

Bultsättning vid tunnelbyggen

Biomekanisk belastning vid användning av tre olika bulttyper

Titel: Bultsättning vid tunnelbyggen

Författare: Ida-Märta Rhen och Mikael Forsman

Centrum för arbets- och miljömedicin • Solnavägen 4 • 113 65 Stockholm

tel 08–123 400 00 • cammm.sll.se

Rapporten finns även på vår webbplats cammm.sll.se

ISBN: 978-91-88361-19-6



Centrum för arbets- och miljömedicin
REGION STOCKHOLM

Förord

Belastningsskador är relativt vanliga hos anläggningsarbetare. Det är därför viktigt att hänsyn tas till arbetsbelastning för personal vid val av material och arbetssätt.

Föreliggande studie initierades av docent Fredrik Johansson, Avd. för Jord och Bergmekanik, KTH, och är en del av ett större projekt där lämplighet av glasfiberbultar för permanent bergförstärkning studeras. Trafikverket har finansierat studien och Mattias Roslin, specialist i bergteknik vid Trafikverket samt Fredrik Johansson har stöttat studiens genomförande. Implenia Sverige möjliggjorde mätningar i fält och två av företagets anställda deltog som studiepersoner.

Centrum för arbets- och miljömedicin, Enheten för arbetshälsa, har i studien utvärderat de belastningsergonomiska aspekterna av två nya typer av bultar, som kan komma att användas vid anläggning av tunnlar i berg, och jämfört detta med motsvarande för den nu dominerande kamstålbulten.

Lena Hillert

Överläkare, docent
Enhetschef Arbetshälsa
Centrum för Arbets- och miljömedicin (CAMM)
SLSO

Innehåll

FÖRORD	3
SAMMANFATTNING	5
BAKGRUND	6
Anläggningsarbetare -en utsatt grupp	6
Syfte.....	6
METOD.....	6
Studiepersoner	6
Arbetsbeskrivning - bultsättning.....	7
Mätning och riskbedömning av arbetsställningar	8
Kraftmätningar	8
Biomekaniska beräkningar och riskbedömning	8
RESULTAT	9
Arbetsställningar.....	9
Kraftmätningar	9
Biomekaniska beräkningar	10
DISKUSSION	22
Arbetsställningar.....	22
Kompressionskrafter i ländryggen	22
Jämförande av de tre bulttyperna	23
Slutledningar.....	24
REFERENSER.....	25

Sammanfattning

Byggnads- och anläggningsarbete medför generellt en hög fysisk belastning i jämförelse med de flesta andra yrken. Enligt Arbetsmiljöverkets statistik över arbetsorsakade muskuloskeletala besvär ligger branschen högt gällande arbetstagare med besvär och sjukskrivningar pga. besvär.

Syftet med denna studie var att undersöka den fysiska arbetsbelastningen vid bultsättning i tunnel och jämföra tre olika bulttyper.

Efter att ha genomfört mätningar av arbetsställningar och kraftmätningar för de tre olika bulttyperna, kunde följande slutsatser dras:

Arbetsställningarna är relativt neutrala och inom befintliga vetenskapligt baserade rekommendationer om riktvärden.

Vissa tryckkrafter är dubbel så höga som de maximala rekommenderade krafterna i Arbetsmiljöverkets modell (600 N att jämföra med 300 N i AFS 2012:2). Men eftersom arbetet utförs med överkroppen lutad framåt, vilket på så sätt balanserar skjut-kraftens vikt, så blir momentet vid biomekaniska beräkningar för ländryggen lågt och NIOSH internationellt accepterade insatsvärde på 3,4 kN överskrids ej.

NIOSH insatsvärde (3,4 kN) kan däremot överskridas under hantering (lyft och förflyttning) av bultar.

Vid jämförelse av arbete med kamstål- och glasfiberbult, ger den senare lägre belastning, främst pga. bultens lägre vikt vid hanteringen inför en bultsättning. Det är dock relativt små skillnader i intryckningskraft mellan de två typerna.

PC-bulten är, då hålen är rena, överlägset enklast att trycka in. Den är lättare än kamstålbulten, men tyngre än glasfiberbulten. Det svårt att uttala sig om vilken av glasfiberbulten eller PC-bulten som är att föredra ur ett ergonomiskt perspektiv. Detta kräver ytterligare undersökningar.

Bakgrund

Anläggningsarbetare -en utsatt grupp

Byggnads- och anläggningsarbete medför generellt en hög fysisk belastning jämfört med de flesta andra yrken. Enligt Arbetsmiljöverkets statistik över arbetsorsakade besvär ligger branschen högt vad gäller andel arbetstagare med besvär och sjukskrivningar pga. besvär (Arbetsmiljöverket, 2016).

När det gäller andel sysselsatta som haft besvär under de senaste 12 månaderna till följd av fysisk belastning, ligger anläggningsarbetare helt i topp med 24,7 %, vilket kan jämföras med den genomsnittliga nivån för alla anställda som är 8,0 %.

Forskning har visat att krafterkrävande arbete med mycket manuell hantering innebär en risk för besvär och sjukdomar i nacke, axlar och rygg. Mätningar och riskanalyser behövs för att kvantifiera exponeringen, jämföra uppmätt belastning med internationella rekommendationer om maximala belastningar, samt för jämförelse med andra yrkesgruppers exponering.

Syfte

Syftet med den här studien var att undersöka den fysiska arbetsbelastningen vid bultsättning i tunnelarbete och jämföra tre olika bulttyper.

Metod

Studien utfördes av två forskare, som under 1,5 timme på plats, studerade bultsättningsarbetet i tunnel, vilket var förberett att likna ett normalt arbetspass. Undersökningen inkluderade videofilmning, kraftmätningar, och registrering av arbetsställningar för överarmar och rygg, vid sättning av tre olika bulttyper.

Studiepersoner

Två erfarna manliga bultsättare deltog i undersökningen.

Tabell 1. Ålder, antal år som bultsättare, längd och vikt för de två deltagarna i studien. Båda studiepersonerna var högerhänta män.

	Studieperson 1	Studieperson 2
Ålder	30	32
År som bultsättare	3	1
Längd (m)	1.92	1.82
Vikt (kg)	120	88

Arbetsbeskrivning - bultsättning

Bultsättningsarbete innebär att bultar sätts i horisontell till vertikal riktning för att förbättra bärigheten i berget. Bultar är normalt 2-6 m långa och liknar ett armeringsjärn med en gängad ände, vilken trycks in i ett förborrat hål i bergväggen. Hålen är borrade (av en annan arbetsgrupp) så tätt som bärigheten kräver (efter en geologisk bedömning, avståndet är normalt mellan 1,3 och 2,0 m).

Bultsättarna arbetar tre dagar per vecka, cirka 8 timmar ena dagen och ungefär 15 timmar om dagen de två övriga dagarna. I arbetslaget om tre personer roterar man mellan uppgifterna "hantering av bultar uppe på ramp" och "blandning av betong och manövrering av pump" (som pumpar betong i en slang upp till rampen och in borrhålet, -på kommando från arbetslaget på rampen). Rampen positioneras så att två-tre borrhål kan fyllas, varefter rampen flyttas till en ny position. Rampens förflyttningar kontrolleras med en fjärrkontroll vilken hanteras på rampen. I snitt sätts 50-75 bultar under ett 15 timmars arbetspass (enligt information från bultsättare och arbetsledare). Dagsmängden kan dock variera mellan 15 och 120 bultar.

