

SYSTEM-OPTIMERING

**FÖR ATT MINIMERA KRAFTEN I ÖVERSTA MELLANSÄKRINGEN
OM LÅNG BROMSSTRÄCKA MEDGES VID REDPOINT**

Genomgång och tolkning av befintlig litteratur

Calle Martins 2012

AKA "Sökandet efter den heliga gralen"

Bakgrund

När Ekehed projekterade det som senare blev Deadline på Häller, ställde han en fråga till mig. "Det är en ganska bra RP 2-3m under kruxet 25m upp, men ryker den vid ett fall där jag. Hur ska jag göra för att minimera kraften i kilen?". Förstulett sa jag det gamla vanliga om repdrag, ATC och screamer. Men jag sa även lite osäkert att en Revolverkarbin hjälper.

DMM skrev vid lanseringen av Revolverkarbinen att den minskade kraften på översta säkringen. Detta bestreds av tunga namn och DMM tog bort påståendet från hemsidan. Så jag visste egentligen inte vad jag pratade om men bestämde mig för att ta reda på hur det låg till. Jag hade småklurat på hur man minimerar kraften i översta säkringen, men hur man verkligen optimerar var det jag skulle ta reda på. Mysteriet med Revolverkarbinen förvandlades till vad som kan beskrivas som ett maniskt sökande efter den heliga gralen. Jag googlade och fann mycket bra men inget som besvarade frågan. Efter några år hittade jag ett paper där det nämndes. Därefter kunde jag sätta ihop pusslet och se att jag var tillbaka på ruta ett. Inga fantastiska slutsatser, gamla sanningar håller. Undvik repdrag och säkra med ATC. Svårare än så är det inte. Denna artikel gör dig inte till en säkrare klättrare. När du slår ihjäl dig beror det på avsaknad av kamratkontroll, bristande kommunikation, dåliga kilar, fallande stenar od. Min text måste snarast ses som förkovring för dem som klättrat ett tag och går och tänker på dessa frågor.

Inledning

Jobbar man in en led har man alla möjligheter att optimera alla delar till den situation där man är mest utsatt. I vårt fall är den situationen vid kruxet 25m upp på en helt slät vägg, 2-3m ovanför en RP. Optimering i vårt specifika fall ska förklaras med lösryckta referenser och löjeväckande förenklad mekanik. Ingenting för ingenjörer och *riktiga* nördar som förstår detta bättre än jag någonsin kommer att göra. Men de jävlarna har aldrig försökt utreda detta för den gemene klättraren, så de får gilla läget då en klåpare gör så gott han kan. Dessutom använder jag vissa klättertermer lite annorlunda så kolla ordlistan (bilaga 1) före läsning.

1. Klättraren

Bli bättre och låt bli att falla. Hmmpf roligt, men beakta att man måste inte göra alla leder man *kan* göra. Situationsanpassa din klätterteknik. Använd hjälm. Lär dig god fallteknik och träna kontinuerlig på det. Det finns mycket skrivet om fallteknik [1.1].

Så långt ingenting du inte visste eller påverkar kraften i ankaret. Men det finns saker du kan göra. Främst kan du kommunicera med säkraren [1.2]. Prata om din led i förväg, olika partier av leden kräver troligen olika säkringstekniker. Fortsätt kommunicera under klättringen. Varna för fall, det är inte alltid man kan ropa "faller" men hojta *något* som varning. Detta ökar säkrarens möjligheter att agera rätt. Utvärdera säkringsarbetet efteråt.

En tyngre klättrare utsätter säkringskedjan för större belastningar. I testet av rep är vikten 80 kg. Genomför man samma test med en vikt på 91 kg blir fångrycket 0,8 kN mer [1.3]. Det betyder ca 1,2 kN större kraft på ankaret. I praktiken är det dock få situationer 11 kg har så dramatisk betydelse som i standardens falltest.

2. Repet

Rep testas enligt EN 892. I testet fästes ena änden genom att linda repet tre varv runt en stång och säkra fast det med en klämma. Detta åstadkommer en helt statisk säkring. Andra änden fästes i testvikten med en åttaknut. Före testet belastas repet med testvikten vilket drar åt knuten. Testvikten är 80 kg. Fallfaktorn är 1,7 till 1,8 beroende på hur man räknar. Vid fallet mätes max-kraften i testvikten, vilket är det som kallas fångryck. De flesta rep ligger mellan 7,5 och 9,5 kN. Det är alltså ganska stor skillnad på olika repmodellers fångryck och det multipliceras med ca 1,6 för att få skillnaden i kraften på ankaret. Man väljer därför ett rep med lågt fångryck.

Med ålder påverkas ett reps egenskaper, men hur det påverkas är oförutsägbart. Alla rep blir svagare med slitage [2.1, 2.2]. De flesta rep får även ett högre fångryck men det har visat sig att rep *kan* få lägre

fångryck slitna än vad de hade som nya [2.3]. Vad som styr detta vet man inte men det kan vara relaterat till en känd faktor. Det är nämligen känt att ett helt nytt rep har inre spänningar från tillverkningsprocessen. Repet behöver tid att dra ihop sig, låter man det vila blir det kortare med tiden. Att blötlägga repet och låta det torka långsamt kan hjälpa och påskynda detta [2.3]. Man har också noterat att rep som invigs med kraftiga fall och senare får försiktiga fall behåller sina dynamiska egenskaper sämre än rep som invigs med försiktiga fall och senare får kraftiga fall [2.4]. Detta övernaturliga fenomen är bäst att bortse från och använda ett nytt rep (som vilat) till sitt projekt.

Fångrycksförlängningen, dvs hur mycket repet töjer sig vid testfallet, får högst vara 40%. Lustigt nog betyder lågt fångryck inte med nödvändighet hög fångrycksförlängning. Finns det en hylla man riskerar att falla i på leden får man titta på fångrycksförlängningen då man väljer rep.

Ett nytt rep med glatt yta har lägre friktion vilket har betydelse för flera delar av säkerhetskedjan. Det minskar repdraget och friktionen i ankarkarbinen men framförallt glider det mer i repbromsen. Repbromsens bromskraft minskas med lägre repdiameter. Ett tunnare rep är lättare vilket påverkar repdraget.

3. Repdrag

Alla klättrare vet att repdrag är av ondo men många underskattar troligtvis repdragets betydelse för kraften i ankaret. Vad som skapar repdrag är friktion av repvinkeln i mellansäkringar, samt anläggningsytor mellan rep och klippa. Varje friktionspunkt gör att lite mindre kraft överförs till repet under friktionspunkten. Detta adderas hela vägen från ankaret i varje friktionspunkt ner till säkraren. Repdrag gör att allt rep inte är med och absorberar fallet, repet nära säkraren kommer inte att töja sig lika mycket som repet nära översta mellansäkringen. Den effektiva fallfaktorn blir därför högre än den teoretiska. Den teoretiska fallfaktorn räknar med noll friktion i systemet.

