

Provdragning av dragstag i kalkberg

- En utredning av standarden SS-EN 1537



**LUNDS
UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

**LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Byggvetenskaper / Geoteknik**

Examensarbete:
Jonas Nilsson

© Copyright Jonas Nilsson

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2014

Sammanfattning

Detta examensarbete syftar till att utreda vad som gäller för provdragning utav dragstag i allmänhet, och stag installerade i kalkberg i synnerhet. En undersökning av olika typer av dragstag har genomförts, likaså en studie av Europastandarden – EN 1537 – för bakåtförankringar och provdragningen av dessa.

En fallstudie har genomförts där det har installerats tre dragstag i kalkberget i Malmö, vilka sedan har provdragits – enligt Europastandardens test – till brott med förhoppning om att kunna förbättra och anpassa standarden bättre efter svenska förhållanden.

Rapporten inleds med en teoridel med allmän bakgrund kring bakåtförankringar i sponter och där de olika typerna av dragstag presenteras. Vidare beskrivs uppbyggnaden av ett dragstag med figurer, samt dimensionering av dragstag. Teoridelen fortsätter med en beskrivning av Europastandarden och olika typer av provdragning. De tre huvudgrupperna inom provdragning; Investigation test, Suitability test och Acceptance test förklaras.

Nästa del av rapporten presenterar den utförda fallstudien med val av material till dragstagen, dimensionering, installering och provdragning. Figurer och beräkningar bidrar till att illustrera förfarandet innan resultatet sammanställs med resonemang kring vilka brottfall som uppstått.

Rapporten avslutas med de slutsatser man kan dra kring fallstudien. Felkällor och vad som kunde ha genomförts annorlunda för att uppnå ett ännu bättre och pålitligare resultat tas upp. Slutligen presenteras ett par förslag på vidare undersökningar och examensarbeten, för att arbetet kring provdragning av dragstag skall kunna fortsätta med ytterligare och mer detaljerade tester.

Nyckelord: Provdagning, dragstag, SS-EN 1537, kalkberg

Abstract

This master's dissertation aims to investigate testing of anchors in general, and anchors installed in limestone in particular. A detailed study of the various types of anchors has been completed, as a study of the European standard – EN 1537 – of anchors and the testing of such constructions.

A case study has been conducted where three anchors were installed in the limestone in Malmö, and then tested – according to the European standard – until failure, with the ambition to improve and adapt the standards better for Swedish ground conditions.

The report begins with a general theory part, which describes the background of different anchors installed in sheet piles. It also shows the structure of an anchor with figures, and how to dimension such works. The theory part continues with a presentation of the European standard, and different types of anchor testing. The three main classes of testing – Investigation test, Suitability test and Acceptance test – are explained.

The next part of the report presents the completed case study with chosen materials, dimensioning, installation and testing. Figures and calculations help explaining the procedure before the results are presented with reasoning on which types of failure that may have occurred.

The report ends with conclusions about the case study. Sources of error and things that could have been executed differently to achieve an even better and more reliable result, is discussed. Finally, a few suggestions on further work about testing of anchors are presented.

Keywords: Testing, ground anchors, SS-EN 1537, limestone

Förord

Detta examensarbete om 22,5 högskolepoäng beskriver hur ett dragstag är uppbyggt, samt provdragningsprocessen av dragstag i kalkberg. Arbetet har inneburit en undersökning av Europastandarden för dragstag och provdragning, och omfattar utöver en teoridel även en fallstudie med installering och provdragning av tre stycken dragstag i kalkberget i Malmö.

Fallstudien har utförts i samarbete med Peab Grundläggning i Malmö, där jag även arbetat de senaste fyra åren. För att lyckas genomföra fallstudien och examensarbetet har jag fått ovärderlig hjälp av ett antal personer som jag skulle vilja tacka:

- Ola Mårtensson, Peab Grundläggning i Malmö, som tog initiativ till att en undersökning av provdragningsprocessen skulle genomföras.
- Philip Landkvist, Peab Grundläggning i Malmö, som bidragit med både litteratur och egna erfarenheter gällande dragstag och provdragning.
- Jonas Sjöstrand och Jan-Ingvar Olsson, Peab Grundläggning i Malmö, som borrade dragstagen.
- Mijo Petrovic, Ralling, som bistod med lyfthjälp vid installering av dragstagen.
- Conny Plato, Tunga Lyft, som bistod med domkraftsutrustning vid provdragningen av dragstagen.

Slutligen skulle jag vilja rikta ett särskilt tack till mina handledare som bidragit med mycket idéer, samt haft tålamod med att arbetet dragit ut på tiden då jag parallellt med skrivandet arbetat med diverse grundläggningsentreprenader:

- Jerry Davidsson, handledare och geotekniker, Peab Grundläggning i Malmö
- Ola Dahlblom, examinator, Institutionen för byggvetenskaper, Lunds Tekniska Högskola

Lund december 2014

Jonas Nilsson

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Metod	2
1.4 Avgränsningar	2
2 Dragstag	3
2.1 Självbörande stag	3
2.2 Linstag	3
2.3 Uppbyggnad	4
2.3.1 Förankringslängd	4
2.3.2 Fri längd	6
3 Provdragning	7
3.1 Bakgrund	7
3.2 Investigation test	7
3.3 Suitability test	7
3.4 Acceptance test	8
3.5 Kryptal	8
4 Fallstudie	9
4.1 Bergstag	9
4.2 Beräkning av provdragningskraft	9
4.3 Dimensionering av dragstag	10
4.4 Installering	11
4.5 Provdagningsförfarande	13
4.5.1 Metod	14
4.5.2 Utrustning och uppställning	15
4.5.3 Utförande	18
5 Resultat	19
5.1 Brottlast	19
5.2 Fri längd	19
5.3 Brottfall	20
6 Slutsats	23
6.1 Felkällor	23
6.2 Utvärdering av data	23
Referensförteckning	24
Litteratur	24
Personlig kommunikation	24
Elektroniska källor	24
Appendix	25

Appendix A – Provdragningsprotokoll blått dragstag	25
Appendix B – Provdragningsprotokoll gult dragstag	27
Appendix C – Provdragningsprotokoll grönt dragstag	29
Appendix D – Resultat från avvägningsinstrument	31

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Inom grundläggningsbranschen i Sverige saknas idag en gemensam syn på hur en provdragning av ett dragstag skall utföras. De verksamma entreprenörerna har en stor spridning gällande hur mycket resurser – både vad gäller personal och utrustning – som läggs på att säkerställa kvaliteten hos de dragstag man installerar som bakåtförankring i sponter.

Ofta saknar projekthandlingar noggranna och i synnerhet tydliga instruktioner för hur dragstagen skall testas. Detta i samband med en generellt bristande kunskap leder till en osäkerhet hos entreprenörerna. En spont vars dragstag inte håller för rådande laster kan bli oerhört kostsam i ett senare skede av ett projekt, men framförallt en oerhörd säkerhetsrisk.

Ett problem är att den standard som existerar är alldeles för generell istället för att anpassa provdragningen efter rådande situation. Genom att endast förespråka en tidskrävande provdragning då det verkligen behövs – samt en något enklare variant då riskerna är mindre – kunde man bättre motiverat aktörerna att följa standard och uppmärksamma eventuella risker.

1.2 Syfte

Denna rapport skall skapa en förståelse för betydelsen av provdragning inom grundläggningsbranschen. Arbetet skall ge tydliga vägvisare om hur man går tillväga för att få fram tillförlitlig data ur de mätningar man utför och läsaren skall få kunskap om hur den skall tolkas på ett korrekt sätt.

Meningen är att underlätta för entreprenörer så att de kan följa den standard som finns på ett enkelt och regelrätt sätt, utan att tumma på säkerheten. Förhoppningen är att somliga entreprenader dessutom skall spara tid genom att anpassa provdragningen bättre efter rådande förutsättningar.

Europastandarden SS-EN 1537 skiljer inte på bergstag och jordstag och provdragningsprocessen ser således likadan ut. Denna rapport har en förhoppning om att kunna motivera en anpassning av standarden så att provdragningen anpassas efter vilken typ av dragstag som gäller. Hypotesen är att jordstag kräver en utdragen provdragningsprocess – vilket Europastandarden förespråkar för samtliga dragstag – som testar dragstagens vidhäftning i jorden över lång tid, då stagens förankringslängd kan lossna successivt från jorden. Vid provdragning av bergstag skulle man dock eventuellt kunna korta ner provdragningen med motiveringen att stagen bör lossna momentant vid ett brottfall.