Vid undersökningen sattes tre olika bulttyper, vilka var ca 4 m långa (vilket är en vanlig längd) och med en diameter om ca 25 mm. De tre olika typerna var:

Kamstålbult. Liknar ett armeringsjärn. Vikt ca 3.92 kg per meter (Arleij och Åhlander, 2018).

Glasfiberbult. Påminner om kamstålbulten, men är lättare. Vikt ca 1 kg per meter (enligt Fredrik Johansson, KTH)

PC-bult. Består av ett järnrör med genomgående expanderbult. Vikten är något lägre än för kamstålbulten, 3.12 kg per meter (Arleij och Åhlander, 2018)

Arbetsgången vid sättning av kamstålbult och glasfiberbult innebär att hålet först fylls med betong (betongen pumpas via slang in i hålet som är ca 48 mm i diameter, se figur 1) varefter bulten manuellt lyfts från rampgolvet (där bultarna ligger i "en hög"), placeras vid hålet och trycks in. Horisontella bultar trycks in manuellt, medan man vid vertikalt eller nästan vertikalt stående bultar använder rampens golv som tryckkraft genom att justera rampens höjd (vilken styrs med fjärrkontroll). När bulten kommit en bit in i hålet, används ett störliknande "hjälpdon", vilken sätts mellan bultens yttersta del och rampgolvet för att på liknande sätt som ovan, dvs. genom att man höjer rampen trycks bulten in den sista tyngsta biten in i hålet.



Figur 1. Betong pumpas genom en slang in i borrhålet.

Till skillnad från kamstålsbult och glasfiberbult, sätts PC-bulten i ett tomt hål, vilket kräver mindre kraft. Betongen pumpas istället in efteråt, genom den rörformade bulten som även den (liksom hålet) fylls med betong. I detta fall används inte golvet som tryckhjälp, bulten kan nämligen ”ganska lätt” tryckas in manuellt på kort tid.

Vid undersökningen användes ett roterande schema för de tre bulttyperna. Planen var att inkludera 6 bultar av varje typ (dvs. 18 bultsättningar totalt), men efter 16 bultar hade betongen börjat att stelna, då betongblandningen vid detta tillfälle inte var optimal. Vi bedömde dock att vi hade fått med tillräckligt mycket data och avslutade därför efter 16 bultar.

Mätning och riskbedömning av arbetsställningar

Ryggens och armarnas arbetsställningar registrerades med hjälp av små vinkelmätare, så kallade IMUs (LPMS-B2, LP research, Japan), som registrerar vinkeln i förhållande till lodlinjen. Inklinometrarna fästs med dubbelhäftande tejp på brösttryggen vid 5:e bröstkotan (T5) samt just nedanför axelmuskeln (M. Deltoideus) fästpunkt på höger och vänster överarm. Mätvärden skickas via Bluetooth till en mobiltelefon (Samsung) och sparas till en fil som flyttas till en dator efter mätningen. Telefonen registrerar 20 mätvärden varje sekund. Analysen ger en fördelning av vinklarna under mätningen redovisade i percentiler, vilka i sin tur kan jämföras med rekommendationer om insatsvärden (Arvidsson, 2017), framtagna av en forskargrupp i Lund (AMM Syd).

Kraftmätningar

Mätningar av kraftutveckling genomfördes under de videofilmade bultsättningarna. Den maximala kraften per manuell bulttryckning mättes med hjälp av en dynamometer (Lutron FG-5100, LUTRON, Taipei, Taiwan).

Biomekaniska beräkningar och riskbedömning

En digital modell (WatBak, University of Waterloo, Ontario, Canada; se www.ergonomics.uwaterloo.ca/watbak.html) användes för att utföra biomekaniska beräkningar av kompressionskraften i ländryggen under typiska arbetsmoment vid bultsättningen. Detta

möjliggjordes genom att kombinera bilder av arbetsmomenten med resultaten från mätningarna av kraftutveckling. Resultaten av de biomekaniska beräkningarna jämfördes sedan med NIOSH (USAs motsvarighet till Arbetsmiljöverket) rekommenderade insatsvärde ("action limit") vilket är 3,4 kN. NIOSH rekommenderar att om belastningen ligger över insatsvärdet bör man ta initiativ för att minska kraven i arbetsuppgiften.

Resultat

Arbetsställningar

Ryggens och armarnas arbetsställningar och armvinkelhastigheter under de två timmar som försöket pågick, samt rekommenderade insatsvärden från Arbets- och miljömedicin i Lund (Arvidsson m fl., 2017) visas i tabell 2. Percentilerna beskriver fördelningen av registrerade vinklar/vinkelhastigheter. I tabellen visar exempelvis vänster armvinkel vid P90, att 90 % av tiden ligger armvinkeln under 52,6 grader (10 % av tiden ligger därmed armvinkeln över 52,6 grader), vilket understiger insatsvärdet på 60 grader.

Tabell 2. Arm- och ryggvinklar, samt armvinkelhastigheter uppmätta under bultsättningen presenterade i percentiler (angiven vinkel underskrids under 10 %, 50 % respektive 90 % av tiden enligt registrerade värden). I parenteserna anges motsvarande rekommenderade insatsvärden från Arbets- och miljömedicin i Lund (AMM Syd, Arvidsson m fl., 2017).

Percentiler	Vänster arm vinkel (°)	Höger arm vinkel (°)	Rygg vinkel (°)	Vänster arm hastighet (°/s)	Höger arm hastighet (°/s)
P10	6,3 (-)	7,4 (-)	-6,9 (-)	0,7 (-)	0,7
P50	18,6 (30)	19,3 (30)	2,5 (-)	4,5 (60)	4,3 (60)
P90	52,6 (60)	50,4 (60)	14,0 (-)	28,2 (-)	29,3 (-)

Kraftmätningar

För varje bultsättning studerades den maximala uppmätta kraften under intryckningsmomentet. För bultarna med betong förfyllt i hålet, sågs en monotont, linjärt, stigande tryckkraft där den maximala kraften uppmättes under "sluttrycket". För PC-bulten, som trycktes in i ett tomt hål, var krafterna generellt lägre än för bultarna i kamstål och glasfiber, med några undantag, då det såg ut att vara "grus" i vägen i hålet. De uppmätta maxkrafterna under tryckningarna varierade mellan ca 200 N (PC-bult som inte fastnade) och 668 N (kamstålbult snett uppåt).

För de bultar som trycktes uppåt, dvs. vid vinklar på ca 70 grader från horisontalplanet, och där golvet på rampen användes för att trycka in bulten i det betongfyllda hålet, gjordes inga kraftmätningar.