Repdrag har även en annan effekt som är lättare att glömma bort. Varje friktionspunkt gör att mindre kraft överförs till säkraren. Detta betyder att effekten av dynamisk säkring minskar eller försvinner helt. När effekten av dynamisk säkring minskar blir man mer beroende av repets töjande egenskaper. Det blir då stor skillnad på ett rep med högt fångryck och ett med lågt. Bra information om repdragets effekt finns på Beals hemsida [3.1].

Repdraget beror på hur hårt ytorna pressas ihop och friktionskoefficienten [3.2]. Med lägre friktionskoefficient minskas repdraget. Genom att använda Revolverkarbiner i mellansäkringarna och/eller ett nytt rep med glatt yta blir friktionskoefficienten lägre. Ju större vinkel repet gör i mellansäkringen ju större roll spelar det att minska friktionskoefficienten. Bäst är att undvika repvinklar men går inte det är en Revolverkarbin effektiv.

Hur hårt ytorna pressas ihop kan vi i viss mån påverka. Ett rep har en egentyngd, det väger X antal gram per meter. En friktionspunkt i början av leden pressar ihop ytorna mindre eftersom det är mindre rep nedanför. En friktionspunkt med samma friktionskoefficient högt upp ger mer repdrag pga repets större egentyngd under friktionspunkten [3.3]. Ett rep som har låg vikt per meter minskar därför repdraget. Detta är endast giltigt vid klättring, vid ett fall är det irrelevant.

4. Screamer

Syftet med falldämpare (screamer) är att minska max-kraften på förankringspunkten och kroppen. Vi använder dem oftast till isskruvar. De fungerar genom att sömmar rivs upp vid en viss belastning och "håller emot" med denna kraft genom att sömmarna fortsätter rippa. Rippar falldämparen sin fulla längd agerar den som en vanlig kortslinga utan ytterligare dämpande egenskaper. Falldämpare illustrerar bra hur en fallande kropp bromsas. Därför lägger vi in lite mekanik här.

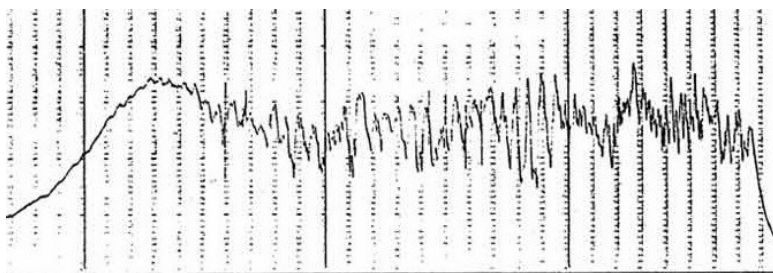


Illustration 1

Grafen ovan är en riktig kraftkurva på en falldämpare. Falldämparen aktiveras vid en viss kraft och sedan "håller den emot" med denna kraft hela vägen. Detta skapar en kraftkurva utan någon kraftig topp. Utseendet på kurvan är mycket betydelsefull för vilken max-kraft vi får. (i eng litteratur "peak load"). I ett dynamiskt förlopp är det toppar som ska undvikas. Det spelar ingen roll hur lång tid max-kraften varar, det intressanta är hur hög den är.

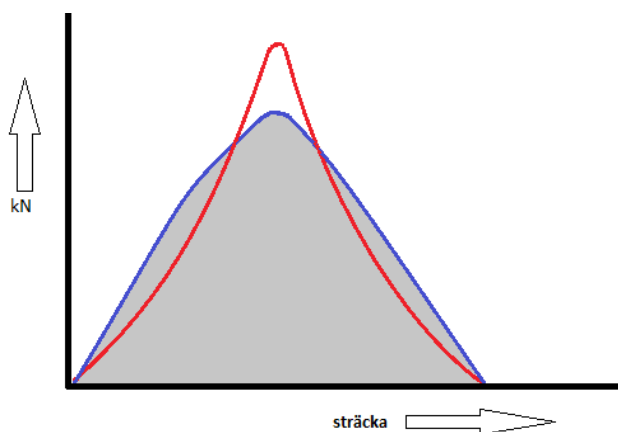


Illustration 2

Ovan har vi approximerade kraftkurvor för två rep. Tyvärr har klätterrep en kraftkurva som inte är platt som falldämparnas utan är mer spetsig. Dock ser olika repmodellens kraftkurvor olika ut. Vissa rep har en mer platt kurva än andra. Att Rep-Blå har ett lägre fångryck än Rep-Röd åstadkommes genom utseendet på kurvan. Varför, ska förklaras vidare.

En fallande kropp har en viss mängd rörelseenergi. Rörelseenergin är en funktion av hastighet och massa och räknas i joule. Störst energi har kroppen just före inbromsningen påbörjas. Denna mängd rörelseenergi omvandlas i motsvarande mängd till arbete i säkerhetskedjan. När arbetet motsvarar rörelseenergin är den fallande kroppen stilla.

Arbete är kraft över sträcka och kan liksom rörelseenergi räknas i joule. Enklast förstår man detta med falldämpare. Titta på *illustration 1*. X-axeln är sträcka och y-axeln kraft. Det är förutbestämt i konstruktionen av falldämparen vid vilken kraft den ska aktiveras, dvs var på y-axeln. Därefter arbetar den på denna nivå så "länge" det krävs, dvs längs med x-axeln. Är falldämparen konstruerad att arbeta högre upp på y-axeln (mer kraft) kommer rörelseenergin vara utjämnad tidigare och utsträckningen längs x-axeln vara kortare. Mängden arbete är den area (integral) som är under kraftkurvan. Är rörelseenergin större krävs det mer arbete, vilket betyder större area genom mer kraft och/eller längre sträcka. En viss rörelseenergi motsvaras alltså av en area under kraftkurvan. I *illustration 2* har jag gråmarkerat denna area för Rep-Blå.

Rep-Blå och Rep-Röd har samma area under kraftkurvan. Alla rep har samma area i falltestet eftersom rörelseenergin är den samma. Repen i *illustration 2* har även samma fångrycksförlängning men Rep-Blå har en mer gynnsam kurva då den är plattare. Härmed har vi fått förståelse för att en repmodells fångryck (max-kraft) inte har ett linjärt samband med repets fångrycksförlängning då det beror på utseendet av repets kraftkurva.

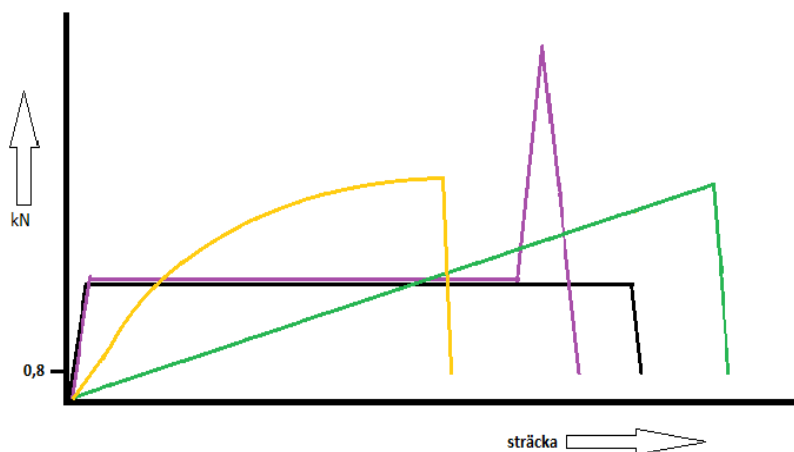


Illustration 3

I *Illustration 3* ser vi tre olika kraftkurvor (den gula är bara extra). Alla har samma area (säger vi...), de utför lika mycket arbete.

