täckta innebär också att den spröda fiberkompositen förhindras att pricka och deformeras ut i mellanrummen. Att endast ha en kilenhet ger också fördelar med avseende på hanterbarhet och tillförlitlighet. I en traditionell kilförankring måste tre kilar hanteras samtidigt, de ska hamna jämnt fördelade vid isättning i hylsan och de ska tryckas/dras in samtidigt och i samma takt. Med endast ett element uppnås de här kraven automatiskt.



Figur 5 Design av hylsa och kil i det utvecklade killlåset, längsgående tvärsnitt till vänster och tvärgående tvärsnitt till höger

För att uppnå en tillförlitlighet hos förankringen applicerades innan hopsättning av låset ett tunt lager med epoxi på staven i det område där låset skulle placeras. Framförallt är intentionen med det lagret att säkerställa att stavens maximala hållfasthet uppnås vid varje tillfälle då killlåset används. I några av de försök som utfördes för att dokumentera låsets funktion skedde mycket spektakulära brott av hela lås-stag systemet. Kolfiberkompositen gled då, vid en spänning av cirka 90% av kompositens maximala kapacitet, plötsligt ut ur låset och gick samtidigt av på mitten där den glidande delen sköt in i den som i andra ändan var fast förankrad. Resultatet från ett sådant här kallat "Power slip" kan ses nedan.



Figur 6 Utseend ehos provkroppen då ett så kallat "Power slip" skett

Efter det att limmet applicerats uppstod inte längre något för tidigt brott hos systemet och det kunde belastas upp till 100% av stavens kapacitet, vilket under utvecklingsprocessen var målet att nå. Flera standarder för förankringssystem av spännlinor, bland annat den europeiska och amerikanske, har satt kravet att förankringen ska möjliggöra en belastning av staven upp till 95%, vilket i det här fallet har uppnåtts med råge.

Praktiska tillämpningar

Ett fungerande lås för förankring av förspända kolfiberkompositer är efterfrågat inom flertalet områden. Bland annat så är vattenkraftindustrin både i Sverige och Norge intresserade av att testa förankring mot glidning av betongdammar mot berggrunden med hjälp av fiberkompositstag. De här stagen är oftast mycket svåra att kontrollera då de till stor del ligger dolda i en fuktig och för stål ogästvänlig miljö. Med fiberkomposit som ett alternativt material kan större kapacitet och säkerhet tillskrivas de här bergförankringarna och materialanvändandet minskas. Också infrastrukturen efterfrågar ett effektivt och tillförlitligt sätt att förstärka uträknade konstruktioner för att förlänga deras liv med upp till 20-25 år. Det kan göras med fiberkompositer som med en ordentlig förankring också kommer att kunna göras än effektivare med en förspänning pålagd.

Slutsatser och fortsättning

Det genomförda projektet har uppvisat en ovanligt lyckad utveckling och forskning. En praktiskt användbar prototyp av förankring finns att tillgå och med ytterligare utveckling kan systemet bli industriellt användbart. Ett viktigt nästa steg i utvecklingen och forskningen är att utföra såväl försök på balkar, där bl. a. långtidseffekter och brottmoder undersöks, som demonstrationsprojekt.

Intressant kan också vara att integrera fiberoptik i kolfiberkabeln för att följa upp vad som händer med spännkraft och konstruktion över tiden.