Sammanfattningsvis har rapporten huvudsakligen tre syften kring provdragning:

- Skapa förståelse för betydelsen av provdragning
- Anpassa standarden SS-EN 1537
- Effektivisera och öka säkerheten i projekt med dragstag

1.3 Metod

Arbetet har samlat material från framförallt:

- Europastandarden SS-EN 1537.
- Samtal med geotekniker med flera års erfarenhet av provdragning.
- Utförd provdragning med mätningar och tolkning av resultat.

Europastandarder har de senaste åren blivit allt mer förekommande inom byggbranschen och det är viktigt att samtliga aktörer tolkar dem på rätt sätt. En noggrann studie av SS-EN 1537 har därför utförts med syfte att göra den mer lättförståelig.

Då vi inom Europa har en relativt varierad geologi kan det emellertid vara svårt att alltid följa en och samma standard och det är därför viktigt att vi anpassar den efter vilka förutsättningar som gäller. Detta arbete är inriktat på provdragning inom Sverige och därför har diskussioner förts med personer med flerårig erfarenhet av provdragning just inom Sverige.

SS-EN 1537 skiljer inte på stag installerade i bergmaterial och jordmaterial, vilket bör skapa en del tveksamheter i ett land som Sverige där båda varianterna är relativt vanligt förekommande. Standarden beskriver en provdragning anpassad för jordstag, och förespråkar sedan detta utförande för samtliga dragstag. För att utreda om man kan anpassa provdragningen efter vilken typ av dragstag det gäller skall jag därför installera och utföra provdragning enligt europastandarden på bergstag, och sedan utvärdera/tolka resultaten.

1.4 Avgränsningar

Rapporten skall undersöka provdragning av dragstag i Sverige. För att läsaren skall få en tydligare bild ges även en kortare beskrivning kring installation av olika typer av dragstag samt uppbyggnaden hos dessa, men i de delarna ges ingen utvärdering av alternativa lösningar, etc.

Arbetet behandlar inte de delar av SS-EN 1537 som beskriver korrosionsskydd för dragstag. Detta är något som inte påverkar provdragningen och har därför valts bort.

I den provdragning som skall genomföras och utvärderas kommer rapporten att använda sig av ett s.k. Suitability test enligt test-metod nr 1 i SS-EN 1537. Övriga test-metoder, samt Investigation- och Acceptance test kommer inte att utgöra någon del av den genomförda provdragningen. Dessa test kommer dock att behandlas i rapporten för att ge läsaren en uppfattning om vilka metoder som finns, och hur man bör gå tillväga då man skall installera dragstag i exempelvis nya okända miljöer.

Installering av bergstagen kommer att ske i kalkberg i Malmö och provdragningen blir således en utredning av s.k. mjukt berg. Inga bergstag kommer att installeras i hårt berg.

2 Dragstag

Då man använder en spont för att förhindra ras vid schaktning behöver denna ibland stötta upp. En lösning skulle kunna vara att använda sig av stämp/strävor – något som var mycket vanligt förr i tiden – men problemet med dessa är att de ofta är i vägen för de kommande konstruktionerna. Man kan då istället fördelaktigt montera dragstag i sponten (Sahlström och Stille, 1979).

Det finns olika typer av dragstag, men de kan alla beskrivas med följande definition från Statens Planverk (nuvarande Boverket), 1974:

Dragstag (stag). I detta sammanhang stång eller kabel av stål som nedförts genom jordlager eller dylikt och förankrats medelst injektering i berg eller i jord.
Bergförankrat dragstag benämns ofta ”bergstag” och jordförankrat stag ”jordstag”.

2.1 Självborrande stag

Självborrande stag består av helgängade ihåliga stångar som borrar ner med hjälp av en roterande topphammare. Stångarna kan vid behov skarvas och förlängas till önskad längd. I änden av den första stången monteras en borrkrona och då den första stången är nedborrad monteras nästa med hjälp av invändigt gängade skarvhylsor.

Vid borrningen används en cementslurry – oftast med vct omkring 0,45 – som spolmedia. Slurryn tillförs under tryck genom de ihåliga stångarna och sprutar ut genom hål i den roterande borrkronan. På så vis spolar cementen rent så att det bildas en injekteringszon kring stångarna. Zonen fylls med cement och då slurryn härdar förbinds de helgängade stångarna med omgivande jord- eller bergmaterial.

När staget nått föreskriven längd avbryts borrningen och stångarna med borrkrona lämnas kvar i marken som ett injekterat stag (www.geomek.com).



Figur 1. De ihåliga stångarna skarvas med den invändigt gängade skarvhylsan. Den kryssformade borrkronan är anpassad för kohesionsjordar (FOTO: Jonas Nilsson).



Figur 2. Självborrande stag, monterat i ett hammarband på en tätspont (FOTO: Jonas Nilsson).

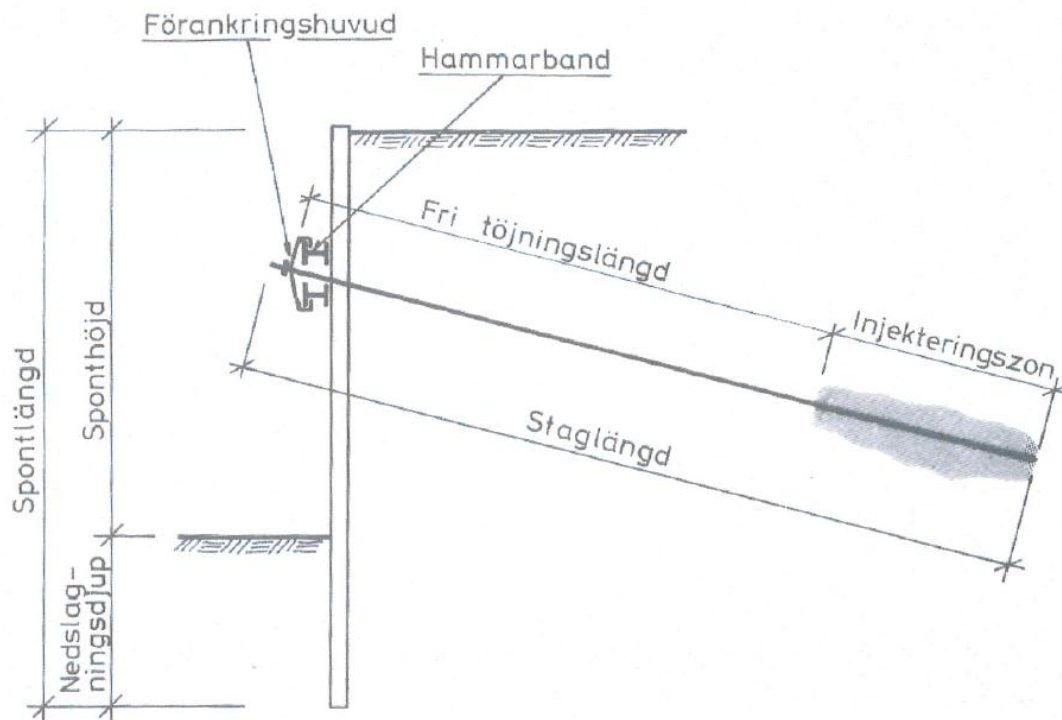
2.2 Linstag

Linstag består av ställinor som injekteras fast i omgivande jord- eller bergmaterial med cementbruk. En roterande topphammare borrar ner ett stålrör som sedan fylls med

cementslurry, varefter man monterar tillräckligt antal linor. Röret dras sedan upp och man har då ett färdigt injekterat linstag (www.geometrik.se).

2.3 Uppbyggnad

Ett dragstag består – oavsett om det gäller självbörande stag eller linstag – av en fri längd och en injekteringszon/förankringslängd. Den fria längden beror på rasvinkeln hos de geologiska förhållandena, medan injekteringszonen är den del av dragstaget som skall hålla de gällande krafterna.



Figur 3. Uppbyggnad av ett dragstag (Sahlström och Stille, 1979).