Falldämpare-Svart är samma som *illustration 1*, kraften går upp till aktiveringsnivån och håller sig på den nivån tills arean är uppnådd vilket betyder att den fallande kroppen är stilla och kraftkurvan går ner. Falldämpare-Lila följer den svarta men ripp-delen är inte tillräckligt lång och den bottnar ut. Resterande energi i den fallande kroppen måste nu absorberas av en kortslinga (som falldämparen förvandlats till). Den kan inte förlängas mer längs x-axeln. För att uppnå arean som rörelseenergin bestämt måste den nu sticka upp på y-axeln. Det blir därför en topp. Är det helt stumt så kurvan inte kan flyttas längs x-axeln blir kraften oändlig. Alla material ger dock med sig och en nylonslinga töjer sig förhållandevis mycket, vilket förklarar utstäckningen längs x-axeln trots att falldämparen bottnat ut. Falldämpare-Grön har en annan konstruktion. Den aktiveras direkt men motståndet ökas successivt, kanske genom fler och fler stygn i rippdelen. Det är lätt att tro att progressiv falldämpning är en bra lösning, men som vi ser resulterar det i en sämre kurva. Falldämpare-Gul är ungefärlig och ska illustrera hur Falldämpare-Grön ser ut med *tid* på x-axeln. Den är med för att visa att en kraftkurva kan se väldigt olika ut med tid istället för sträcka på x-axeln.

Av de tre falldämparna är det Falldämpare-Svart som har lägst PLIA (Peak Load In Anchor. Max-kraften i översta säkringen). Falldämpare är det mest effektiva sättet att dämpa ett fall om rörelseenergin är känd från början [4.1]. Man kan då bestämma sig för hur stor kraften ska vara och göra rippdelen lagom lång utifrån det. Kraftkurvan kommer på detta sätt vara optimal.

För oss klättrare är det mer komplicerat. Rörelseenergin inte är känd på förhand och den varierar kraftigt. Vi har flera olika delar i säkerhetskedjan som arbetar. Det bekymmersamma för oss är att bromssträckan måste variera. Vad som är bäst i en situation är inte bäst i nästa. Även ankaret har en kraftkurva och det är den som hela denna artikel handlar om. Alla åtgärder vi gör syftar till att få ankarets kraftkurva så platt som möjligt, inom en godtagbar bromssträcka.

Om målet är att minimera PLIA vid ledklättring så är det inte helt självklart att man ska använda falldämpare. Detta är extremt kontrainuitivt. Om falldämparen inte bottnar ut kommer ankaret ha utsatts för mycket låga krafter. Tester som CAI genomfört visar att om falldämparen bottnar ut kan det ge två resultat. Antingen spelade det ingen roll att du använde falldämpare eller så *ökade* PLIA för att du använde falldämpare. Jag har inte hittat dessa tester utan endast läst referat [4.2]. Enligt Jim Titt beror fenomenet på att falldämparen stjäl rebromsens positiva effekt. Jag kan tänka mig att det har och göra med att medan falldämparen rippas spänns repet upp och säkraren hinner låsa bromsen, och då falldämparen bottnar ut och kraft-toppen kommer så ska denna topp tas omhand av ett system som redan är uppspänt. Hur det ligger till med det här vet jag inte förrän jag läst testerna från CAI.

5. Översta karbinens friktion

Vi har nått den heliga gralen. Att använda en Revolverkarbin eller att inte använda en Revolverkarbin, det är frågan.

Det beror på... eller rättare sagt, det spelar inte så stor roll. För att förstå varför fortsätter vi med lite mekanik. Kanske illustrationen i bilaga 2 kan hjälpa dig förstå detta kapitel.

I ett system som är belastat statiskt, dvs klättraren hänger stilla, är belastningen i ankaret klättrarens kraft (F^1) gånger två. Detta kallas pulley-effekt. Det beror på att man måste hålla emot med samma kraft på "andra sidan" ankaret för att klättraren inte ska rasa ner eftersom repet löper genom ankarkarbinen. Friktionen i ankarkarbinen gör dock att man inte behöver hålla emot fullt lika mycket. Kraften i klättraren minus friktionen ger hur mycket man måste hålla emot. Mothållet kallar vi F^2 . Kraften i ankaret är $F^1 + F^2$. Det är mer vanligt att man uttrycker det med att kraften i ankaret är klättrarens kraft gånger två, minus friktionen i ankarkarbinen ($2F^1$ -friktion). Kraften i ankaret minskar med hög friktion och ökar med låg friktion. Vi ska nu utreda vad som sker i ett dynamiskt förlopp.

Friktion är galet komplicerat och inte relevant att utreda till fullo här. Jag förenklar därför skamlöst. Friktionskraften (F_f) i en anläggningsyta beror som sagt på hur hårt ytorna pressas ihop och friktionskoefficienten. Mer tekniskt: $F_f = \mu N$, där μ är friktionskoefficienten och N är normalkraften. Det ger storleken på friktionskraften. Friktion är svårt att räkna på eftersom friktionskoefficienten varierar med bla hastighet och temperatur. Ytfriktion står dessutom endast för ca hälften av det motstånd som sker i ankarkarbinen, resterande beror på böjning av repet runt den snäva radie karbiner har [5.1]. För att reta ingenjörerna betecknar vi motståndet i ankarkarbinen med Ω för att det liknar ett rep över en karbin. Istället för att prata om vilken storlek motståndet har, låter vi Ω vara andelen av kraft som motståndet "tar bort". Andelen är 0 till 1. Detta är vi mer vana vid då effektiviteten på hiss-block ofta anges i %. Dock vänder vi nu på siffrorna eftersom vi pratar om motstånd. Hiss-blocket "Rescue" [5.2] anges ha en effektivitet på 95%, den har då alltså Ω 0,05. En gammal röten karbin kan ha motstånd på Ω 0,5. En mer normal karbin har Ω 0,4. En ny Petzl Attaché-karbin [5.2] har Ω 0,35 och en Revolverkarbin har motstånd ner mot Ω 0,25 [5.3, 5.4]. I fortsättningen kallar vi motståndet i ankarkarbinen för friktion, men egentligen är alltså motstånd mer korrekt.

Friktion hindrar repet från att glida över från säkrarens sida till klättrarens sida om ankarkarbinen. Är Ω ett, får vi alltid fallfaktor 2 då inget rep på säkrarens sida dämpar fallet. Det är alltid fördelaktigt för den fallande kroppen med låg friktion eftersom mer rep kommer att dämpa fallet. Samma sak gäller dock inte för ankaret, så det gäller att skilja på kraften i den fallande kroppen och kraften i ankaret.