Vid sättning av PC-bultar användes generellt inte golvet som tryckkraft, utan när det inte var grus i vägen, så "skjutsade" man in bulten, alltså snett uppåt, ca 70 grader. En av de två uppåtgående PC-bultarna som ingick i studien "fastnade" dock. Vi uppmätte då en manuell tryckkraft på 515 N (figur 19), innan arbetslaget tog hjälp av don och golv för att trycka in bulten.

Eftersom arbetet filmades kunde kraftvärdena, som visades i realtid direkt på mätapparaten, avläsas i efterhand genom att filmen stoppades och bilden förstorades.

Kraftnivåerna i figurerna 2-4 är ej baserade på uppmätta värden utan från angivna vikter på bultarna (beräknad gravitationskraft).

Biomekaniska beräkningar

Resultaten från kraftmätningarna och de biomekaniska beräkningarna från de 12 bultsättningar där kraftmätningar utfördes är samlade i tabell 3. Mer utförlig information gällande arbetet och resultaten finns i figurtexterna till figur 2-22.

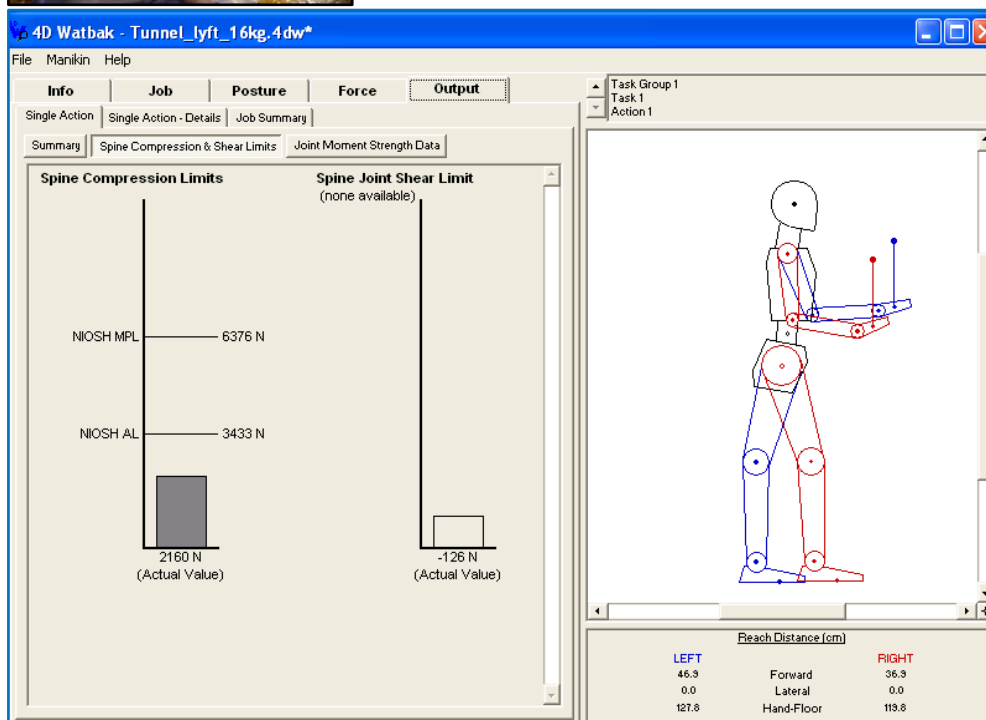
Tabell 3. Samlade resultat av de biomekaniska beräkningarna gällande kompressionskraft i ländryggen samt uppmätt tryckkraft, för varje bulttyp, arbetsmoment och studieperson. Maximal tryckkraft i arbetsmomentets anges i parentes. Hänvisning till figurer nedan.

Bulttyp	Arbetsmoment	Kompressionskraft (N)	Tryckkraft (N) (maxkraft)	Studieperson	Figur
Kamstål	Hantering, horisontalt	2150	-	1	2
Kamstål	Hantering, lyft, böjd rygg	4467	-	1	3 (vä)
Glasfiber	Hantering, lyft, böjd rygg	3388	-	1	3 (hö)
Kamstål	Hantering, lyft, böjd rygg	3403	-	2	4 (vä)
Glasfiber	Hantering, lyft, böjd rygg	2399	-	2	4 (hö)
Kamstål	Sättning, horisontalt	1479	378 (483)	1	5
Kamstål	Sättning, horisontalt	747	(483)	1	6
PC	Sättning, horisontalt	2131	200 (496)	1	7
Glasfiber	Sättning, horisontalt	1121	-	1	8
Glasfiber	Sättning, horisontalt	1575	(401)	1	9
Kamstål	Sättning, horisontalt	2337	(604)	2	10
PC	Sättning, horisontalt	-	(656)	2	11
Glasfiber	Sättning, horisontalt	1337	(372)	2	12
Kamstål	Sättning, snett uppåt	2684	(668)	1	14
PC	Sättning, snett uppåt	-	153	1	15
Glasfiber	Sättning, snett uppåt	2885	300-400 (608)	1	16
PC	Sättning, snett uppåt	-	153 (515)	2	19

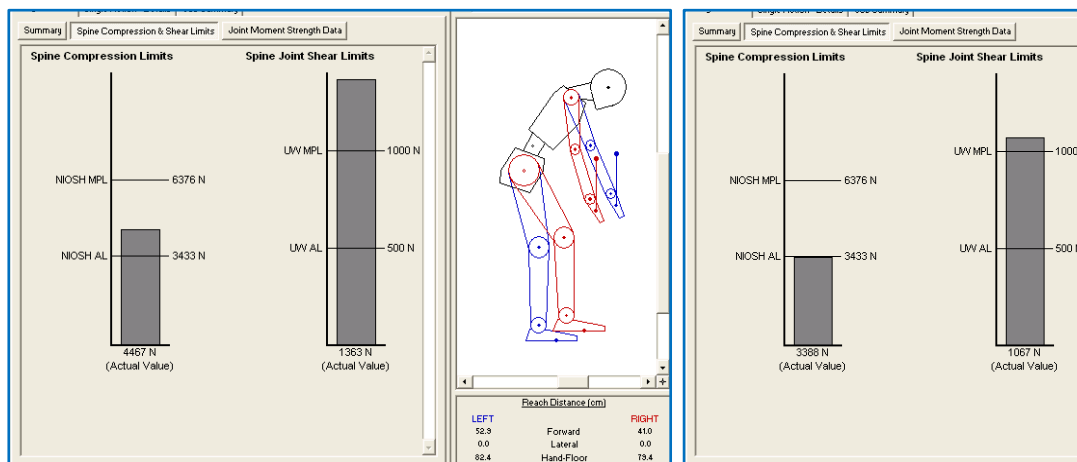
Figur 1-22 visar bilder från samtliga studerade bultsättningar, detta för att visa på variationen mellan olika arbetsmoment/mätsituationer. I flera fall visas stillbilder från filmningen av arbetet tillsammans med figurer ifrån WatBak-modellen (som manuellt har tillsatts samma kroppsställning som bilden med studieperson 1 eller studieperson 2, – och där krafterna är uträknade med aktuell studiepersons längd och vikt) liksom beräknade kompressions- och skjuvkrafter i ländryggen.

Figur 2-4 utgörs av stillbilder från videofilmen vilka demonstrerar hanteringen/lyft av bultarna, vilket ingår i arbetet för varje bult som skall sättas.