2.3.1 Förankringslängd

Förankringslängden är den del av dragstaget som förankras i omgivande jord- eller bergmaterial. Denna del kan även benämnas injekteringslängd- eller zon. Längden varierar beroende på markförhållanden, mantelytan hos staget (beroende av dimension på borrkronan som används) samt hur omfattande krafter dragstaget skall kunna överföra. För beräkning av dimensionerande mantelmotstånd mellan injekteringsbruket och omgivande jord- eller bergmaterial används följande formel (De Neef Scandinavia AB, 2004):

$$\mu_d = \frac{q_s K_1 d \pi}{\gamma_{tot}} \quad (2.1)$$

där

K_1 = Förhållandet mellan förankringskroppens diameter och borrkronans diameter

d = Borrkronans diameter (m)

q_s = Gränsmantelfriktionen i rådande geologiska förhållanden (N/m²)

γ_{tot} = Total säkerhetsfaktor 1,5-2,0

För en enkel bedömning av K_1 kan följande tabell användas:

Tabell 1. Förhållandet K_1 mellan förankringskroppens diameter och borrkronans diameter d (De Neef Scandinavia AB, 2004).

Geologi	Förhållandet K_1
Friktionsjord	2,0
Kohesionsjord	1,2
Berg	1,0

För en enkel bedömning av q_s kan följande tabell användas:

Tabell 2. Gränsmantelfriktionen q_s i olika geologi (De Neef Scandinavia AB, 2004).

Geologi	Gränsmantelfriktionen q_s [kN/m ²]
Sand och grus	
<i>Mycket lös</i>	50 – 100
<i>Lös</i>	100 – 150
<i>Medelfast</i>	150 – 200
<i>Fast</i>	200 – 250
<i>Mycket fast</i>	250 – 300
Vittrat berg	
<i>Utbredd vittring</i>	500
<i>Begränsad vittring</i>	750
Ovittrat berg	
<i>Mjukt berg, ex. sandsten/kalksten</i>	1000
<i>Hårt berg, ex. granit/gnejs</i>	1400

Utanför Europas gränser uppger litteratur en mer varierande gränsmantelfriktion för mjukt berg, ex. kalksten, än 1000 kN/m². Det amerikabaserade företaget Williams Form uppger en gränsmantelfriktion på 150-200 psi för mjukt kalkberg, vilket motsvarar ca $q_s = 1000$ -1400 kN/m² (www.williamsform.com). Även amerikanska Office of Bridge Technology uppger $q_s = 1000$ -1400 kN/m² för mjukt kalkberg (Bachus, Pass och Sabatini, 1999). Detta skulle kunna motivera en större variation hos vidhäftning i kalkberg än tabellen ovan visar.

Förankringslängden $L_{för}$ fås sedan genom:

$$L_{för} = \frac{F_d}{\mu d} \quad (2.2)$$

där

F_d = Kraften som dragstaget skall kunna överföra

(De Neef Scandinavia AB, 2004)

2.3.2 Fri längd

Den fria längden är den del av staget som ligger inom omgivande jordmaterials ras-zon. Det är viktigt att dragstaget inte är injekterat fast inom detta område eftersom det då tappar sin funktion. Dragstaget skall bakåtförankra sponten, men om sponten sitter förankrad i sin egen ras-zon kan den ge vika när schaktdjupet blir för stort. Dragstagets fria längd beror således på jordens friktionsvinkel, spontens nedslagningsdjup samt vilken nivå dragstaget installeras ifrån. Då det är av yttersta vikt att garantera den fria längden brukar man dessutom utöka denna med minst två meter mot den reella längden av denna del av staget (Landkvist, 2012).

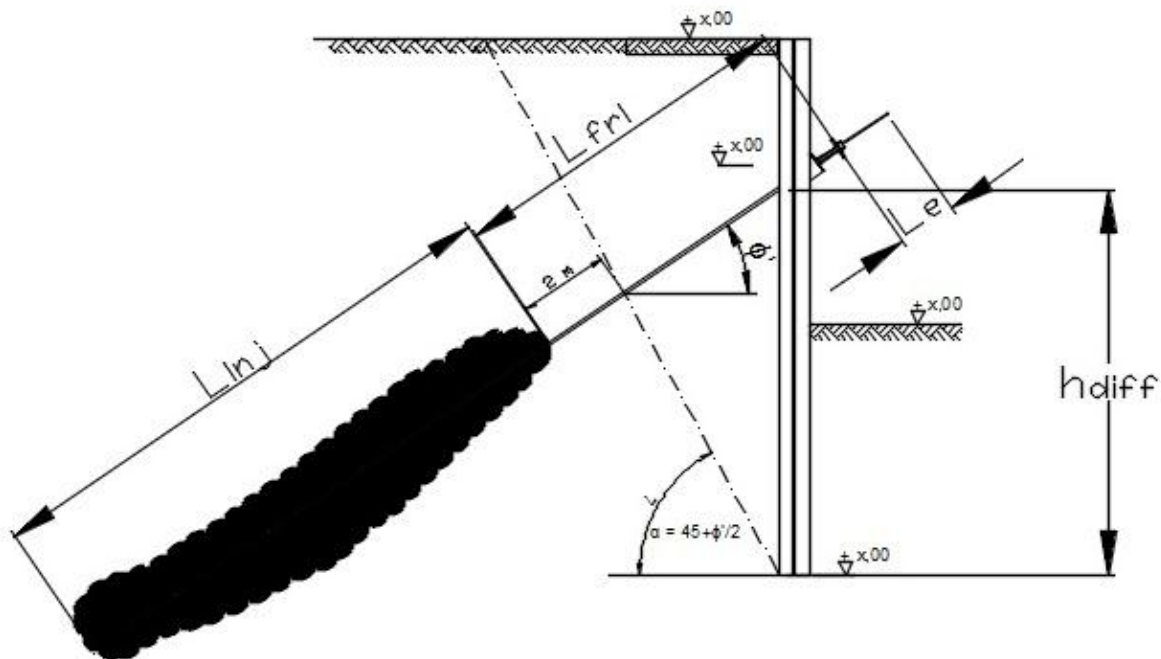
Ett dragstags fria längd kan beräknas enligt följande formel (De Neef Scandinavia AB, 2004):

$$L_{fri} = 2 + h_{diff} \sin\left(45 - \frac{\phi'}{2}\right) \quad (2.3)$$

där

h_{diff} = Höjdskillnaden mellan stagens placering och spontens underkant

ϕ' = Omgivande jordmaterials rasvinkel.



Figur 4. Den fria längden beror av massornas rasvinkel ϕ' (FIGUR: Jerry Davidsson).

Den fria längden säkerställs med antingen plast- eller stålrör som omger stagen. Ändarna på rören försluts så att cementslurryn endast omger rören utsida. På så vis kan staget röra sig fritt innanför rören och man har då fått en fri längd (CEN, European Committee For Standardization, s.16).

3 Provdragning enligt SS-EN 1537

3.1 Bakgrund

EN 1537 är den europeiska standarden för dragstag och gäller även som svensk standard – i Sverige betecknas den därför som SS-EN 1537.

SS-EN 1537 beskriver hur dragstag skall utformas, installeras och testas/provdras – denna rapport fokuserar på provdragningen. I Statens Planverks (nuvarande Boverket) definition av dragstag från 1974 (se kapitel 2) skiljer man på dragstag installerade i bergmaterial – bergstag – och dragstag installerade i jordmaterial – jordstag – men i SS-EN 1537 beskrivs ingen skillnad i utförandet av provdragning av de båda typerna.

SS-EN 1537 beskriver istället tre olika tester man bör överväga och/eller utföra då man installerar dragstag – Investigation test, Suitability test och Acceptance test.

3.2 Investigation test

I de fall då dragstag skall installeras i sedan tidigare okända miljöer – alternativt om en ny typ av stagmetod skall användas – bör man utföra ett s.k. Investigation test. Meningen med ett sådant test är att undersöka vilken typ av dragstag som bör installeras. Ett Investigation test bör även genomföras då man tänkt belasta stag med högre laster än vad som tidigare bevisats i rådande miljö. Testresultatet skall ge konstruktören m.fl. en god kännedom om grundförhållanden och stagtypens egenskaper.