Exempel: Statisk säkring och fallfaktor 1,999. Eftersom vi har försumbar mängd rep på "säkrarens" sida kommer kraften i den *fallande kroppen* (F^1) vara nästan identisk om vi har hög eller låg Ω . Med Ω 0,9 kommer kraften i *ankaret* kommer att vara $(F^1) \times (2 - 0,9)$, och med Ω 0,1 kommer kraften i ankaret vara $(F^1) \times (2 - 0,1)$. Alla värden i exemplet är orimliga men med den låga friktionen är kraften i ankaret nästan dubbelt så hög.

Även i dynamiska förlopp gäller alltså att kraften i ankaret är $(F^1) \times (2 - \Omega)$, eller annorlunda uttryckt $2F^1 - F_f$. Detta är alltid giltigt.

Med dynamisk säkring blir det annorlunda, visar det sig i McMillans eminenta artikel [5.3]. Repbromsar har en begränsad bromskraft. Utsätts bromsen för högre kraft resulterar det i glidning i hand/broms. Börjar man räkna från bromskraften istället för att börja räkna från den fallande kroppen vänder sig hela formeln.

Utan friktion i systemet kan kraften i klättraren aldrig bli högre än bromskraften. Friktionen i ankarkarbinen gör dock att kraften i klättraren blir högre än bromskraften. Tidigare sa vi att $F^1 - F_f = F^2$. Då är det ganska självklart att $F^2 + F_f = F^1$. Räknar vi från bromskraften adderar alltså friktion kraft i ankaret. Detta är möjligt eftersom förlängd bromssträcka lags in som ny parameter. Vi ska överföra så mycket kraft som möjligt till repbromsens kraftbegränsande egenskap. Lyckas vi överföra mycket kraft till repbromsen ökar bromssträckan. $2F^1 - F_f$ är fortfarande giltigt, men med låg friktion och dynamisk säkring har vi minskat F^1 drastiskt.

Tänk på att bara för att man börjar räkna från bromskraften betyder det inte att kraften utgår därifrån. Kraften utgår fortfarande från den fallande kroppen. *Motståndet* (se ovan) gör att lite mindre kraft når fram till bromsen. Hade denna kraft nått bromsen hade den minskat kraften och förlängt bromssträckan,

se kapitel 4. Att rörelseenergi omvandlas till värme istället för att omvandlas till kraft är fördelaktigt. Att mindre mängd blir värme med låg friktion i ankarkarbinen kompenseras av att större mängd blir värme i repbromsen.

Revolverkarbinen minskar alltså kraften i ankaret men det är en hal skridskobana. Om systemet är mer statiskt genom repdrag eller en tjockis som säkrar med Gri-gri, så blir effekten den motsatta. Varje faktor som begränsar effekten av dynamisk säkring gör att man närmar sig brytpunkten då en Revolverkarbin hjälper istället för hjälper och när den brytpunkten kommer har vi ingen aning om.

6. Säkraren / Repbromsen

Det handlar således om säkraren. Alla åtgärder vi gör är för att överföra så mycket kraft som möjligt till repbromsen. Det finns mycket testat och skrivet om detta. CAI reglerar på området och de har genomfört mer än tusen tester på säkringsarbete. Tyvärr har de publicerat mycket lite om säkring av läskiga enrepersturer. "Craging är ju borrhultat", så nästan allt utgår ifrån att säkraren är kopplad till en standplats. Vad som är bäst säkringsarbete är otroligt komplext och varierar med säkringsperson och situation [6.1, 6.2]. Jag fokuserar på vad som är optimalt i vårt fall, vilket betyder minimerat repdrag, låg friktion i ankarkarbinen, att lång bromssträcka medges och att säkraren står på backen.

I vårt fall är säkringsarbetet den mest betydelsefulla faktorn för PLIA [6.3]. Med minimal friktion i systemet och dynamisk säkring är fallfaktor och repets fångryck av mindre betydelse. Vårt koncept bygger ju på att repbromsen är mer effektiv än repet på att bromsa ett fall. Det är repbromsen som ska arbeta för att bromsa fallet. Mängden arbete är relaterat till den fallande kroppens rörelseenergi. Med låg friktion i systemet är det härav fall-längden som avgör hur stor kraft säkraren utsätts för [6.4] och då gäller det att säkraren hanterar den kraften rätt.

Det viktigaste först, inte säkra med Gri-gri. Gör vi det kan vi lika väl skita i alla åtgärder och få ett normalt PLIA kring 7 kN för rediga fall, vilket bra säkringar tål. Användning av Gri-gri kan i vissa fall fördubbla PLIA [6.3, 6.5]. Förvånande för många eftersom det finns en utbredd uppfattning om att säkraren lyfts och dämpar fallet. Effekten av att säkraren lyfts är gravt överskattad. Att säkraren följer med upp med god tajmning *har* effekt men efter ca 40 cm spelar det inte längre någon roll för PLIA [6.3, 6.4]. Att säkraren väger lite minskar PLIA men effekten är mindre än förväntat, i korrelation med den överskattade effekten av att säkraren lyfts [6.1]. Att hoppa för att minska PLIA har visat sig vara mycket svårt.

Lägst PLIA fås genom att inte belasta ankaret och låta klättraren dra i backen. Vi måste därför kontinuerligt identifiera godtagbar bromssträcka. Inom denna sträcka är målet att ankarets kraftkurva är så platt som möjligt. Detta är lättare sagt än gjort. PLIA uppnås väldigt tidigt, efter ca 1-2 tiondelar av en sekund. När klättraren närmar sig slutet av bromssträckan har kraften i ankaret börjat sjunka. Nyckeln ligger därmed i att minimera bromskraften i starten eftersom det visat sig svårt att undvika en kraft-topp i början av förloppet [6.6]. Orsaken till detta är att en massa har en inneboende tröghet mot rörelseförändringar. Det krävs mer kraft att accelerera en massa än att bibehålla hastigheten. Masströgheten (eng. inertia) gör det ineffektivt att säkraren lyfts. Då säkraren accelererat i 1 tiondel kanske PLIA redan är över. Mothållet är som störst just när vi behöver så litet mothåll som möjligt. Säkras man med Gri-gri kommer ankarets kraftkurva få en kraftig topp i början. Att säkraren följer med upp står därför för endast ca 10% av effekten av dynamisk säkring [6.3].

Masströghet refereras till som en bov även med fastförankrad repbroms. Handkraften är större då repet är stilla i handen och säkraren håller emot medan handen obönhörligen dras mot bromsen. Det är under denna fas som PLIA uppnås och orsaken tillskrivs masströgheten [6.3]. Då handen ligger an mot bromsen börjar repet glida genom handen vilket ger lägre bromskraft. Ju större massa som accelererar innan repet börjar glida i handen ju sämre är det. Vi ska därför göra vad vi kan för att minimera effekten av masströghet.