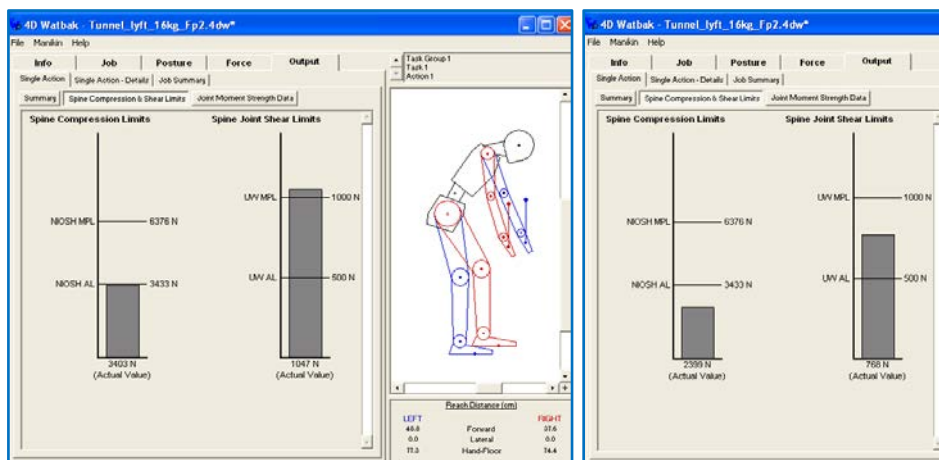
För arbetsmomenten i figurerna med bultsättning, figur 5-19, beräknades, trots höga tryckkrafter, lägre moment och lägre krompressionskrafter i ländryggen än vad som illustreras i figur 2-4. I samtliga fall ligger kompressionskrafterna vid tryckningar under det rekommenderade insatsvärdet, 3 400 N. Se figurtexter för förklaring av respektive figur.



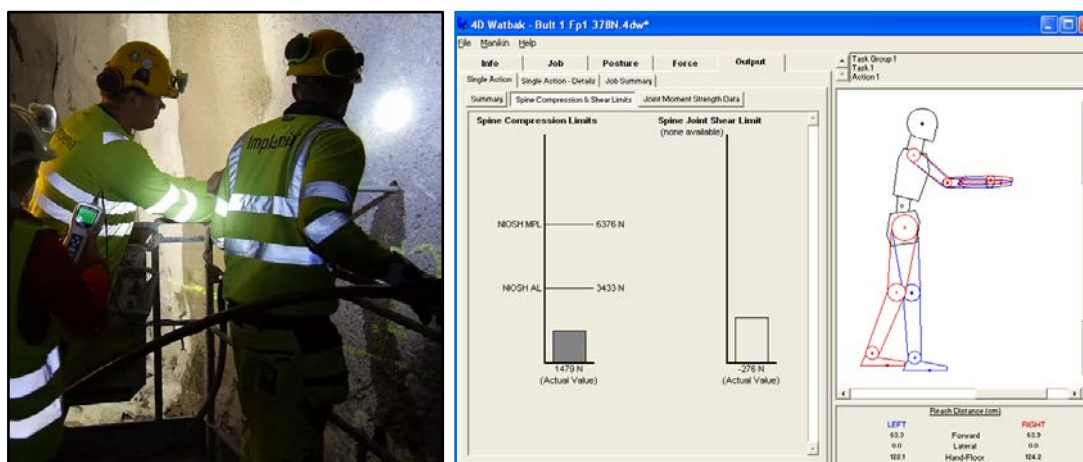
Figur 2. Hantering av kamstål bult (16 kg) i horisontalläge. Studieperson 1, längd 192 cm, vikt 120 kg. Till höger: Simulering med WatBak-modellen som visar att kompressionskraften i ländryggen är 2160 N.



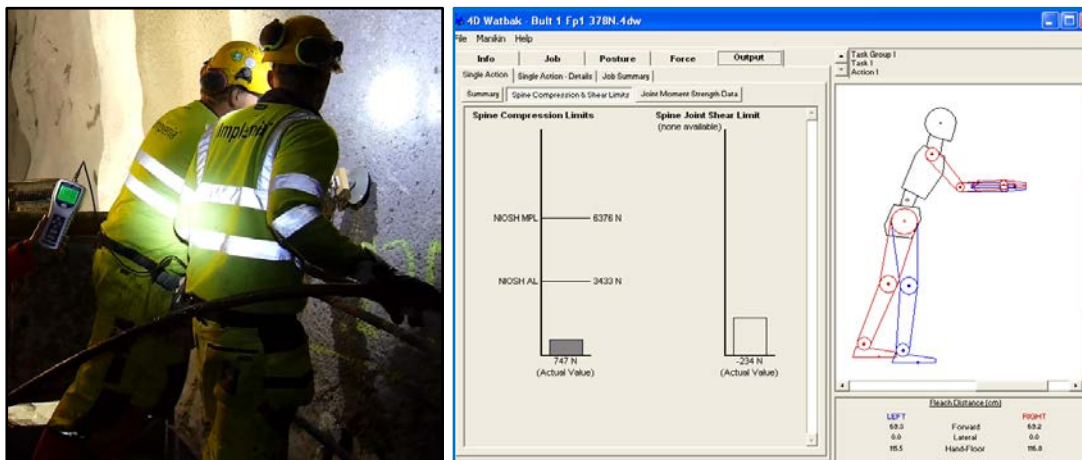
Figur 3. Till vänster: Simulering av studieperson 1 med samma bult (16 kg) som i figur 2, men i momentet där bulten plockas upp med en mer böjd rygg. Kompressionskraften är 4467 N. Till höger: Simulering av samma kroppsställning, men istället med en glasfiberbult (4 kg). Kompressionskraft i ländryggen uppgår till 3388 N.



Figur 4. Samma simuleringar som i figur 3 men där krafter är uträknade för studieperson 2, längd 182 cm, vikt 88 kg. 16 kg bult (till vänster) visar en kompressionskraft i ländryggen på 3403 N, och 4 kg bult (till höger) visar en kompressionskraft på 2399 N.



