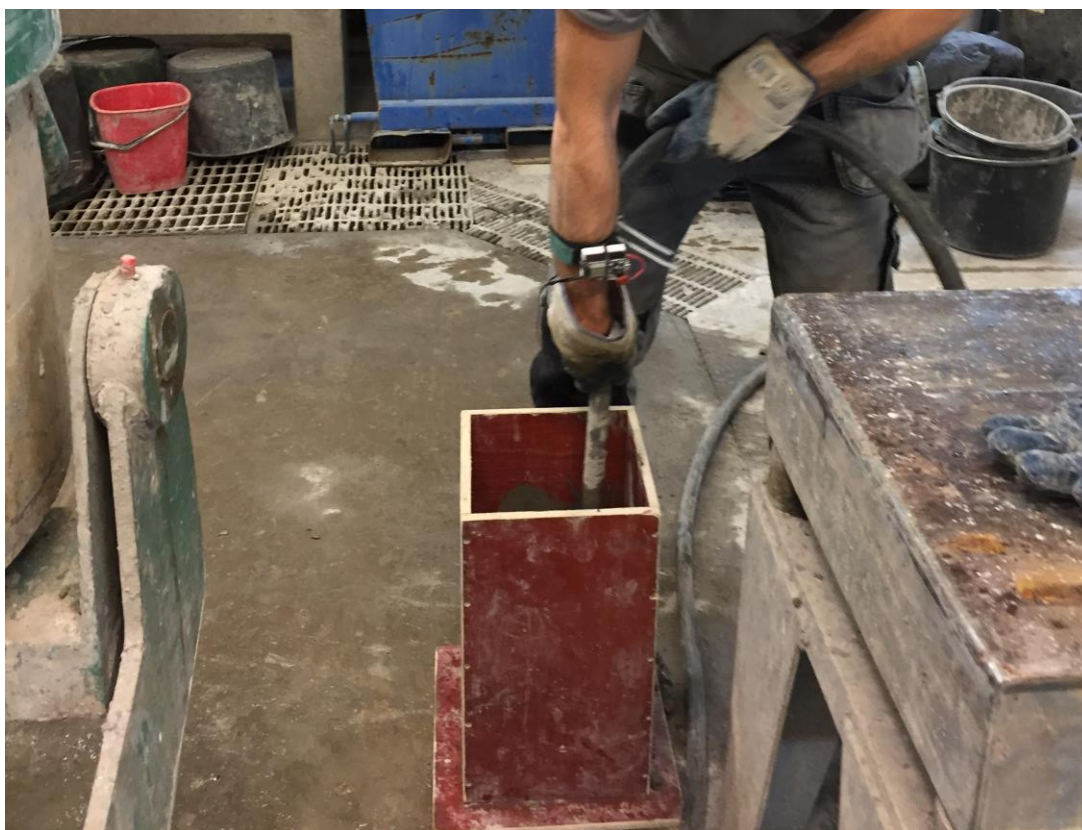




Litteraturstudie - Ökad användning av SKB för minskning av arbetsskador från vibrationer

Lars Kraft, Alexander Eriksson-Brändels och Richard McCarthy

RISE Rapport 2019:69

Litteraturstudie - Ökad användning av SKB för minskning av arbetsskador från vibrationer

Lars Kraft, Alexander Eriksson-Brändels och Richard McCarthy

”Arbeten skall planeras, bedrivas och följas upp så att riskerna till följd av exponering för vibrationer minimeras genom att vibrationerna elimineras vid källan eller sänks till lägsta möjliga nivå. Hänsyn skall tas till den tekniska utvecklingen och möjligheterna att begränsa vibrationerna.” Vibrationer, AFS 2005:15

Foto på framsidan: Mätning av vibrationer på underarm vid vibrering av betong. (RISE CBI.)

Abstract

Literature study - increased use of SCC for reducing work-related injuries from vibrations

The purpose of this study is to highlight the possibility of a better working environment through an increased use of Self-Compacting Concrete (SCC). Such concrete is denser and more durable, has higher compressive strength and a better filling capacity. The main advantage of SCC is that it doesn't require vibration for proper compaction and therefore is better to work with. Despite initial higher cost to order, it becomes cheaper in a life cycle analysis. Of all industries, the construction industry has the highest number of workers affected by vibrations. According to statistics 2016, vibration damage totaled 36 % of all approved occupational diseases. The resulting damage can rarely be cured and often leads to reduced working capacity and to severe life-long problems. A study showed that exposure increase of vibrations of just 1 m/s² increases the risk of white fingers (9%), Raynaud's phenomenon (6.9%), neurosensory injury (7.4%) and carpal tunnel syndrome (2.9%). Most of the various activities with elements of vibration on the construction site, such as sawing, grinding, screwing with machine etc., are difficult to replace with vibration-free methods. But for concrete casting, it is now possible to almost completely exclude vibrations by using SCC. The increased knowledge of the importance of a healthy workplace for the economic performance of construction companies has played a key role for work environment work. One study compared the benefits of accident prevention initiatives with the costs of the same. It was revealed that the benefit surpasses the costs with the relationship 3:1. Improvements for a healthier workplace can be achieved by: New innovations, both mechanical and material innovations, making work easier. Studies using modern portable sensors from which information can play an important role in the possibility of reducing work-related musculoskeletal disorders. Encouraging workers to use wearable sensors that can alert when ergonomically dangerous movements are carried out. Changing of an often reluctant culture at the workplace. Better risk assessment at the design stage. Better planning in project design in the early stages using new digital tools such as BIM. Better information about risks and safety in order to affect the safety behaviour of workers. We recommend a larger working environment study that will show how a positive workplace development with SCC is possible and how much can be saved in this way. Here, medical expertise must be involved to increase reliability. In addition, there is a desire in medical research, on the working environment and on vibration-related injuries, to fill in the gaps in previous research that remain, such as how cold weather and individual risk factors, such as smoking, affect the risk of vibration-related work injuries. Improved working environment is the main reason for increased use of SCC. Increased use should provide a more sustainable society.

Key words: Working environment, work-related damage/injuries, vibrations, self-compacting concrete (SCC)

RISE Research Institutes of Sweden AB

Innehållsförteckning

Innehåll

Abstract.....	2
Innehållsförteckning	3
Figurförteckning	5
Tabellförteckning.....	5
Förord	6
Sammanfattning	7
Summary	9
Ordlista, termer och begrepp i urval	11
1 Introduktion	13
1.1 Bakgrund till studien	13
1.2 Syftet med litteraturstudien.....	13
1.3 Frågar att besvara	14
1.4 Begränsningar.....	15
2 Generellt om arbetsmiljö, arbetsskador, vibrationer och SKB	16
2.1 Arbetsmiljölagstiftning och arbetsskador	16
2.2 Vikten av hälsosam arbetsmiljö för byggnadsindustrin	17
2.3 Arbetsskada från vibrationer	17
2.3.1 Besvär och sjukdomar relaterade till vibrationsskador i byggnadsarbetarens arbetsmiljö	18
2.4 Klassificering av symptom, Stockholmsskalan (Stockholm Workshop Scale). 21	
2.5 Metoder för riskbedömning av arbetsskada.....	21
2.5.1 Generella riskbedömningsmetoder för Muskuloskeletala sjukdomar (MSD)	22
2.5.2 Metoder för riskbedömning av MSD i axlar, armar och händer	23
2.5.3 Metoder för att bedöma manuell materialhantering	24
2.5.4 Metoder för att bedöma psykosocial stress	24
2.6 Vibrationer inom betongarbete	25
2.6.1 Vibreringsfri självkompakterande betong.....	26
3 Metod.....	28
4 Resultat.....	29
4.1 Generellt samband arbetsbelastning och arbetsskador	29
4.2 Projekterings och miljöcertifierings betydelse för förbättrad arbetsmiljö ...	31
4.3 Metoder för bedömning av fysisk belastning, ny teknik.....	34

4.4	Metoder för bedömning av belastning från vibrationer	35
4.5	Jämförelse mellan mätteknik med sensorer och observationer av belastning 40	
4.6	Riskbedömningar, metoder	41
4.7	Samband mellan arbetares hälsotillstånd och säkerhetsbeteende.....	44
4.8	Statistisk undersökning av arbetsbelastning bland 220 byggarbetare i Indien	45
4.9	Kärl- och nervskador i relation till exponering för handöverförda vibrationer [18].....	45
4.10	Risker och säkerhetsarbete i byggbranschen	47
4.11	Lönsamhetskalkyler och bonusprogram	47
4.12	Avhandlingarna från LTU om SKB och arbetsmiljö.....	49
4.12.1	Ytterligare publikationer från Simonsson och Rwamamara.....	51
4.13	Publikationer om SKB och arbetsmiljö från KTH	52
5	Diskussion	53
5.1	Metodik och metoder.....	53
5.2	Medicinsk forskning	54
5.2.1	Hur arbetaren kan beräkna tillåten exponering från vibrationer	54
5.3	Fördelar med användning av SKB ur arbetsmiljöperspektiv	55
5.4	Nya förutsättningar för betong och SKB	57
5.5	Tekniker och krav för att förenkla introduktionen av SKB	58
6	Slutsatser och rekommendationer	60
6.1	En större arbetsmiljöstudie	61
6.2	Enkätundersökning	61
6.3	Specifikation för olika slags SKB	62
6.4	Industri 4.0, framtid och krav inom byggindustrin.	62
	Referenser	64
	BILAGA 1. Lagar, Regler och rekommendationer.....	70
	Byggnads och Anläggningsarbete, AFS 1999:3 med tillägg: AFS 2008:3, AFS 2014:26	70
	Medicinska kontroller i arbetslivet, AFS 2005:6.....	70
	Vibrationer, AFS 2005:15,	70
	BILAGA 2. Statistik om arbetsskador och arbetsmiljö.....	73
	Besvär och sjukfrånvaro fördelade efter yrke.	74
	Besvär och sjukfrånvaro fördelade efter näringsgren.	76
	BILAGA 3. Arbetsmiljöverkets poängsystem för olika verktyg	78
	BILAGA 4. Exponeringspoäng för olika verktyg.	79
	BILAGA 5. Teknisk beräkning av hand-arm vibrationer.....	81

Figurförteckning

FIGUR 1. Karpaltunnelsyndrom [20].	19
FIGUR 2. (A, B) Ischemisk och hyperemisk fas (cyanos) av Raynauds fenomen [19].	20
FIGUR 3. Faktorer som kan ha betydelse för uppkomna sjukdomstillstånd [29].	30
FIGUR 4. Exempel på kappsäcksmodell: Vilka lådor bör väljas för att maximera mängden pengar men ändå hålla totalvikten under eller lika med 15 kg?	32
FIGUR 5. Lyftanordning för stegar.	32
FIGUR 6. Betongarbetare som drar en betongfylld pumpslang, fixerad vid en glidplatta. Fel! Bokmärket är inte definierat.	
FIGUR 7. Typexempel på den experimentella uppställningen av den subjektiva bedömningen av hand-arm-vibration. Observatören (till vänster) utför en visuell observation och känner på arbetarens händer och armar (till höger) [47].	36
FIGUR 8. Simulerade arbetsuppgifter utförda vid EMG-mätning [48]: (a) Slagborr ; (b) Multi-Cutter.	37
FIGUR 9. Sensor placerad 50 cm från vibrohuvudet på en väggstav [51].	38
FIGUR 10. Placering av bärbara sensorer.	41
FIGUR 11. En skiss på hur ett sammanslaget diagram för SKB:s olika egenskaper och tillämpningar. Avsett att förenkla i beställarled.	59
FIGUR 12. En skiss på hur olika tillsatser påverkar ballastpartiklarnas egenskaper. Kan förenkla i producentled.	60

Tabellförteckning

TABELL 1. Antal sysselsatta i Sverige och i byggbranschen kvartal 1, 2016 [7].	16
TABELL 2. Exponeringsvärden avseende daglig vibrationsexponering. (Genomsnittlig dos för 8 timmas arbetsdag.)	18
TABELL 3. Klassifikation av vaskulära symptom (enligt Stockholmsskalan).	21
TABELL 4. Klassifikation av sensorneuronala symptom (enligt Stockholmsskalan).	21

Förord

Utan några särskilda förkunskaper, vare sig i medicin, ergonomi eller projektering för säker arbetsmiljö, var det med en viss osäkerhet vi åtog oss att genomföra denna litteraturstudie. Men samtidigt var nyfikenheten stor och därför var det med entusiasm som vi började gräva ned oss i ämnet.

Vi fann dock snart att vi behövde kolla upp förutsättningar, dvs. lagar och regler, typiska åkommor av arbetsskador, hur man bestämmer kausala samband från arbete och till att arbetsskada konstateras, hur man kan förebygga skador genom större hänsyn till arbetsmiljö vid projektering, hur man kan använda en mängd olika metoder för att bedöma risken för att arbetsskador skall uppkomma, hur det idag finns modern teknik för att mäta skillnader i arbetsbelastning vid olika arbetsmoment och arbetsställningar, hur man sprider kunskap om ny teknik och om att man idag kan låta arbetare ha sensorer på sig för att de själva skall få en högre medvetenhet av hur de bör röra sig för att minska risk för arbetsskador, m.m. Det var inte lätt att få fram det vi ville. Men nu har vi sammanställt denna rapport, med byggbranschen som första adressat.

För att läsaren skall få djupare kunskaper om arbetsmiljöfrågor i byggbranschen vill vi hänvisa till läsning av Arbetsmiljöverkets Sammanställning 2017:5 *"Risker och säkerhetsarbete i Byggbranschen"* som ger en klar och mer omfattande bild av arbetsmiljöläget i Sverige och internationellt än vad som framställs i denna rapport. Därför citerats den sammanställningen också flitigt i detta arbete. En annan skrift med viktig information om de skador som kraftig exponering av vibrationer kan ge, är rapporten *"Kärl- och nervskador i relation till exponering för handöverförda vibrationer"* i den vetenskapliga skriftserien *Arbete och Hälsa* Nr 2016;49(4) ". Den skriften utgör en bas för motivering att minska vibrationer på arbetsplatser generellt och den visar att varje minskning av vibrationsexponering är av godo och viktig att åstadkomma när det är möjligt.

För byggnadsindustrin och för betongarbetare i synnerhet, utgör ett ökat användande av s.k. självkompakterande betong, SKB, en sådan möjlighet.

Målet med denna rapport är att diskutera arbetsmiljöfrågor relaterade till vibrationer i arbetsmiljön för betongarbetare. Vi vill i denna rapport peka på de arbetsmiljömässiga fördelar som betongarbetare kan vinna genom en ökad användning av SKB.

Arbetet har inneburit att ny och nygammal kunskap inhämtats till RISE CBI Betonginstitutet i Stockholm. Vi hoppas och tror att vår ökade insikt i detta viktiga ämne kommer kunna bidra till ökad medvetenhet i betongbranschen beträffande fördelarna med ett genomtänkt arbetsmiljötänkande i entreprenader.

Stockholm 2019-06-20

Lars Kraft, Alexander Eriksson-Brändels och Richard McCarthy

Sammanfattning

Syftet med arbetsmiljöstudier är förbättra och inspirera till arbetsmiljöarbete genom att visa på alla fördelar som en bättre arbetsmiljö medför. Det huvudsakliga syftet med denna studie är att belysa möjligheten till bättre arbetsmiljö genom en ökad användning av självkompakterande betong (SKB). Sådan betong är tätare och mer beständig, har högre tryckhållfasthet och bättre fyllnadsförmåga. Kvalitén ökar eftersom formarna måste göras tätare vilket medför jämnare ytor och mindre spackling efter gjutning. Materialet i sig är alltså bättre än "vanlig" betong. Betongen har använts industriellt sedan slutet av 90-talet. Trots det är marknadsandelen i Sverige idag endast 10 – 20 % av totalt 6 miljoner m³ betong. För platsgjuten betong utgör SKB fortfarande bara cirka 10 %. Andelen inom prefabrtillverkningen är högre. Den främsta fördelen med SKB är dock att den kan förbättra arbetsmiljön eftersom den är vibreringsfri och därigenom skonsammare att arbeta med. Trots initialt högre kostnad att beställa blir den billigare i en livscykelanalys. Förutsatt då att gjutningsarbetet var lyckat.

Var tredje skada inom byggbranschen är en belastningsskada. Av alla branscher har byggbranschen det högsta antalet arbetstagare som drabbas av vibrationer. Statistik under perioden 2010 – 2014 visar att besvär från vibrationsexponering och hörselproblem är de vanligaste godkända arbetssjukdomarna med 24 % andel vardera. Enligt statistik 2016 utgjorde vibrationsskador hela 36 % av alla godkända arbetssjukdomar. Uppkomna skador kan sällan botas och leder ofta till nedsatt arbetsförmåga och till svåra livslånga besvär.

De flesta av de olika momenten med inslag av vibrationer på byggarbetsplatsen, såsom sågning, slipning, skruvdragning med maskin, betongbilning, vibrationsplattor (paddor etc.), stavvibrator och borrhämmare, är svåra att ersätta med vibrationsfria metoder. Men för betonggjutning går det idag att nästan helt utesluta vibrationer genom att använda sig av vibreringsfri betong. En studie har visade att användning av rullarmering och självkompakterande betong (SKB) kan minska påfrestningarna till en tredjedel.

En litteraturgenomgång av arbetsskador från vibrationer har visat att det från ett biomekaniskt perspektiv står klart att kraftig belastning kan öka sjukdomsriskerna. Det finns starka samband mellan fysisk belastning i arbetet och biomekanisk belastning, interna toleranser och smärta, samt funktionshinder associerade med de övre extremiteterna. Studien visade bland annat att exponeringsökning av vibrationer på 1 m/s² ökar risken för vita fingrar (9 %), för Raynauds fenomen (6,9 %), risk för neurosensorisk skada (7,4 %) och karpaltunnelsyndrom (2,9 %).

Den ökade kunskapen om arbetsmiljöns betydelse för byggföretagens ekonomiska resultat har haft en avgörande betydelse för arbetsmiljöarbetet eftersom arbetskraften oftast är den dyraste komponenten. Otrivsel, arbetsrelaterade problem och sjukskrivningar kostar företagen mycket. Det orsakar sämre produktkvalité, produktivitet och en ökad omsättning av anställda. Det är alltså lönsamt att arbeta med arbetsmiljöfrågor. I en studie jämfördes nyttan av satsningar på olycksprevention med kostnaderna för densamma. Det framkom att nyttan överträffar kostnaderna med relationen 3:1.

Förbättringar av arbetsmiljön kan åstadkommas genom nya innovationer - både mekaniskt och materialmässigt - och genom bättre riskbedömning i projekteringsskedet. SKB utgör en sådan innovation. Genom att förändra en ofta motsträvig kultur kan förbättringar realiserats snabbare genom att låta företag och dess anställda tala gott om arbetsmiljöförbättrande åtgärder. Användning av kroppsburna sensorer, s.k. IMUs (Integrerad Mät Utrustning), är en annan innovation som kan varna arbetare när ergonomiskt farliga rörelser utförs. Genom bättre information kan man även påverka arbetarnas säkerhetsbeteende. En bättre planering i projektdesign i tidigt skede med hjälp av nya digitala verktyg (BIM), med identifiering och standardisering av arbetsuppgifter.

Studier finansierade av Arbetsmiljöverket visar att mest kostnadseffektivt är att lägga resurser på val av underleverantörer, ledning av underleverantörer, ledningsstöd och ledningens engagemang. Däremot är det minst kostnadseffektivt att lägga resurser på att journalföra tillbud och olyckor eller att anställa en säkerhetsansvarig. Enligt den sistnämnda teorin finns det en optimal nivå att sträva efter, där kostnaderna för prevention är lika som kostnaderna för olyckor. Det innebär att en viss nivå av säkerhetsrisker godtas för att säkerställa en ekonomisk stabilitet. Sanktionsavgifterna som infördes 1 juli 2014 har också påverkat arbetsgivare att vara mer angelägna om arbetsmiljön för sina anställda.

Med hjälp av de nya verktyg som presenteras kan man idag enklare och mer exakt identifiera vibrationsrelaterade arbetsmiljöbesvär. Här måste medicinsk expertis involveras för att öka vederhäftigheten. Dessutom finns en önskan inom den medicinska forskningen, om arbetsmiljö och om vibrationsrelaterade skador, att täppa igen de hål i tidigare forskning som återstår, till exempel hur kyla och individuella riskfaktorer som till exempel rökning påverkar risken för vibrationsrelaterade arbetsskador. Möjligheterna att utföra biomekanisk analys av byggnadsarbetare har förbättrats avsevärt med utvecklingen av modern teknik med bärbara sensorer. Informationen från dessa system kan spela en viktig roll för möjligheten att minska arbetsrelaterade muskuloskeletala sjukdomar.

Vi rekommenderar en större arbetsmiljöstudie som skall kunna visa hur en positiv arbetsmiljöutveckling med SKB är möjlig och hur mycket som går att spara på det viset. Det finns flera olika sätt att visa på vinster med SKB men det bör sammanställas i en rapport där vinster i varje enskilt moment i byggprocessen räknas in och vägs mot merkostnaderna, för att slutligen visa på ett värde som går att använda i beräkningar för produktionskostnader. Exempelvis kan ett sådant värde vara hur stor procent av en arbetares totalkostnad som består av arbetsmiljörelaterade kostnader och hur denna kostnad påverkas positivt av hur bättre arbetsmiljö minskar sjukskrivningar.

Det kan nämnas att det saknas forskning om; god praxis i arbetsmiljöarbetet, byggherrens och projektörens roll i arbetsmiljöarbetet, integrerade system som inkluderar underleverantörer och den roll säkerhetsklimatet spelar i bredare organisatoriska sammanhang.

Förbättrad arbetsmiljö utgör huvudskälet till att användningen av SKB bör öka. En ökad användning bör ge ett hållbarare samhälle.

Summary

The purpose of working environment studies is to inspire occupational health and safety (OHS) work by showing all the benefits that a healthier workplace brings. The main purpose of this study is to highlight the possibility of a better working environment through increased use of self-compacting concrete (SCC). SCC can improve the working environment because it does not require vibration for compaction and therefore is better to work with. SCC also has other advantages: it is denser and more resistant, it has higher compressive strength and better filling capacity. Furthermore, a proper execution can also result in a better surface quality which reduces any need for adjustments after casting. Productivity also increases as SCC enables faster casting and higher casting rates in vertical formwork, pouring speed. The material itself is thus better than "ordinary" concrete. This concrete has been used industrially from the latter nineties. Despite this, the market share in Sweden today is only 10 – 20% of a total of 6 million m³ of concrete. For cast-in-place concrete, SCC share is only about 10 %. The share of SCC in precast concrete is higher. Despite initial higher material cost, it becomes cheaper in a life cycle analysis.

Every third injury in the construction industry is a musculoskeletal injury. Of all industries, the construction industry has the largest number of workers affected by musculoskeletal injuries. The vibrations applied during traditional concrete casting is one of the major causes of the musculoskeletal injury. Statistics in the period 2010 – 2014 show that the inconvenience from vibration exposure and hearing problems are the most commonly approved occupational diseases with 24 % share each. According to statistics 2016, vibration damage totaled 36 % of all approved occupational diseases. The resulting damage can rarely be cured and often leads to reduced working capacity and to severe life-long problems.