Repbromsar är kraftförstärkare av handkraften i passiva repet. Skillnaden i bromskraft blir stor med små skillnader i handkraft. Hur många gånger handkraften förstärks varierar kraftigt mellan olika repbromsmodeller. Hur många gånger handkraften förstärks i en specifik broms varierar med handkraft, repdiameter, repyta, styvheten på repet, hastighet och karbinmodell. Kraftförstärkningen minskar med vinkeln som det passiva repet går in i bromsen med [5.1]. Naturligtvis varierar handkraften mellan olika

personer och olika rep. Till skillnad från att säkra från en fastföranckrad repbrom är kroppspositionen vid säkring från selen en usel ställning för att få ordentligt tag [6.6]. Oftast ligger handkraften mellan 150 N och 350 N. 250 N anses vara ett normalvärde [6.5]. Ett rep med diameter 9,4 och en handkraft på 250 N ger en kraftförstärkning kring 7 med ATC [6.4]. Bromskraften blir då 1,75 kN.

Vi kan nu gå in på halvrep. Halvrep rekommenderas ibland för att minska belastningen på ankaret, tex vid isklättring. Halvrep testas med 55 kg och detta har skapat tvivel bland klättrare huruvida halvrep som fångar ett fall har lägre fångryck än ett enkelrep som fångar samma fall. Den lilla information som finns om detta tyder på att ett reps kraftkurva kan ändra utseende om man ändrar massan i falltestet [1.3, 6.7]. Vissa halvrep är alltså optimerade för testet med 55 kg. De flesta halvrep har dock lägre fångryck än enkelrep även med 80 kg, men skillnaden är inte stor och du vet inte vad du får. Du är däremot garanterad en större fångrycksförlängning. Verkliga tester konkluderar dock att halvrep med dubbelrepsteknik genererar lägre PLIA. Dubbelrepsteknik kan ge mindre repdrag och minskad friktion i systemet ger lägre PLIA. Dock är den främsta orsaken att handkraften på passiva repet är lägre. Delvis pga diametern men framförallt för att det är svårt att hålla tag när ett rep ligger stilla i handen och ett rep löper [6.1, 6.6].

För att minimera PLIA ska bromskraften vara låg men att hålla löst är en träningsfråga och inte något man måste bygga in i systemet som gör det omöjligt att situationsanpassa tekniken. Låg bromskraft ökar risken för att säkraren tappar kontrollen. Utan att hänvisa till referenser hävdar Jim Titt att vinsten av glidning i bromsen mattas av och blir försumbar efter ca $\frac{1}{4}$ av fall-längden [5.1]. För mig låter det rimligt att det är svårt att hålla jämn bromskraft vid lång glidning. Påståendet är också i linje med övrig litteratur som visat att kraften i ankaret börjat sjunka då klättraren närmar sig slutet av bromssträckan. För låg bromskraft är därför ineffektivt och ökar risken för att något ska gå fel.

Vårt mål är som sagt att minimera friktionen i hela systemet för att överföra så mycket av kraften som möjligt till repbromsen. Säkringsarbetet ska få ankarets kraftkurva så platt som möjligt, att efterlikna falldämparen. I valet av repbroms-konfiguration och säkringsteknik kan vi styra var på y-axeln vi ska verka. Initialt ska vi säkra mer dynamiskt och därefter sträva efter att hålla bromsens kraftkurva så platt som möjligt. I vårt fall, då klättraren faller på kruset innebär *optimalt säkringsarbete* att använda ATC med ny Petzl Attaché eller motsvarande karbin. Håll passiva 90°- 100° ut från bromsen som utgångsläge. Håll löst tills det börjar ta, då vinkar du ner passiva repet så att vinkeln blir 180° och ökar handkraften. Låt kroppen följa med kraften genom att låta höftpartiet skutas fram och ta ett kliv framåt. Mer behöver inte kroppen flyttas. Håll bromshanden på samma avstånd från repbromsen genom hela momentet. Eftersom repet kan glida upp till flera meter i bromsen är handskar en nödvändighet för metoden. Se till att du har perfekt matning från rephögen. Dynamisk säkring är svårt, farligt och kräver mycket träning. Var helt trygg med metoden innan du kör på riktigt. Tappar du din kamrat till följd av denna artikel kommer jag prygla dig.

Beakta att ett system optimerat för att minimera PLIA innebär risker för annat i säkringskedjan. Kraften i säkraren blir stor med liten friktion i systemet. Därmed riskerar säkraren lyftas långt och brutalt. Det påverkar inte PLIA att säkraren är kopplad till ett bottenankare om man har slack. Det måste inte vara ett ankare, det räcker med en lagom tyngd. Låses bromsen av någon orsak får klättraren en kraftig pendel in i väggen, särskilt om man använder bottenankare. Är det lite friktion i systemet, bromskraften låg, fallet långt och fallfaktorn hög (>1) har säkraren inga möjligheter att stoppa fallet inom en rimlig bromssträcka [6.6]. Detta är något UIAA varnar för mycket och orsaken till allt tjat om att säkra mycket i början av replängden vid multi-pitch. En möjlig åtgärd är att öka bromskraften med en extra karbin, vilken kan tas bort senare om man vill minska bromskraften.

7. Uträkning av kraft och bromssträcka

Se bilaga 3 för ytterst spekulativa uträkningar.

8. Falerande mellansäkringar

Vad som händer i systemet då den översta mellansäkringens falerar har ingenting att göra med att minimera PLIA. I vårt fall går man dessutom i backen. Men det kan vara av allmänt intresse för kilklättrare. Det har cirkulerat tankar kring att om den översta säkringens falerar, gjorde den mer skada än nytta då man belastar nästa säkring. Farhågan var att repet har förlorat sin dynamik då det spändes upp i första säkringens om den höll mycket kraft men inte tillräckligt. Jag hittade ett test av detta [8.1].

Studien kom fram till att en falerande säkring gör mer nytta än den skadar. Ett rep som momentant avlastas helt, smäller tillbaka som ett gummiband på mycket kort tid till sin ursprungliga längd. Vi upplever aldrig detta eftersom vi fortsätter belasta repet med vår kroppsvikt efter ett fall. Det hindrar repet från att smälla tillbaka till sin ursprungliga längd och gör det nödvändigt att låta repet vila mellan fall.

Då man belastar nästa säkring efter att den översta falerat kommer repet vara nästan lika dynamiskt som före fallet. Dock kommer åtta-knuten vara åtdragen vilken är en signifikant falldämpare. Systemet är därför lite mer statiskt när andra säkringen belastas men vinsten av minskad fallhastighet överväger förlusten av en åtdragen åtta.

9. Kilen



Illustration 5

Inte heller kilplacering handlar om PLIA. I vårt fall handlade det dock om PR:s och det finns en del desinformation om småkilar.

Med små kilar är marginalerna äckligt små. Vilken kil man ska välja beror på några faktorer. De vanligaste mikrokilarna är gjorda av mässing eller aluminium. BDs "Micro stoppers" är tillverkade genom att järnpulver läggs i en form varpå smält koppar fylls på. BDs anses vara de mikro-kilar med hårdast material, medan mässing är mjukast.

Små kilar har liten anläggningsyta, man vill därför ha full anläggningsyta. Är anläggningsytan för liten kommer materialet deformeras för mycket och kilen dras igenom placeringen. Sannolikheten för detta ökar ju mjukare materialet är.