Ett Investigation test bör belasta stagen kraftigare än vad som är tänkt för de senare aktiva stagen. Detta kan man givetvis göra genom att öka provdragningskraften, men då måste man eventuellt även använda en större dimension på stagmaterialet för att detta skall klara den ökade kraften. Eftersom stagen är mantelbärande – ökad mantelyta ger en högre hållfasthet – är det dock viktigt att dimensionen på borrhålet hålls konstant så att man får ett tillförlitligt test. Om man inte har möjlighet att öka dimension på stagmaterialet – och därmed provdragningskraften – kan man istället korta ner injekteringslängden för provstagen. På så sätt skapar man också en viss säkerhetsfaktor genom att utsätta förankringen för högre spänning än vad som senare skall användas aktivt (CEN, European Committee For Standardization, s.31).

3.3 Suitability test

Ett Suitability test undersöker lämpligheten hos de dragstag man valt att installera. Testet bekräftar ifall de dragstag man installerat håller för tillräcklig kraft och undersöker stagets fria längd.

Enligt SS-EN 1537 skall man utföra minst tre stycken Suitability test under samma förhållanden som de aktiva stagen, och om man inte tidigare utfört något Investigation test bör man belasta/testa de tre stagen kraftigare än resterande dragstag. Precis som för Investigation test måste man då eventuellt använda en större dimension på stagmaterial, men dimensionen på borrhålet skall hållas konstant (CEN, European Committee For Standardization, s.31).

3.4 Acceptance test

Ett Acceptance test skall utföras på samtliga dragstag i ett projekt. Detta är ett enklare och mindre tidskrävande test som kontrollerar att det specifika staget håller för tillräcklig kraft och undersöker dess fria längd. Till skillnad från Investigation test och Suitability test skall Acceptance testet alltså bara kontrollera att just det staget man provdrar installerats korrekt och kan användas som man tänkt sig i konstruktionen (CEN, European Committee For Standardization, s.32).

När ett stag kontrollerats färdigt och man vet att det installerats korrekt skall det förspännas till en särskild låskraft – normalt ca 2/3 av provdragningskraften. Detta innebär att spanten som dragstagen är installerade i spänns in så att den inte skall röra sig då man schaktar bort mothållet på den sida dragstagen är installerade. Förspänning av dragstagen görs med fördel i samband med Acceptance testet medan domkraft och övrig utrustning är monterad.

3.5 Kryptalet

Kryptalet är det värde som visar när ett dragstag anses ha brustit. Värdet beror av den tidsberoende förlängningen som sker i dragstaget när det provdras. Normalt pågår provdragningen för ett specifikt laststeg i 15 minuter, med avläsning av förlängningen vid 1, 2, 3, 5, 10 och 15 minuter. Om förlängningen mellan 5 och 15 minuter skulle överstiga 0,5mm förlängs dock provdragningen. Kryptalet k beräknas enligt följande:

$$k = \frac{s_2 - s_1}{\lg \frac{t_2}{t_1}} \quad (2.4)$$

där

s_1 = förlängningen vid tiden t_1

s_2 = förlängningen vid tiden t_2

Om kryptalet överstiger 2,0 mm anses dragstaget ha brustit och man måste då borra ett nytt ersättningsstag (Fredriksson m fl, 1996).

4 Fallstudie

4.1 Bergstag

Som underlag för den provdragning som skall utföras och utvärderas installeras tre stycken självbörande stag av typen Titan på Peab Grundläggnings tomt i Fosie, Malmö. En meters förankringslängd i kalkberget har valts för dragstagen som skall borraras ner med 70mm-borrkronor.

Stagen placeras inom ett område där markförhållanden är kända sedan tidigare tester och examensarbeten – ex. *StabPier, Test och provbelastning av en ny typ av grundläggningsplint* av Jerry Davidsson och Martin Dreifaldt – vilket är en förutsättning för att ge ett tillförlitligt resultat. De provdras till brott – antingen genom att en bit av kalkberget släpper, att staget släpper från kalkberget, eller att staget brister då lasten blir för hög.

Förankringen utförs i friskt/ovittrat kalkberg för bästa resultat. Kalkberget ligger enligt tidigare undersökningar på ca 10m djup (Davidsson och Dreifaldt, 2006) och sedan gör borrararen en bedömning under borrhningen när berget anses friskt. Denna bedömning baseras framförallt på borrhningens motstånd och är relativt svårbedömd vilket kräver stor erfarenhet hos borrararen. Total staglängd kan således inte avgöras inför installeringen, eftersom borrhningen av pålarna kommer att fortskrida tills man nått friskt berg, och sedan fortsätta ytterligare en meter.

Resterande längd utöver förankringslängden kommer att bli stagets fria längd. Denna kommer att säkerställas med plaströr, vars ändrar kommer att tätas i enlighet med SS-EN 1537.

4.2 Beräkning av provdragningskraft

För att beräkna förmodad provdragningskraft används ekvationerna:

$$\mu_d = \frac{q_s \pi K_1 d}{\gamma_{tot}} \quad (2.1)$$

och

$$L_{f\ddot{o}r} = \frac{F_d}{\mu_d} \quad (2.2)$$

ger oss

$$F_d = L_{f\ddot{o}r} \mu_d = \frac{L_{f\ddot{o}r} q_s \pi K_1 d}{\gamma_{tot}}$$

$$L_{f\ddot{o}r} = 1 \text{ m}$$

$$q_s = 1000 \text{ kN/m}^2 \text{ enligt tabell 2.}$$

$$K_1 = 1,0 \text{ enligt tabell 1.}$$

$$d = 0,070 \text{ m}$$

$$\gamma_{tot} = 1,0$$

$$\Rightarrow F_d = 220 \text{ kN}$$

Dragstagen med en meters förankringslängd förväntas således släppa omkring 220 kN, men samtal angående vidhäftning i kalkberg med Landkvist (2013) och Ekdahl (2014) har visat att gränsmantelfriktionen q_s för mjukt berg kan variera oerhört. Detta stämmer även väl överens med de amerikanska uppgifterna på q_s upp till 1400 kN/m² som nämns i avsnitt 2.3.1. Stagen kan således troligtvis hålla för betydligt högre krafter, men i vissa fall även för mindre krafter än förväntat.

4.3 Dimensionering av dragstag

Då provdragningen skall undersöka vidhäftningen i kalkberget är målet att staget dras tills det släpper från kalkberget. Staget måste således ha tillräcklig dimension så att god marginal till stålets brottlast uppnås. Tekniska data för olika dimensioner av Titanstag kan utläsas ur följande tabell:

Tabell 3. Tekniska data för olika dimensioner utav Titanstag (De Neef Scandinavia, 2004).

	TITAN 30/16	TITAN 30/14	TITAN 30/11	TITAN 40/20	TITAN 40/16	TITAN 52/26	TITAN 73/56	TITAN 73/53	TITAN 73/45	TITAN 103/78	TITAN 103/51	TITAN 130/60
Ytterdiameter d_y [mm]	30	30	30	40	40	52	73	73	73	103	103	130
Innerdiameter d_i [mm]	16	14	11	20	16	26	56	53	45	78	51	60
Tvårsnittsarea A [mm ²] ¹⁾	382	395	446	726	879	1337	1400	1631	2260	3146	5501	9540
Sträckgräns f_{yk} [N/mm ²]	470	556	580	590	590	550	560	590	510	570	500	550
Sträcklast P_y [kN]	180	220	260	430	525	730	785	970	1180	1800	2726	5250
Brottlast P_b [kN]	220	260	320	539	660	929	1194	1160	1630	2282	3460	7940
Tillåten tvärkraft V_{br} [kN] ²⁾	56	69	81	134	164	228	245	303	369	563	852	1641
Tröghetsmoment I_s [cm ⁴] ³⁾	2,37	1,88	2,24	7,82	8,98	25,6	70,2	78,5	97,6	317	425	1153
Böjmotstånd W [cm ³]	1,79	1,47	1,71	4,31	4,84	10,5	20,0	22,4	27,9	63,2	86,3	183,8
Plastiskt böjmotstånd W_p [cm ³]	2,67	2,30	2,78	6,70	7,83	16,4	28,1	32,1	41,9	89,6	135,0	293,4
Böjstyvhet EI_s [kNm ²] ⁴⁾	4,98	3,95	4,70	16,42	18,86	53,76	147,42	164,9	205,0	665,7	892,5	2421,3
Massa per meter M [kg/m]	2,7	2,9	3,3	5,6	7,0	10,0	11,1	12,3	17,8	24,9	43,4	75,0
Gångans riktning (V eller H)	V	V	V	V	V	V/H	H	H	H	H	H	H
Diameter skarv- hylsa d_s [mm]	38	38	38	54	54	70	89	89	89	123	132	178

För att ha god marginal väljs Titan 40/16, vars brottlast är 660 kN, d.v.s. trefalt högre kraft än den kraft då staget förväntas lossna från berget vid en meters förankringslängd.