Most of the various work steps on the construction includes exposure of vibrations, such as sawing, grinding, screwing with machine, concrete car, compacting vibration plates, vibrating pokers and hammer drills, all which are difficult to replace with vibration-free methods. But for concrete casting, it is now possible to almost completely exclude vibrations by using SCC. A study has shown that the use of rebar mats and SCC can reduce the workload to one third.

A literature review of work injuries related to the vibration has shown that it is clear from a biomechanical perspective that the heavy loads can increase the risk of disease. There are strong correlations between physical workload and biomechanical stress, internal tolerances and pain, as well as disability associated with the upper limbs. The study shows that exposure increase of vibrations of just 1 m/s² increases the risk of white fingers (9%), Raynaud's phenomenon (6.9%), neurosensory injury (7.4%) and carpal tunnel syndrome (2.9%).

The increased knowledge of the importance of a healthier workplace for the economic performance of construction companies has played a key role for the occupational and safety work, since the workforce is usually the most expensive component. Discomfort, work-related problems and sick leave cost businesses a lot. It causes inferior product quality, lower productivity and increased turnover of employees. It is therefore profitable to work with occupational safety and health (OSH) issues. One study compared the

benefits of accident prevention initiatives with the costs of the same. It was revealed that the benefit surpasses the costs with the relationship 3:1.

Improvements in the working environment can be achieved through new innovations - both mechanically and in terms of materials - and through better risk assessment at the design stage. SCC is such an innovation. By changing an often reluctant culture, improvements can be realized more quickly by letting companies and their employees speak plenty of workplace improving measures. The use of wearable sensors, so-called IMUs (Integrated Measuring Units), is another innovation that can alert workers when ergonomically dangerous movements are carried out. Better information can also improve the safety behavior of workers. A more proper planning in the early design process using new digital tools (BIM) can identify risks and standardize work steps in order to reduce accidents and occupational injuries.

Studies funded by the Swedish Work Environment Authority show that the most cost-effective measure is to focus on the choice of subcontractors, management of subcontractors, management support and management engagement. It is least cost effective to spend resources on journaling incidents and accidents or hiring a safety officer. According to the latter theory, there is an optimal level to strive for, where the cost of prevention is the same as the costs of accidents. This means that a certain level of security risk is acceptable to ensure economic stability. The fines imposed in Sweden on 1st July 2014 have also affected employers to be more concerned about the working environment for their employees.

With the help of the new tools presented, it is now easier to identify and more precisely address vibration-related working environment problems. Here, medical expertise must be involved to increase reliability. In addition, there is a desire in medical research on working environment and vibration-related injuries to fill out the gaps in previous research that remain, such as how cold weather and individual risk factors, such as smoking, affect the risk of vibration-related work injuries. The possibilities of carrying out biomechanical analysis of construction workers have been significantly improved with the development of modern portable sensors. The information from these systems can play an important role in the possibility of reducing work-related musculoskeletal disorders.

We recommend a larger working environment study that will show how a positive development of the working environment is possible when SCC is used, and how much money that can be saved using SCC. There are several ways to show benefits with SCC which could be compiled in a report where profits in each individual element of the construction process are calculated and weighed against the additional costs, in order to finally get a value that can be used in calculations of construction costs. For example, such a value can be the percentage of a worker's total cost that consists of OSH costs and how this cost is positively affected by how a safer workplace reduces sick leave.

Improved working environment is the main reason for increased use of SCC. An increased use of SCC at the construction sites should provide for a more sustainable society.

Ordlista, termer och begrepp i urval

Betablockerare,	Ett läkemedel som skyddar stresshormoner.
BIM	Byggnads-Information-Modellering (Building Information Modeling) innebär att en 3D-modell skapas i en byggprocess för projektering och visualisering med målet att samla information om byggnader och processerna och besluten kring byggnaden. Att använda BIM som arbetsmetod innebär att information om byggarbetet samlas in och därmed kan varje skede i byggprocessen stämmas av mot uppsatta mål. Att använda BIM som en virtuell modell (prototyp) av verkligheten. Innebär att all information samlas och organiseras (både den fysiska och den logiska sammansättningen) från en byggnads livscykel. Genom att använda en BIM-modell kan man spara både tid, pengar och material i byggsektorn
CAD	Computer Aided Design, Datorstödd design gör det möjligt att snabbt producera 3D-visualiseringar och integrera till exempel arkitektens och ingenjörens traditionella verksamhetsområden.
ErgoSAM	Ergonomisk Sekvensbaserad Aktivitets- och Metodanalys som identifierar och utvärderar risken för muskeloskeletal skada. Dess styrka ligger i att hitta vilket moment som har högst risk för arbetsskador.
HAVS	Hand-Arm-Vibration-Syndrom, en samling av symptom som arbetare kan få av handhållna vibrerande verktyg. Symptomen kan vara; Cirkulationsförändringar, i fingrarna även kallat Vita fingrar (sekundär Raynauds fenomen), neurosensorisk skada i hand och underarm (värk, domningar, känselbortfall i handen), störningar i rörelseapparaten (värk och nedsättning av styrkan i hand, underarm, armbåge och artros i handleden med mycket låg prevalens) och karpaltunnelsyndrom.
Health VIB	Är en arbetshandske med inbyggda sensorer för att mäta vibrationsbelastning på arbetsplatsen.
Industri 4.0	En samlande term för en rad teknologier och koncept inom automation, processindustriell it och tillverkningsteknologier. Målet är produktion med kortare omställnings- och ledtider, färre fel, mer flexibilitet och ingen tidskrävande programmering. Konceptet ses som en lösning för återindustrialisering av västvärlden.
Karpaltunnelsyndrom	Är en inflammation i handleden som leder till att senorna har svårt att röra sig i Karpaltunneln och nerver kommer i kläm på grund av vätskebildningar. Förträngningen kan i sin tur leda till sekundär Raynauds fenomen.
Lean production	Ursprungligen en utvecklingsstrategi från Japan/Toyota. Syftet är att identifiera och eliminera alla faktorer i en produktionsprocess som inte skapar värde för slutkunden (mer värde för mindre

ManTRA	arbete). Manual Task Risk Assessment, ett verktyg för att utvärdera ergonomiska riskfaktorer och kumulativa risker på olika kroppsregioner.
OCRA	Occupational Repetitive Action index, ett analysverktyg för att bedöma muskuloskeletal belastning efter kroppsställning, belastning och repetition. Framförallt framtaget för skuldror, armar och händer.
PLIBEL	PLan för Identifiering av BELastningsskador, är ett riskbedömningsverktyg som ger information om riskmomentet men inte risknivån.
Puzzolana material	Ursprungligen puzzolanaska, det vill säga aska från staden Pozzuoli (i provinsen Neapel). Tillsatsmaterial som får hydrauliska egenskaper i alkalisk miljö och då kan ersätta cement till viss del.
QEC	Quick Exposure Check, är utvecklat för att snabbt tydliggöra muskuloskeletal risknivåer vid fysiskt arbete.
Raynauds fenomen	Vita fingrar (Vibron White Fingers) Beror på nedsatt blodflöde på grund av tillfälliga kramper i fingrarnas blodkärl.
SKB / SCC	Självkompakterande betong, (Self Compacting/Consolidating Concrete) En betong som tillhör den familj av tillsatsmedelsbetonger som vuxit fram sedan 1970-talet. De fyller ut formen och omsluter armeringen endast med hjälp av sin egen vikt (kräver ingen vibration)
Stockholmsskalan	(Stockholm Workshop Scale) För att kunna klassificera påverkan och effekten av HAVS och vita fingrar under kyla togs en skala fram 1986 på en workshop i Stockholm och den skalan använder man sig av för att ställa graden av påverkan.
Systemisk skleros	En kronisk autoimmun sjukdom som karakteriseras av inflammation och fibrotisering av hud och underhud samt blodkärl och inre organ, främst lungor, hjärta och njurar. Raynauds fenomen förekommer i så gott som alla fall med systemisk skleros.
TVB	Traditionellt Vibrerad betong, jämfört med SKB, en betong som måste vibreras för att fylla ut formen och omsluta armeringen.
VSI kross	Vertical Shaft Impact (crusher) Ett sätt att krossa bergmaterial så att det blir mer kubiskt och erhåller bättre reologiska egenskaper.
WMSD	Work-related Musculoskeletal Disorder, är samlingsnamnet på arbetsrelaterade förslitningsskador.

1 Introduktion

1.1 Bakgrund till studien

Under det första decenniet av det nya milleniet togs flera nya initiativ i Sverige inom byggsektorn för att förbättra arbetsmiljön på byggnadsplatser. Detta skedde både inom byggindustrin och vid akademien. Till exempel utfördes två doktorsarbeten vid Luleå Tekniska Universitet (LTU) och ett på Chalmers [1]. Vid LTU presenterades det ena arbetets avhandling 2007 [2] och det har, fritt översatt, titeln; *”Planering av den välmående byggarbetsplatsen genom riskanalys och designmetodik”*. Det andra arbetet presenterades 2011 [3] och har titeln, återigen fritt översatt; *”Byggbarhet av betongstrukturer – processer, metoder och material”*.

Initiativet till doktorsarbetena i Luleå togs först av professor Ove Lagerqvist på avdelningen för ”Industriell Arbetsmiljö” och senare även av professorer Thomas Olofsson och Mats Emborg på avdelningen för Byggnadsteknik. Alla tre arbetar fortfarande idag på Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser på LTU.

År 2015 återupptog Mats Emborg tråden från dessa tidigare arbeten om byggnadsindustrins arbetsmiljö och ansökte om medel från BBT/Trafikverket för ett projekt som bl.a. skulle göra ytterligare undersökningar angående hur betongarbetarnas arbetsmiljö kan förbättras genom en ökad användning av självkompakterande betong (SKB) samt hur man kunde utveckla föreskrifter för en robustare SKB. Projektet blev beviljat, dock endast som en förstudie. Pga. tidsbrist vid LTU överlämnades senare ansvaret för projektets genomförande till RISE CBI Betonginstitutet som påbörjade arbete i projektet i oktober 2016. Därefter har dessutom ytterligare medel beviljats av A-konsortiet till RISE CBI Betonginstitutet för att stärka upp litteraturstudien och för att även kunna genomföra mindre arbetsplatsundersökningar med frågeenkäter.

Denna litteraturstudie, som är alltså en frukt och en fortsättning av tidigare ansträngningar, utgör det huvudsakliga resultatet av den beviljade förstudien.

1.2 Syftet med litteraturstudien

I beviljandet skriver Trafikverket att förstudien ger möjlighet till att utforma en ny ansökan (till nästa ansökningstillfälle) som bättre beskriver angreppssätt och metoder att gå till väga. Man menar också att medicinsk expertis bör ingå bland projektdeltagarna.

Syftet med förstudien är alltså främst att genomföra en ny ansökan. Men för ett bättre angreppssätt med metoder som kan visa på förbättringar i arbetsmiljön, vid användning av SKB, genomförs denna litteraturstudie.

Det primära målet med litteraturstudien, denna rapport, är att finna studier som styrker att arbetsmiljön för betongarbetare i byggnadsindustrin kan förbättras genom ett ökat användande av SKB. Förbättrad arbetsmiljö utgör huvudskälet till att användningen av SKB bör öka.

De arbetsmiljöförbättringar som SKB kan medföra [4, 5] är att:

- Betongen behöver inte vibreras.
- Bullernivån minskar och kommunikationen förbättras.
- Betongen är lättare att gjuta/fördela ned i gjutformarna.
- Detta tillsammans minskar belastningarna på arbetarna.
- Sjukskrivningarna minskar.
- Kostnaderna minskar och byggandet effektiviseras.

Förutom de viktiga arbetsmiljöförbättringar som SKB ger upphov har betongen även andra viktiga potentiella och uppenbara fördelar [3, 5, 6] såsom:

- Ökad produktivitet → lägre kostnader (snabbare gjutning och färre arbetare vid gjutning).
- Bättre material- och gjutegenskaper (starkare och beständigare betong).
- Minskade kostnader för efterbearbetning.
- Ökad livslängd med minskade kostnader för underhåll.

Ovanstående 10 punkter kan också fungera som sammanfattning av denna studie. Men förutom redan citerade referenser skall denna studie även redogöra för nyare litteratur som ytterligare fokuserar på arbetsmiljömässiga fördelar med SKB.

Litteraturstudien söker alltså redogöra för forskningsläget, en nulägesrapport, när det gäller:

- Metodik och metoder att validera arbetsbelastning vid betonggjutning för att tydliggöra fördelarna med SKB gentemot traditionellt vibrerad betong (TVB).
- Medicinsk statistik och forskning när det gäller arbetsskador från vibrationer bland byggnadsarbetare och betongarbetare i synnerhet.
- Utvärderingar av fördelar med användning av SKB på arbetsplatser;
 - ✓ ekonomiskt (tids- och personalbesparande),
 - ✓ hälsomässigt (minskad sjukfrånvaro, arbetsglädje),
 - ✓ byggbarmässigt (design, fördelar/nackdelar).

Litteraturstudien skall utgöra en grund till ett kommande forskningsprojektet, där praktiska undersökningar på arbetsplatser kommer genomföras med syftet att visa på de vinster preventivt arbete med arbetsmiljön kan generera både på kort och lång sikt genom design och val av SKB istället för den ergonomiskt sämre traditionellt vibrerade betongen.

1.3 Frågor att besvara

Några av de frågor som studien skall diskutera är:

- Går det att sätta en prislapp på arbetsmiljöarbete? Kostar det eller lönar det sig?
- Vilka diagnostiska metoder har man använt och finns det nyare/bättre alternativ?

- Hur kan byggnadsplanering med SKB i åtanke förenkla introduktionen av SKB i syfte att förbättra arbetsmiljön och hur mycket går det att vinna på det?
- Finns studier om hur köld inverkar på skadepåverkan från vibrationer vid arbete? Fokus är arbetaren och de besvär som uppstår i samband med vibrering av traditionell betong och de förbättringar som en vibrationsfri självkompakterande betong ger. De ekonomiska vinster som individer, företag och samhälle kan få från att gå över från TVB till SKB diskuteras också.

1.4 Begränsningar

Litteraturstudien gör inte anspråk på att ge en heltäckande bild av hur man inom industrin, vare sig i Sverige eller internationellt, arbetar med arbetsmiljöförbättringar angående vibrationsskador genom ökad användning av SKB. Målet är dock att ge en god bild av läget i Sverige.

Frågor om arbetsplatsrelaterade problem som inte är relaterat till produktion med betong täcks inte av denna studie. Men några internationella studier presenteras angående ledning och riskbedömning vid planering av arbetsmiljön på byggarbetsplatser generellt.

Förutom vibrationsskador i relation till byggnadsarbete allmänt och vid betongarbete i synnerhet diskuteras även översiktligt om andra arbetsorsakade arbetsskador, såsom t.ex. hörselskador.

2 Generellt om arbetsmiljö, arbetsskador, vibrationer och SKB

2.1 Arbetsmiljölagstiftning och arbetsskador

Arbetsmiljöfrågor påverkar idag nästan varje enskild del i byggprocessen genom de lagar bestämmelser som finns. Syftet med dessa lagar och förordningar är dels att skydda individen, dels att minska de kostnader som sjukskrivningar och sjukfrånvaro kostar samhället. Exempel på lagar och förordningar ges i BILAGA 1.

År 2016 hade drygt var femte sysselsatt person (22 procent) någon form av besvär till följd av arbetet, som gjorde det svårt att arbeta på jobbet eller utföra det dagliga hemarbetet. Bland dessa 22 % uppgavs att 18 % hade fått besvär av arbetsförhållanden förutom arbetsolyckor. Endast en bråkdel 0,3 % uppgav att vibrationer var källan till besvären. Generellt hade kvinnor större besvär, både från fysisk och psykisk påfrestning, men besvären orsakade av vibrationer låg på 0,2 % och 0,4 % för kvinnor respektive män (av samtliga anställda). Byggverksamhet är den näringsgren där flest uppgav att de hade besvär från vibrationer, 1,1 % av arbetsstyrkan, [7]. Enligt sammanställningen i TABELL 1 kan man skatta att totalt ca 8170 personer hade besvär orsakade av vibrationer, byggnadsingenjörer och byggnadstekniker oräknade.

TABELL 1. Antal sysselsatta i Sverige och i byggbranschen kvartal 1, 2016 [7].

Byggnadsingenjörer och byggnadstekniker	61 000
Hantverksarbete inom byggverksamhet och tillverkning	437 000
Gruv-, bygg- och anläggningsarbete	306 000
Totalt antal sysselsatta	4 622 000

Långvariga besvär kan på sikt ge kroniska arbetsskador vilket är vanligt vid arbetsskador från vibrationer. Men hur definieras och var går gränsen för en arbetsskada som ersätts med sjukförsäkring? I statens offentliga utredningar (SOU) 1992:39 ges följande förslag på definition av begreppet arbetsskada:

”Med arbetsskada förstås i denna lag skada till följd av olycksfall eller annan skadlig inverkan i arbetet. Med annan skadlig inverkan avses faktor som med hög grad av sannolikhet kan ge upphov av till sådan skada som den försäkrade har”

Efter diskussioner angående vad ”hög grad av sannolikhet” innebär skrev man bl.a. i regeringens proposition 2001/2001:81:

”En väl utbredd uppfattning bland läkare som har relevanta specialistkunskaper bör /.../ kunna läggas till grund för att sådan skadlighet föreligger, även om det inte finns fullständig enighet inom läkarkåren som helhet.”

Hur trygghetsförsäkringssystemet för arbetsskador har förändrats genom årets lopp pga. de enorma kostnader det medför för samhället, är följande intressant läsning, se [8].

Var tredje skada inom byggbranschen är en belastningsskada. Ont i kroppen är särskilt vanligt bland betongarbetare, plåtslagare, murare och målare. [9]. Statistik under perioden 2010 – 2014 visar att besvär från vibrationsexponering och hörselproblem är de vanligaste godkända arbetssjukdomarna med 24 % andel vardera [10]. Enligt statistik från AFA försäkring¹ 2016, utgör nu vibrationsskador hela 36 % av alla godkända arbetssjukdomar [11]. Mer statistik om arbetsskador ges i BILAGA 2.

2.2 Vikten av hälsosam arbetsmiljö för byggnadsindustrin

Den ökade kunskapen om arbetsmiljöns betydelse för byggindustrins eget intresse och välbefinnande har haft en stor betydelse för arbetsmiljöarbetet, eftersom dessa frågor har en stor påverkan på företagets ekonomiska resultat eftersom arbetskraften oftast är den dyraste komponenten. Otrivsel, arbetsrelaterade problem och sjukskrivningar kostar företagen mycket pengar ifråga om försämrad produktkvalité, sämre produktivitet och en ökad omsättning av anställda. Att anställda är nöjda med sitt arbete en nyckelfaktor för framgång i ett företag. Därför är idag företagen betydligt mer uppmärksamma och engagerade i arbetsmiljön – en fråga som oftast tidigare drivits av arbetarna själva genom facklig verksamhet [3].

Dessutom visar det sig att det är lönsamt att arbeta med arbetsmiljöfrågor. I en nytto-kostnadsanalys av olycksprevention, baserad på enkätsvar från 79 arbetsmiljöchefer, jämfördes nyttan av satsningar på olycksprevention med kostnaderna för densamma. Det framkom att nyttan överträffar kostnaderna med relationen 3:1. Det innebär att de inledande extra kostnaderna tjänas in trefalt [12].

2.3 Arbetsskada från vibrationer

Exponering för vibrationer är vanligt i arbetslivet och medför signifikant risk för skada eller ohälsa. Man skiljer mellan hand–armvibrationer (HAV) vid arbete med handhållna vibrerande maskiner (tex slipmaskiner, mejselhammare, bormaskiner, motorsågar) och helkroppsvibrationer (HKV) vid arbete i motorfordon (skogsmaskiner, grävmaskiner, lastbilar, bussar, taxibilar etc.). Det är välkänt att hand–armvibrationer kan ge övergående och bestående skador i blodkärl, nerver och muskler. Kunskapsläget kring hälsoeffekterna av helkroppsvibrationer är mer osäkert [13]. Det totala antalet yrkesverksamma i Sverige som utsätts för vibrationer minst en fjärdedel av arbetstiden angavs till ca 290 000 för hand–armvibrationer och ca 260 000 för helkroppsvibrationer [14].

¹ AFA Försäkring administrerar kollektivavtalade försäkringar på uppdrag av arbetsmarknadens parter och är samlingsnamnet för AFA Trygghetsförsäkringsaktiebolag, AFA Sjukförsäkringsaktiebolag och AFA Livförsäkringsaktiebolag.

I AFS 2005:15 Vibrationer, beskriver man Vibration som ”Mekanisk svängningsrörelse hos fasta föremål”. Vibrationens storlek anges uttryckt i enheten m/s^2 (vibrationsrörelsens accelerationsamplitud). I TABELL 2 visas de värden har satts som riktvärden.

TABELL 2. Exponeringsvärden avseende daglig vibrationsexponering. (Genomsnittlig dos för 8 timmas arbetsdag.)

	Insatsvärden	Gränsvärden
Hand- och Armvibrationer	$2,5 \text{ m/s}^2$	$5,0 \text{ m/s}^2$
Helkroppsvibrationer	$0,5 \text{ m/s}^2$	$1,1 \text{ m/s}^2$

Om insatsvärdet överskrids skall orsaken utredas och åtgärder vidtas för att minimera risken. Om gränsvärdet överskrids skall omedelbara åtgärder vidtas för att säkerställa att exponeringsvärdet sjunker och inte överstiger gränsvärdet i framtiden. (Se avsnitt 5.2.1 samt BILAGA 3 och 4.)

Enligt Allan Toomingas från Karolinska Institutet [15] är de gränsvärden som satts upp ett alltför trubbigt redskap för att minska riskerna med vibrationsskador. Frågan om kyla och HAV:s har inte tagits upp tidigare i forskning utförd av byggvetenskapen och inte heller livsstil som påverkar det vaskulära systemet, som BMI, kondition eller ålder och rökning. Däremot är det känt sedan lång tid att sådana faktorer har en stark inverkan. Hälsorisker förknippade med handöverförda vibrationer beskrevs redan i början av förra seklet. Alice Hamilton beskrev redan 1918 hur arbetare i ett kalkbrott i Indiana, USA, utvecklade en ovanlig sjukdom med stelhet och vitnade fingrar vid arbete med lufthammare, ofta i samband med köld [16]. Sextio år senare, 1978, genomfördes en studie i samma kalkbrott och då hade 80 % av stenarbetarna vita fingrar och känselbortfall [17]. Exponering för handöverförda vibrationer är fortfarande vanligt i arbetslivet. Även skador orsakade av vibrationer är vanliga. Dessutom har man sedan Alice Hamiltons undersökning, blivit varse att handöverförda vibrationer även ger upphov till nervpåverkan och värktillstånd. Uppkomna skador kan sällan botas och kan leda till nedsatt arbetsförmåga och till svåra livslånga besvär [18].