Eftersom kilen är liten koncentreras sprängverkan till en extremt liten yta. Det är därför stor risk att klippan smulas sönder och att kilen dras genom sin placering utan att deformeras. Sannolikheten för detta ökar ju hårdare materialet är. Orsaken till att mässing oftast spränger mindre är att det mjuka materialet deformeras ("smetas ut") kring ojämnheter som kristaller. Kilen *hänger* i ovankant på dessa istället för att spränga. Inga ojämnheter betyder ingen skillnad i sprängverkan (så som på stålytor i en testrigg).

Man får alltså välja material efter klippa och anläggningsyta. Alu-kilar har mycket större anläggningsyta än lödda kilar, som *illustration 5* visar. Lyckas man få full anläggningsyta med alu-kilen minskar risken både för att kilen deformerings-falerar och att klippan falerar [9.1].

Har du perfekt klippa och full anläggningsyta är det vajern som är säkringens svaga länk. I en testrigg är det vajern som ryker. Man väljer alltså den kil (efter övriga överväganden) med tjockast vajer. I

aluminium kan man inte löda fast vajern. Man är därför hänvisad till trä vajern i borrade hål precis som på vanliga, större kilar. I mässing och järn/koppar kan man löda vilket gör det möjligt att tillverka mindre kilar i dessa material. De allra minsta alu-kilarna är svagare än lödda kilar eftersom lödningen möjliggör en tjockare vajer (*illustration 5*). Beakta att alu-kilen trots allt *kan* vara det bästa valet. Går man upp i storlek försvinner lödningens fördel då även alu-kilarna kan ha tjock vajer. Vid lödning används dessutom rostfri vajer som är svagare än galvaniserad vilket används på kilar med pressad vajer. BD har en patenterad lödning som möjliggör galvaniserad vajer.

En gammal sliten och böjd vajer håller mindre, bäst är därför en ny kil. Om du vill kapa vajer applicerar du tryck på liten yta, tänk bultsax. Sprider man ut samma tryck på större yta går vajern inte av. Då kilar provdrages går vajern av vid böjen i stålpinne (karbinen) eller vid böjen i huvudet. På lödda kilar är det skillnad på vajerns hållfasthet med olika karbinmodeller, stort och runt tvärsnitt är bättre eftersom de sprider ut trycket på större yta [9.2]. Var extra noggrann med att inte böja vajern på mikrokilar. Använd därför kilpetare vid rensning. Ett hugg med kilpetaren skadar och försvagar vajern, det är lätt hänt då träffytan är minimal. Lägg an kilpetaren och knacka bort kilen med en sten eller handen.

10. Sammanfattning

Som Robin sa, man ska inte tänka för mycket på system-optimering för då förbereder man sig mentalt på att falla vilket ökar risken för att trilla ner.

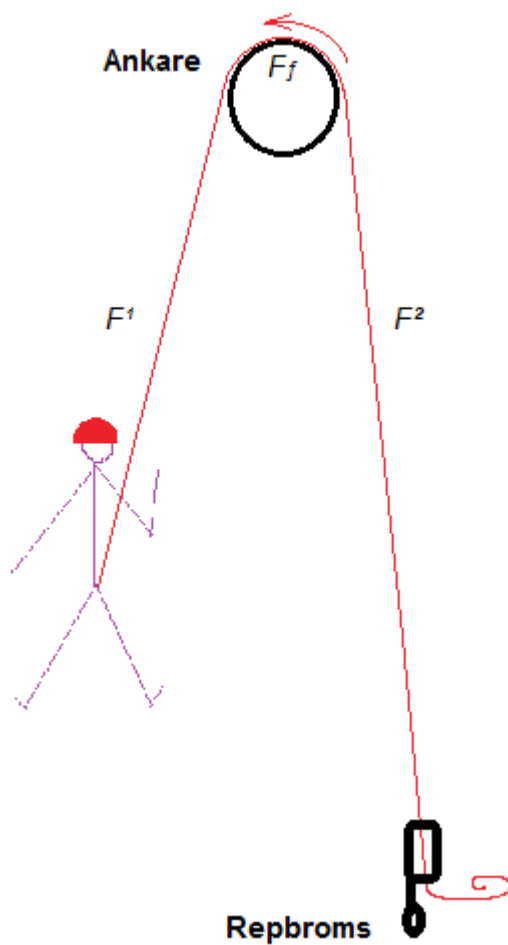
Noter

- 1.1 <http://www.thebmc.co.uk/modules/article.aspx?id=3317>
- 1.2 Stora boken om klättring, Calazo. Gustavsson, 2012
- 1.3 Heavy climbers beware, Weber (år okänt)
- 2.1 Safety loss of mountaineering ropes by lowering cycles in top rope climbing, Vogel 2002
- 2.2 www.blackdiamondequipment.com
- 2.3 Industrial rope access. Investigation into items of personal protective equipment, HSE Lyon 2001, s 21
- 2.4 <http://bealplanet.com/sport/anglais/facteurdechute.php>
- 3.1 <http://bealplanet.com/sport/anglais/typecorde.php#test>
- 3.2 The Mechanics of Friction in Rope Rescue, Attaway 1999
- 3.3 Physics of climbing ropes impact force fall factors and rope drag, Leuthäusser 2011
- 4.1 Characterization and design of lightweight energy absorbing cargo restraints, Hagon 2009
- 4.2 www.rockclimbing.com
- 5.1 <http://www.bolt-products.com/Glue-inBoltDesign.htm>
- 5.2 www.petzl.com
- 5.3 How strong does your climbing gear need to be, McMillan 2003
- 5.4 Climbing Self Rescue, The Mountaineers Books. Loomis, 2006
- 6.1 Analysis of belaying techniques, Zanantoni 2000
- 6.2 Computer mathematical models in belaying techniques, Bedogni 2002
- 6.3 Notes from the working group on belay methods, UIAA (år okänt)
- 6.4 A Simulation of Climbing and Rescue Belays, Moyer 2006
- 6.5 Die Handbremse, DAV 2002
- 6.6 A comparison of induced loads using classic and harness belays, Alpine Club of Canada 2001
- 6.7 <http://willgadd.com/?p=274>
- 7.1 <https://www.thebmc.co.uk/modules/article.aspx?id=1477>
- 8.1 Measurement of dynamic rope system stiffness in a sequential failure for lead climbing falls, Beverly Attaway 2006
- 9.1 <http://www.dmmclimbing.com/news.asp?nid=221&ngroup=1>
- 9.2 Från personer knutna till tillverkare som uttalat sig i forum som jag inte hittar igen.