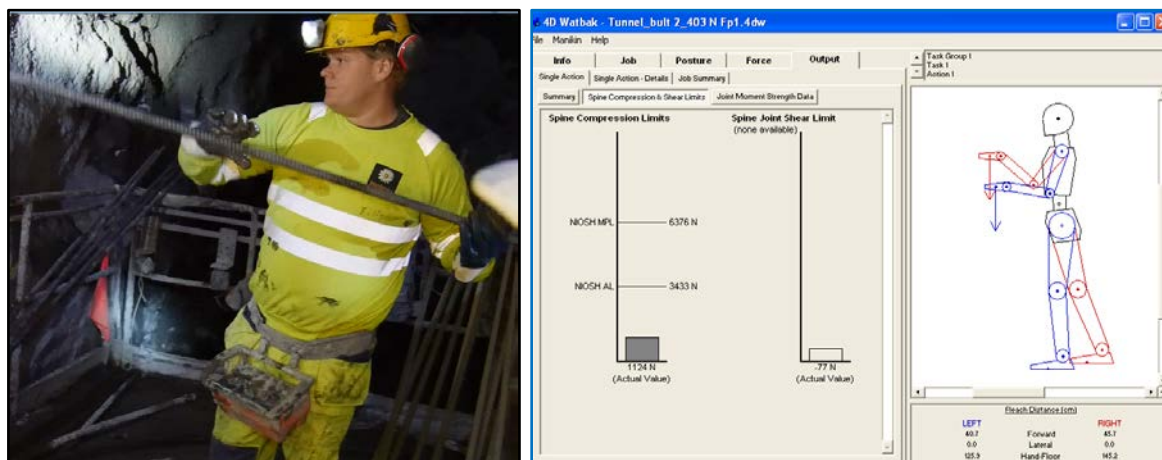
Figur 5. Kamstål bult. Sättning av bult i horisontalläge, studieperson 1. Tryckkraften visar 378 N. Maxkraften på 483 N avlästes en sekund senare, men då var studiepersonen skymd, se figur 6. Simulerad kompressionskraft i ländryggen visar 1479 N.



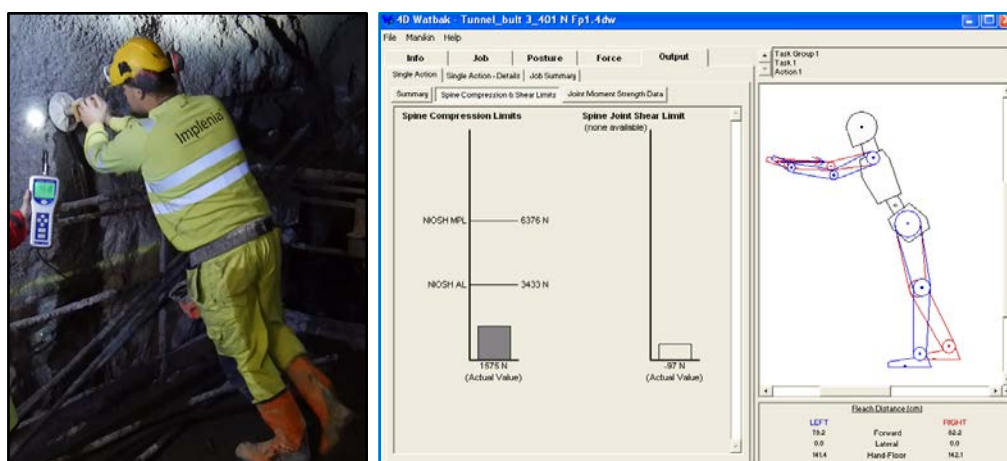
Figur 6. Kamstål-bult. Sättning av bult i horisontalläge, studieperson 1. Maximal tryckkraft visar 483 N. Approximativ arbetsställning då studiepersonen är skymd. Kompressionskraften i ländryggen blir låg kompressionskraft, 747 N, trots hög tryckkraft.



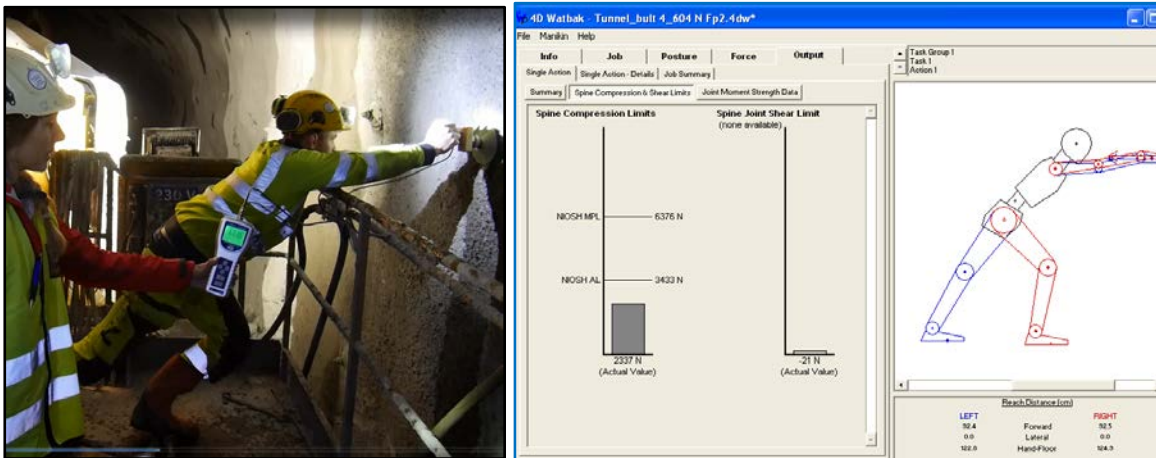
Figur 7. PC-bult. Sättning av bult i horisontalläge, studieperson 1. Maximal tryckkraft visar 496 N. En betydande kraftökning skedde just innan bulten var helt intryckt, innan dess var kraften lägre, ca 200 N. Simulerad kompressionskraft i ländryggen visar 2131 N.



Figur 8. Glasfiberbult. Exempel på hantering av bulten (studieperson 1) som skall lyftas upp och riktas in i hålet. Simulerad kompressionskraft i ländryggen visar på låg kompressionskraft, 1124 N, pga. av låg bult-vikt.



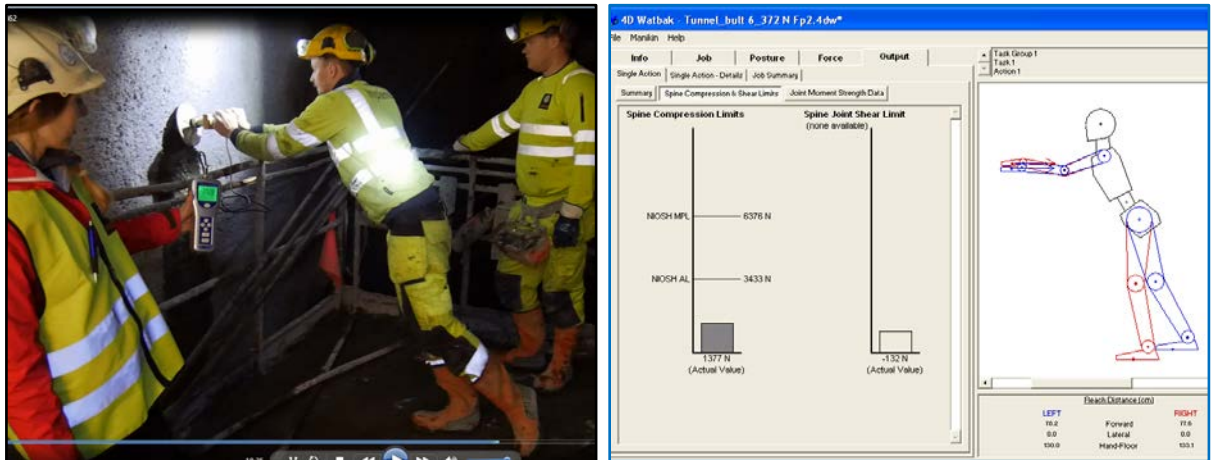
Figur 9. Glasfiberbult. Sättning av bult i horisontalläge, studieperson 1. Den maximala tryckkraften var 401 N. Simulerad kompressionskraft i ländryggen visar 1575 N.