2.3.1 Besvär och sjukdomar relaterade till vibrationsskador i byggnadsarbetarens arbetsmiljö

Det finns flera olika besvär som är kopplade till arbetsmiljö och vibrationer. Några av de symptom som är vanliga är [10]: Domningar, köldkänslighet, muskelsvaghet, kramp i fingrar och i händer och s.k. vita fingrar. Betongarbetare och anläggningsarbetare är vanliga yrken med exponering för hand-armvibrationer.

De vanligaste sjukdomarna och symtom i byggnadsarbetarnas arbetsmiljö samlas under följande begrepp; *Repetitive Strain Injury (RSI)*, *Work-related Musculo Skeletal Disorder (WMSD)* och *Hand Arm Vibration Syndrome (HAVS)*. Här följer några korta förklaringar:

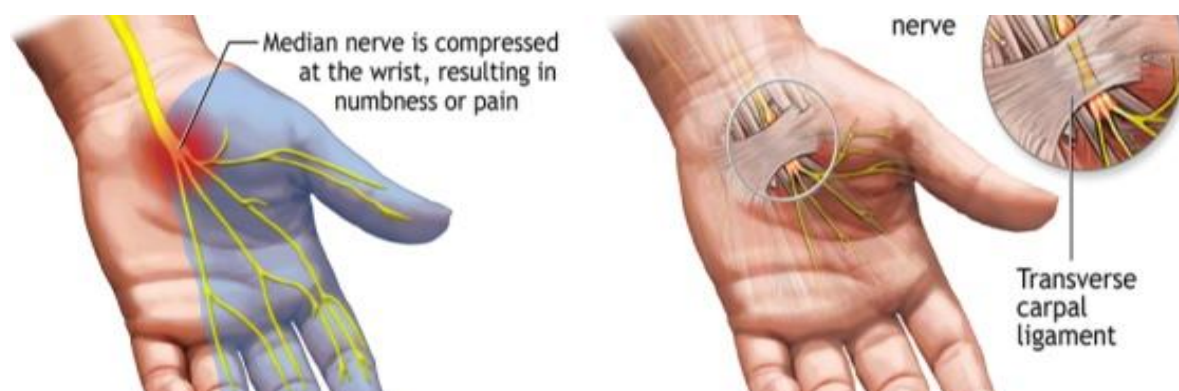
RSI (Repetitive Strain Injury), eller förslitningsskador (sv.) är åkommor man känt till i flera hundra år [16]. Det är paraplybegrepp som innefattar allt som är repetitiva sträcknings- och belastningsskador såsom tennisarmbåge och karpaltunnelsyndrom m.fl. De kallas också för *muskuloskeletal* sjukdomar.

WMSD (Work-related Musculo Skeletal Disorder) är namnet med samma symptom som ovan men med koppling till arbetet. De är de vanligaste arbetsrelaterade sjukdomarna i världen [18]. Begreppet innefattar besvär/skador i det muskuloskeletal systemet (även kallat skelettmuskelsystemet) som består av leder, ligament, muskler, senor och nerver. Det är en samling av smärtfulla åkommor som inkluderar värk, inflammationer, förträngningar i muskler, senor, blodkärl och nerver. Ett välkänt begrepp är HAVS.

HAVS (Hand-Arm-Vibrations-Syndrom) är enligt svensk standard SS-ISO 5805, en samling av symptom som arbetare kan få som arbetar med handhållna vibrerande verktyg. Symptomen kan vara; cirkulationsförändringar i fingrarna även kallat Vita fingrar (sekundär *Raynauds fenomen*), neurosensorisk skada i hand och underarm (värk, domningar, känselbortfall i handen), störningar i rörelseapparaten (värk och nedsättning av styrkan i hand, underarm, armbåge och artros i handleden med mycket låg prevalens) och *karpaltunnelsyndrom*. Observera att den klassiska definitionen på HAVS görs utifrån en historia av blekhet/ vita fingrar, ofta i samband med kyla hos arbetare som använt handhållna vibrerande verktyg.

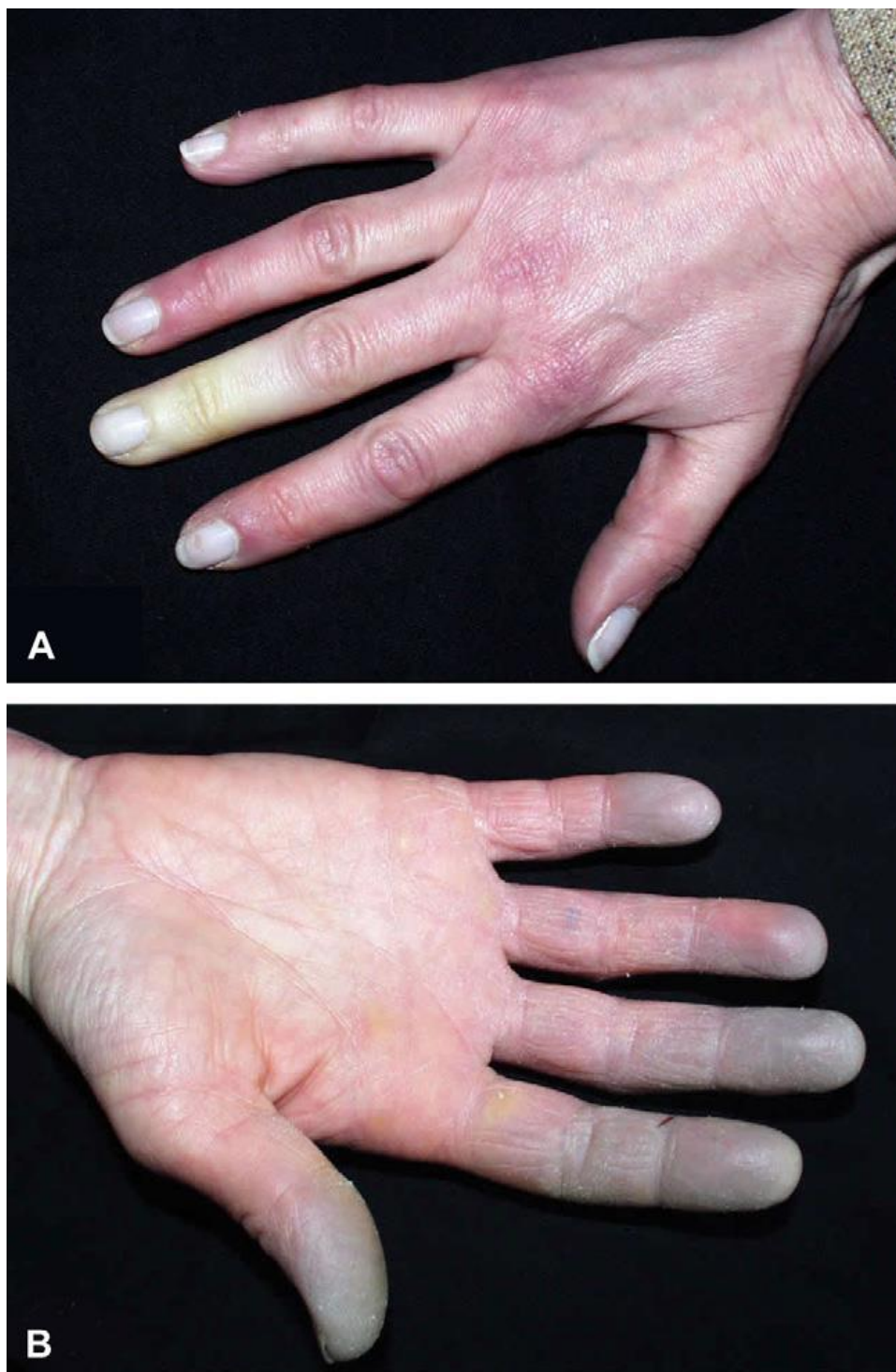
Karpaltunnelsyndrom, är en inflammation i handleden som leder till att senorna har svårt att röra sig i Karpaltunneln och nerver kommer i kläm p.g.a. vätskebildningar, se FIGUR 1.

Förträngningen kan i sin tur leda till sekundär Raynauds fenomen.



FIGUR 1. Karpaltunnelsyndrom [19].

Raynauds fenomen, är när fingrarna blir vita oftast i samband med kyla (ischemi), i värsta fall även blå (cyanos), p.g.a. kärlsammandragning och när kärlen utvidgar sig blir fingrarna röda och det sticker i dem (rubor). Se FIGUR 2, nästa sida. Det finns två olika typer av Raynauds fenomen, den primära som är vanligast och oftast är lindrigare än den sekundära. Den sekundära typen är alltså allvarligare och utlöses av liknande faktorer [20].



FIGUR 2. (A, B) Ischemisk och hyperemisk fas (cyanos) av Raynauds fenomen [20].

Orsaken är okänd men anses inte vara p.g.a. underliggande sjukdom. Utlösande faktorer är kyla men även stress. Det finns många bidragande orsaker till sekundär Raynauds fenomen, några av dem är sjukdomstillstånd som; åderförkalkning, bindvävsreumatism, förfrysning, karpaltunnelsyndrom (som i sig kan orsakas av vibrationer), handledsbrott eller operation, medicinering, bruk av tobak eller arbete med vibrationer.

Debut av sekundär Raynauds sker oftast mellan 35 till 40 års ålder. Ett problem med Raynauds fenomen är att det oftast upplevs som ett "besvär" och inte en kronisk skada,

vilket i sin tur gör att den utsatte inte söker adekvat vård eller preventiva åtgärder i arbetet.

I Martine Gayrauds artikel [20] finns följande bidragande faktorer; Betablockerare, Rökning, exponering för vinylpolyklorid, systemisk skleros, Sjögrens syndrom, kemoterapi m.fl..

2.4 Klassificering av symptom, Stockholmsskalan (Stockholm Workshop Scale)

För att kunna klassificera påverkan och effekten av HAVS och vita fingrar under kyla togs en skala fram 1986 (egentligen en uppdatering av den tidigare Taylor-Pelmear skalan) på en workshop i Stockholm och det är fortfarande den skala man använder sig av för att ställa graden av påverkan [21]. Se TABELL 3 och TABELL 4.

TABELL 3. Klassifikation av vaskulära symptom (enligt Stockholmsskalan).

Stadium	Grad	Symptom
0	-	Inga episoder av vita fingrar
1	Lindrig	Anfall som ibland drabbar ytterfalangen på ett eller flera fingrar
2	Medel	Anfall som ibland omfattar ytter- och mellanfalangen på ett eller flera fingrar.
3	Svår	Anfall som ofta omfattar alla falanger på de flesta fingrar
4	Mycket svår	Som stadium 3 men med trofiska hudförändringar (jmf atrofi=förtvining)

TABELL 4. Klassifikation av sensorneuronala symptom (enligt Stockholmsskalan)

Stadium*	Symptom
0SN	Exponerad för vibrationer men inga symptom
1SN	Intermittent domning, med eller utan stickningar
2SN	Intermittent eller varaktig domning, minskat känselsinne
3SN	Intermittent eller varaktig domning, nedsatt taktil diskriminationsförmåga och/eller nedsatt finmotorik

*) Skall anges separat för båda händerna.

2.5 Metoder för riskbedömning av arbetsskada

I litteraturen återkommer olika metoder för att identifiera, kvantifiera och åtgärda olika typer av arbetsbelastning. Några exempel på metoder och teknik som använts i tidigare studier [22] är PLIBEL, QEC, ErgoSAM och Health Vib HAV.

PLIBEL (PLan för Identifiering av BELastningsskador) är ett riskbedömningsverktyg som ger information om riskmomentet men inte risknivån.

QEC (Quick Exposure Check) är utvecklat för att snabbt tydliggöra muskuloskeletala risknivåer vid fysiskt arbete. Resultatet ger ett incitament till att ändra på detekterade problem. I QEC ingår även att arbetstagarna får svara på en enkät som värderar arbetsuppgifterna subjektivt i vikt och tid. Även observatören fyller i ett antal frågor.

ErgoSAM är en Sekvensbaserad, Aktivitets- och Metodanalys som identifierar och utvärderar risken för muskuloskeletala skada. Den har sin styrka i att kunna hitta vilket moment som har högst risk för arbetsskador. Metoden används i kombination med QEC i [2].

Health Vib HAV är en arbetshandske med inbyggda sensorer som mäter vibrationer.

Ett annat exempel är verktyget Hierarchical Task Analysis (HTA) som användes i doktorsavhandlingen [3] för att beskriva och analysera arbetsuppgifter vid betonggjutning. HTA är ett vanligt verktyg för att bryta ner arbetsuppgifterna i mål och delmål vilka sedan lättare kan studeras.

Enligt Per Lindberg på Centrum för Belastningsskadeforskning (CBF) på Högskolan i Gävle (HIG) så bör man ha utbildning alternativt tillräcklig belastningsergonomisk kunskap för att kunna ta hänsyn till faktorer som QEC inte tar hänsyn till, men som måste vägas in för att ge en tillförlitlig bedömning. PLIBEL fungerar som ett verktyg för att identifiera riskområden som senare måste utvärderas med andra verktyg enligt Lindberg. Det finns en möjlighet att de värden som tagits fram bara gäller för en kortsiktig analys.

2.5.1 Generella riskbedömningsmetoder för Muskuloskeletala sjukdomar (MSD)

IEA (*International Ergonomics Association*) har på sin hemsida [21] en guide för bästa metoder för riskbedömning av olika typer av arbetsbelastningsskador i olika kroppsdelar. Man kan säga att man där redogör för state-of-the-art för riskbedömningsmetoder. De återges i följande sammanfattning som kan fungera som ledning till vilka metoder som är lämpliga att tillämpa. Referenser för varje metod är angivna i [21].

Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)

OWAS metoden utvecklades av det finska stålbolaget Ovako Oy och baseras på graderingar av arbetsställningar och last: 4 ställningar för ryggen, 3 för armarna, och 7 för de nedre extremiteterna, och 3 nivåer för vikten på lasten eller kraften som hanteras. Värden från de 4 faktorerna kombineras för att bedöma 4 riskkategorier och rekommenderade åtgärder.

Kategori 1: normala arbetsställningar, som inte behöver uppmärksammas.

Kategori 2: arbetsställningar som måste beaktas vid nästa genomgång av arbetsmetoder.

Kategori 3: arbetsställningar som måste beaktas i en nära framtid.

Kategori 4: arbetsställningar som behöver åtgärdas genast.

Portabel Ergonomisk Observation (PEO)

Direkta observationer på arbetsplatsen görs i realtid med hjälp av en bärbar dator och data är tillgängliga för omedelbar analys och presentation. Varaktighet och antal händelser beräknas för ställningar relaterade till fyra kroppsområden (armar, hals, bål och knä) samt för manuell hantering.

QEC (se ovan)

2.5.2 Metoder för riskbedömning av MSD i axlar, armar och händer

ACGIH² tröskelvärde (TLV) för arbete med händerna

Tröskelvärden (TLV) för arbete med händerna bedömer biomekaniska risken i övre extremiteterna och är avsedd för upprepade arbetsmoment jobb som utförs under fyra eller fler timmar per dag. TLV kombinerar 2 faktorer: (1) genomsnittlig handaktivitetsnivå baserat på frekvensen av handansträngningar och viloperioder och (2) normaliserad högsta handkraft. Båda graderas från 0-10. TLV identifierar en åtgärdsgräns (försiktighet) och ett högre tröskelvärde för gräns (omedelbara åtgärder rekommenderas).

Repetitiva arbetsuppgifter i underarmar och händer (OCRA)

OCRA (Occupational Repetitive Actions) metoden bedömer risk för övre extremiteter för repetitiva uppgifter och inkluderar de biomekaniska faktorerna av frekvens, överdriven användning av kraft, samt övre extremiteterna rörelser och arbetsställningar, otillräcklig återhämtning perioder, och netto varaktighet av repetitiva uppgifter.

Snabb övre extremitet bedömning (Rapid Upper Limb Assessment - RULA)

RULA är en metod som uppskattar riskerna för skaderisk i övre extremiteten vid olika arbetsställningar. Man använder en grafisk metod som kräver regelbundna eller slumpmässiga observationer för att utveckla en visuell fördelning av arbetsställningar.

Reviderat index från påfrestning (Revised Strain Index - RSI)

RSI uppskattar biomekanisk risk för sjukdomar i underarmarna (t.ex., hand, handled, underarm och armbåge). Ett jobb är uppdelat i uppgifter. För varje uppgift och för varje hand klassificeras 6 arbetsbiomekaniska faktorer i exponeringskategorier av en observatör. Ett datablad används för att kombinera nivåerna i kategorierna i en total riskpoäng, det s.k. påfrestningsindexet. RSI 2016 med beskrivningar av sammansatt (*cooperative*) stamindex (COSI) och kumulativ (*cumulative*) stamindex (CUSI) för komplexa uppgifter.

ACGIH tröskelgränsvärde för utmattning i överarmarna (Threshold Limit Value - TLV)

² American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH®)

TLV tröskelgränsvärde för utmattning i överarmarna är utformad för att förhindra överdriven eller ihållande muskuloskeletal trötthet för repetitivt arbete i (överarm, armbågen, axeln). TLV kurvan är baserad på den procentuella kraft som utövas av maxkraften (% maximal frivillig kontraktion (% MVC)) och intermittensen av arbete (t.ex. % av tiden som tillämpad kraft är större än 5% MVC). TLV är baserad på psykofysiska, laboratorie- och epidemiologiska studier.

2.5.3 Metoder för att bedöma manuell materialhantering

Rörelsemonitor för ländryggen (Lumbar Motion Monitor - LMM)

En rörelsemonitor är en enhet som bärs på baksidan av en arbetstagare, som en ryggskäck, och mäter kontinuerligt den position, hastighet och acceleration av ryggraden i den sagittala, laterala och vridande planen. En modell har utvecklats för att använda dessa data för att uppskatta risken för ländryggsbesvär (Low Back disorders - LBDs).

Reviderade NIOSH lyft ekvation (Revised NIOSH Lifting Ekvation - RNLE)

RNLE är ett riskbedömningsverktyg för att bedöma risken med manuell materialhantering i lyft- och sänkingsarbeten. En ekvation används för att bedöma jobbaktivitetssekvens-variabler för att avgöra rekommenderade viktgränser (Recommended Weight Limits - RWL), en godtagbar max vikt (belastning), som nästan alla friska medarbetare kan lyfta under loppet av ett 8 timmars skift utan att öka risken för ländryggsbesvär (LBDs). Dessutom kan ett lyft index (LI) beräknas ge en relativ uppskattning av risken för befintlig last kontra RWL. RNLE har utökats för att analysera kumulativ exponering och flera arbetsuppgifter (kombinerat, varierat och sekventiellt).

Psykofysiska lyft- och sänkings tabeller (Liberty Mutual)

Den psykofysiska teorin undersöker förhållandet mellan styrkan i en upplevd sensation (S) och intensiteten av en fysisk stimulans (I). Denna teori har använts i manuell materialhantering för att fastställa högsta acceptabla vikt eller kraft för en mängd olika lyft-, sänk-, tryck- och draguppgifter (m.fl.). Försäkringsbolaget Liberty Mutual har offentliggjort omfattande tabeller för denna typ av bedömningar.

Utmattningsverktyg från lyftarbeten [LIFFT]

The LiFFT uppskattar en "daglig dos" av kumulativ belastning på ländryggen utifrån utmattningsprinciper. Tre variabler är nödvändiga för att härleda den kumulativa belastningen associerad med lyftarbeten: belastningsvärde, det största horisontella avståndet från ryggraden till lasten och antalet repetitioner som utförs under arbetsdagen. För flera olika lyftarbeten kan den kumulativa skadeuppskattningen för varje arbete summeras tillsammans för att uppskatta den kumulativa dagliga ryggradsbelastningen, se [23].

2.5.4 Metoder för att bedöma psykosocial stress

Modell för obalans i ansträngning och belöning (Effort-Reward Imbalance – ERI)

Denna obalansmodell syftar till att stödja förståelsen av hur sociala och psykologiska faktorer bidrar till skada och sjukdom. Modellen är baserad på ”social ömsesidighet” och teorin går ut på att misslyckad ömsesidighet, p.g.a. hög ansträngning med låg belöning, kommer framkalla negativa känslor och ihållande stress. Omvänt, lämpliga sociala belöningar kommer att främja välbefinnande hälsa och överlevnad. Belöningar kännetecknas av självkänsla, finansiella och karriärmöjligheter, inklusive anställningstrygghet. Det finns 3 psykometriska skalor vid bedömning av ansträngning, belöning och överengagemang. Det finns 2 versioner av ERI enkäter, en lång version med 23 objekt och en kort versionen med 16 objekt som är vanligare i stora epidemiologiska studier.

Köpenhamns psykosociala frågeformulär (Copenh. PsychoSocial Questionnaire - COPSQ)

Den s k Köpenhamns psykosociala enkät utvecklades för att ge yrkesverksamma och forskare inom arbetsmiljö ett standardiserat och validerat frågeformulär för bedömning en mängd psykosociala faktorer. Det finns nu en andra version och som i den första versionen har COPSQII tre versioner av olika längd. Den längsta rekommenderas för forskare och den kortaste versionen rekommenderas för arbetsplatsen. COPSQII bedömer arbetskrav, organisation, arbetsrelationer och ledarskap, arbete-individuell relation, hälsa och välbefinnande, personlighet och kränkande beteenden.

Karasek frågeformulär om arbetsinnehåll (Karasek Job Content Questionnaire - JCQ)

Den här modellen förutspår att psykiska påfrestningar resulterar från växelverkan av kravnivåer och arbetsbeslutsgrad. Kombinationen av låg beslutsgrad och tunga arbetskrav associeras med psykisk belastning och missnöje med arbetet. JCQ är utformat för att mäta skalor som bedömer psykologiska krav, beslutsgrad, socialt stöd, fysiska krav och otrygghet.

2.6 Vibrationer inom betongarbete

En arbetsmiljöfråga som funnits sedan lång tid tillbaks på byggarbetsplatser är den om vibrationsskador [16]. En byggarbetsplats har många olika moment med inslag av vibrationer, såsom sågning, slipning, skruvdragning med maskin, betongbilning, vibrationsplattor (paddor etc.), vibrostav och ibland t.o.m. borrhämmare. De flesta av dessa moment är svåra att ersätta med helt vibrationsfria metoder även om vibrationerna går att minska med nya förbättrade redskap. Men när det gäller betonggjutning går det idag, tack vare materialutvecklingen, att nästan helt utesluta vibreringen genom att använda sig av självkompakterande vibreringsfri betong.

Det har visats i studien *“Self-compacting concrete use for construction work environment sustainability”* [22] att merparten av de tunga momenten i betongarbetet kommer från armeringsarbete och hanterandet av vibratorstaven vid gjutningen. Arbetet består av tunga statiska och ergonomiskt olämpliga arbetsställningar, och att vibrera betongen är en stor fysisk påfrestning. Att använda sig av en arbetsmiljömässigt bättre produkt som rullarmering och självkompakterande betong (SKB) minskar påfrestningen till en tredjedel [22].