Ordlista

Ankare	Det som belastas vid fall, översta mellansäkringen.
Ankarkarbin	Karbinen där repet vänder.
ATC	Syftar på klassisk ATC eller liknande. Inte en med räfflor tex ATC XP.
Bottna ut	En falldämpare som rippat hela sin längd innan fallande kroppen är stilla.
Bromskraft	Kraften då repet börjar glida i repbromsen.
Bromsverkan	Hur mycket repbromsen förstärker handkraften.
CAI	Club Alpino Italiano.
CMT	Commissione Materiali e Tecniche. Kommitté inom CAI.
Dynamiskt förlopp	Fall, till skillnad från dragtest och statisk belastning.
Dynamisk säkring	Optimalt säkringsarbete.
F^1	Kraften i den fallande kroppen.
F^2	Kraften i repet på säkrarens sida vid ankaret. Utan repdrag är F^2 samma som kraften i säkraren.
F_f	Friktionskraft
Fallande kropp	En testvikt eller en klättrare.
Friktion	Är komplicerat. Används extremt förenklat.
Friktion i systemet	Summan av all friktion från bromsen till klättraren.
Fångryck	Max-kraften i den fallande kroppen. Begreppet är reserverat värdet vid testfallet EN 892.
Fångrycksförlängning	Hur mycket repet töjer sig vid ett fall. Ej reserverat till testvädet.
Kraften i ankaret	Kraften i ankaret vid en given tidpunkt, syftar inte bara max-kraften.
Mellansäkring	Alla mellansäkringar utom den översta vilken kallas ankare.
N	Newton. Förenklat är 1 N är 0,1 kg och 1 kN är 100 kg.
PLIA	Peak Load In Ancor. Max-kraften i ankaret.
Repbroms	Syftar bara på dynamiska bromsar som ATC, inte hjälplåsande som Gri-gri.
Repdrag	Summan av all friktion från bromsen till <i>men inte med</i> ankarkarbinen.
Säkringsarbete	Alla förutsättningar samt beteende vid säkring. Bromskraft, säkrarens massa, bottenankare mm.
Säkringsteknik	Begränsat till beteende vid säkring. Handkraft, vinkel på passiva, hur mycket man följer med od.
Ω	Andelen motstånd i ankarkarbinen. $F^1 - F^2 = F_f$. $F_f / F^1 = \Omega$

Illustration till kap 5



Röd pil = Repets rörelseriktning

F^1 = Kraften i fallande kroppen.

F^2 = Kraften i repbromsen

F_f = Friktionskraften

F_a = Kraften i ankaret

F_b = Bromskraften, samma som F^2

$$F_a = F^1 + F^2$$

$$F^1 - F_f = F^2$$

Är samma sak som

$$F^2 + F_f = F^1$$

Vid statisk belastning utgår man från F^1 och då ger låg F_f hög F_a .

Vid ett dynamiskt förlopp utgår man från F^2 och då ger låg F_f låg F_a^* .

* Förutsatt att friktionen i systemet, samt att F_b , är tillräckligt låg.

Kapitel 7. Uträkning av kraft och bromssträcka

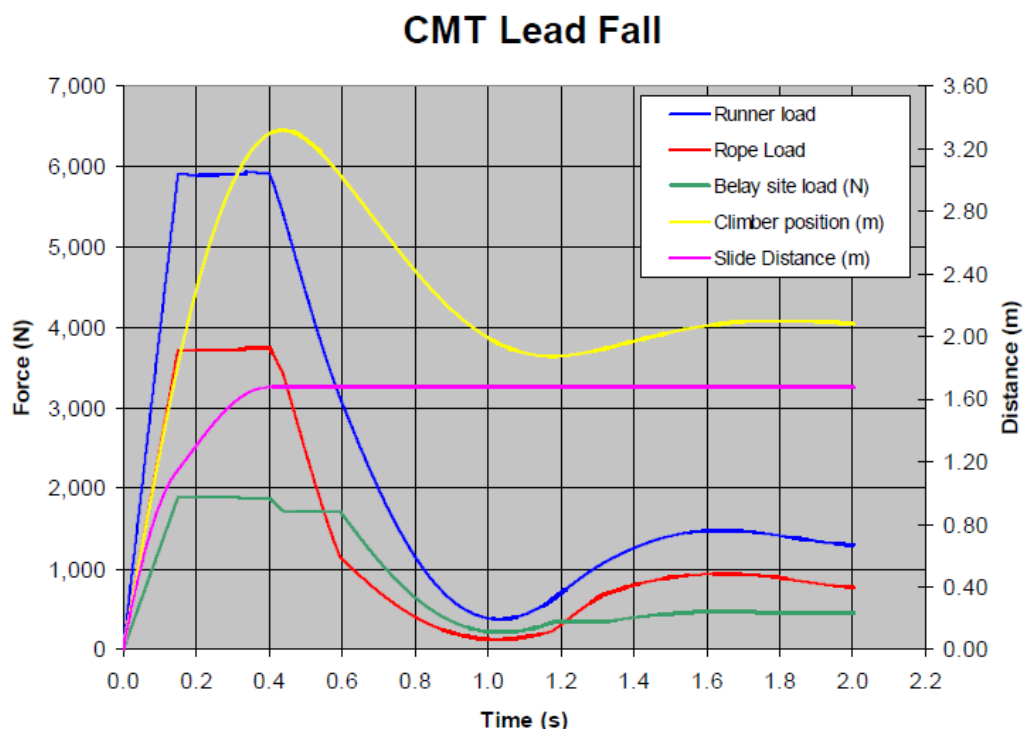


Illustration 4. Tagen från Belay Methods Simulation, Moyer 2006 helt utan tillstånd.

Disclaimer; uträkningarna i detta kapitel är gjorda av mig och är inte referat vilket övriga artikeln är. Ta det med en nypa salt, det gör jag.

Illustration 4 är en datorsimulering, men är det mest informativa diagrammet över ett testfall jag hittat. Verkliga tester ger mycket stora variationer och det har visat sig svårt att dra tydliga slutsatser från dem. I simuleringen används testernas medelvärden. CAI regerar, men diagrammet går i vissa delar emot vad UIAA säger om kurvornas normala utseende. Kurvorna är mer "rena" än vad de är i verkligheten dvs mindre hackiga. Grön linje är kraften i repbromsen vilken är kopplad till ett ankare. Röd linje är klättraren. Fall-längden är 8 m och klättrarens massa är 80 kg. Eftersom x-axeln är tid begränsas informationen om hur systemet arbetar. Max-kraften och plattar delar på kurvorna skulle dock se likadana ut med sträcka på x-axeln. Glidning i repbromsen (lila) och klättrarens bromssträcka (gul) har sträcka på y-axeln.

Utan repdrag, dvs mellansäkringar och kontaktytor mellan rep och klippa, kan man räkna enligt modellen Säkrare + Klättrare = Ankare. Med noll friktion i systemet (inget repdrag och $\Omega = 0$), skulle röd och grön linje ligga bredvid varandra och ge ett förhållande mellan Säkrare: Klättrare: Ankare på 1:1:2. Kraften i ankaret är dubbelt så hög som kraften i säkraren. Noll friktion uppnår vi aldrig, ens nästan. Ovan har vi ett förhållande på 1:2:3. Dubbelt i klättraren och trippelt i ankaret på den kraft som är i säkraren. Så går det om man har $\Omega = 0,5$ i ankarkarbinen. Dock når Säkrare + Klättrare inte riktigt upp till Ankare, vilket betyder att det existerar repdrag.