4.4 Installering

För att säkerställa att stagen endast förankras med en bestämd förankringslängd, förses resterande längd med omgivande plaströr.

För att säkerställa att plaströren inte skadas under nedborrning borras det först ner rör som stagen kan lyftas ner hela i. Rören borras ner tills kalkberget bedöms som friskt, vilket innebär att man får reda på hur långa stagen kommer att bli.



Figur 5. Rören som stagen skall installeras i (FOTO: Jonas Nilsson).

Rören nådde 15,4 m djup innan kalkberget bedömdes som friskt och stagen gjordes då drygt en meter längre för att sedan borras ner en meter i berget, samt sticka upp en bit ovan mark. Stagen monterades ihop hela – med plaströr för den fria längden – på marken och ändarna av plaströren förslöts med krympslang för att mellanrummet mellan stag och plaströr inte skulle gutas in. På så vis kan staget röra sig fritt i denna del och man har då uppnått en s.k. fri längd.



Figur 6. Färdigmonterade stag redo att installeras (FOTO: Jonas Nilsson).

För att skilja stagen från varandra målades de övre ändarna i blå, gul och grön färg. Stagens respektive längder redovisas i följande tabell:

Tabell 4. Total staglängd för de monterade stagen.

Stag	Total staglängd [m]	Fri längd [m]
Blå	16,6	15,6
Gul	16,6	15,6
Grön	16,9	15,9

De färdigmonterade stagen sänktes sedan ner i rören med mobilkran, för att borras ner ytterligare en meter, d.v.s. förankringslängden.



Figur 7. *Installering av dragstagen (FOTO: Jonas Nilsson).*

Efter att förankringslängden borrats ner och stagen injekterats klart drogs rören upp igen och kvar i kalkberget blev tre dragstag med en meters förankringslängd.

4.5 Provdagningsförfarande

Provdragningen av dragstagen utförs som 3 stycken Suitability test där stagen dras till brott. Testen skall på så sätt undersöka hållfastheten för dragstagen i kalkberget samtidigt som de även ger underlag för beräkning av den fria längden. Det mest intressanta för den här rapporten är dock hur brotten sker – blir det utdragna brott över tid som då kräver en längre provdagningsprocess likt den SS-EN 1537 förespråkar, eller blir det momentana brott som öppnar upp för en anpassning av Europastandarden efter länder som Sverige med geologiska förhållanden innehållande berg.

4.5.1 Metod

Som SS-EN 1537 beskriver skall ett Suitability test enligt test-metod nr 1 utföras i minst fem laststeg. Dragstaget spänns först upp till en s.k. nollägeslast, P_a , och mätutrustningen nollställs. Sedan påbörjas dragningen i de olika lastcyklerna samtidigt som töjningen mäts.

Eftersom dragstagen teoretiskt beräknas släppa vid omkring 220 kN, men erfarenhetsmässigt förväntas hålla för än mer än så (se avsnitt 4.2) väljs det första laststeget till 75 kN och sedan ökas lasten med 45 kN per laststeg. Det femte laststeget blir då 255 kN, vilket får anses vara ett rimligt antagande för när dragningen skall gå till brott. Om brott inte uppstått vid 255 kN fortskrider provdragningen med 300 kN som nästa laststeg, o.s.v. Följande provdragningsprotokoll fylls i under provdragningsprocessen:

PROVDRAGNINGSPROTOKOLL

	P_p (kN)	Förlängning vid uppspanning (mm)					
		1 min	2 min	3 min	5 min	10 min	15 min
Lastcykel 1	30		-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-
	75						
	-	-	-	-	-	-	-
Lastcykel 2	30		-	-	-	-	-
	75		-	-	-	-	-
	120						
	75		-	-	-	-	-
Lastcykel 3	30		-	-	-	-	-
	120		-	-	-	-	-
	165						
	120		-	-	-	-	-
Lastcykel 4	30		-	-	-	-	-
	165		-	-	-	-	-
	210						
	165		-	-	-	-	-
Lastcykel 5	30		-	-	-	-	-
	210		-	-	-	-	-
	255						
	210		-	-	-	-	-
Lastcykel 6	30		-	-	-	-	-
	255		-	-	-	-	-
	300						
	255		-	-	-	-	-
	30		-	-	-	-	-

Stag: _____

Staglängd: _____

Installeringsdatum: _____

Provdragningsdatum: _____

Figur 8. Protokoll som skall fyllas i under provdragningsprocessen (Tabell: Jonas Nilsson).

4.5.2 Utrustning och uppställning

För att provdra dragstagen användes en hydraulisk 900-kN cylinderdomkraft med tillhörande hydraulisk pump. På pumpen monterades en manometer för att kunna mäta pumpens tryck och således den last domkraften belastade stagen med. Då domkraftens area A var känd kunde man utifrån manometerens mätvärde i bar beräkna kraften P i kN enligt följande:

$$P = p A$$

Med trycket

$$p = X \text{ bar} = X 10^5 \text{ Pa} = X 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

och arean

$$A = 133,3 \text{ cm}^2 = 133,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

kan kraften P beräknas enligt

$$P = p A = 1333 X \text{ N} = 1,333 X \text{ kN}$$

där

X = avläst värde på trycket i bar

Cylinderdomkraften monteras över det aktuella staget, på ett lager som hjälper domkraftsutrustningen att följa med ifall dragningen skulle ske något snett. Lagret placeras på en plåt över lastfördelande balkar och stockmattor som fungerar som markens mothåll då staget skall dras uppåt (Figur 9, nedan).

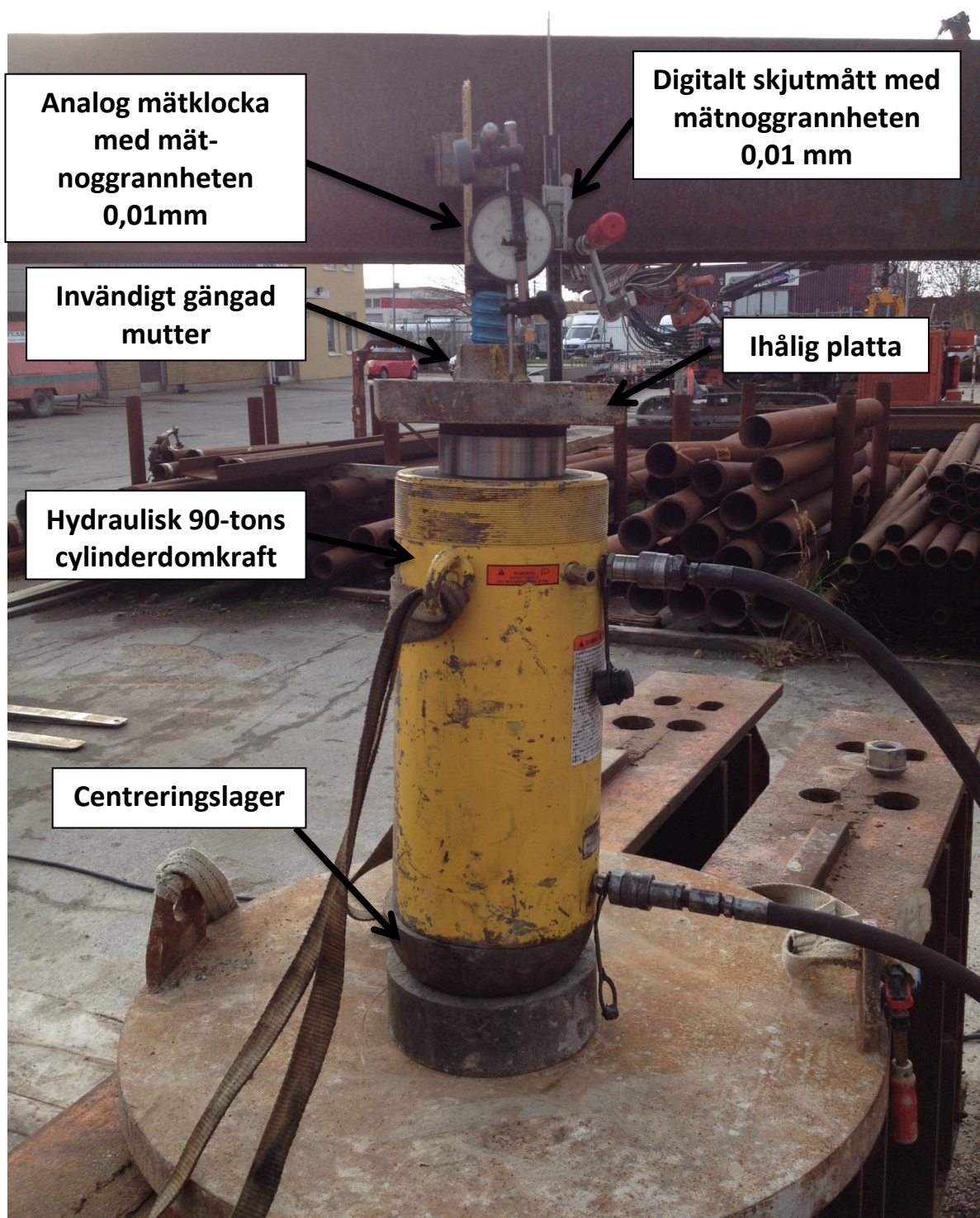
Ovan domkraften träas en ihålig platta över staget och sist skruvas en invändigt gängad mutter som låser plattan i höjdlid. Mot plattan monteras mätinstrument och efterhand som domkraften pumpas upp registrerar de stagets förlängning och eventuella krypning (Figur 10, nedan).