I studier om arbetsmiljö där dessa besvär nämns är kommentarer ständigt återkommande om att det är svårt att säkert fastställa åkommorna och att det saknas studier som kopplar dem till ett specifikt moment. Dessutom är många av problemen kopplade till ett komplex av faktorer som inte alltid tas med när screening på arbetsplatser görs. Därför behövs noggrannare studier och metoder där samband kan fastställas.

2.6.1 Vibreringsfri självkompakterande betong

Traditionell betong är relativt styv i färskt tillstånd och behöver vibreras för att fylla ut formen och omsluta armeringen, två viktiga kriterier för att få en bra slutprodukt. Men det är mycket slitsamt att vibrera betong eftersom vibrostaven är tung och för att situationen ofta kräver ergonomiskt mycket olämpliga moment. Lurigast och många gånger värst är de vibrationer som arbetaren utsätts för vilka smygande kan orsaka permanenta arbetsskador, s.k. Work-related MusculoSkeletal Disorder (WMSDs).

Under de senaste två-tre decennierna har alltså en ny vibreringsfri betong utvecklats. Utvecklingen skedde först i Japan där man för att stå emot jordbävningar är tvungen att bygga med mycket tät-armerade betongkonstruktioner. För att omslutningen av armeringen och utfyllningen av gjutformarna skall bli god utvecklades under åttiotalet en betong som med hjälp av s.k. "flytmedel" uppfyllde dessa gjutkriterier endast med hjälp av sin egenvikt [24]. Denna betong kallas i Sverige för självkompakterande (SKB) betong och har använts i Sverige sedan nittioalet. Inledningsvis kallade man betongen för vibreringsfri betong.

SKB är tekniskt sett en betong med tillsats av s.k. flytmedel eller superplasticerare, vilket kan utnyttjats på tre olika sätt:

- Minska vattenmängden vilket ger lägre vct och ökad hållfasthet.
- Göra betongen flytande, dvs. förändra betongens konsistens.
- Minska mängden cement och vatten, dvs cementpastaandelen i betongen.

Den vanligaste tillämpningen av dessa flytmedel är en kombination av de två första vilket både ger en stakare och mer lättarbetad betong, en självkompakterande betong.

Trots dessa fördelar har inte SKB tagit de marknadsandelar som branschen först räknade med.

Av de ca 6 miljoner kubikmeter som gjuts idag i Sverige [25] utförs endast 10 - 20% med SKB [5] och då framförallt inom prefabindustrin. Denna andel bör ökas för ett hållbarare samhälle.

Redan vid den första introduktionen i Sverige var frågan om vibrationsskador en del av argumenten för att använda sig av SKB. Den var ergonomiskt lättare att använda då all hantering runt omkring betongen i färskt tillstånd blev enklare, ingen vibrostav behövdes och ytbearbetningen gick snabbare. Ekonomiska argument var att det krävdes en mindre arbetsstyrka och en rätt planerad produktion gick snabbare vilket sparade antalet arbetstimmar och öppethållande av arbetsplatser [26].

Trots detta har SKB fortfarande endast en mindre del av marknaden (den har slagit igenom bäst inom prefabindustrin och vid gjutning av golvplattor). Det finns en betydligt större potential för SKB.

Argumenten emot SKB är att det är en känslig produkt som kan separera lätt och en rädsla för ökat formtryck, samt att det är en konservativ bransch som är försiktig med att förändra sig. SKB är en känsligare produkt än traditionell betong men det skall vägas mot fördelarna och de krav och förutsättningar som redan till viss del är ett faktum. För att branschen bättre skall ta till sig SKB i större utsträckning behövs riktlinjer och bestämmelser som föreskriver rätt typ av betongrecept för olika typer av betongkonstruktioner [27].

I dag är SKB en avancerad "Cutting-Edge" produkt [28] som kan ge tätare och mer beständiga betonger med lägre cementhalter, högre tryckhållfasthet, bättre fyllnadsförmåga och bättre ytor.

3 Metod

Litteratursökning har bl.a. gjorts på Sciencedirect på orden *ergonomics*, *management of musculoskeletal disorders* och *concrete*. Ett par hundra artiklar hittades med dessa sökord. Ett urval gjordes på artiklar relaterade till vibrationer och metodik för mätning av arbetsbelastning. Publikationer efter 2011, då Simonsson publicerade sin avhandling, har premierats, men även ett par intressanta äldre artiklar har citerats.

Andra källor i arbetet, förutom tidigare nämnda doktorsarbeten, är publikationer och rapporter både från industri och akademi, samt föreskrifter från bl.a. arbetsmiljöverket, AFA-försäkringar och FHV metodik – metoder för företagshälsovården. I synnerhet har den vetenskapliga skriftserien "Arbete och Hälsa" (tidigare från arbetslivsinstitutet, numera som digitaliserad serie på Göteborgs Universitet) bidragit med mycket information om den senaste forskningen på området i Sverige.

4 Resultat

Nedan följer en litteratursammanfattning där olika typer av publikationer som diskuterar och utvärderar fakta inom ämnesområdena arbetsmiljö, arbetsskador och vibrationer insamlats. Publikationer som behandlar och diskuterar liknande ämnen har sorterats in under samma rubrik i syfte att göra ett studien överskådligare. Många publikationer berör dock flera ämnen varför de till synes kan uppfattas ha hamnat fel.

4.1 Generellt samband arbetsbelastning och arbetsskador

I Arbetslivsinstitutets samling Arbete och Hälsa 2002:15, andra utgåvan, redogörs för samband mellan Arbetssjukdom och skadlig inverkan i samband med arbete [29]. Den utgör ett vetenskapligt underlag för försäkringsmedicinska bedömningar (sju skadeområden).

Rapporten består av tolv uppsatser från olika medicinska experter inom sina områden. Den kom till som en följd av de nya kraven på bevisning i arbetsskadeförsäkringens nya lag juli 2002. I andra uppsatsen hänvisar Bengt Järnholm till Hills (1965) [30] nio kriterier för att avgöra om ett samband är kausalt eller ej.

1. *Styrkan i sambandet.* Är den relativa risken hög talar det för ett samband.
2. *Konsistensen.* Har man funnit samma eller liknande fynd i många undersökningar gjorda av många undersökare talar det för ett kausalsamband.
3. *Specificiteten.* Om sjukdomen förekommer i visst organ och har ett visst patohistologiskt utseende och dessutom förekommer vid en speciell exponering talar det för ett samband.
4. *Tidsrelation.* Exponeringen ska föregå sjukdomen.
5. *Dos-respons.* Har de med hög exponering högre risk än de med låg exponering talar det för orsakssamband.
6. *Trovärdighet.* Kan sambandet förstås utifrån existerande biologiska teorier och kända mekanismer ger det stöd för att det råder orsakssamband.
7. *Koherens.* Stämmer fynden med sjukdomshistorien.
8. *Experiment.* Leder elimination av faktorn till att förekomsten av sjukdom minskar talar det för ett orsakssamband.
9. *Analogi.* Eftersom vi vet att röda hund respektive neurosedyn (talidomid) kan orsaka fosterskador har vi lättare att acceptera att även andra virus eller läkemedel kan orsaka fosterskador.

Samtliga av dessa samband bör föreligga för att samband mellan arbetsuppgiften och sjukdomen skall fastställas. Det finns nämligen en uppsjö av olika möjliga faktorer som kan påverka att sjukdom uppstår vilken illustreras i FIGUR 3.

och händer). De menar att även om det kan finnas individuella faktorer som kan utsätta ryggen för besvär, så visar denna mängd av artiklar att ryggsmärtor sannolikt kan kopplas till stor belastning på ryggen från arbete. Litteraturen visade även att en minskning av arbetsbördan kan minska risken för sjukdom i ländryggen. Alltså, från ett biomekaniskt perspektiv står det klart att kraftig belastning kan öka sjukdomsrisken. Litteraturen visade också att det finns starka samband mellan fysisk belastning i arbetet och biomekanisk belastning, interna toleranser och smärta, nedskrivningar samt funktionshinder associerade med de övre extremiteterna. Även om många av dessa relationer är komplexa, är sambanden tydliga. Litteraturen identifierar samband mellan fysiskt arbete och externa laster och hur det påverkar kroppen beroende av kraft, arbetsställning, vibrationer och temperatur. Sambandet mellan yttre påverkan och kroppens tolerans är tydliga. Vidare påvisar studien samband med yttre belastning och symptom i de övre extremiteterna som smärta, obehag och funktionsnedsättning [31].

Även om relationerna finns, är bilden långt ifrån komplett. Få studier har övervägt flera fysiska stressfaktorer eller deras interaktioner. Därför behövs fler studier som klargör sambanden.

4.2 Projekterings och miljöcertifierings betydelse för förbättrad arbetsmiljö

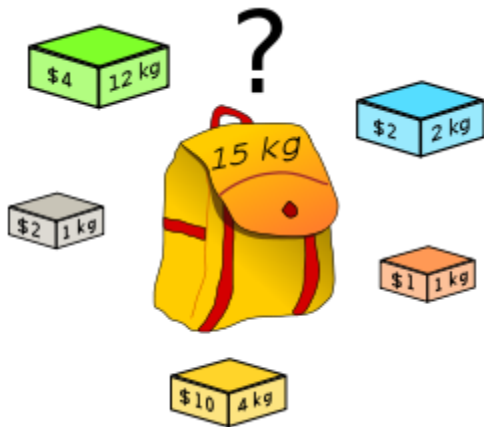
Miljöcertifiering av byggnader blir allt vanligare som ett hjälpmedel för att styra mot ett mera hållbart byggande. En av frågorna som har ställts i [32] är om byggsäkerhet och hälsa är inkluderat i dessa system. Medför det ökande intresset för miljöcertifiering möjligheter eller strategier för att förbättra byggnadsarbetarens säkerhet och hälsa? Enligt rapportförfattarna är omnämningen av säkerhet och hälsa begränsad. Vid en jämförelse mellan registrerade incidenter vid LEED-projekt och icke-LEED-projekt fann man ingen statistiskt signifikant skillnad.

Projektering, styrningssystem

Frivilliga (certifierade) styrningssystem kan förbättra arbetshälsa och säkerhet. Systemen kräver arbetstagarnas inflytande och ledningens engagemang. Fackföreningarnas inflytande ökar möjligheterna till bättre arbetsmiljöer. Trots frivilliga styrningssystem sker dock systematiska och upprepade lagöverträdelse som orsakar olyckor, vilket diskuteras av Frick i [33].

Datoriserade modeller för bästa och mest lönande prioritering av åtgärder för bättre arbetsmiljö

Numeriska datorbaserade modeller har utvecklats [34] som värderar och rangordnar olika åtgärder som syftar till att förbättra arbetsmiljön på en byggarbetsplats. Underlaget till datormodellerna består av uppsatta relationer mellan arbetsuppgifter, faror, händelser och förebyggande åtgärder som också viktas mot varandra. Viktningar av förebyggande åtgärder matas sedan in i en s.k. kappsäcksmodell FIGUR 4 i syfte att kunna välja optimala åtgärder. Valda metoder kan tillämpas på varje steg i ett projekt för att förbättra arbetsmiljön.



FIGUR 4. Exempel på kappsäcksmodell: Vilka lådor bör väljas för att maximera mängden pengar men ändå hålla totalvikten under eller lika med 15 kg?

Planering för minskning skador, ryggsador

Förebyggande av ryggsador (och skador generellt) är svårt i byggnadssektorn eftersom arbetsmiljön ständigt förändras, vilket har diskuterats i en litteraturstudie [35]. De huvudsakliga tillvägagångssätten för att förebygga ryggsador är integration av säkerhetshänsyn i planeringen av byggnadsarbetet, införande av god styrningspraxis, tillhandahållande av adekvat utbildning, förbättring av arbetsförhållandena och eliminering av potentiella faror.

Information och utbildning om innovationer -> förbättrad planering av arbetsmiljön

I [36] visas ett exempel från Kanada på hur opinionsbildande företag och deras anställda kan hjälpa till att sprida information om innovationer som syftar till att förbättra arbetsmiljön. Initiativet togs av the Construction Safety Association of Ontario (CSAO) samt två forskningscentra. Genom att låta företag och deras anställda prata gott om arbetsmiljöförbättrande innovationer marknadsförs dessa idéer betydligt snabbare än normalt. Denna studie utvärderade en nytvecklade hydraulisk hissanordning för stegar på bilar, se FIGUR 5.



FIGUR 5. Lyftanordning för stegar.

I ytterligare ett kanadensiskt projekt av Kramer m.fl. [37], även det grundat på samarbete mellan forskare och arbetsplatsanställda, identifierades innovationer som hade potential att kunna minska risken för muskuloskeletala sjukdomar i byggsektorn. Bland 125 identifierade innovationer valdes sedan 20 st ut och man undersökte deras fördelar men också hinder för att använda dem. Studien fann att företagen valde innovationer som medförde fler fördelar, inklusive produktivitet och kvalitet, men inte nödvändigtvis förmåga att minska risken för muskuloskeletala sjukdomar, deras icke-komplexitet och kostnad. Det viktigaste hindret för användande var den traditionella kulturen inom byggsektorn snarare än finansiella skäl.

Mätning arbetsbelastning, innovation

I [38] redovisas en studie där man mätte belastningen hos betongarbetare som flyttade runt betongfyllda pumpslangar försedda med glidplattor vid horisontella gjutningar, se FIGUR 6. Hypotesen som testades var att denna ergonomiska innovation, glidplattan, skulle förhindra slangskarvarna att fastna i armeringsnäten vilket skulle kunna minska arbetsbelastningen. Fyra arbetare utvärderades med en s.k. Lumbar Motion Monitor (LMM), en treaxlad elektrogoniometer som registrerade position, hastighet och acceleration. Resultatet var att användning av dessa glidplattor delvis kan minska risken för nedre ryggsador. LMM anses vara ett lovande verktyg för kvantitativ bedömning vid byggarbeten.



FIGUR 6. Betongarbetare som drar en betongfylld pumpslang, fixerad vid en glidplatta.

Framgångsrik projektering och säkerhetsplanering

Ett bra exempel på framgångsrikt på preventivt säkerhetsarbete är uppförandet av skyskrapan The Shard i London som byggdes mellan 2009-2012. Trots att 1500 arbetare

arbetade på arbetsplatsen dagligen i över 3 år inträffade inga dödsolyckor och ej heller inga allvarliga skador. Säkerhetsanordningar var bland annat magnetiska skyddsskärmar utanpå byggnaden, noggrann kontroll av lov till entré på de högre planen samt att alla verktyg satt fast i linor [39, 40]

4.3 Metoder för bedömning av fysisk belastning, ny teknik

Mänskliga kropps rörelser har analyserats i decennier med motivet att förbättra arbetshälsan och därigenom prestandan för arbetstagare. Ny teknik med miniatyriserade kroppsburna sensorer kan revolutionera den biomekaniska rörelseanalysen genom att tillhandahålla korrekta och i realtid kvantitativa rörelsedata. Detta skulle Byggbranschen som har höga tal av arbetsskador och sjukskrivningar kunna få stor nytta av, i synnerhet när det gäller arbetsrelaterade muskuloskeletala sjukdomar (WMSDs). I en artikel av Valero et al. [41] genomfördes först en fördjupad granskning i litteraturen av olika bedömningsmetoder som används i studier av människokroppen rörelser. Därefter granskade de och jämförde olika metoder för mätning av arbetsställningar och rörelser. De pekar även ut möjligheterna med den tekniska utvecklingen och dess begränsningar och luckor. Så kallade "inre måttenheter" (IMUs)³ undersöks särskilt. Slutligen, provades ett nytt system för att identifiera och karakterisera olämpliga kroppsställningar hos byggnadsarbetare baserat på mätning av rörelsedata från bärbara trådlösa IMUs, vilka integreras i ett trådlöst nätverk där data insamlas i en dator. Potentialen i detta system demonstrerades genom experiment i ett laboratorium och med praktiserande studenter inom byggteknik. En artikel av Valero et. al [41] kan ge en bra kunskapsbas för kommande riskanalyser av arbetsskador på byggarbetsplatser.

Möjligheterna att utföra biomekanisk analys av byggnadsarbetare har alltså förbättrats avsevärt med utvecklingen av bärbara sensorer. Informationen som dessa system kan ge spelar en viktig roll i utvärdering av arbetsställningar och möjlighet att minska arbetsrelaterade muskuloskeletala belastningsskador (WMSDs). I ytterligare en artikel av Valero et al. [42] presenteras ett nytt system för databehandling av rörelserelaterad information vid arbete som är intuitiv och lättbegriplig. Systemet integrerar s.k. IMU enheter i ett trådlöst nätverk och databehandlingen bedömer bl.a. olämpliga arbetsställningar utifrån standardpositioner definierade av den internationella standardiseringsorganisationen (ISO). Systemet har validerats genom experiment och genomförts med skolpraktikanter som utför typiska muraruppgifter. Resultatet visar på robustheten i systemet, även under krävande omständigheter. Författarna föreslår tillämpning av systemet i riktiga arbetsmiljöer utanför högskolan.

I en annan studie [43] om bärbara sensorer, s.k. IMUs, föreslår författarna ett system för byggnadsarbetare som skall varna dem när de utför ergonomiskt farliga rörelser med risk för att utveckla muskuloskeletala problem. Skyddsutrustningen skall genom att varna arbetarna och utveckla deras medvetenhet att förbättra deras rörelsescheman i

³ Bärbara sensorer som integrerar accelerometrar, magnetometrar och gyroskop

arbetsutförandet. Systemet provades och validerades genom robusta data på rörelsesignaler och effektiv alarmfunktion i både laboratorium och ute på arbetsplats i Hong Kong. System med denna personliga skyddsutrustning (personal protective equipment, PPT) utgör ett alternativ för byggnadsarbetare till självhjälp för att förebygga WMSDs utan att störa och distrahera dem i arbetet.

Det finns olika metoder för att bedöma fysisk belastning och några exempel är RULA (Rapid Upper Limb Assessment), REBA (Rapid Entire Body Assessment), NIOSH-metoder⁴, biomekaniska beräkningar samt OWAS (Ovako Working Posture Analyzing System). OWAS är en enkel observationsmetod för posturalanalys, en mycket grov och snabb metod för att bedöma helkroppsbelastning och kroppsställning. Metoden ger en bra uppfattning om en arbetsställning men bör kompletteras med en annan metod för att ge rättvist resultat. I [44] har metoden applicerats på ett antal byggarbeten, inklusive betongarbeten. I rapporten redovisas bland annat utvecklingen av ett bärbart datorsystem för OWAS-metoden, förbättring av arbetsställningar som identifierats som dåliga samt användning av resultaten som en del av företagets ergonomiska träningsprogram. Förslag till olika åtgärder ges också.

På Umeå universitet har man i olika forskningsprojekt länge studerat påverkan från vibrationer. Som ett resultat i av projekten har man, i samarbete med CVK – Vibration & Noise i Luleå, utvecklat en vibrationssensor SmartVib. Provning av konceptet i både laborativa mätningar och mätningar på arbetsplatser visar att det ger tillförlitliga mätresultat och att det fungerar utmärkt [45]. Idag heter sensorn HealthVib.

Ett annat företag som utvecklat smarta sensorer för vibrationsmätningar är det engelska företaget Reactec Ltd. De kallar sina sensorer för HAVWEAR.

4.4 Metoder för bedömning av belastning från vibrationer

Pålitliga och giltiga bedömningsmetoder för vibrationsexponering på arbetsplatsen har tidigare saknats. Det är ofta svårt och dyrt att mäta hand-arm-vibrationer, samtidigt som tillverkare av utrustning inte tillhandahåller någon detaljerad information. Därför testades en subjektiv metod för hand-arm-vibrationsbedömning avseende validitet och tillförlitlighet hos observatören [46]. Sexton olika arbetsmoment (med borrhåll, skärande och slipande maskiner) utfördes av två arbetare. Hand-arm-vibrationerna bedömdes subjektivt av 16 olika observatörer, se FIGUR 7. Som referens mättes hand-arm-vibrationerna objektivt med en vibrationsmättningsanordning. Denna studie visar att subjektivt bedömda hand-arm-vibrationer är ganska tillförlitliga bland observatörer och därför måttligt giltiga. Denna bedömningsmetod är ett första försök att använda subjektiva riskbedömningar av hand-arm-vibrationer. Med förbättringar kan metoden användas i framtida studier och i fältbaserade ergonomiska bedömningar.

⁴ Metoder utvecklade vid The National Institute of Occupational Health and Safety (NIOSH), USA.



FIGUR 7. Typexempel på den experimentella uppställningen av den subjektiva bedömningen av hand-arm-vibration. Observatören (till vänster) utför en visuell observation och känner på arbetarens händer och armar (till höger) [46].

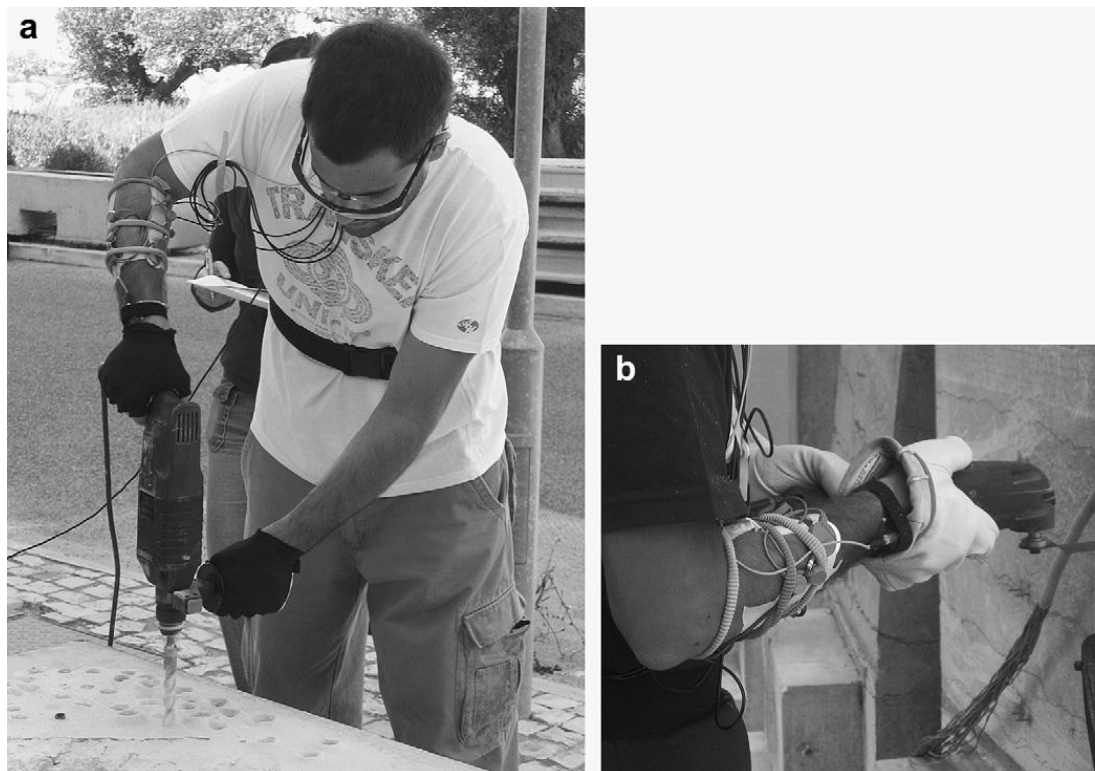
Bedömning av belastning, Skydd, Vibrationshandskar

Anti-vibrationshandskar används ibland inom industrin för att minska vibrationerna som överförs till händer och armar genom handflator och fingrar. I en studie av Cabecas och Milho [47] analyserades underarmens muskelansträngningar med hjälp av elektromyografi (EMG), vilket är en teknik som används för att mäta musklernas respons på stimulering från nervsystemet. Två olika maskiner användes, se FIGUR 8. Försöken utfördes utan och med tre olika handskar, med både minskningar och ökningar av muskelansträngningar. Försöken gav inget entydigt svar på positiv effekt vid användning av handska. Exempelvis ökade utmattningen i ECU-muskeln och samtidigt som utmattningen minskade i FDS-muskeln.