Figur 10. Kamstålbolt. Sättning av bult i horisontalläge, studieperson 2. Maximal tryckkraft uppmättes till 604 N. Simulerad kompressionskraft i ländryggen visar 2337 N.



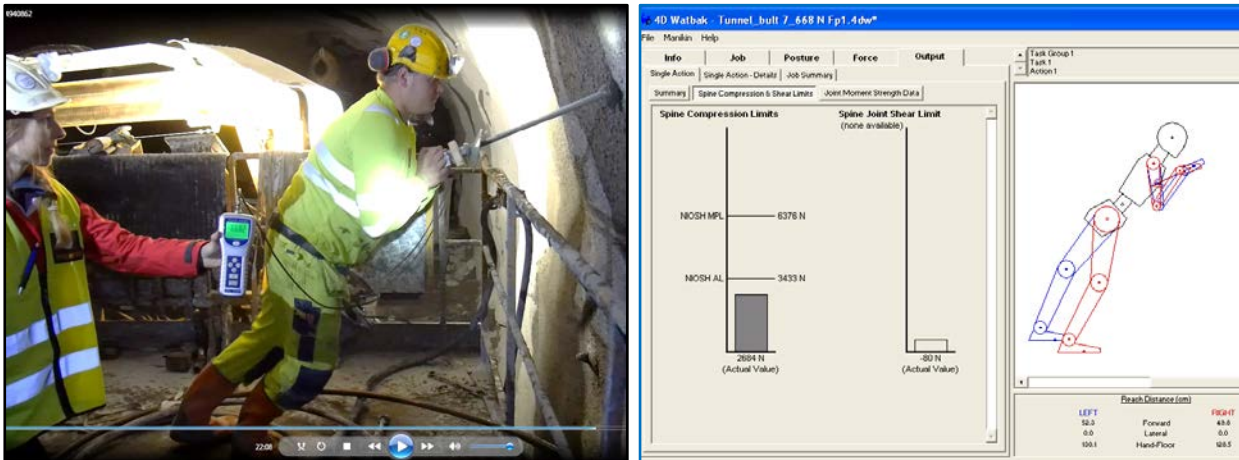
Figur 11. PC-bult. Sättning av bult i horisontalläge, studieperson 2. Normalt är bulttypen enkel att trycka in. I detta fall tycks bulten ha "fastnat" i på grus i hålet, därav den höga kraften på 656 N. Situationen avhjälpes genom korta gungande tryckningar (med hjälp av överkroppen som momentum) mot bulten. Även om en för bulttypen, ovanligt hög kraft krävdes, så var den mycket kortvarig. Eftersom situationen är dynamisk och inte en "vanlig" trycksituation, utfördes varken simulering eller biomekanisk beräkning.



Figur 12. Glasfiberbult. Sättning av bult i horisontalläge, studieperson 2. Mätaren visar en maximal tryckkraft på 372 N. Simulerad kompressionskraft i ländryggen visar 1377 N.



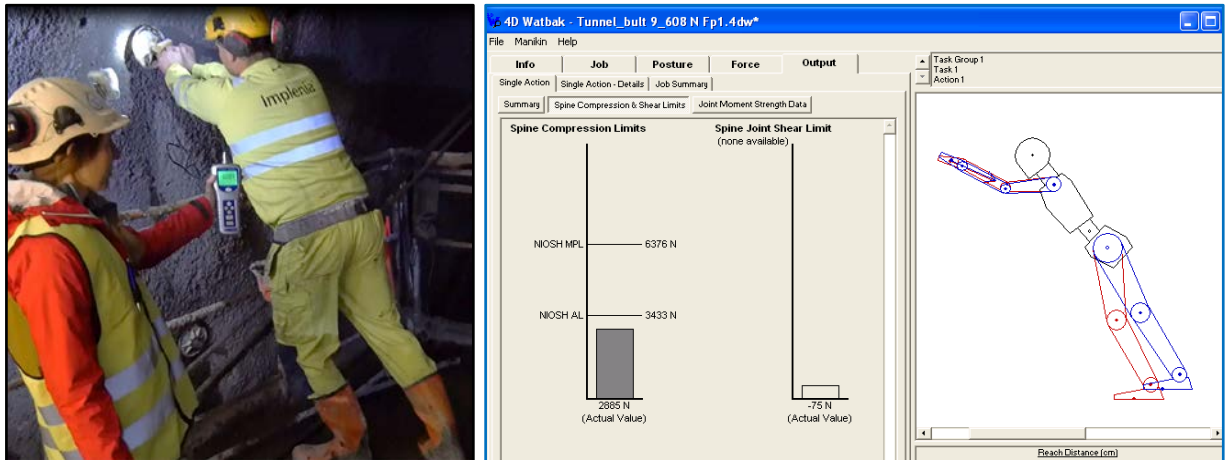
Figur 13. Kamstålbult. Exempel på hantering av bulten, som skall lyftas upp och riktas in i hålet.



Figur 14. Kamstålbult. Sättning av bult i snett uppåtriktat läge, studieperson 1. Maximal tryckkraft 668 N. Kraften som krävdes var mycket hög, men den biomekaniska simuleringen uppvisade en relativt låg kompressionskraft (lägre än NIOSH rekommenderade insatsvärde) i ländryggen, 2624 N, detta pga. att framåt-böjningen av överkroppen balanserar tryckkraften, vilket ger ett lågt vridmoment.



Figur 15. PC-bult. Sättning av bult i snett uppåtriktat läge, studieperson 1. Relativt låg kraft räcker för att trycka in bulten, här 153 N. Inget hjälpdon användes. Ingen simulering, eller biomekanisk beräkning utfördes.



Figur 16. Glasfiberbult. Sättning av bult i snett uppåtriktat läge, studieperson 1. Den maximala tryckkraften i slutläget var 608 N, dessförinnan var kraften mellan 300-400 N. Den biomekaniska simuleringen uppvisade en kompressionskraft i ländryggen på 2885 N som var lägre än NIOSH rekommenderade insatsvärde i ländryggen, detta pga. att framåtböjningen av överkroppen balanserar tryckkraften, vilket ger ett lågt vridmoment.



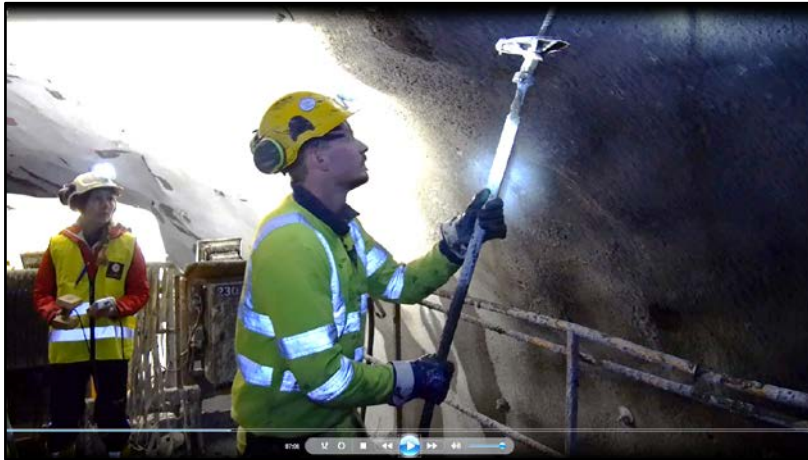
Figur 17. Kamstålbult. Sättning av bult i uppåtriktat läge med tryckhjälp av don som sätts mellan bultens ände och rampens golv. På så vis gör rampen "jobbet". Ingen kraftmätning eller biomekanisk beräkning utfördes.