Enligt SS-EN 1537 skall mätinstrumenten ha en noggrannhet av åtminstone 0,05 mm vid mätning av krypningen under ett laststeg. Mätinstrument skall ha noggrannheten 0,5 mm då endast förlängningen mäts och inte krypningen. Då krypningen skulle mätas under studiens tre Suitability test användes ett digitalt skjutmått med noggrannheten 0,01 mm. Dessutom monterades ytterligare en mätklocka – en analog sådan – med samma noggrannhet. Mätklockorna placerades på en H-balk som i sin tur monterades på pallar, fristående från stagen och de lastfördelande balkarna och stockmattorna.

För att säkerställa att klockorna verkligen mätte stagens rörelse – och att inte exempelvis marken omkring stagen sjönk ihop under provdragningen – gjordes dessutom en uppställning av ett avvägningsinstrument, ca 10 meter ifrån provdragningsplatsen. Resultatet från avvägningsinstrumentet antecknades i ett särskilt protokoll och redovisas som appendix D i rapporten.



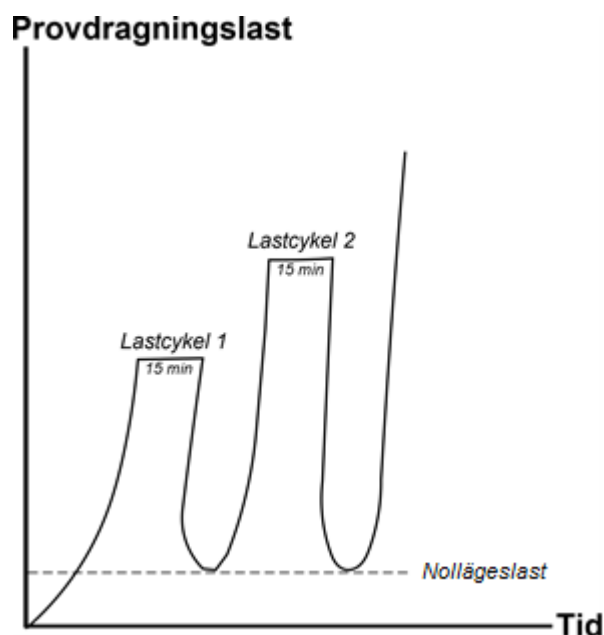
Figur 9. Uppställning med lastfördelande grävmaskinsmattor och balkar, samt en fristående monterad H-balk som mätinstrumenten fästs på (FOTO:Jonas Nilsson).



Figur 10. Cylinderdomkraften monterat över dragstaget. En platta fördelar lasten över balkarna och ett centreringslager ser till så att domkraften följer med ifall staget skulle börja dras snett. Mätinstrumenten mäter krypningen med noggrannheten 0,01 mm efterhand som staget dras upp (FOTO: Jonas Nilsson).

4.5.3 Utförande

Dragstagen provdras i lastcykler om vardera 15 minuter, där lasten ökar för varje cykel. Mellan varje laststeg avlastas till en s.k. nollägeslast, se figur 11 nedan.



Figur 11. Provdagningsförfarande. Provdagningen kan med enkelhet förlängas och utföras i fler lastcykler om så krävs (Diagram: Jonas Nilsson).

Som tidigare påpekats skall provdragningen utföras som ett Suitability test enligt Test metod 1 med minst 5 lastcykler. Det femte laststeget blir 255 kN och nollägeslasten har i detta fall satts till 30 kN. Om staget fortfarande inte släppt vid 255 kN utökas provdragningen med ett sjätte laststeg.

Vid varje laststeg vidhålls lasten i 15 minuter medan förlängningen avläses efter 1, 2, 3, 5, 10 och 15 minuter. Förlängningen antecknas i upprättat provdagningsprotokoll (se Figur 8), vilket redovisas som appendix A, B och C i rapporten.

5 Resultat

5.1 Brottlast

Samtliga tre dragstag i fallstudien gick till brott omkring 435 kN. Vid provdragningen av det blå respektive det gröna dragstaget började de glida omkring denna last och det gick då inte att få upp högre tryck på domkraftens hydrauliska pump.

Vid provdragningen av det gula dragstaget blev förlängningen mellan $t_1 = 5$ minuter och $t_2 = 15$ minuter så stor vid 435 kN att kryptalet k översteg 2,0 mm enligt ekvation 2.4:

$$k = \frac{s_2 - s_1}{\lg \frac{t_2}{t_1}} = \frac{55,88 - 54,56}{\lg \frac{15}{5}} = 2,77 \text{ mm}$$

Det gula dragstaget ansågs därmed också ha brutit.

5.2 Fri längd

För att kontrollera att installeringen av dragstagen skett enligt plan, med en korrekt fri längd ner till kalkberget innan förankringslängden tar vid, bör man med hjälp av förlängningen enligt provdragningsprotokollen räkna ut den teoretiska fria längden. Detta bör stämma överens med den planerade fria längden enligt tabell 4 för att inte tveksamheter kring installeringen skall uppstå. Den teoretiska fria längden beräknas enligt SS-EN 1537 med följande ekvation:

$$L_{app} = \frac{A_t E_t \Delta s}{\Delta P} \quad (2.3)$$

där

L_{app} = Den teoretiska fria längden (m)

A_t = Stagets/stålets tvärsnittsarea (m²)

E_t = Elasticitetsmodulen för stålet i staget (N/m²)

Δs = Stagets förlängning (m)

ΔP = Differensen mellan provdragningslasten P_p och nollägeslasten P_a i ett laststeg (kN)

I denna undersökning har samtliga tre dragstag samma tvärsnittsarea, $A_t = 879 \text{ mm}^2$ och elasticitetsmodul, $E_t = 210 \text{ GPa}$ (de Neef Scandinavia AB, 2004).

Granskar man provdragningsprotokollet för det blå staget och t.ex. tittar på lastcykel nr 3 (Appendix A) får man följande:

$$L_{app} = \frac{A_t E_t \Delta s}{\Delta P} = \frac{879 \cdot 10^{-6} \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot (15,74 - 4,92) \cdot 10^{-3}}{165 \cdot 10^3 - 30 \cdot 10^3} = 14,8 \text{ m}$$

Gör man motsvarande beräkning för det gula respektive det gröna staget blir den fria längden 14,6 m respektive 14,8 m. Då dessa resultat stämmer relativt väl med den fria längden i tabell 4 får installeringen anses korrekt utförd.