I rapporten "Anti-vibration gloves – in theory and practice" i skriftserien Arbete & Hälsa från Göteborgs Universitet, konstaterades att "antivibrationshandskar", som dämpar vibrationerna i verktyg, inte kunde visa någon större effekt. Däremot var de ganska köldisolerande och var därför ändå bra. Man förklarar att om en handske skall kunna skydda mot normala låg-frekventa vibrationer skulle den behöva vara alltför för tung och tjock för att vara praktisk. Trots det otillräckliga skydd som CE-märkta skyddshandskar ger mot vibrationer, rekommenderar de likväl handska eftersom:

1. Högfrekventa vibrationer, som också antas vara skadliga, dämpas.
2. Handska ser till att vibrationerna inte förstärks.

3. Handskarna håller händerna varma vilket hjälper till att motverka vibrationsrelaterade åkommor.



FIGUR 8. Simulerade arbetsuppgifter utförda vid EMG-mätning [47]: (a) Slagborr ; (b) Multi-Cutter.

I ett examensarbete på Karlstads universitet [48] studerades hur olika byggnadsarbetare utsätts för vibrationer. Man använde sig av sensorn HealthVib vid mätningarna. Syftet med studien var att minska skaderisken för HAVS på arbetsplatserna. Resultatet visade att 6 mätningar av 13 hade nivåer ovanför insatsvärdet och en mätning var över gränsvärdet för vad en arbetare bör utsättas för (se avsnitt 2.3 TABELL 2). Man såg även att vibrations-mängden ökar när moment med betongarbete utförs jämfört mot vid arbete mot mjukare material. Som åtgärder föreslogs att göra en bättre riskbedömning, förmedla till hantverkarna att rotera arbetsuppgifterna och informera om skadeverkningar och vibrationsnivåer.

Studie om hand-arm-vibrationer, exponeringsvärden enligt EU direktiv vs tillverkarnas värden

Inom EU hävdar en av fyra arbetare att de utsätts för vibrationer under upp till två timmar av sin arbetsdag. Användningen av vibrerande handverktyg är den vanligaste orsaken till vibrationsskador. Av alla branscher har byggbranschen det högsta antalet arbetstagare som drabbats av vibrationer. Det europeiska direktivet 2002/44/EC innehåller minimiregler för hälsa och säkerhet, inklusive maximal daglig exponeringstid för vibrationer. I en studie [49] analyserades exponeringsnivån för byggnadsarbetare för hand-arm-vibrationer. Gränsvärden på exponeringstid från standarder jämfördes med tillverkarnas egna data och resultaten visade att för 42% av de studerade verktygen överskreds det dagliga gränsvärdet.

Mätning av vibrationer och belastning från stavvibratorer vid betonggjutning

Arbets- och miljömedicin SYD genomförde fältstudier vid betonggjutning för att fastställa de risker som betongarbetare utsätts för [50]. Betongarbete är en yrkesgren där man exponeras både för vibrationer och för hög ergonomisk belastning. Man använde



FIGUR 9. Sensor placerad 50 cm från vibrohuvudet på en väggstav [50].

sig av två olika vibrationsmätare (Norsonic NOR136 respektive Larson Davis HVM 100) med treaxliga accelerometrar för vibrationsmätningarna. Se FIGUR 9. För belastningsmätningar användes tre olika metoder: Elektromyografi (EKG), Goniometri och Inklinometri. Dessutom gjordes observationer med hjälp av riskbedömningsmetoden KIM [51]. Utifrån uppmätta resultat utarbetades råd och anvisningar för handhavande och arbetsställningar.

Minskad skaderisk och ökad produktivitet med en universell-rigg för stora borrhammare

Borra hål i betong med tung hammare och bergborrar är en av de mest fysiskt krävande uppgifterna som utförs inom byggbranschen och innebär stora risker för muskuloskeletal skador, bullerorsakad hörselnedsättning, HAVS och silikos. I en studie [52] var syftet att (A) i en samverkande process utveckla en rigg för att stödja pneumatiska bergborrar eller stora elektriska borrhammare för att minska hälsoriskerna och (B) utvärdera användbarheten av riggen. Sju prototyp riggar utvecklades för att stödja stora borrhammare och modifierades utifrån feedback från kommersiella entreprenörer och byggnadsarbetare. Den slutliga designen utvärderades av arbetare och elektriker (N = 29) som utförde både vanlig betongborrning och borrning med den nya riggen. Deras känsla av lokal utmattning i nacke, axlar, händer och armar och nedre ryggen upplevdes i betydligt lägre grad vid användning av universal-riggen jämfört med vid användning av den vanliga manuella metoden. Användbarhetsbetyget för riggen var betydligt bättre än för den vanliga metoden beträffande stabilitet, kontroll, borrning, noggrannhet och vibrationer. Borrningstiden minskade med cirka 50 % med rigg. Arbetare och elektriker som använder stor borrhammare för att borra många hål för kommersiellt byggande entreprenörer bör använda sådan en rigg för att förebygga muskuloskeletal sjukdomar, trötthet och silikos.

Jämförelse av testmetoder på uppmätning av vibrationspåverkan från robotbergborrning och testmetod utförd med handhållen bergborrning på olika typer av bergborrningsutrustning.

Arbetstagare utsätts för höga nivåer av handvibration vid borrar i betong eller sten med borrarhammare; exponeringar som kan orsaka HAVS. Exponeringsnivåer kan minskas genom olika borrar-mönster och borrar-metoder, men dessa insatser har inte utvärderats systematiskt. Rempel et al. [53] utvecklade ett nytt robot-testsystem för borrarhammare för att jämföra och validera skillnader i handtagsvibrationer beroende av borrar-maskindesign, strömkällor, borrar-design och borrar-metoder. Testmetoden är ett avsteg från ISO-metoden för att mäta borrar-handtagsvibrationer (ISO 28927-10) som kräver borrarning utförd av människor. Testsystemet är designat att i repeterbara moment borra in i betongblock med kontroll av borrar-kraft samtidigt som produktivitet (borrardjup) och handtagsvibrationer mättes. Handtags-vibrationsnivåer med olika borrar-maskiner och borrar-storlekar liknade dem som samlas in efter ISO metoder. Testsystemet med robotborrarning uppvisar liknande resultat som vid provning med mänsklig borrarning.

Överensstämmelse mellan klinisk och standardiserad laboratorieprovning av HAVS

Poole et al [54] undersökte överensstämmelse mellan klinisk och standardiserad laboratorieprovning av HAVS. Rapporten jämför ett standardiserat kliniskt test för sensorisk nedsättning med den så kallade Stockholmskalan som är en kärl- och nervstatusklassificering. Standardiserad laboratorieprovning utförs för att komplettera diagnos och nivåerna för HAVS, men korrelationen mellan sådan provning och bedömningen av de kliniska nivåerna av HAVS är okänd. Målet för studien var att se relationen mellan resultat från tester med termisk aestesiometri⁵ (TA), vibrotaktil tröskel (VT) och köldprovokation (CP) med den modifierade Stockholmskalan för HAVS och att bestämma om denna relation påverkas av fingertemperaturen. En obruten samling av patientjournaler från arbetare som kallats till medicinskt center för undersökning enligt "steg 5" [55] för hälsokontroll användes. Diagnoserna av alla fall kategoriserades m h a den kliniska informationen i journalerna. Kategoriseringen utfördes först enligt den modifierade Stockholmskalan utan kunskap från de standardiserade laboratorietesterna. Totalt 279 fall av HAVS analyserades. Fastän där fanns en signifikant trend för att sensorneurala (SN) och vaskulära indikationer ökar för varje klinisk nivå ($P < 0.01$), fanns inte en signifikant skillnad i indikation mellan nivåerna 2SN tidig och 2SN sen eller mellan 2SN sen och 3SN. Det fanns moderat korrelation mellan TA och VT värden och de kliniska SN nivåerna ($r = 0.6$). Denna korrelation förändrades inte om individerna delades in i de med fingertemperatur < 30 °C respektive > 30 °C. CP värden fördelades bimodalt och korrelerade dåligt med de kliniska nivåerna ($r = 0.2$). Slutsatsen var att dessa resultat har tillämpningar för hälsokontroll och nationella arbetsmiljöföreskrifter i Storbritannien.

Effekt på människokroppen från vertikala och horisontella vibrationer

Påverkan från vertikala och horisontala vibrationer i en 100 kg man studerades av Qassem et al [56]. En ny mekanisk modell har utvecklats där en analog elektrisk simulering kunde registreras, som i sin tur har simulerats teoretiskt av ett dator program (MICRO-CAP II). I den experimentella modellen gjordes mätningar av vibrationer i underarm, huvud och bål. Vibrationerna applicerades antingen på (a) hand/händerna, (b) på sätet eller (c) i kombination på både händer och säte. Man fann att samtliga kroppsdelar {underarm, huvud, kropp (bål), halskotor och ländryggen} påverkas av horisontella vibrationer när vibrationskraften kommer från både hand och säte, och i

⁵ Mäter beröringskänslighet.

högre grad än om vibrationerna bara kommer från sätet. Liknande resultat observerades för underarmar och bål när kroppen utsattes för vertikala vibrationer. Huvudet påverkas av vertikala vibrationer i högre grad när vibrationerna kommer från sätet än om de kommer både från händer och sätet. En liknande trend av påverkan från vibrationer observerades för både de teoretiska beräkningarna och de utförda praktiska experimenten.

Påverkan av vertikala kroppsvibrationer – inflytande av lutningen på ryggstödet

Shibata och Maeda [57] undersökte vilken vinkel på ryggstödet som var fördelaktigast för minsta möjlig kroppspåverkan från vibrationer. Tolv män sittandes utsattes slumpmässigt för vertikala vibrationer på upp till $0,8 \text{ m/s}^2$ med ryggstödet vertikalt, lutande 10° eller 30° . Påverkan, biodynamisk respons, uppmättes med dynamisk massabsorption (APMS) och vibrationsabsorption (VPA). Resultatet visade att vid större lutning på ryggstödet blev påverkan mindre, särskilt i frekvensområdet 1-20 Hz. Utifrån uppmätning av resonanstoppar blev slutsatsen att optimal lutning för minsta kroppspåverkan var mellan 10° och 30° lutning.

Förebyggande strategier för att minska exponering för vibrationer hos fordonsförare

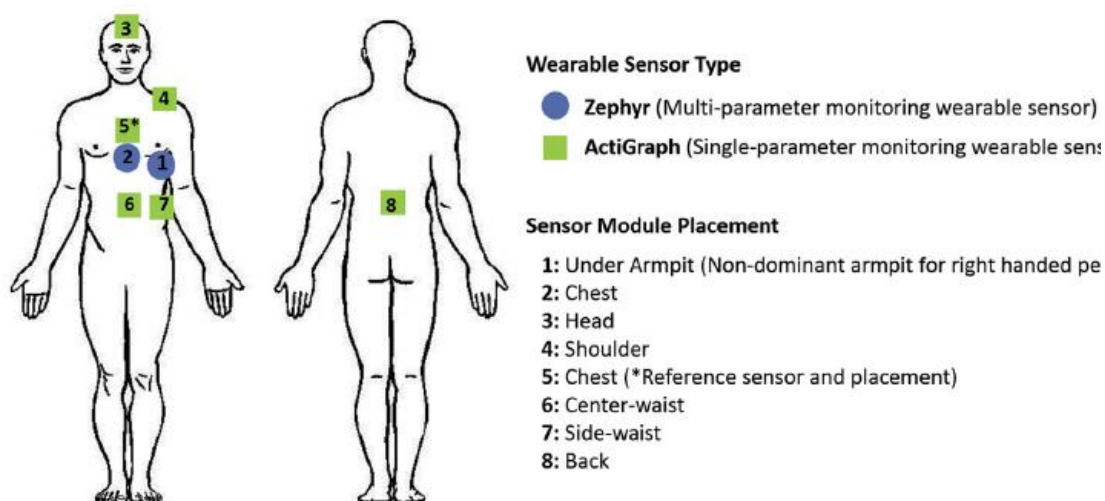
Muskuloskeletala funktionsstörningar (MSD) på arbetsplatsen kostar mycket. Låg ryggvärk orsakas ofta från exponering för helkroppsvibrationer (hkv). Förebyggande strategier för att minska exponering för vibrationer kan bidra till en minskning av MSD. Tiemessen et al. [58] genomförde en systematisk genomgång av litteraturen med syftet att ta fram evidensbaserade förebyggande strategier för att minska exponering av helkroppsvibration på fordonsförare. En systematisk litteratursökning utfördes på följande ord och synonymer: helkroppsvibrationer, sysselsättning och förebyggande arbete. Totalt inkluderades 37 studier: 15 laboratoriestudier, 17 fältstudier, 4 laboratorie- och fältstudier och 1 interventionsstudie⁶. Bara i en enda studie, interventionsstudien, beskrivs en förebyggande strategi för mindre exponering av hkv på arbetsplatsen. Alla andra studier presenterade endast faktorer som har effekter på vibrationsexponeringen. Dessa faktorer kategoriserades i två olika kategorier: (1) designöverväganden och (2) kompetens och beteende. De flesta studier fokuserar på faktorer inom kategori (1) medan faktorer inom kategori (2) kan vara lovande, eftersom dessa faktorer ofta är billigare och lättare att genomföra. Faktorer från båda kategorierna bör kombineras i förebyggande strategier eftersom det finns brist på effektiva förebyggande strategier för minskning av vibrationsexponering på förare. Förebyggande strategier bör kunna leda till en minskning av smärtförekomst i ländryggen från exponering av helkroppsvibrationer.

4.5 Jämförelse mellan mätteknik med sensorer och observationer av belastning

Nya typer av bärbara sensorer utvecklas för att kontinuerligt kunna registrera kroppshållningen hos byggnadsarbetare. I [59] från 2017 redovisas en studie i vilken man lät en person använda olika system. Mätningar av olika kroppshållningar jämfördes

⁶ **Interventionsstudie**, en experimentell studie, en undersökning där deltagarna utsätts för en intervention, det vill säga någon åtgärd som provas, oftast behandling eller förebyggande åtgärd.

med videobevakade observationer med olika resultat. I **Fel! Hittar inte referensskälla.** visas sensorernas placeringar.



FIGUR 10. Placering av bärbara sensorer.

Jämförelse mellan mättekniker med sensorer och observationsmetoder av belastning
 Paquet et al [60] undersökte hur tidsdiskreta observationer av belastande kroppsrörelser kunde jämföras med elektronisk uppmätning av motsvarande rörelser. Sex typiska med mätningar byggarbetsuppgifter simulerades. Tränade observatörer registrerade och kategoriserade olika arm-, bål- och benpositioner med två olika tidsintervallprotokoll. Observationerna jämfördes från ett elektroniskt positionsbedömningssystem som kompletterades med videoanalys. Det elektroniska positionsbedömningssystemet bestod av elektroniska inklinometrar⁷ fästa på överaller med elektriska ledningar till inklinometrarna som uppmätte överarmsposition, knä- och bålböjning, samt ett elektrogoniometriskt system⁸ för att mäta lateral böjning och rotation i bålen (höften). Videoanalysen bestod av stillbildsanalys som motsvarade de gjorda observationerna och simulerade analysen i real-tid (?). Mätningar gjordes på fem manliga arbetare som var och en utförde tre representativa rörelser för vanligt byggnadsarbete. Överensstämmelsen mellan observationerna och de elektroniska referensmetoderna var generellt hög. Men vissa olikheter i uppmätt rörelsefrekvens var signifikanta för knäböjning, lateral bålböjning and höftvridning. Resultaten indikerar att, under lämpliga förhållanden, kan tidsdiskreta observationer användas för att erhålla hyfsat riktiga skattningar av belastning för många olika kroppsrörelser.

4.6 Riskbedömningar, metoder

I en litteraturstudie [61] har man studerat, klassificerat och kategoriserat de viktigaste riskbedömningsmetoderna genom att granska artiklar som publicerats av sex representativa vetenskapliga tidskrifter av Elsevier B.V. under åren 2000-2009.

⁷ Mätinstrument som anger lutningen mot horisontal- eller lodplanet, dvs. lutningen i förhållande till gravitationen.

⁸ Instrument som fångar knä- och höftböjningarna vid framåtskridande gång.

Riskbedömningsmetoderna kunde klassificeras i tre huvudkategorier: (a) kvalitativ, (b) kvantitativ och (c) en hybrid mellan dessa. De kvalitativa teknikerna (28 %) bygger både på analytiska uppskattningsprocesser och på säkerhetsingenjörernas förmåga. Enligt kvantitativa tekniker (65%) kan risken betraktas som en kvantitet som kan beräknas och uttryckas ur ett matematiskt förhållande, med hjälp av verkliga olycksdata registrerade på en arbetsplats. Hybridteknikerna (7%) visar på en stor komplexitet på grund av deras ad hoc-karaktär och används därför i ringa omfattning.

Riskbedömningar inom byggnadsindustrin - översikt och eftertanke

Denna artikel [62] presenterar en state-of-the-art på de riskbedömningsmetoder man använder sig av i byggbranschen. Den diskuterar begränsningar och pekar på fördelar med att använda "fuzzy sets" (luddiga metoder?) strategier för att hantera oklara situationer. Byggnadsindustrin plågas av riskfyllda och ofta usla arbetsförhållanden. Riskbedömning på arbetsplatsen är ett första steg och en nyckel till att uppnå adekvata säkerhetsnivåer och stöd till beslut av säkerhetsåtgärder. Det finns många traditionella metoder för planering av riskbedömning, men få har applicerats och utvärderats för tillämpning inom byggnadsindustrin och då särskilt när det gäller projekteringsskedet där traditionella metoder inte ger passande vägledning.

Byggindustrin behöver ett omfattande systematiskt tillvägagångssätt för att kunna bedöma och kontrollera risken för arbetsskador. Riskerna omfattar många olika områden vilket t.ex. kan betonas genom alla olika internationella forskningsprogram om bl.a. fallolyckor, dödsfall från elektricitet, buller, silikos, gjutrök och muskuloskeletala problem. Trots detta fortsätter byggnadsindustrin vara en industri med hög riskfaktor för arbetarna. Zalk et al. [63] genomförde en litteraturstudie i syfte att ta fram ett verktyg för byggprojektledningen att bedöma riskfaktorerna genom anpassade tillvägagångssätt för olika typer av projekt på arbetsplatser.

En sammanfattning av metoder och verktyg för analys av biomekanisk överbelastning samt metoder för åtgärder sammanställs i en artikel av E. Occhipinti, D. Colombini. 2015 [64]. Rapporten är ett av WHO/IEA bidrag för att hitta en "verktygslåda" för att förebygga WMSDs. I resultatet föreslås en trestegsuppdelning. Första steget är "Entry/Inledning", som går ut på att hitta huvudriskkällor. Det gäller alla risker som; ergonomi, hygien, säkerhet och arbetsmedicin. Det är framförallt en checklista med "Key-Questions" enligt ISO 11226 och ISO 11228 (1-2-3) och kan utföras av utbildad personal enligt tillämpningarna i ISO 12295:2014. Andra steget "Quick assessment/Snabb-skattning" (beskrivs också i tillämpningen ISO 12295:2014) har som syfte att identifiera om risk föreligger utan att behöva använda sig av beräkningar. Den har tre olika svar; Acceptabel (grön), extrem (lila) och krav på fördjupad undersökning (färglös) med en detaljerad riskbedömning. I princip handlar det om att identifiera "utsatta jobb". Tredje steget "Simple Risk Estimation" handlar om att hitta ett bra verktyg för att utvärdera risken. I den lista som presenteras återfinns bara fem program som hanterar vibrationer; *MSD hazard risk assessment checklist* och *Washington state checklist (Caution/hazard zone)*, som båda två är tidskrävande men inte kräver utbildning samt *OCRA*, *QEC* och *ManTRA*, som är snabba men kräver en högre kunskapsnivå på grund av sin komplexitet. Slutligen rekommenderas ett förebyggande utbildningsplan nationellt och/eller regionalt, för att utöka den grundläggande kunskapsnivån hos utförare, spridning av analysverktyg och mjukvara samt utveckla en förebyggande WMSD databas för lekmän.

En annan litteraturstudie [65] går igenom olika metoder för att identifiera WMSD:s. De är grovt uppdelade i följande kategorier; egenrapporter, observationsmetoder och direkta mätningar. Metoderna skiljer i kostnad och komplexitet. De som baseras på egenrapporter från arbetaren är naturligtvis billigast men ger också det minst precisa värdet samtidigt som direkta mätningar med sensorer som ger resultat som endast kan tolkas av experter är den dyraste metoden. Diskussionen resulterar i följande frågor: Vilken resursnivå krävs? Hur omfattande är metoden? Hur många arbetare kan eller bör observeras för att ge ett representativt material? Hur överföringsbar är metoden mellan olika situationer.

Rose publicerade 2001 [1] en avhandling om personliga arbetsskador. Syftet var tvåfaldigt: Det ena var att utveckla en riskbedömningsmodell, ett Ergo-Index, för användning vid jämförelse av ergonomi och tidsaspekter vid arbetssituationer för att kunna välja den mest förmånliga arbetsmetoden. Det andra var att utveckla metoder för att hantera personskaderisker på företagsnivå. Fem studier genomfördes. För Ergo-Index modellen utfördes fyra laboratoriestudier av arbetssituationer för att undersöka 1) trötthetssymptom; såsom uthållighetstid, tid för återhämtning, tid att börja igen samt smärtreaktioner i vissa obekväma arbetsställningar, 2) skillnader mellan kvinnor och män när det gäller uthållighet, återhämtning, smärta och fysisk styrka och 3) skillnaderna mellan skickliga och icke-kvalificerade personer angående smärta, uthållighet och återhämtning. Belastningsmätning, EMG mätning och subjektiv bedömning enligt Borg CR-10 skala användes för att studera statisk belastning hos universitetsstudenter och personal, sjukhuspersonal och byggnadsarbetare. I den femte studien utvecklades ett tillvägagångssätt bestående av två modeller för hantering av arbetsrelaterade skador. Detta baserades främst på skadestatistik, halvstrukturerade intervjuer med företagsledare, byggnadsarbetare och andra forskare; och på befintliga modeller och metoder. Flera intressanta resultat erhöles till exempel att,

1. samma typ av matematiska relationer kunde beskriva relationen mellan belastning och uthållighetstid vid passiv och aktiv muskel belastning, som hur smärtan från muskelvävnaden begränsar uthålligheten även i laddade situationer nära lederna eller i slutet av deras rörelsemönster,
2. det fanns betydande skillnader mellan skickliga och erfarna arbetstagare och icke-kvalificerade deltagare när det gäller uthållighet och återupptagande tid,
3. inga signifikanta skillnader mellan kvinnors och mäns uthållighet och återhämtningstid hittades på samma relativa belastningsnivå.