Enligt BMC kommer man tillräckligt nära sanningen om man räknar enligt denna formel [7.1]. I vårt fall, då vi har inget repdrag, Revolverkarbin ($\Omega = 0,25$) och en bromskraft på 1,75 kN får vi 4,1 kN i ankaret.

$$\begin{aligned} F^2 &= \text{Bromskraften} & 1,75 \text{ kN} \\ F^2 / (1 - \Omega) &= F^1 & 1,75 / 0,75 = 2,33 \text{ kN} \\ F^2 + F^1 &= \text{Ankaret} & 1,75 + 2,33 = 4,08 \text{ kN} \end{aligned}$$

Modellen är ytterst förenklad. Den räknar endast med bromsens arbete och bortser helt från fallande kroppens massa, repdynamik och annat. Bromssträckan varierar men PLIA förblir konstant. Modellen

BILAGA 3

Sida 2/3

säger oss ingenting om bromssträckans längd.

Vad blir bromssträckan i vårt fall? Vi kör på BMC:s modell och bortser från repdynamik. Vi måste först ta reda på rörelseenergin.

Fall-längd 7m

Klättraren väger 80 kg

Acceleration 9,82 m/s²

Klättrarens rörelseenergi räknas enklast ut via den potentiella energin och den är 5499 Joule.

m massa

a acceleration

s sträcka

Ep Potentiell energi

$$m \cdot a \cdot s = E_p \quad 80 \text{ kg} \cdot 9,82 \cdot 7 \text{ m} = 5499 \text{ Joule}$$

Utifrån energin kan vi räkna på bromssträckan. Vi har fastställt att rörelseenergin är lika stor som arbetet och att enheten är Joule. Eftersom arbete (w) lika med kraft (F) gånger sträckan (s), så kan vi lösa ut s om w och F är kända.

$$w = F \cdot s$$

$$w/F = s$$

Pga friktionen i Revolverkarbinen på Ω 0,25 får vi större kraft i klättraren än i säkraren, repet är olika spänt på var sida ankaret. Vi får räkna ut sträckan var för sig. Eftersom vi bortser från repdynamik är mängden rep på var sida ointressant och betyder att repen på var sida delar lika på rörelseenergin. Vi fortsätter anta en bromskraft på 1,75 kN.

$$\text{Repet på säkrarens sida: } (5499/2 \text{ Joule}) / 1750 \text{ N} = 1,57 \text{ m}$$

$$\text{Repet på klättrarens sida: } (5499/2 \text{ Joule}) / (1750/0,75 \text{ N}) = 1,18 \text{ m}$$

Vore det endast repbromsen som arbetade skulle vi således få en glidning på 2,75 meter. Det är väldigt mycket. Att ha mer glidning än $\frac{1}{4}$ av fall-längden hade ju ingen effekt. $\frac{1}{4}$ på 7 m fall betyder 1,75 m glidning och för att nå dit krävs en bromskraft på 2,7 kN. Fortfarande räknas bara bromsen.

Vi vet att det är många delar av säkerhetskedjan som arbetar och inte bara repbromsen. CAI:s diagram ovan baseras på mycket komplicerade formler som gör att man kommer mycket nära sanningen enligt dem själva. Vi går med på det och låter deras uträkningar stå som facit. Hur långt från sanningen är vi med den enkla BMC-modellen? Vi räknar ut glidningen på samma sätt som vi gjorde ovan och stämmer sedan av det med CAI-diagrammet. Kaften F hämtas från diagrammet.

$$\text{CAI rörelseenergi: } 80 \text{ kg} \cdot 9,82 \cdot 8 \text{ m} = 6285 \text{ Joule}$$

$$\text{CAI säkrarens sida: } (6285/2 \text{ Joule}) / 1900 \text{ N} = 1,65 \text{ m}$$

$$\text{CAI klättrarens sida: } (6285/2 \text{ Joule}) / 3750 \text{ N} = 0,84 \text{ m}$$

En glidning på 2,5 meter. I diagrammet ser vi att glidningen endast är 1,7 meter. Vi var ganska långt från sanningen då vi räknade på att bromsen var det enda som arbetade. Klättrarens kropp var helt stum, inknytningen var helt stum och repet var helt stumt. Inte så konstigt att vi kom långt från sanningen och det säger oss att övriga dämpande faktorer är betydande. Hur stor andel av arbetet står repbromsen för? Nu kan vi endast räkna på vad som händer i repbromsen.

$$w = F \cdot s$$

$$\text{CAI repbromsens arbete } 1900 \text{ N} \cdot 1,7 \text{ m} = 3230 \text{ Joule}$$

Repbromsens arbete (3230 J av 6285 J) står alltså för 51% av de dämpande faktorerna och gör den till den enskilt viktigaste, i just detta specifika fall med de värden som stoppats in i simulatören. De värden som satts in i CAI:s formel är ganska snälla. Repbromsens kraftkurva är helt platt och handkraften är helt jämn vilket är omöjligt. Repdraget är litet, det är nog bara en mellansäkring utöver ankaret. Dock är friktionen i ankarkarbinen extremt hög. Jag gissar att orsaken till detta är testerna gjorts i bultar så att ankarkarbinen ligger platt längs "klippan" så att repet kläms. Hänger ankarkarbinen fritt i luften eller står i vinkel ut från klippan får man mindre friktion. I diagrammet är det Ω 0,49, vad skulle vi få med Ω 0,25?

BILAGA 3

Sida 3/3

PLIA

Ω 0,49	$F^2+F^1+\text{Repdrag}$	$1900+(1900/0,51)+250=5875$	5,9 kN
Ω 0,25	$F^2+F^1+\text{Repdrag}$	$1900+(1900/0,75)+250=4683$	4,7 kN

Repbromsens andel av det totala arbetet

Ω 0,49	Andel	Vilket förklarats	51%
Ω 0,25	Säkrarens sida	$(6285/2)/1900=1,65$	1,65 m
	Klättrarens sida	$(6285/2)/(1900/0,75)=1,24$	1,24 m
	Glidning	$1,65+1,24=2,89$	2,89 m
	Fel-%	$1,7/2,5=0,68$	68%
	Verklig glidning	$2,89*0,68=1,965$	2 m
	Arbete	$1,965*1900=3734$	3734 Joule
	Andel	$3734/6285=0,594$	59%

Beräkningarna är yxiga och får mer ses som fingervisningar.

Uträkningarna bekräftar vad som intuitivt är självklart, att ju mer friktion vi har i systemet ju mindre betydelse får repbromsen. Dämpas rörelseenergin utan repbroms blir bromssträckan mindre men det främsta problemet är att kraftkurvan blir toppigare. Repbromsens främsta effekt är att den klipper av överdelen av toppen.

Jag själv har svårt att helt acceptera att effekten av att säkraren lyfts är så liten som 10% av de dämpande faktorerna. Är det verkligen så svårt att låta sig följa med kraften? Hur hade diagrammet set ut med en säkrare som använder Gri-gri och är helt fri att lyftas? Jag förstår att man får en topp i början av förloppet och att åka upp mer än ett par meter är totalt ineffektivt. Men hur kan effekten dö ut efter bara 40 cm när glidning i bromsen är effektivt i meter? 10% är jävligt lite. Men det är långt över vad jag kan räkna på och jag får därför tåga still. Lite mer komplicerade ekvationer kommer närmare sanningen [6.2], men då slutar jag förstå.