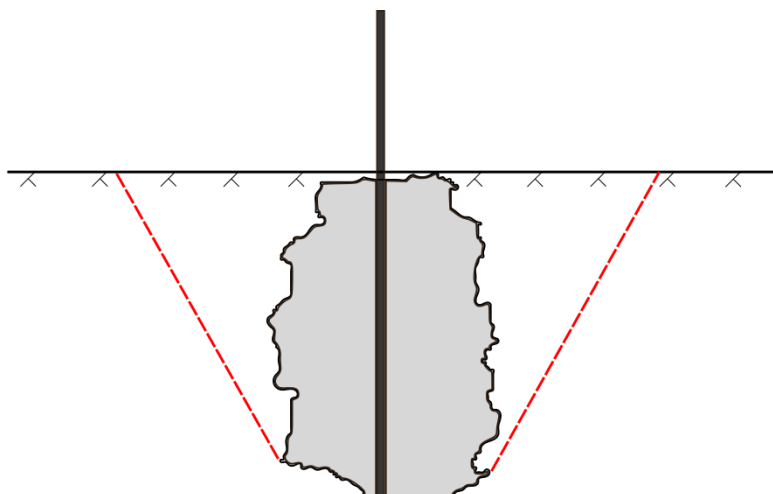
5.3 Brottfall

Det finns ett antal olika möjliga fall som brotten kan ske på och som bör beaktas. Dels kan själva stålet brista, dels kan stålet lossna från kalkberget. En tredje möjlighet är att en bit av kalkberget lossnar tillsammans med stålet. Vidare bör man fundera över ifall brottet sker momentant eller ifall det sker en tidsberoende förskjutning.

En möjlighet är att stålet p.g.a. ett tillverkningsfel har lägre hållfasthet än leverantören uppgett i sin dimensioneringsguide och att staget därför brustit. Detta får dock ses som högst osannolikt då ett sådant fel förmodligen gett ett väldigt varierat resultat mellan de tre dragstagen. I dessa tre fall uppstod dock brotten vid ungefär samma last, 410-435 kN. Denna last är dessutom avsevärt lägre än leverantörens anvisade brottlast på 660 kN för stålet (se avsnitt 4.3 *Dimensionering av dragstag*), d.v.s. det är mindre troligt att brott skett i stålet.

Ett mer troligt scenario är att stålet släppt ifrån kalkberget. Ett sådant brott skulle ge ett tvärt brott och dragstaget skulle sedan inte ta mer last än sin egentyngd, vilket är precis det som skedde för det blåa respektive det gröna dragstaget.

Brott kan även ha skett genom att en bit av kalkberget lossnat tillsammans med stålet, och då troligtvis i form av en kon (se figur nr 12 nedan). Ett sådant brott skulle förmodligen innebära ett dragstag som inte lossnar tvärt utan förskjutningen skulle troligtvis öka markant samtidigt som dragstaget tar mindre och mindre last efterhand som konen lossnar ifrån resterande kalkberg. Detta är ett fall som stämmer väl överens med det gula stagets resultat.



Figur 12. De streckade röda linjerna visar en möjlig brottyta där en bit av kalkberget lossnar i form av en kon. Det gråa fältet visar en möjlig injekteringszon för dragstaget (FIGUR: Jonas Nilsson).

Eftersom brott skett vid ungefär samma kraft i samtliga tre fall skulle man kunna verifiera denna last med uppgifter på vidhäftningen i kalkberg. Det svåra med det är dock att vidhäftningen för just kalkberg är något svårdefinierad (se avsnitt 4.2).

6 Slutsats

6.1 Felkällor

I fallstudien som utförts finns en del felkällor – både vad gäller installeringen och provdragningen – som bör nämnas och diskuteras.

En felkälla under installeringen av dragstagen är bedömningen av när borrningen anses ha nått friskt kalkberg. Med den typ av borrning som utfördes är denna bedömning relativt svår att göra och här spelar borrarrens erfarenhet en stor roll. I detta fall utfördes borrningen av en borrar med över 20 års erfarenhet, och med erfarenhet av tidigare borrar i samma provgrup, just för att minska denna felkälla.

När det gäller uppställningen för provdragningen finns det också en sak som skulle kunnat påverka resultatet. H-balken som mätinstrumenten monterades på kan eventuellt ha rört sig något då den endast var placerad på pallar. För att helt eliminera denna felkälla kunde man exempelvis ha borrarat/slagit ner pålar utanför området med dragstagen, som H-balken sedan svetsats fast i.

När det gäller resultatet från avvägningsinstrumentet (se avsnitt 4.5.2 *Utrustning och uppställning*) som redovisas i appendix D får detta anses stämma väl överens med provdragningsprotokollen, och denna felkälla kan därmed uteslutas.

Vid provdragningen kan en felkälla vara att dragstagen inte installerats helt vertikalt och därför dras något snett. Även om lagret som användes vid provdragningen tar upp det mesta av eventuella lutningar så innebär mätningen så pass stora krafter som 300kN och noggrannhet på 0,01mm. Därmed finns risken att plattan som mätningarna gjordes mot lutat något så att mätinstrumenten inte mätt parallellt med dragstagens riktning. Ett sådant fel, precis som om H-balken rört sig under provdragningen, skulle kunnat påverka resultaten relativt mycket just eftersom avläsningarna sker med en sådan noggrannhet som 0,01 mm.

6.2 Utvärdering av data

Utifrån resultaten från fallstudien kan man motivera att provdragning av dragstag i kalkberg bör behandlas på det sätt SS-EN 1537 beskriver, d.v.s. på samma sätt som jordstag med en något utdragen provdragningsprocess där varje laststeg varar i minst 15 minuter. Detta beror troligtvis på att det brottfall med en kon som lossnar är en möjlighet i just kalkberg, något som resultatet från det gula staget indikerar. Ett intressant förslag på framtida examensarbeten skulle kunna vara att studera hur detta brott uppstår i detalj – exempelvis om brotten alltid sker i en viss vinkel jämfört med stagets riktning.

Det hade även varit intressant med en liknande fallstudie som denna, men avseende hårt berg såsom granit/gnejs. Då hårt berg håller ihop bättre än det mjuka kalkberget så hade det eventuellt eliminerat möjligheten för brottfallet med konen. På så sätt hade man kanske endast fått momentana brott och då hade man vidare kunnat undersöka möjligheten att korta ner provdragningsprocessen för att spara tid i entreprenader med dragstag i hårt berg.

Referensförteckning

Litteratur

Bachus, R.C – Pass, D.G – Sabatini, P.J (1999) *Geotechnical Engineering Circular No.4 – Ground Anchors and Anchored Systems*, Office of Bridge Technology, Washington

CEN, European Committee For Standardization (1999) *SS-EN 1537 Execution of special geotechnical works – Ground anchors*, Bryssel

Davidsson, Jerry – Dreifaldt, Martin, (2006) *StabPier, Test och provbelastning av en ny typ av grundläggningsplint*. Avdelningen för Konstruktionsteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund

De Neef Scandinavia AB, (2004) *Dimensioneringsguide /3 Ischebeck TITAN stag och påle*, Sverige

Fredriksson, Anders – Ryner, Anders – Stille, Håkan, (1996) *Spont Handboken – för konstruktion och utformning av sponter*. Byggforskningsrådet, Stockholm

Hellgren, Arne – Nordin, Per-Olof – Lindqvist, Herbert – Bengtelius, Gustav-Magnus – Bergström, Stig – Lundahl, Björn – Widing, Svante – Broms, Bengt, (1974) *Förankring av provisoriska sponter*. Statens planverk, Stockholm

Sahlström, Per Olof – Stille, Håkan, (1979) *Förankrade sponter*. Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Personlig kommunikation

Ekdahl, Ulf (2014), Ekdahl Geodesign AB, ulf@ekdahlgeo.se

Landkvist, Philip (2012, 2013), Geoteknisk koordinator, Peab Grundläggning AB, philip.landkvist@peab.se

Elektroniska källor

Geometrik i Stockholm AB (2014)
www.geometrik.se, informationen hämtad 25 juli 2014

Stockholms Geomekaniska AB (2014)
www.geomek.com, informationen hämtad 25 juli 2014

Williams Form Engineering Corp. (2011).
www.williamsform.com, informationen hämtad 19 maj 2014