Resultaten användes för att utveckla Ergo-indexet. Dessutom medförde riskbedömningen en möjlighet att uppskatta följderna från arbetsorsakade på företagsnivå. Detta tillvägagångssätt består av en statistiskt baserad kostnadsanalys (Statistic Cost Analysis) och en metod för analys av arbetsrelaterade risker, förbättring av arbetsmiljö och uppskattning av totala kostnader (MAWRIC).

I ett exempel för ett byggföretag, utgjorde de arbetsrelaterade personskadekostnaderna cirka 2 % av omsättningen. Bolagets totala kostnad för arbetsrelaterade personskador motsvarade ungefär dess totala vinst. Endast 6 % av dessa kostnader stod för sjukfrånvarolöner, sociala avgifter och semesterersättning. Resten, d.v.s. 94 % var indirekta kostnader. Riskreducerande åtgärder kan sänka både risker och kostnader. I exemplet medförde vidtagna åtgärder en reducering av kostnaderna med ca 75%.

Avhandlingens slutsats var att de modeller och metoder som presenteras kan användas som verktyg för analys och förbättring av fysisk arbetsmiljö och för att öka medvetenheten om personliga arbetsskador.

4.7 Samband mellan arbetares hälsotillstånd och säkerhetsbeteende

Med syfte att försöka kartlägga byggnadsarbetares och i synnerhet takarbetares säkerhetsbeteende på arbetsplats har man i en studie [66] använt sig av ett system som heter Total Worker Health® (TWH). Genom att registrera försökspersonernas hälsotillstånd (puls, energiförbrukning, metabolism och sömneffektivitet) kontinuerligt under minst 72 timmar har man försökt hitta samband mellan välbefinnande, hälsotillstånd och säkerhetsbeteenden. Deltagarna uppvisade signifikanta variationer i deras fysik, hälsotillstånd och säkerhetsbeteende. Vidare identifierades viktiga rutiner för ett korrekt användande av bärbara sensorer. Vid jämförelse av hur testpersonerna upplevde sensorerna föredrog de ActiGraph som bars på handleden jämfört med Zephyr sensorn som bars på bröstet. Man upplevde bröstsensorn som obekväm och lite tung.

Livsstil, yrke/arbetsuppgifter och fysisk belastning påverkan

Chang et al [67] intervjuade samt utförde vissa fysiska tester på arbetare som bygger höghus i betong. Dessa var ställningsbyggare, armerare, formbyggare, elektriker, rörmokare, betongarbetare och diversearbetare. Studien visade att vissa subjektiva trötthetssymptom sammanfaller med vissa arbetares livsstil och att graden av trötthetssymptom och fysiologiska påfrestningar varierar mellan de olika yrkena. Studien är intressant så tillvida att betongarbete kan jämföras med de andra yrkena, däremot kan inga generella slutsatser dras. I studien kategoriserades arbete som utförs av ställningsbyggare, armerare och formbyggare som mer fysiskt utmattande än det arbete som utförs av betongarbetare, elektriker-rörmokare och diversearbetare.

Enkätundersökning, förslag på förbättringar med nya typer av metodik i byggarbetsmiljön

Byggindustrin är en tung manuell industri där arbetet ofta upplevs bli tyngre med ökad ålder. I en intervjustudie undersöktes arbetarnas förståelse för deras hälsa och sätt att göra jobben enklare, säkrare och bekvämare [68]. 80 yrkesarbetare från byggarbetsplatser runtom Storbritannien valdes ut. *The Nordic Musculoskeletal Questionnaire and Work Ability Index* användes i syfte att utforska värk och smärta samt minska belastningen på kroppen. Arbetarna var väl medvetna om de fysiska utmaningarna i sina arbeten och hade över 250 idéer kring hälsa och välbefinnande, t.ex. ryggsäckar för verktyg, skräddarsydda bänkar och mekaniska lyfthjälpmedel. Engagemang av arbetskraften bör uppmuntras och vävas in i förändringsprocessen i branschen för att möjliggöra för alla arbetare att hålla sig i form under längre tider.

4.8 Statistisk undersökning av arbetsbelastning bland 220 byggarbetare i Indien

I Indien finns en stor brist på kunskap av hur arbetsmiljön påverkar arbetares hälsa. Parida och Kumar Ray genomförde en enkätundersökning bland 220 byggnadsarbetare, 49 murare, 84 murarhantlangare och 87 snickare för att undersöka vilka faktorer som påverkar hälsan mest i arbetet på byggarbetsplatserna [69]. Man använde sig av en uträknad "relevansindex" (RII) för de olika faktorerna. Man identifierade och kvantifierade olika relevansindex (RIIs) för 30 faktorer och dess påverkan på ergonomi och olika utföranden inom byggnadsindustrin. Faktorerna klassificerades i tre huvudsakliga klasser: (a) människa/arbete relaterade faktorer; (b) uppgift/utförande relaterade faktorer; and (c) utrustning/verktygs relaterade faktorer, men hänsyn till ålder och sysselsättning/yrke. Resultatet från studien kan användas av industrirepresentanter och forskare för att utveckla system för förstärkt säkerhet för byggnadsarbetare genom effektiv administration av arbetsstyrkan och arbetsmiljön, och därigenom skapa konkurrenskraftigare och kostnadseffektivare projekt av högre kvalitet.

Ergonomisk analys av byggarbete i Indien med en biomekanisk modell

I ytterligare en artikel av Kumar Ray et al. diskuterade de riskanalys m.h.a. biomekanisk utvärdering av ett antal olika arbetsuppgifter med mänsklig hantering av material (Manual Material Handling - MMH) för att möjliggöra förbättrad ergonomi i arbetsmomenten och därigenom minskad risk för arbetsskador, såsom MSDs, utmattning, arbetsstress etc. Den biomekaniska utvärderingen visade bl.a. att tryckkrafterna i ländryggen översteg tröskelvärden vid vissa arbetsmoment. Resultat visade att det finns behov av ergonomiska förbättringar av utförandet av sådana identifierade arbetsuppgifter i den indiska byggindustrin.

4.9 Kärl- och nervskador i relation till exponering för handöverförda vibrationer [18]

Rubriken anger namnet på det arbete som sannolikt utgör den viktigaste grunden för denna litteraturstudie. Den beskriver utförligt och mycket ingående sambandet mellan arbetsskador och vibrationer och motiverar därmed all arbetsmiljö som innebär en minskning av vibrationer på arbetsplatser. Arbetet, som är en systematisk kunskapsöversikt för forskningsläget när det gäller kärl- och nervskador i relation till exponering för handöverförda vibrationer, ingår i den vetenskapliga skriftserien *Arbete och Hälsa*. (Skriftserien utgavs tidigare av Arbetslivsinstitutet men administreras numera av Göteborgs Universitet.) Syftet med studien är att via litteraturstudier vederlägga kausalitet mellan arbetsskadorna vita fingrar (Raynauds fenomen), Neurosensorisk skada och Karpateltunnelsyndrom och Hand Arm Vibrationer (HAV). Litteraturstudien är mycket omfattande och noggrant utförd. Urval av artiklar utvaldes på bestämda kriterier på innehåll; t.ex. mätningar av vibrationsexponering, relevanta hälsoutfall, originaldata (ej litteraturstudie), syfte att studera risk för skada studier om effekter på människa. Ifrån genomläsning av 4325 utvalda abstracts gallrades 293

artiklar fram för granskning ifall de i sin helhet uppfyllde de i förväg uppställda kriterierna. Endast 52 artiklar av dessa utvaldes till sist för litteraturstudien varav 25 st. var publicerade före 1997 och övriga därefter. De branscher som representerades i artiklarna där vibrationer ingår i arbetet representerades av verkstadsindustrin (23 st.), skogsindustrin (14 st.) och gruv- och stenindustrin (10 st.), tillsammans mer än 75 % av artiklarna. Från bygg- och anläggningsindustrin fanns bara 4 st. artiklar. Det medelvärde $A(8)$ för vibrationsexponering⁹ som räknades ut för bygg- och anläggning var $2,8 \text{ m/s}^2$, vilket är över insatsvärdet på $2,5 \text{ m/s}^2$. Det kan jämföras med värdet $A(8)$ på hela $8,7 \text{ m/s}^2$ för gruv- och stenindustrin som hade det högsta accelerationsvärdet.

Litteraturstudien identifierade 41 studier som uppfyllde kriterierna för att klarlägga sambandet mellan Raynauds fenomen och vibrationsexponering. Prevalensen (förekomsten) av Raynauds fenomen varierade från 0 % till 53 % bland de vibrationsexponerade i studierna. De studier där ingen av de vibrationsexponerade haft Raynauds fenomen var uteslutande genomförda i varmt klimat. Studierna visade på ett dos-respons samband, där högre prevalenser för Raynauds fenomen var relaterade till högre vibrations-exponeringsnivåer. För de 22 studier som medgav statistisk sammanvägning visade 18 studier på en signifikant överrisk. En s.k. meta-regressionsanalys indikerade ett dos-responssamband för Raynauds fenomen i relation till vibrationsexponeringsnivå. Enligt den analysen medför en exponeringsökning på 1 m/s^2 att relativa risken för vita fingrar ökar med 9 %. Riskernas storlek beräknades till 6,9 % för Raynauds fenomen från de mest signifikanta studierna. Motsvarande risk för neurosensorisk skada var 7,4 % medan motsvarande för karpaltunnelsyndrom var 2,9 %.

Författarna konstaterar i sina slutord att studien tydligt visar att exponering för handöverförda vibrationer ökar risken för vita fingrar, och att risken ökar med ökande exponering. Till exempel framgår att en av tio (10 %) utvecklar vita fingrar om de dagligen, under tio års tid, arbetar med ett verktyg som ger en exponering på 5 m/s^2 . Författarna visar att risken att utveckla sådan skada är mycket hög efter exponering för handöverförda vibrationer. Förekomsten av neurosensorisk skada var mellan 7 % och 79 % i de sammanställda studierna med ett genomsnitt på 39 %. De påpekar dock att det här saknas studier för att skapa en säker dos-respons modell. Det fattas kunskap för att säkert skatta risken vid en given vibrationsnivå och exponeringstid, men det är uppenbart att risken är oacceptabelt hög i många fall. Att exponeringen för handöverförda vibrationer ökar risken för karpaltunnelsyndrom, det vill säga skada på medianusnerven i handleden, beskrevs ju redan av Alice Hamilton [16]. Författarna gör detta ännu tydligare i sin litteraturgenomgång,

Sedan denna litteraturgenomgång startade har fler artiklar i ämnet tillkommit med ytterligare fakta. Till exempel en fallstudie av Campell et al. från 2017 visar hur man kan diagnostisera HAVS utifrån historia, fysisk undersökning och kärlavbildning samt olika behandlingsmöjligheter [70]. En annan studie av Handford et al. [71] beskriver hur patienter med HAVS upplever sitt sjukdomstillstånd och hur det påverkar deras vardag. Via telefonintervjuer med 11 deltagare i studien rapporterades att patienterna upplevde domningar, smärta och reducerad fingerfärdighet, styrka och känsla. Deltagarna menade

⁹ Den vibrationsbelastning som används enligt ISO-5349 uttrycks som 8-timmars ekvivalent frekvensvägd acceleration, där accelerationen a (kraften $F = m \cdot a$) är den resulterande vektorn för accelerationsriktningarna.

att HAVS var en oundviklig aspekt av deras arbete. Deras tillstånd upplevdes som frustrerande och de såg det som ett funktionshinder. Deltagarna rapporterade även om bristande stöd för hantering av symtom och deras arbetsoförmåga.

4.10 Risker och säkerhetsarbete i byggbranschen

Rapporten ”Risker och säkerhetsarbete i byggbranschen” [72] från Arbetsmiljöverket redovisar riskfaktorer och preventioner i byggbranschen både nationellt och internationellt (västvärlden inklusive Japan). Den visar att det finns kulturella skillnader men i stort sett är resultaten likvärdiga. Trots att Sverige ligger mycket bra till internationellt råder ändå en stor brist på svensk forskning i ämnet. För det här arbetet kan nämnas att det saknas forskning om; god praxis i arbetsmiljöarbetet, byggherrens och projektörens roll i arbetsmiljöarbetet, integrerade system som inkluderar underleverantörer och den roll säkerhetsklimatet spelar i bredare organisatoriska sammanhang. Den visar även på att anställda på mindre företag löper större risk att råka ut för allvarliga olyckor (åren 1993–1999) än de på större företag. Det antas bero på att större företag i stor utsträckning använder sig av underleverantörer som då är ett mindre företag. Rapporten är sammanställd på avdelningen för arbetsvetenskap på Luleå tekniska universitet.

4.11 Lönsamhetskalkyler och bonusprogram

Otillräckliga kunskaper om hur arbetsmiljön (vi) påverkar företagets resultat leder till en dålig grund för ledningens beslutsfattande. I en studie av Rose et al [73] var ambitionen att kartlägga och utvärdera tillgängliga verktyg som relaterar arbetsmiljöarbete till affärsresultat. Nio verktyg identifierades och utvärderas kvalitativt med hjälp av 11 olika kriterier. Verktygen grupperades i tre kategorier, alltifrån 1) analys av risker i arbetsmiljön till 2) beräkning av dess ekonomiska inverkan till 3) enbart investeringsanalys. Man identifierade en del brister i verktygen, såsom otillräcklig uppmärksamhet på kvalitets- och produktivitetsfrågor och otillräcklig vägledning för användare. Även om ytterligare metodutveckling pågår, bör forskare också uppmärksamma faktorer som påverkar valet av verktyg och dess tillämpning samt även möjligheten att integrera analys av arbetsmiljöarbete i företagens ordinarie redovisningssystem.

Ytterligare resultat från litteraturen angående lönsamhet från arbetsmiljöarbetet sammanfattas i Arbetsmiljöverkets rapport om ”Risker och säkerhetsarbete i byggbranschen [72]”. Följande avsnitt citeras i sin helhet direkt från denna rapport:

”En del forskning gäller huruvida det är lönsamt för företagen att investera inom arbetsmiljöområdet. Dessa undersökningar genomförs vanligen genom att utveckla nya modeller alternativt kombinera etablerade modeller i syfte att få nya metoder som ger både bra arbetsmiljö och lönsamhet. För att mäta lönsamhet kan man bland annat beräkna kostnadseffektivitet och göra nyttokostnadsanalyser. Beräkning av kostnadseffektivitet beskrivs som en metod där kostnad mäts i förhållande till

enskilda säkerhetsaktiviteter för att urskilja de aktiviteter som ger högst förtjänst. Nyttokostnadsanalyser däremot, är ett sätt att beräkna om företaget får tillbaka de resurser de satsat på 'safety management', som helhet [74]. Satsningar på olycksprevention innebär att en entreprenör investerar i hälsa och säkerhet i syfte att leva upp till regelmässiga krav. De vanligaste kostnaderna för sådana satsningar gäller säkerhetsutbildningar och löner till säkerhetsansvariga. I en nytto-kostnadsanalys av olycksprevention, baserad på enkätsvar från 79 arbetsmiljöchefer, jämfördes nyttan av satsningar på olycksprevention med kostnaderna för densamma och det framkommer att nyttan överträffar kostnaderna med relationen 3:1. Det innebär att de inledande extra kostnaderna tjänas in trefalt. Resultatet visade även att små byggföretag investerar en större del av sin omsättning på hälsa och säkerhet jämfört med medelstora och stora byggföretag [12, 75].

Andra som utvecklat en nytto-kostnadsanalys av hälsa och säkerhet är Sousa et al.[76], men i stället för fokus på olycksprevention kopplas den analysen till riskhantering inom byggindustrin. Forskarna använder en modell som beräknar individens risk att råka ut för en olycka, kopplat till en nytto-kostnadsanalys. Slutsatsen är att modellen har potential för att beräkna kostnader för hälsa och säkerhet. Hollowell [74] förklarar att flera byggföretag har förbättrat sina strategier för säkerhetsarbetet, vilket resulterat i en lägre grad av olycksfall. Författaren intresserar sig för kostnadseffektiviteten i de olika delar som dessa säkerhetsprogram består av. Resultatet visar att det är mest kostnadseffektivt att lägga resurser på val av underleverantörer, ledning av underleverantörer, ledningsstöd och ledningens engagemang. Däremot är det minst kostnadseffektivt att lägga resurser på att journalföra tillbud och olyckor eller att anställa en säkerhetsansvarig.

Det finns även andra exempel på beräkningar av lönsamhet. Enligt Aminbaksh et al. [77] behöver byggbranschen utvärdera säkerhetsrisker för att kunna planera, budgetera och leda säkerhetsarbetet. I artikeln skapas ett ramverk för riskutvärdering baserat på en analytisk hierarkisk process och teorin om kostnader för säkerhet. Den förstnämnda är en metod för beslutsfattande där olika kombinationer av risker jämförs med varandra. Enligt den sistnämnda teorin finns det en optimal nivå att sträva efter, där kostnaderna för prevention är lika som kostnaderna för olyckor. Det innebär att en viss nivå av säkerhetsrisker godtas för att säkerställa en ekonomisk stabilitet. Ramverkets styrka är att den visar hur säkerhetsrisker bör prioriteras för att hålla sig inom en budget samtidigt som säkerheten är hög.

Lopez-Alonso med flera [49] undersökte i vilken grad satsningar på hälsa och säkerhet påverkar kostnaden för byggföretag genom att analysera olika variabler kopplade till riskhantering, såsom kostnader för olyckor och budget för säkerhet och hälsa. Resultatet visar en samvariation mellan andelen olyckor och de tre variablerna antalet medarbetare i ett projekt, antalet underleverantörer samt budgeten för hälsa och säkerhet.

I en annan typ av studier undersöks hur satsningar för att öka säkerhet och hälsa påverkar säkerhetsutfallet. I dessa studier jämförs inte satsningarna med kostnader utan med satsningens effekt på säkerheten.

Feng [78] undersökte hur investeringar för att höja säkerheten påverkar säkerhetsutfallet, och resultatet visar att investeringar i säkerhetsarbete har större chans att lyckas om det finns en välutvecklad säkerhetskultur på arbetsplatsen.

Rechenthin [79] har studerat den press som beställare sätter på entreprenörer att sänka olycksfallsfrekvensen. Författaren kommer fram till att dessa entreprenörer kan använda välplanerade och väl implementerade strategiska åtgärdsprogram för att förbättra säkerheten som ett sätt att få hållbara konkurrensfördelar gentemot andra entreprenörer.

Brockman [80] undersökte hur konflikter bland projektdeltagare i byggbranschen påverkade kostnaden för projektet. Resultatet visade att konflikter både tar tid och kostar pengar. En beräkning i USA 2001 beräknade kostnaden till 5 miljarder dollar.

Oswald et al.[81] undersökte den långsiktiga effekten av bonusprogram, det vill säga. ekonomiska incitament, som satts in för att höja säkerheten. Bonusprogram hade redan visat på positiva effekter i form av lägre sjukfrånvaro på kort sikt. Resultatet visar dock att den positiva effekten avtar med tiden, vilket medför att bonusprogram kontinuerligt behöver uppdateras för att ha önskad effekt.

Musonda och Pretorius [82] fokuserar i stället på hur ekonomiska incitament påverkar beställarföretagens arbete med hälsa och säkerhet. Resultatet visar att ekonomiska faktorer har en signifikant påverkan på beställares prestation och att ekonomiska incitament gör det mer sannolikt att olika proaktiva arbetsmiljöåtgärder implementeras på byggarbetsplatsen. Lagstiftning visade sig vara en annan faktor med signifikant påverkan på beställares prestation medan politiska, sociala, tekniska och professionella faktorer endast hade viss påverkan.

Yassin och Martonik [83] belyste effekterna av OSHA¹⁰:s nya regelverk avseende hälsa och säkerhet vid arbete på byggnadsställningar. Resultatet visar att de nya reglerna ökat säkerheten vid arbete på byggnadsställningar, med årliga besparingar skattade till cirka 5,8 miljoner USA-dollar.”

4.12 Avhandlingarna från LTU om SKB och arbetsmiljö

Avhandlingen *Planering av den hälsosamma byggarbetsplatsen genom riskanalys och designmetodik* [2] hade som uppgift är att via riskanalys och ny designmetodik hitta vägar för att planera en mer hälsosam arbetsmiljö för konstruktionsarbetare. Avhandlingen bygger på fem artiklar vilka kort beskrivs nedan tillsammans med en kort sammanfattning av relevans för den här rapporten;

1. Bästa åtgärder för förebyggande av WMSDs I byggindustrin (*Best practices for the prevention of musculoskeletal injuries in the construction industry*).
Här söktes den bästa metoden för att förhindra muskuloskeletala skador. Följande fem områden undersöktes; Planering, Arbetarorganisationen, Produktionsteknologi,

¹⁰ US Department of Labor's Occupational Safety and Health Administration

Arbetsuppgifter och Arbetaren egna förutsättningar och profil. Resultatet pekar på att dålig planering är den främsta orsaken till muskuloskeletala problem.

2. Riskbedömning och analys av arbetsbelastning i industriella byggprocesser (*Risk assessment and analysis of workload in an industrial construction process*)
Här fastställdes att verktygen ErgoSAM och QEC fungerar bra för att identifiera arbetsuppgifter som ligger i riskzonen för att ge skador.
3. Industriella byggmetoders konsekvenser på arbetsmiljön (*Consequence of industrial construction methods on the working environment.*)
Resultatet visar att industrialisering av byggprocessen och användandet av nya material som SKB reducerar arbetsbelastningen och risken för muskuloskeletala skador
4. Reducering av mänskliga kostnader i byggandet genom design för hälsa och säkerhet - utveckling av ett designmodell koncept med deltagande (*Reducing the human cost in construction through designing for health and safety – development of a conceptual participatory design model*)
Rapporten visar på ett antal steg i byggplaneringen där olika virtuella verktyg kan bidra med en förbättrad arbetsmiljö när hela byggprocessen kan visualiseras.
5. Användning av visualiseringsteknik för design och planering av en hälsosam byggarbetsplats (*Using visualization technologies for design and planning of a healthy construction workplace*).

Avhandlingen visar att användandet av 3D- och 4D- verktyg för att identifiera hälsorisker tidigt i ett byggprojekt är något som är effektivt för hälsa och säkerhet.