Figur 18. Kamstål-bult. Sättning av bult i uppåtriktat läge (samma som i figur 17) med tryckhjälp av don. Ingen kraftmätning eller biomekanisk beräkning utfördes.



Figur 19. PC-bult. Sättning av bult i uppåtriktat läge, studieperson 2. PC-bulten är normalt så "lätt" att trycka in så man bryr sig inte om att använda hjälpdonet. Tryckkraften var initialt 153 N, därefter "fastnade" bulten. De ryck/slag som krävdes för att trycka in bulten innebar momentant höga krafter, här 515 N.



Figur 20. Glasfiberbult. Sättning av bult i uppåtriktat läge med hjälp av don. Ingen kraftmätning eller biomekanisk beräkning utfördes.



Figur 21. Kamstål bult. Sättning av bult i uppåtriktat läge. I början av intryckning används rampens golv som tryckkraft. Ingen kraftmätning eller biomekanisk beräkning utfördes.



Figur 22. PC bult. Sättning av bult i uppåtriktat läge. Intryckningen av bulten gick lätt (bulten fastnade ej). Bulten sågs ut att "kastas" in i det ofyllda hålet. Ingen kraftmätning eller biomekanisk beräkning utfördes.

Diskussion

Mätningar av arbetsställningar genomfördes över hela försöksperioden, ca 1,5 timmar. Kraftmätningar utfördes för var och en av de tre bulttyperna i de fall då bulten trycktes in för hand. Flera biomekaniska beräkningar gjordes, med hjälp av en biomekanisk modell. Trots att det i flera fall uppmättes höga tryckkrafter, så översteg kompressionskraften i ländryggen ej NIOSH (USAs arbetsmiljöverk) rekommenderade och internationellt accepterade insatsvärde på 3,4 kN (3400 N). Däremot överskreds insatsvärdet vid hanteringen av bultarna.

Arbetsställningar

Ryggens och armarnas vinklar i förhållande till lodlinjen var under undersökningens gång (1,5 timma), lägre än de insatsnivåer som rekommenderats från en forskargrupp i Lund (Arvidsson m fl. 2017). Att värdena ligger under insatsvärdena, ger en antydning om att armställningarna inte är en risk för besvärutveckling. Undersökningen pågick dock endast en kortare tid, vilket innebär att mätvärdena inte med säkerhet kan representera en typisk hel arbetsdag. Heldagsmätningar över en vanlig arbetsdag, skulle ge säkrare representativa värden. Det är också osäkert i vilket grad armarna, vid höga armvinklar (mer än 60 grader från lodlinjen), var belastade, respektive obelastade. Bilderna i figurerna visar emellanåt höga överarmvinklar vid intryckning av bultarna. De höga armvinkarna pågår dock under korta stunder sett över hela arbetsdagen, vilket betyder att de inte behöver vara en riskfaktor för besvär.

Ryggställningarna var överlag i en tämligen upprätt position, dvs. ej i riskzonen för besvärutveckling.

Kompressionskrafter i ländryggen

För bultarna med betong förfyllt i hålet, sågs en approximativt linjärt, stigande tryckkraft där den maximala kraften uppmättes under "sluttrycket". Tryckkraften för dessa bulttryckningar ökade alltså med längden av den intryckta delen av bulten. Den högsta uppmätta kraften var 668 N (för en stålbult som trycktes snett uppåt), ett värde som ligger

långt över Arbetsmiljöverkets rekommenderade maxkraft på 300 N (som brukar kallas igångsättningskraft, dvs. den kraft som krävs för att få ett föremål från att vara stillastående till rörelse; AFS 2012:2.). Men, vid simulering av samma arbetsmoment i den biomekaniska modellen WatBak (WatBak, University of Waterloo, Ontario, Canada; se www.ergonomics.uwaterloo.ca/watbak.html), erhöles värden som visade att kompressionskraften i ländryggen låg under NIOSH rekommenderade insatsnivå på 3,4 kN.

Höga krafter vid tunga lyft förknippas ofta med risk för överbelastning av ländryggen. Våra biomekaniska beräkningar visade dock att belastningen var måttlig, tack vare att bultsättaren genom att luta sig framåt balanserar en stor del av skjutkraften med överkroppens vikt och därmed avlastar ryggen. Detta överensstämmer med resultat från en Holländsk studie om sophämtares arbetsvillkor (De Looze MP m fl., 1995). Även två danska biomekaniska studier gällande belastning vid skjutning av tvåhjuliga kärl visar på låg ländryggsbelastning (Schibye m fl., 2001; Laursen och Schibye 2002).

Bultsättningsarbetet kan, pga. arbete med högt lyftade armar i kombination med hög manuell tryckkraft (såväl armens tyngd vid armlyft som tryckkraft med handen leder till kraftmoment i axelleden) leda till relativt stort skuldermoment, vilket är en riskfaktor för utvecklingen av skulderbesvär. I en studie på sjukhuspersonal från Nederländerna fann forskarna en förhöjd risk för skulderbesvär i grupper som utsattes för omfattande skjutbelastning i sitt arbete (Hoozemans m fl., 2002). Den nederländska studien har fått viss kritik eftersom det var svårt att skilja mellan arbetsmoment som att "skjuta/dra" och "lyfta/bära". Sjukhuspersonalen som ingick i studien utsattes nämligen för båda typerna av arbetsmoment. Även om vi fokuserat på risk för ländryggsbesvär, vilken är den risk som brukar ge allvarligast konsekvenser och som brukar förknippas med manuellt tungt arbete, så skall man inte helt bortse från risken för skulderbesvär. En förändring mot ett generellt lägre belastande arbetssätt bör även leda till minskad risk för besvär i skuldra.

För PC-bulten, som trycktes in i ett tomt hål, var krafterna generellt lägre än för bultarna av kamstål och glasfiber. Dock fastnade bulten ibland pga. grus i hålet, vilket under korta stunder (några sekunder) ledde till höga krafter, som var i nivå med dem för betongfyllda hål.