Appendix

Appendix A – Provdragningsprotokoll blått dragstag

PROVDRAGNINGSPROTOKOLL

	P _p (kN)	Förlängning vid uppspanning (mm)					
		1 min	2 min	3 min	5 min	10 min	15 min
Lastcykel 1	30	3,88	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-
	75	7,72	7,72	7,72	7,72	7,72	7,72
	-	-	-	-	-	-	-
	30	4,87	-	-	-	-	-
Lastcykel 2	30	4,96	-	-	-	-	-
	75	7,62	-	-	-	-	-
	120	11,22	11,22	11,22	11,22	11,22	11,22
	75	8,68	-	-	-	-	-
	30	4,84	-	-	-	-	-
Lastcykel 3	30	4,92	-	-	-	-	-
	120	11,65	-	-	-	-	-
	165	15,74	15,74	15,74	15,74	15,74	15,74
	120	12,66	-	-	-	-	-
	30	5,14	-	-	-	-	-
Lastcykel 4	30	5,20	-	-	-	-	-
	165	15,85	-	-	-	-	-
	210	19,55	19,55	19,55	19,55	19,55	19,55
	165	18,17	-	-	-	-	-
	30	5,72	-	-	-	-	-
Lastcykel 5	30	5,78	-	-	-	-	-
	210	20,93	-	-	-	-	-
	255	25,11	25,11	25,11	25,11	25,11	25,11
	210	23,54	-	-	-	-	-
	30	7,06	-	-	-	-	-
Lastcykel 6	30	7,12	-	-	-	-	-
	255	26,81	-	-	-	-	-
	300	31,72	31,72	31,72	31,72	31,72	31,72
	255	30,68	-	-	-	-	-
	30	10,09	-	-	-	-	-
Lastcykel 7	30	10,22	-	-	-	-	-
	300	34,19	-	-	-	-	-
	345	39,11	39,11	39,11	39,11	39,11	39,11
	300	37,61	-	-	-	-	-
	30	13,96	-	-	-	-	-

Lastcykel 8	30	13,98	-	-	-	-	-
	345	44,37	-	-	-	-	-
	390	53,12	53,28	53,61	53,76	53,76	53,76
	345	49,72	-	-	-	-	-
	30	25,44	-	-	-	-	-
Lastcykel 9	30	25,62	-	-	-	-	-
	390	65,68	-	-	-	-	-
	435	Staget glider vid 425 kN. Kommer ej upp i högre tryck/last.					

Stag: *Blå*

Staglängd: *16,6 meter*

Installeringsdatum: *2013-09-27*

Provdragningsdatum: *2013-10-30*

Appendix B – Provdagningsprotokoll gult dragstag

PROVDRAGNINGSPROTOKOLL

	P _p (kN)	Förlängning vid uppspänning (mm)					
		1 min	2 min	3 min	5 min	10 min	15 min
Lastcykel 1	30	3,70	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-
	75	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65
	-	-	-	-	-	-	-
	30	4,42	-	-	-	-	-
Lastcykel 2	30	4,45	-	-	-	-	-
	75	7,76	-	-	-	-	-
	120	10,61	10,61	10,61	10,61	10,61	10,61
	75	8,03	-	-	-	-	-
	30	4,81	-	-	-	-	-
Lastcykel 3	30	4,81	-	-	-	-	-
	120	11,09	-	-	-	-	-
	165	15,46	15,46	15,46	15,46	15,46	15,46
	120	11,17	-	-	-	-	-
	30	4,96	-	-	-	-	-
Lastcykel 4	30	5,04	-	-	-	-	-
	165	15,08	-	-	-	-	-
	210	20,70	20,70	20,70	20,70	20,70	20,70
	165	17,04	-	-	-	-	-
	30	5,64	-	-	-	-	-
Lastcykel 5	30	5,64	-	-	-	-	-
	210	19,56	-	-	-	-	-
	255	25,91	25,91	25,91	25,91	25,91	25,91
	210	21,53	-	-	-	-	-
	30	6,90	-	-	-	-	-
Lastcykel 6	30	6,93	-	-	-	-	-
	255	26,60	-	-	-	-	-
	300	31,38	31,38	31,38	31,38	31,38	31,38
	255	28,52	-	-	-	-	-
	30	8,22	-	-	-	-	-
Lastcykel 7	30	8,31	-	-	-	-	-
	300	31,97	-	-	-	-	-
	345	38,06	38,06	38,06	38,06	38,06	38,06
	300	35,93	-	-	-	-	-
	30	8,75	-	-	-	-	-

Lastcykel 8	30	8,80	-	-	-	-	-
	345	38,97	-	-	-	-	-
	390	44,67	44,67	44,67	44,67	44,67	44,67
	345	41,26	-	-	-	-	-
	30	10,14	-	-	-	-	-
Lastcykel 9	30	10,17	-	-	-	-	-
	390	44,80	-	-	-	-	-
	435	53,23	53,69	53,92	54,56	55,27	55,88
	390		-	-	-	-	-
	30		-	-	-	-	-

Stag: *Gul*

Staglängd: *16,6 meter*

Installeringsdatum: *2013-09-27*

Provdragningsdatum: *2013-10-31*

Appendix C – Provdagningsprotokoll grönt dragstag

PROVDRAGNINGSPROTOKOLL

	P _p (kN)	Förlängning vid uppspanning (mm)					
		1 min	2 min	3 min	5 min	10 min	15 min
Lastcykel 1	30	3,99	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-
	75	7,91	7,91	7,91	7,91	7,91	7,91
	-	-	-	-	-	-	-
	30	5,01	-	-	-	-	-
Lastcykel 2	30	5,16	-	-	-	-	-
	75	8,01	-	-	-	-	-
	120	11,63	11,63	11,63	11,63	11,63	11,63
	75	8,86	-	-	-	-	-
	30	5,23	-	-	-	-	-
Lastcykel 3	30	5,25	-	-	-	-	-
	120	11,90	-	-	-	-	-
	165	16,04	16,04	16,04	16,04	16,04	16,04
	120	13,01	-	-	-	-	-
	30	5,44	-	-	-	-	-
Lastcykel 4	30	5,48	-	-	-	-	-
	165	16,19	-	-	-	-	-
	210	20,34	20,34	20,34	20,34	20,34	20,34
	165	18,12	-	-	-	-	-
	30	5,75	-	-	-	-	-
Lastcykel 5	30	5,75	-	-	-	-	-
	210	21,31	-	-	-	-	-
	255	25,89	25,89	25,89	25,89	25,89	25,89
	210	24,56	-	-	-	-	-
	30	8,02	-	-	-	-	-
Lastcykel 6	30	8,04	-	-	-	-	-
	255	27,13	-	-	-	-	-
	300	33,08	33,08	33,08	33,08	33,08	33,08
	255	30,51	-	-	-	-	-
	30	10,48	-	-	-	-	-
Lastcykel 7	30	10,48	-	-	-	-	-
	300	35,29	-	-	-	-	-
	345	39,67	39,67	39,67	39,67	39,67	39,67
	300	38,52	-	-	-	-	-
	30	14,19	-	-	-	-	-

Lastcykel 8	30	14,20	-	-	-	-	-
	345	45,70	-	-	-	-	-
	390	55,51	55,61	55,92	55,94	55,94	55,96
	345	51,02	-	-	-	-	-
	30	25,98	-	-	-	-	-
Lastcykel 9	30	26,13	-	-	-	-	-
	390	68,11	-	-	-	-	-
	435	Staget glider vid 410 kN. Kommer ej upp i högre tryck/last.					
	390						
	30						

Stag: Grön

Staglängd: 16,9 meter

Installeringsdatum: 2013-09-27

Provdragningsdatum: 2013-11-01

Appendix D – Resultat från avvägningsinstrument

Avvägningsinstrument

	P_p (kN)	Avvägning vid uppspanning (mm)
Startvärde	0	0
Lastcykel 1	75	8
Lastcykel 2	120	12
Lastcykel 3	165	16
Lastcykel 4	210	20
Lastcykel 5	255	25
Lastcykel 6	300	32
Lastcykel 7	345	40
Lastcykel 8	390	54

Stag: *Blå*

	P_p (kN)	Avvägning vid uppspanning (mm)
Startvärde	0	0
Lastcykel 1	75	8
Lastcykel 2	120	11
Lastcykel 3	165	16
Lastcykel 4	210	21
Lastcykel 5	255	26
Lastcykel 6	300	32
Lastcykel 7	345	38
Lastcykel 8	390	45
Lastcykel 9	435	53

Stag: *Gul*

	P_p (kN)	Avvägning vid uppspanning (mm)
Startvärde	0	0
Lastcykel 1	75	8
Lastcykel 2	120	12
Lastcykel 3	165	16
Lastcykel 4	210	21
Lastcykel 5	255	26
Lastcykel 6	300	34
Lastcykel 7	345	40
Lastcykel 8	390	57

Stag: *Grön*