I avhandlingen *Byggbarhet av betongstrukturer – processer, metoder och material* [3], undersöker Peter Simonsson hur byggbarheten kan kombineras med ”Lean production” teorier (se avsnitt 5.4) i syfte att underlätta introduktionen av nya arbetsförbättrande och arbetsmiljö-förbättrande teknik på arbetsplatsen. Inom arbetet har tre frågor rörande byggbarhet besvarats. De är:

1. Vad är byggbarhet och hur är de relaterade till Lean konstruktion?
Med byggbarhet menas här att ”projektera för enkelhet vid byggnationen” och innebär de åtgärder som tagits initialt för att underlätta användandet av effektiva produktionsmetoder och samtidigt uppfylla beställarens krav.
2. Vad består byggbarhet av?
De viktigaste faktorerna för byggbarhet är enligt avhandlingen: Produktionsmetoder, Arbetsmiljöarbete, Standardiseringar och Kommunikationsverktyg. Alla faktorer har gemensamt att de är pågående processer som hela tiden kräver ett aktivt arbete. (De faktorer som främst är av intresse för denna studie är; arbetsmiljöarbete där införandet av SKB kan vara en bidragande del; standardiseringar, där en bättre beskrivning av standardiserad SKB möjliggör en förbättrad förutsättning för beställning och planering.)
3. Hur kan byggbarhet skapas i ett byggprojekt?

Följande förslag beskrivs:

- Genom att öka kunskapsnivån hos alla inblandade i produktionskedjan kan val av bästa produktionsmetod göras.
- Genom att använda sig av nya virtuella verktyg som 3D och BIM kan en bättre förståelse för hela processen såväl som för enskilda delar av processen uppnås.
- Genom att tidigt i byggprocessen identifiera de fördelar och hinder som olika koncept och förbättrade tekniker och metoder bidrar med.
- Genom att arbeta för standardisering av sub- och superstrukturer vid brobyggnationer kan design för ökad repeterbarhet och kunskap uppnås.
- Genom att utveckla arbetsmetoder utifrån arbetarens perspektiv.

På det sättet kan också en ökad förståelse för alla arbetsuppgifter ökas.

Som avslutning föreslås några punkter för framtida forskning där Simonsson ser behov av ytterligare information. Bland andra nämns, ytterligare projektdesign i tidigt skede, identifiering och standardisering av arbetsuppgifter, olika tekniker för att implementera Lean Production och utveckling av tydliga kriterier för robustare och bättre specificerad SKB.

4.12.1 Ytterligare publikationer från Simonsson och Rwamamara

Simonsson och Rwamamara presenterade 2009 en fallstudie där man jämförde de ergonomiska momenten för betongarbetares gjutning med två olika typer av betong, konventionell betong och självkompakterande betong, SKB. [84, 85] Analyser utfördes med två metoder för identifiering av ergonomiska risker. Analys av resultaten visade att SCC konsekvent gav signifikanta förbättringar i arbetsställningar och ledde till lägre arbetsbelastning och bullerexponering bland betongarbetare. Författarna menar att en kombination av "lean-tankesätt" och ergonomi resulterar i ett så effektivt, säkert och bekvämt system som möjligt under betonggjutningsprocessen. Materialhanteringen spelar en betydande roll för betongarbetarnas arbetsbelastning. Belastningen kan minskas betydligt med SKB som eliminerar obekväma arbetsställningar och vibrerande verktyg. En god planering med rätt materialval kan skapa en ökning i produktion, minskade kostnader, ökad kvalitet på produkten och mindre frånvaro av arbetstagare i framtiden på grund av mindre stressigt arbete.

Deras undersökningar visade att ErgoSAM värdet för SKB minskade till 5,7 jämfört med 21,0 för traditionellt vibrerad betong. Studien visar på både tidsmässiga och kostnadsmässiga vinster vid införandet av nya tekniker.

Resultaten visar också att användandet av nya tekniker som armeringskorgar, rullarmering och SKB ger en betydligt bättre arbetsmiljö jämfört med traditionell teknik.

4.13 Publikationer om SKB och arbetsmiljö från KTH

För ett par år sedan [5] presenterades en lic.-avhandling på KTH med titeln ” *Self-compacting concrete for improved construction technology*” eller ”*Självkompakterande betong för förbättrat byggande*”. I avhandlingen beskrivs hur Sverige var ett av de första länderna i Europa att använda SKB för över 10 till 15 år sedan men också hur användningen av SKB inte har ökat de följande åren, trots dess fördelar. Idag är andelen SKB inom platsgjutning ganska låg. Marknadsandelen av platsgjuten SKB är fortfarande bara cirka 10 %. Andelen SKB inom prefabtillverkningen är betydligt högre. Författaren menar att finns några möjliga förklaringar till denna skillnad, exempelvis ett ökat behov av kunskap och erfarenhet, otillfredsställande robusthet i betongen med varierande materialegenskaper när betongen anländer till arbetsplatsen. Andra viktiga frågor är osäkerheten kring formtryck och en idag rådande brist på uppdaterade formler för beräkning av formtryck. Slutligen, den kanske viktigaste faktorn är det kortsiktiga fokus man har då man beräknar kostnader för att använda SKB.

Fokus i avhandlingen är en jämförelse av internationella formler för beräkning av formtryck.

McCarthy drar följande slutsatser: Dagens formler för beräkning av formtryck omfattar bara konventionell betong (artikel I). Jämförelsen mellan internationella formler visar på både likheter och skillnader. Intervjuerna visar att en majoritet av entreprenörerna är positivt inställda till SKB, men SKB måste betraktas som en metod i stället för ett material i syfte att uppmuntra dem att beakta fördelarna med SKB (artikel II). Två resultat från fältstudierna (artikel III och IV) är viktiga. För det första har sambandet mellan sensortryckvärden och stålformarnas utböjning visat mycket god korrelation, oavsett formelement och nivå. För det andra har vridmomentets utveckling med tiden använts som indata till beräkning av formtryck med två internationella beräkningsmodeller. Överensstämmelsen mellan beräknat och uppmätt formtryck var tämligen god.

I examensarbetet från KTH, [86] görs fjorton intervjuer där tretton frågor besvaras om hur man uppfattar SKB ute på arbetsplatsen. De som intervjuas har alla en beställande befattning. Syftet med utfrågningen är att undersöka orsaker till den låga användningen av SKB ute på arbetsplatserna. I svaren framgår att de främsta anledningarna till att SKB inte används är både priset vid beställning och kunskapsbrist. Det högre priset består i dyrare ingående material, större kunskapsbehov och dyrare formbygge. Kunskapsbristen består från entreprenadsidan i vad som kan krävas av en SKB och att fokus måste flyttas från produktion till provtagning. De främsta fördelarna som lyfts fram med SKB är hälsa och pris, då helhetskostnaden räknas. Hälsofördelarna är att slippa vibrera och sänkt ljudnivå. Sören Fredriksson på Galaxen Bygg AB menar att ”kvaliteten ökar i och med att man måste vara noggrannare med formar, så de blir tätare vilket medför jämnare ytor och mindre spackling efter gjutning”. Mindre arbete efter en lyckad gjutning innebär även mindre med bilning och därmed ytterligare mindre belastning från vibrationer. De prismässiga fördelarna är att vid god planering kan antalet arbetare reduceras. Det är dock en åsikt som inte alla tillfrågade har. Några menar att användandet av SKB inte påverkar antalet

arbetare. Thomas Östberg på Svevia AB hänvisar till tidigare rapporter som indikerar kortare gjuttider upp till 30%, så kallad "Bolibompabetong" där arbetaren hinner hem till familjen innan barnprogrammen.

5 Diskussion

Det primära målet med denna rapport är att finna studier som styrker arbetsmiljömässiga fördelar med ett ökat användande av SKB. Litteratur och fakta är återgiven avseende:

- Metodik och metoder att validera arbetsbelastning vid byggnadsarbete och särskilt belastning av vibrationer från handhållna verktyg.
- Medicinsk forskning när det gäller arbetsskador från vibrationer.
- Ekonomiska, hälsomässiga och bygghälsomässiga fördelar med användning av SKB på byggarbetsplatser.

5.1 Metodik och metoder

Ett flertal metoder finns redovisade i litteraturen för både riskbedömningar och arbetsbelastning. Litteratursammanställningen i avsnitt 2.5, 4.3 - 4.7 kan tjäna som en guide vid urval av lämpliga metoder både för riskbedömningar och för arbetsbelastning.

En bedömning är att de intressantaste artiklarna för uppmätning och jämförelse av arbetsbelastning är artiklarna refererade i avsnitt 4.4 som beskriver ny teknik med s.k. inre måttenheter, IMU's, som är bärbara trådlösa sensorer som registrerar biomekaniska rörelser. Med dylika mätsystem bör man kunna kvantifiera och jämföra arbetsmängd och belastning dels vid arbete med traditionell gjutning, dels vid betongarbete med självkompakterande betong, SKB.

Hur man sedan kan kvantifiera vibrationsbelastande arbeten och dess biomekaniska belastning till övrig belastning vid traditionellt betongarbete med vibrering av betong är något som behöver utvecklas i framtida forskningsprojekt.

I avsnitt 4.4 citeras påståendet [46] att pålitliga och giltiga metoder för vibrationsexponering på arbetsplatsen hittills saknats. I Sverige finns dock metodik beskriven [87] sedan 2016 för hur man kan mäta vibrationer på arbetsplatser. Instruktionen är utgiven av region Östergötland i samarbete med Linköpings Universitet och Avonova Hälsa AB och den kan skrivas ut ifrån webben. Dessutom har mätningar genomförts på hur vibrering av betong med vibrostavar belastar betongarbetare genomförts under 2016 [50] vilket också redovisas i avsnitt 4.4. Säkert finns andra utförda arbeten som inte redovisas i denna rapport. Förutsättningarna för att genomföra jämförande studier av betongarbete med SKB och TVB är därför goda idag.

En annan sak av intresse är hur temperaturens inverkar vid traditionellt betongarbete och hur sådan belastning kan mätas, dels vid normal väderlek, dels vid kyla. Även vid sådana undersökningar bör dessa IMU's kunna bli användbara.

Efter mätningar av hur mycket mindre belastning som är möjlig att åstadkomma per m3 SKB gentemot traditionell vibrerad betong, kan de ekonomiska fördelarna uppskattas utifrån antagande om förbättrad hälsa hos arbetskraft, färre sjukskrivningar och projektering med ökad användning av SKB och större hänsyn till förbättrad arbetsmiljö. Hur bättre planering av arbetsmiljön kan medföra bättre ekonomi redogörs i avsnitt 4.12 med ett referat från Arbetsmiljöverkets rapport "Risker och säkerhetsarbete i byggbranschen" [72]. Dock fanns här ingen artikel som specifikt refererar till hur projektering med ny teknik såsom SKB och t.ex. rullarmering [4] kan förbättra både ekonomi och arbetsmiljö i betongbyggnadsprojekt. Detta tas dock upp i båda avhandlingarna [2, 3] från Luleås Tekniska Universitet, LTU.

Under arbetets gång publicerades en bok om hur en arbetsplats bäst designas för en optimerad arbetsmiljö. I kapitel 11 "Ekonomi med ergonomi" beskrivs bl.a. hur ekonomin och ergonomi är sammankopplat och hur planering av en arbetsplats bör utföras. Man ger exempel på hur kostnader för ergonomiska investeringar kan beräknas [88].

5.2 Medicinsk forskning

Arbetsskador orsakade av vibrationer måste anses vara väl studerat men mycket forskning pågår fortfarande för att både kunna förebygga skador och för att kunna bota eller lindra sjukdomstillstånd orsakade från belastning av vibrationer. Det finns en stor mängd litteratur inom området. Avsnitten 2.3, 4.1 och 4.9 refererar en del litteratur som beskriver de skador som bevisligen kan härledas från för stor exponering av vibrationer.

Den medicinska forskningen på detta område har gett resultat inom byggnadsindustrin. Till exempel har Skanska [89] och NCC [48] vidtagit en hel del åtgärder för att bättre informera sina arbetare om den kunskap som finns inom området. En lista på information om hur olika företag arbetar med arbetsmiljön ges bl.a. på Arbetsmiljöverkets hemsida [90]. Arbetsgivaren är för numera skyldig att bedriva systematiskt arbetsmiljöarbete, det vill säga att ständigt undersöka arbetsmiljön för att se vilka risker som finns. Därefter ska riskerna åtgärdas.

Skanska publicerade en informationsvideo 19 april 2017 på Youtube som heter "Vibrationsskador - Det handlar om ditt fortsatta liv" [91] som väl beskriver problematiken för arbetstagare. Man redogör i den videon om hur arbetaren själv kan beräkna hur mycket vibrationer som man dagligen kan utsättas för. Detta är av stor betydelse och bra att man ger informationen på detta lättillgängliga sätt.

5.2.1 Hur arbetaren kan beräkna tillåten exponering från vibrationer

Enligt Arbetsmiljöverkets föreskrift om vibrationer (AFS 2005:15) kan riskbedömningen för exponering av hand-arm-vibrationer göras på två sätt, antingen genom teknisk mätning eller genom informationsbaserad uppskattning. Skanska har gjort en tabell där man använder sig av den andra metoden där arbetaren själv kan uppskatta hur mycket vibrationer man utsätts för.

Viktigt att man använder vibrerande verktyg en begränsad tid varje dag. Olika maskiner vibrerar olika mycket. Arbetsmiljöverket har ett poängsystem för olika moment. Se BILAGA 3. Man har satt en gräns på max 100 poäng i *insatsvärde* per dag. Värdet på 400 poäng får aldrig överskridas. Vid belastning av 100 poäng/dag har man rätt till åtgärder och medicinska kontroller.

Olika maskiner har olika accelerationsvärde i m/s^2 vilket ger olika mycket exponeringspoäng. Denna poäng multipliceras med den tid som man arbetar med verktyget i minuter. I Skanskas video [91] kallas denna tid för *triggertid*. Genom att multiplicera poängen från respektive verktyg med triggertiden beräknas den dagliga vibrationsexponeringen. Se BILAGA 3.

För arbetaren skall följande tre punkter iakttas för att minska risken för vibrationsskador:

- Uppskatta vibrationsexponeringen – riskbedöm, planera arbetsmomentet
- Kontrollera exponeringstiden – Aldrig över 400 poäng per dag
- Välj rätt verktyg till rätt arbetsmoment

För osäkerhet kring vilken exponeringspoäng verktyget ger kan man använda sig av den förteckning över olika verktyg som FHV Metodik presenterar på deras hemsida [92]. Se BILAGA 4.

Ytterligare ett sätt att beräkna exponering är att använda sig av hemsidan <http://www.vibration.db.umu.se/> på Umeå Universitet där man kan skriva in exakt vilken maskin man använder sig av. Det gör att man mer exakt kan bestämma den belastning man exponeras för. Se även BILAGA 5.

5.3 Fördelar med användning av SKB ur arbetsmiljöperspektiv

Kostnaderna för arbetsskador relaterade till betonggjutning kan inte enbart relateras till vibrationsskador. Användning av vibrationsstav är tungt och medför förutom vibrationer i händer och armar även buller och belastning på rygg, axlar och armar.

Dock påverkar i stort sett de flesta typer av arbeten inom byggande kroppen på olika sätt. Men vibrationer från vibrostav påverkar endast vid betonggjutning. Betongarbetare arbetar för övrigt ganska lite med andra typer av vibrationer från handhållna verktyg, förutom från bilningsmaskiner och borrhämmare vilka oftast ger betydligt högre exponering av vibrationer än en vibrostav.

Det är dock omöjligt att utifrån befintlig statistik avgöra hur stor ”bov i dramat” som just vibreringen av betong utgör på betongarbetaren. Vi vet dock att belastningen skulle minska ifall vibrering inte var nödvändig.

I statistik från AMV [7] uppges att ca 4 622 000 personer var sysselsatta i Sverige första kvartalet 2016.

Enligt [72] var ca 311 000 personer sysselsatta i byggindustrin 2014. Enligt TABELL 1 [7] fanns totalt 743 000 anställda inom hantverksarbete inom byggverksamhet, gruv. Bygg- och anläggningsverksamhet.

I BILAGA 2 är uppgifter av *besvär och sjukskrivningar efter yrke* från [7] sammanställda där det anges att 12,6 % respektive 4,6 % av anställda i byggindustrin var sjukskrivna pga. annan orsak än arbetsolycka, i < 5 veckor respektive > 5 veckor, varav andelen som haft besvär pga. vibrationer var ca 2,1 %.

I sammanställningen av de med *besvär och sjukfrånvaro efter näringsgren* var 8,1 % av anställda i byggindustrin sjukskrivna varav 5,3 % av andra orsaker än olyckor. Av dessa var 1,9 % sjukskrivna > 5 veckor. Cirka 1,1 % uppgav besvär från vibrationer.

Dessa siffror ger ingen klar och enkel uppskattning på hur mkt vibrationsskador egentligen kostar samhället. Dessutom, såsom nämnts ovan, påverkar även arbete med vibrationsstav arbetaren för buller och belastning på rygg, axlar och armar, vilket gör uppskattningen än mer osäker på hur mycket samhället kan spara med förbättrad arbetsmiljö genom ökad användning av SKB.

Men en enkel gissad uppskattning kan ändå göras:

1. Antal med besvär av vibrationer i byggindustrin: $1,1 \% \times 311\,000 = 3421$ st
2. Uppskattad andel av dessa som sjukskrivit sig:
Totalt hade ca 52,5 % av de inom yrket haft besvär senaste 12 månaderna och av dessa uppgav 17,7 % sjukfrånvaro, dvs $17,7 \times 0,525 = 9,3 \%$.
3. Vi gissar att andelen sjukskrivna pga. vibrationer är proportionell varför antalet sjukskrivna pga. vibrationer skattas till:
$$0,093 \times 3421 \text{ st} = 318 \text{ st}$$
4. Vanligen är sjukskrivningstiden lång för dessa skador.
En uppskattning är 204 dagar, dvs. 6,8 månader. Många blir sjukskrivna för livet.
5. En månadslön för en byggarbetare i övre medelåldern, då man vanligen får problem av vibrationer [93], kan uppskattas till 35 000 kr/månad, dvs ca 48 000 kr/månad med sociala avgifter och arbetsgivaravgift.
6. Kostnaden blir då ca: $318 \times 6,8 \times 48\,000 = 104$ MSEK/år

Om man istället även inkluderar hantverkarna inom bygg, totalt 743 000 enligt ovan, blir de uppskattade kostnaderna dubbelt så stora.

Givetvis arbetar inte alla hantverkare inom byggindustrin som betongarbetare. Vi har i skrivande stund inga siffror men en uppskattning är att 10-15 % av byggnadsarbetarna utgörs av betongarbetare. Dessutom brukar fler än endast betongarbetare delta vid gjutning, varför en lättnad av belastningen vid gjutning från tunga lyft, obekväma ställningar och vibrationer absolut förbättrar arbetsmiljön. Det är dock svårt att veta exakt hur mycket en sådan lättnad minskar arbetsskador och efterföljande sjukskrivningar.

En kvalificerad gissning är att om gjutningen underlättas med SKB minskar totalmängden av fysisk belastning på betongarbetaren med några procent. Däremot minskar sannolikt exponeringen från vibrationer med minst 50 %, troligen mer.

Med detta resonemang kan siffran på sparade kostnader på minskade sjukskrivningar uppskattas på följande sätt:

15% betongarbetare x 50% mindre vibrationer x 104 MSEK i kostnader $\approx$ 8 MSEK/år

En annan siffra på kostnader för sjukskrivningar i Sverige, som är baserad på ergonomiska riskfaktorer, nämns av Simonsson och Emborg i [4]. Där beräknas kostnaden till ca 62 MSEK. Oklart även här dock hur stor del som kan besparas enbart genom ökad användning av SKB på betongarbetsplatserna.

Meningen med att räkna på det här sättet är inte att få fram en exakt siffra, det är att kunna visa på ett scenario och att kostnaden är märkbar.

Till detta tillkommer eventuella besparingar som görs på arbetsplatsen med en bättre planering och bättre slutresultat på gjutningarna. Dessa besparingar är sannolikt ännu större.

Det vore mycket värt om en siffra på beräknad totalkostnad för sjukskrivningar per mantimme, beroende på vibrationer av betong kan tas fram. Kanske kan föregående uppskattning användas på följande sätt:

$8 \text{ MSEK} / (1153 \text{ betongarbetare med vibrationsbesvär} \times 1600 \text{ arb. timmar/år}) = 4,3 \text{ kr/arbetstimme.}$

Resultatet kan sedan multipliceras med antalet mantimmar ett projekt beräknas ta vid betongarbete och på det sättet kan ekonomisk besparing göras utifrån hur förbättringar med användning av SKB beräknas kunna göra. Till detta kommer naturligtvis en enorm skillnad i livskvalitet för de arbetare som inte blir skadade när bättre metoder används.

För att lyckas med detta måste först ordentligt med statistik insamlas med fokus på just den här problematiken. Fortfarande saknas dock statistik och eventuellt metoder för att beräkna den långsiktiga påverkan av att arbeta med vibrerande verktyg och vad det kostar. Det skulle i så fall kunna ge ett incitament till beslutsfattare att ytterligare skärpa kraven på arbetsplatserna.

5.4 Nya förutsättningar för betong och SKB

En övervägande del av den moderna infrastrukturen i världen byggs idag i betong. I takt med ökad kunskap och utveckling har medvetenheten om miljöbelastning och arbetsmiljö ökat. Inom miljöområdet har nya verktyg och begrepp kommit, så som; carbon footprint, LCA och växthusgaser (Miljösystemanalytiska verktyg, Naturvårdsverket 1999). Detta har lett till att nya typer av betong med nya delmaterial och egenskaper tagits fram som minskar miljöpåverkan [62]. De miljökrav som vuxit fram de senaste tjugo åren har påverkat bygg och betongindustrin på många sätt. Det som är mest allmänt känt är kraven på koldioxidreduktion. Vid produktion av cement fås motsvarande 80 % av cementvikten i koldioxid vilket i sin tur motsvarar ca 5 % av den samlade årsproduktionen av koldioxid i världen. Detta har föranlett utveckling av nya cementtyper med ökad halt alternativa ingredienser och minskad halt klinker [5]. Det i sin tur har förändrat cementets egenskaper. Av samma miljökrav som ovan utvecklas idag betongrecept med en lägre halt cement vilket även gäller recept för SKB. Det görs med nya tillsatsmedel, nya tillsatsmaterial och nya pozzulan (alkalireaktiva) fillermaterial och förbättrad partikelpackning [94]. En annan miljöaspekt är bruket av naturballast. I Sverige finns det gott om naturballast men de senaste åren har en

förändring av grundvattnet i vissa delar Sverige kunnat påvisas pga. uttag från vattenförande rullstensåsar och dylikt. Det bruket försöker staten stävja genom att införa en miljöskatt på naturballast (15 kr/ton, enligt skatteverket). Istället skall nu krossat berg från anläggningsarbeten användas, vilket i sin tur skapar en mängd nya frågor då krossballast inte alls har samma egenskaper som naturballast.