Vid hantering av bultarna kunde, enligt simuleringsresultaten, kompressionskrafter över 3,4 kN (dvs. den av NIOSH rekommenderade insatsnivån) förekomma (bultarnas vikt adderas till personens egen överkroppsvikt och ger vid lyft i framåtböjd ställning ett högt moment). Inom belastningsergonomi rekommenderas att man vid lyft av tung börda har bördans tyngdpunkt så nära ryggraden som möjligt, detta för att motverka höga moment i ländryggen (jmf tyngdlyftare). Hanteringen av de fyra meter långa bultarna (det finns även bultar som är 6 m) innebär lyft mellan olika nivåer samt stundvis lyft/förflyttning pga. av hinder (rampens storlek är begränsad). Detta gör att det kan vara svårt att följa dessa rekommendationer. Bultarna kan också "fastna i varandra" då de ligger i högen, vilket ytterligare ökar belastningen. Om två personer tillsammans hanterar bultarna, kanske speciellt då bultarna fastnat i varandra, skulle den här belastningen möjligen kunna minska. Det kan dock vara besvärligt för två personer att samtidigt fatta en bult på den begränsade ytan och med tanke på längden på bultarna som hanteras.

Jämförande av de tre bulttyperna

Vilka krafter behöver övervinnas för att få in en bult i det förborrade hålet?

Tyngdkraft och friktion ”trycker emot” då man trycker in t.ex. en kamstålbult. När det gäller horisontellt gående bultar, innebär sluttryckningen enbart friktionskraft då undersidan av hålet håller upp bulten. Friktionskraften beror bl.a. av hastigheten, vilket betyder att om bulten tryckts in i det betongfyllda hålet med lägre kraft än den vi uppmätte, så skulle bulten röra sig inåt ändå, fast med lägre hastighet.

Vid jämförelse av intryckning av kamstål- och glasfiberbult i ett betongfyllt horisontellt hål, så förekommer enbart friktionskraft, vilken bör vara densamma, eller mycket likartad för de två bulttyperna. Även i fallet med PC-bult är det, vid bultsättning i horisontalläge, enbart friktion som utgör motstånd. Eftersom hålet vid PC-bult inte fylls med betong utan är tomt, är motståndet normalt mycket lågt. Det förekommer dock att grus eller dylikt ”fastnar” framför toppen på bulten (som är större än för de två andra typerna), vilket då kan leda till att bulten ”fastnar” och måste stötas/ruckas för att lossna. Detta moment innebär i sig höga krafter.

Om man trycker bulten snett uppåt, så kan tyngdkraften delas upp i två komponenter, en i bultens riktning, och en vinkelrät mot bulten snett nedåt mot berghålets undersida. Vid 45 grader, så får vi två lika stora komponenter, vardera på 70 % av den totala tyngdkraften. För en kamstålbult på 16 kg, skulle det innebära att man trycker ca $0,7 \cdot 16 \cdot 10 \text{ N} = 112 \text{ N}$, pga. tyngdkraften, vilket kan jämföras med $0,7 \cdot 4 \cdot 10 \text{ N} = 28 \text{ N}$ för en glasfiberbult av samma längd (4 m). Med tanke på att den totala kraften för båda bulttyperna uppmättes till över 600 N, så är den relativa tyngdkraftsskillnaden, vid 45 graders lutning ($112 - 28 \text{ N} = 84 \text{ N}$), inte så stor.

För PC-bulten, blir kraften i teorin begränsad till tyngdkraften (om man bortser från grus som kan finnas i hålet). Vid sättning (eller lyft) rakt upp blir gravitationskraften ca $12 \cdot 10 \text{ N} = 120 \text{ N}$. Alltså långt under de krafter på 600 N som uppmättes vid sättning av bultar i de fyllda betonghålen.

Om man jämför nämnda teoretiska resonemang med utförda mätningar så är överensstämmelsen ganska god. Men, även om undersökningen pekar på att kamstålbulten verkar vara den som kräver mest kraft, är studiens mätunderlag statistiskt begränsat. Med andra ord kan man inte dra slutsatsen om att kamstålbulten generellt sett är mest kraftkrävande. Kraften beror ju också av hastigheten som bulten trycks in med, så om precis samma kraft används för likadana betongfyllda uppåtriktade hål för glasfiber- och kamstålsbultar, så skulle glasfiberbulten tryckas in något fortare. Vid lika hastighet skulle kamstålsbulten kräva högre kraft. Undersökningen bekräftar dock att PC-bulten, då det inte fanns grus i vägen, var tydligt lättare att trycka in än övriga bulttyper.

Slutledningar

Efter att ha genomfört ett experiment med mätningar av arbetsställningar och kraftmätningar, för tre olika bulttyper, så kan vi dra följande slutsatser:

Arbetsställningarna verkar vara relativt neutrala och under befintliga vetenskapligt baserade rekommenderade insatsvärden.

Tryckkrafterna var ibland dubbel så höga som de maximala rekommenderade skjutkrafterna i Arbetsmiljöverkets modell (600 N att jämföra med 300 N enligt AV). Men eftersom arbetet utförs med överkroppen framtålutad, vilket på så sätt balanserar skjutkraften med överkroppens vikt, så blir momentet i ländryggen lågt, och den internationellt accepterade

insatsgränsen på 3,4 kN för kompressionskraften i ländryggen överskrids ej (åtminstone inte vid de försök som gjordes).

NIOSH insatsvärde (3,4 kN för kompressionskraften i ländryggen) överskreds däremot under vissa delar av hanteringsmomentet av bultarna.

Vid jämförelse av arbete med kamstål- och glasfiberbult, ger den senare lägre belastning, främst pga. bultens lägre vikt vid hanteringen inför en bultsättning.

PC-bulten är, då hålen är rena, överlägset enklast att trycka in. Den är också lättare än kamstålbulten, men tyngre än glasfiberbulten. Det svårt att uttala sig om vilken av glasfiberbulten eller PC-bulten som är att föredra ur ett ergonomiskt perspektiv. Detta kräver ytterligare undersökningar.

Referenser

AFS. 2012. Arbetsmiljöverkets föreskrifter om belastningsergonomi. AFS 2012:2.

Arleij A, Åhlander M. 2018. En jämförelse av kamstålsbult och PC-bult. Examensarbete. Högskoleutbildning inom Byggproduktion, KTH. Serienummer: TRITA-ABE-MBT-1825

Arbetsmiljöverket. (2016). Arbetsorsakade besvär 2016. Stockholm: Arbetsmiljöverket.

Arvidsson I, Dahlgqvist C, Enquist H, Nordander C. 2017. Åtgärdsnivåer mot belastningskada. Rapport 18:2017. Arbets- och miljömedicin Syd. Lund.

De Looze MP, Stassen ARA, Markslag AMT, Borst MJ, Wooning MM, Toussaint HM. 1995. Mechanical loading on the low back in three methods of refuse collecting. *Ergonomics* 38:1993–2006.

Hoozemans MJ, van der Beek AJ, Frings-Dresen MH, van der Woude LH, van Dijk FJ. 2002. Pushing and pulling in association with low back and shoulder complaints. *Occup Environ Med* 59(10):696-702.

Laursen B, Schibye B. 2002. The effect of different surfaces on biomechanical loading of shoulder and lumbar spine during pushing and pulling of two-wheeled containers. *Appl Ergon* 33(2):167-74.

Schibye B, Sogaard K, Martinsen D, Klausen K. 2001. Mechanical load on the low back and shoulders during pushing and pulling of towheeled waste containers compared with lifting and carrying of bags and bins. *Clin Biomech* 16:549–559.