Betongindustrin arbetar, med andra ord, i dag med stora utmaningar. Ett sätt att möta kraven i en föränderlig värld är med nya strategier, tekniker och metoder som har utvecklats i syfte att förenkla och förbättra byggprocessen. Nedan nämns några av dessa metoder:

Lean production är ett begrepp som ursprungligen kom från Toyotas produktionssystem och går i korthet ut på mer värde för mindre pengar. Det kan ses som en utveckling av Ford's löpandeband princip. Lean inom byggnadsindustrin innebär användandet av IT i cad/cam med en fortsatt utveckling idag i Building Information Modeling "BIM".

CAD (computer aided design). Att kunna utföra avancerade ritningar och beräkningar i datorer är inget nytt idag men tekniken är fortfarande relativt ung och utvecklas hela tiden, en sådan utveckling är BIM.

BIM är ett verktyg för att redan från utvecklingsstart kunna planera in detaljer i slutproduktionen, såsom vilka krav en konstruktion kräver på materialet som skall användas. I det läget kan även kostnader som miljöeffekter och arbetsskador räknas in för att få en totalkostnad. Det här är dessutom en del i det som dag kallas Industri 4.0.

Industri 4.0 är enligt Wikipedia den rådande trenden inom automation av datautbyte inom produktionsindustrin. Tanken är att alla maskiner ska kunna kommunicera med varandra (interoperera) och ta beslut i ett "Internet of Things" med hjälp av nya databassystem "Big Data" som är megadatabaser som inte bygger på relationer som dagens klassiska databaser.

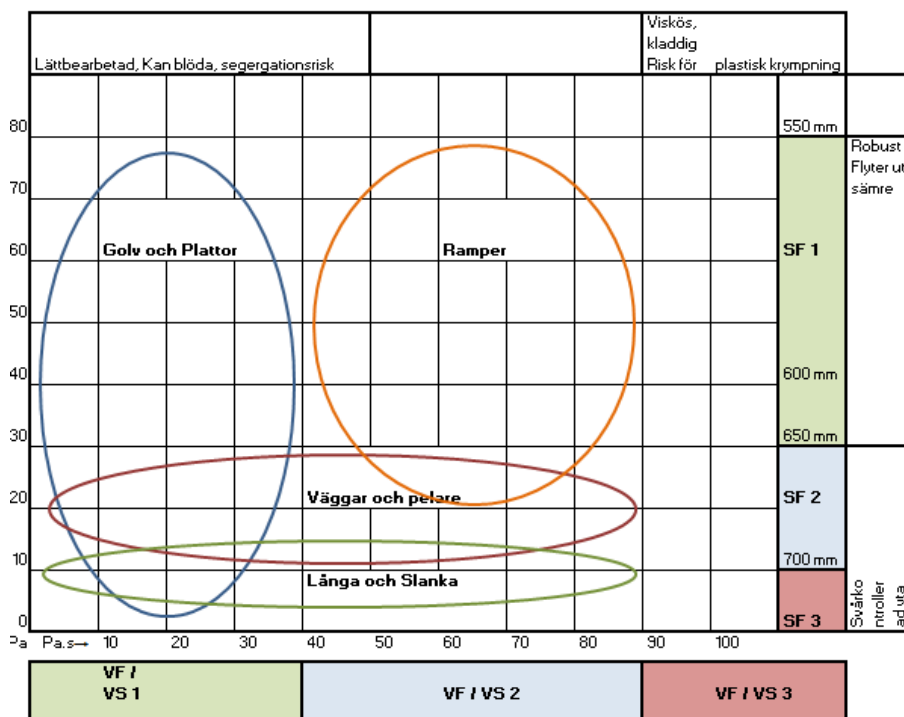
I den här kunskapsintensiva utvecklingen passar SKB mycket bra in. Det är många av dessa utmaningar och utvecklingar som sammanfaller med SKB som kräver god planering och god kompetens. Dessa verktyg kommer kunna vara till stor hjälp för att förstå orsakerna och minska de arbetsrelaterade sjukdomsfallen av WMSD.

5.5 Tekniker och krav för att förenkla introduktionen av SKB

För att förenkla förutsättningarna för beställar- och utförarled bör en noggrannare kravspecifikation på SKB sammanställas, eftersom olika krav på konsistens (flytspänning och viskositet) kan ställas beroende på gjutning av en vägg eller en betongplatta. Kravspecifikationen kommer då fungera som ett beställardokument beroende på vilken konstruktion som skall gjutas, vilket i sin tur kommer ställa större krav på betongstationerna. För att detta skall fungera måste olika recept sammanställas som uppfyller de ställda kraven på SKB, både på nationell såväl som internationell nivå. Recept finns idag men endast i så allmänna ordalag att en SKB i Danmark inte skulle

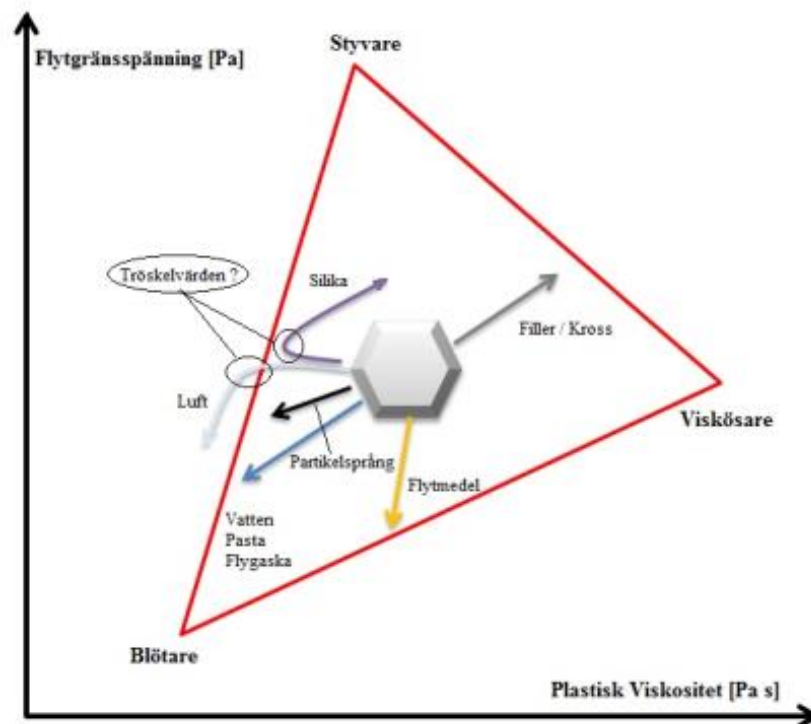
accepteras i Sverige och vice versa. Som det ser ut idag finns svårigheter att jämföra användningen av SKB mellan olika länder.

Diagrammen i FIGUR 11 **Fel! Hittar inte referenskälla.** och FIGUR 12 är exempel på hur SKB kan specificeras och underlätta val av rätt SKB för olika konstruktionsdelar.



FIGUR 11. En skiss på hur ett sammanslaget diagram för SKB:s olika egenskaper och tillämpningar. Avsett att förenkla i beställarled.

Ett nytt projekt skulle kunna utarbeta lämpliga krav och SKB recept som uppfyller kraven och därmed underlätta möjligheten att i det löpande arbetet underlätta en ökad användning av SKB.



FIGUR 12. En skiss på hur olika tillsatser påverkar ballastpartiklarnas egenskaper. Kan förenkla i producentled.

6 Slutsatser och rekommendationer

Idag står byggbranschen under stora förändringar. Fortfarande utförs mycket med metoder som är gamla och väl beprövade men som ofta är tunga och krävande, utslaget på ett helt yrkesliv. Med ny teknik, digitalisering, 3D-printning och nya typer av material, t.ex. SKB finns möjligheter att avsevärt förändra och förbättra den ergonomiska arbetsmiljön i den moderna byggprocessen.

Även i Sverige har det skett mycket forskning kring SKB, dels tekniskt för att förstå materialet och dess delkomponenter (traditionella såväl som nya), dels i syfte att arbetsmiljömässigt motivera en introduktion på byggarbetsplatsen. Enligt Simonsson [3] bör man kunna nå en produkteffektivisering på ca 75 000 mantimmar per år i Sverige genom att använda sig av SKB. En sådant skifte från traditionellt vibrerad betong (TVB) till SKB skulle ge stora besparingar och kanske billigare bostäder och lägre sjukvårdskostnader pga. färre arbetsskador.

Under den ekonomiska krisen på nittiotalet förändrades arbetsmarknaden och arbetsplatserna "slimmades". Det innebar att personalstyrkan minskade och arbetsbördan ökade [95]. På grund av detta har nya krav på arbetsmiljö vuxit fram från Arbetsmiljöverket med sanktionsavgifter. Se BILAGA 1. De har inte slagit igenom ännu men kommer att påverka kostnaden på den betong som gjuts, där dessa regler bryts. Många av de sanktionsavgifter som åläggs regelbrytaren är dessutom differentierade vilket innebär att en grundavgift räknas ut som sedan multipliceras med antalet anställda [8]. Avgiften kan på det sättet snabbt bli ordentligt kännbar. Detta är troligen huvudanledningen till att arbetsgivare blivit mer angelägna om arbetsmiljön för sina

anställda. Ofta är det enda sättet att få till stånd förändringar om det går att motivera dem ekonomiskt.

Syftet med arbetsmiljöstudier är just att motivera arbetsgivare till att genomföra arbetsmiljöförbättrande åtgärder genom att visa på alla fördelar som en bättre arbetsmiljö medför. Det har också varit syftet med denna studie genom att belysa möjligheten till förbättrad arbetsmiljö genom en ökad användning av självkompakterande betong.

6.1 En större arbetsmiljöstudie

Vi rekommenderar en större arbetsmiljöstudie inom betongområdet för ökad kunskap. Med hjälp av de nya verktyg som presenterats kan man idag enklare och mer exakt identifiera vibrationsrelaterade arbetsmiljöbesvär. Här måste medicinsk expertis involveras för att öka vederhäftigheten. Dessutom finns en önskan inom den medicinska forskningen, om arbetsmiljö och om vibrationsrelaterade skador, att täppa igen de hål i tidigare forskning som återstår, till exempel hur kyla och individuella riskfaktorer som t ex rökning påverkar risken för vibrationsrelaterade arbetsskador. Man kunde även jämföra hur mycket betongarbetet påverkar arbetsorsakade skador. Till exempel skulle man kunna jämföra sjukskrivningsstatistik mellan olika typer av byggföretag, dels sådana företag som bara gjuter betonggolv med SKB, dels större entreprenörer som utför alla typer av betongsarbeten.

Möjligheterna att utföra biomekanisk analys av byggnadsarbetare har förbättrats avsevärt med utvecklingen av modern teknik med bärbara sensorer [41-43, 59, 66]. Informationen som dessa system kan ge vid utvärdering av arbetsställningar kan spela en viktig roll för möjligheten att minska arbetsrelaterade muskuloskeletal sjukdomar (WMSDs) (belastningsskador).

Nya försök och studier kommer kunna visa hur en positiv arbetsmiljöutvecklingen med SKB är möjlig och hur mycket som går att spara på det viset. Det finns flera olika sätt att visa på vinster med SKB men det bör sammanställas en rapport där vinster i varje enskilt moment i byggprocessen räknas in och vägs mot merkostnaderna, för att slutligen visa på ett värde som går att använda i beräkningar för produktionskostnader. Exempelvis kan ett sådant värde vara hur stor procent av en arbetares totalkostnad som består av arbetsmiljörelaterade kostnader och hur denna kostnad påverkas positivt av hur bättre arbetsmiljö minskar sjukskrivningar.

6.2 Enkätundersökning

I detta arbete, en förstudie, har även en ny enkät tagits fram. Den bygger på en enkät som användes av Simonsson i hans doktorsarbete och har tagits fram i samarbete med företaget Metodicum som arbetar med att utbilda och kartlägga arbetsmiljörelaterade frågor. De nya frågor som tillkommit baseras på frågor som Alan Toomingas framfört [15] och vår kunskap om byggarbetsplatsen och vibrationskällor.

Enkäten fokuserar på byggnadsarbetare som utför de vibrationskrävande momenten, deras egna erfarenheter och livsstil, sådana orsaker som ligger bakom WMSD och HAVS.

6.3 Specifikation för olika slags SKB

En tydligare specifikation för olika recept av SKB för olika typer av arbeten och konstruktioner skulle kunna arbetas fram, för att entreprenören skall kunna göra en mer precis beställning. Sådana specifikationer kan både beställaren och producenten behöva för att de skall känna sig tryggare i användandet av SKB.

6.4 Industri 4.0, framtid och krav inom byggindustrin.

Arkitekter och konstruktörer arbetar i dag i en helt digitaliserad miljö och starka krafter verkar för att föra in digitaliseringen överallt, ända ner till att gjuta in sensorer i betongen för att kunna beräkna fukthalt m.m. (digitong). I en sådan miljö är de beräkningar som behövs för att introducera SKB inget hinder. Det är bara en liten del i en pågående utvecklingsprocess. Beräkningar för vilken betong som behövs, vilken fabrik som kan producera och vilka som kan utföra arbetet, manskapsåtgången och vilka krav som sätts på formar, allt detta skulle bli en enklare operation att sammanställa digitalt. Sådana digitala kontroller hur olika arbetsmoment granskar in i varnadra utförs för övrigt redan idag i BIM. I ett framtida forskningsprojekt bör utgångspunkten vara att se komplexa processer som legobitar som enkelt kan beskrivas och beställas tidigt i byggprocessen. Förutsatt att det finns bra och tydliga beskrivningar på produkterna. Det allra viktigaste i allt detta är en genomtänkt planering såsom Simonsson [3] och Rwamamara [2] argumenterar för i sina avhandlingar. Med digitalisering kan denna planering underlättas och utföras noggrannare så att inga moment undgår produktionsplaneringen (projekteringen).

/Stockholm 2018-03-13

Tack till

Trafikverkets forskningsfinansiering via programmet BBT.

Peter Simonsson vars engagemang för bättre arbetsmiljö i byggnadsbranschen är en viktig faktor för att denna studie genomförts.

Mats Emborg som förmedlade projektet och gett input.

Annika Gram som bidragit med input, ledning och inspiration och för att du gav stafett-pinnen till oss.

Vi vill också tacka Linda Rose, Jörgen Eklund, Tohr Nilsson, Alan Toomingas och Lage Burström för feedback.

RISE CBI Betonginstitutet för finansiering, stöd och tålamod.

Referenser

1. Rose, L., *Models and Methods for Analysis and Improvement of Physical Work Environments*, in *Institutionen för produkt- och produktionsutveckling*, . 2001, Chalmers: Göteborg.
2. Rwamamara, R.A., *Planning the Healthy Construction Workplace through Risk Assessment and Design Methods*, in *Division of Structural Engineering and Construction Engineering Management*. 2007, Luleå University of Technology: Luleå, Sweden. p. 84.
3. Simonsson, P., *Buildability of Concrete Structures - Processes, Methods and Material*, in *Division of structural Engineering*. 2011b, Luleå university of Technology: Luleå. p. 64.
4. Simonsson, P. and M. Emborg, *Industrialized construction : benefits using SCC in cast in-situ construction*. Nordic Concrete Research, 2009. **39**(1): p. 33-52.
5. McCarthy, R., *Self-compacting concrete for improved construction technology*, in *TRITA-BKN. Bulletin*. 2015, KTH Royal Institute of Technology: Stockholm. p. xii, 24.
6. *Self-Compacting Concrete*. in *1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete*. 1999. Stockholm: RILEM Publications S.A.R.L.
7. *Arbetsorskade besvär 2016*, in *Arbetsmiljöstatistik Rapport 2016:3*. 2016, Arbetsmiljöverket. p. 169.
8. Edebalk, P.G., *Arbetsgivarna och arbetsskadeförsäkringen – En historik in Arbetsmarknad & Arbetsliv*. 2016. p. 83-100.
9. <http://www.arbetsmiljouppllysningen.se/yrken/byggnadsarbetare>.
10. Lars Gerhardsson, B.G.H., *Vibrationsskador i hand och arm, Sahlgrenska Universitetssjukhuset*, in *internetmedicin.se*. 2017, internetmedicin: Arbets- och miljömedicin. p. 8.
11. Zetterblom, M., *Vibrationsskador vanligaste arbetssjukdomen*, in *Arbetsliv*. 2016. p. 1.
12. Ikpe, E., et al., *Improving Construction Health and Safety: Application of Cost-Benefit Analysis (CBA) for Accident Prevention*. International Journal of Construction Management, 2011. **11**(1): p. 19-35.
13. Rehfish, P. and R. Wålinder, *ABC om vibrationsskador*. Läkartidningen, 2009(7): p. 11.
14. Burström, L. *Tema Vibrationer*. Institutionen för folkhälsa och klinisk medicin.
15. Toomingas, A., *Hälsoeffekter av Vibrationer.*, K. universitetssjukhuset, Editor. 2015: PowerPoint presentation från föreläsning för SP Kemi och Material.
16. Hamilton, A., *EFFECT OF THE AIR HAMMER ON THE HANDS OF STONECUTTERS*. Monthly Review of the U.S. Bureau of Labor Statistics, 1918. **6**(4): p. 25-33.
17. Taylor, W., et al., *Effect of the air hammer on the hands of stonecutters. The limestone quarries of Bedford, Indiana, revisited*. Br J Ind Me, 1984. **41**: p. 289-295.
18. Nilsson, T., J. Wahlström, and L. Burström, *Systematiska kunskapsöversikter; 9. Käril- och nervskador i relation till exponering för handöverförda vibrationer*, in *Arbete och Hälsa, Nr 2016;49*(4), G. Universitet, Editor. 2016, Göteborgs Universitet f d Arbetslivsinstitutet: Göteborg.

19. <https://www.bcm.edu/healthcare/care-centers/plastic-surgery/procedures/carpal-tunnel-syndrome>.
20. Gayraud, M., Raynaud's phenomenon. *Joint Bone Spine*, 2007. **74**(1): p. e1-e8.
21. Rempel, D. <http://www.iea.cc/about/technical.php?id=51deaff9694f3>.
22. Rwamamara, R. and P. Simonsson, *Self-compacting concrete use for construction work environment sustainability*. *Journal of Civil Engineering and Management*, 2012. **18**(5): p. 724-734.
23. <http://eng.auburn.edu/research/centers/occupational-safety-ergonomics-injury-prevention/index.html>.
24. H. Okamura, M.O., *Self-compacting concrete - Development, present and future*, in *First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete*, Å.S.a.Ö. Petersson, Editor. 1999, RILEM Publications SARL: Stockholm. p. 3-14.
25. Svensk Betong. <http://mb.cision.com/Main/4957/2087465/567086.pdf>. 2016.
26. Byfors, J., *SCC is an important step towards industrialisation of the building industry*, in *First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete*, Å.S.a.Ö. Petersson, Editor. 1999, RILEM Publications SARL: Stockholm. p. 15 - 21.
27. Simonsson Peter, E.M., *Robust self compacting concrete for bridge construction*. NCR, 2011. **44**(10).
28. Cussigh, F., *SCC in practice: opportunities and bottlenecks*, in *5th International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete*, G.D.S.a.V. Boel, Editor. 2007, RILEM Publications SARL: Ghent. p. 21-27.
29. Westerholm, P. *Arbetssjukdom – skadlig inverkan – samband med arbete, Ett vetenskapligt underlag för försäkringsmedicinska bedömningar (sju skadeområden)*. 15 2002.
30. Sir Austin Bradford, H., *The environment and disease: association or causation?* *Journal of the Royal Society of Medicine*, 2015. **108**(1): p. 32-37.
31. Radwin, R.G., W.S. Marras, and S.A. Lavender, *Biomechanical aspects of work-related musculoskeletal disorders*. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 2001. **2**(2): p. 153-217.
32. Gillen, M., *The NIOSH Construction Program: Research to practice, impact, and developing a National Construction Agenda*. *Journal of Safety Research*, 2010. **41**(3): p. 289-299.
33. Frick, K., *Worker influence on voluntary OHS management systems – A review of its ends and means*. *Safety Science*, 2011. **49**(7): p. 974-987.
34. Bas, E., *An integrated quality function deployment and capital budgeting methodology for occupational safety and health as a systems thinking approach: The case of the construction industry*. *Accident Analysis & Prevention*, 2014. **68**: p. 42-56.
35. Gervais, M., *Good management practice as a means of preventing back disorders in the construction sector*. *Safety Science*, 2003. **41**(1): p. 77-88.
36. Kramer, D., et al., *Spreading good ideas: A case study of the adoption of an innovation in the construction sector*. *Applied Ergonomics*, 2009. **40**(5): p. 826-832.
37. Kramer, D.M., et al., *Searching for needles in a haystack: Identifying innovations to prevent MSDs in the construction sector*. *Applied Ergonomics*, 2010. **41**(4): p. 577-584.

38. Hess, J.A., et al., *A participatory ergonomics intervention to reduce risk factors for low-back disorders in concrete laborers*. Applied Ergonomics, 2004. 35(5): p. 427-441.
39. Staff, M.T., *How the crew that built the Shard used magnetic nets to safe safe*, in *Management Today*. 2017, Haymarket Media Group Ltd.
40. Isgren, C., *Vilka utmaningar innebär höghus-byggande?*, S. Betongdagen 17 Oktober, Editor. 2017, Rebet and The Swedish Concrete Association.
41. Valero, E., et al., *Musculoskeletal disorders in construction: A review and a novel system for activity tracking with body area network*. Applied Ergonomics, 2016. 54: p. 120-130.
42. Valero, E., et al., *Analysis of construction trade worker body motions using a wearable and wireless motion sensor network*. Automation in Construction, 2017. 83: p. 48-55.
43. Yan, X., et al., *Wearable IMU-based real-time motion warning system for construction workers' musculoskeletal disorders prevention*. Automation in Construction, 2017. 74: p. 2-11.
44. Kivi, P. and M. Mattila, *Analysis and improvement of work postures in the building industry: application of the computerised OWAS method*. Applied Ergonomics, 1991. 22(1): p. 43-48.
45. Burström, L., et al., *MobilVib2 - Mät vibrationer i arbetet med mobiltelefon*, in *Slutrapport AFA projekt Dnr 140137*. 2016: Umeå Universitet. p. 25.
46. Coenen, P., et al., *Validity and inter-observer reliability of subjective hand-arm vibration assessments*. Applied Ergonomics, 2014. 45(4): p. 1257-1262.
47. Cabeças, J.M. and R.J. Milho, *The efforts in the forearm during the use of anti-vibration gloves in simulated work tasks*. International Journal of Industrial Ergonomics, 2011. 41(3): p. 289-297.
48. Ornstein, H. and W. Uddling, *Vibrationer från handhållna verktyg: En mätstudie av hantverkares vibrationsexponering på byggarbetsplatsen*. 2018.
49. López-Alonso, M., et al., *Comparative analysis of exposure limit values of vibrating hand-held tools*. International Journal of Industrial Ergonomics, 2013. 43(3): p. 218-224.
50. Riddar, J.B., et al., *Hand-armvibrationer och ergonomisk belastning från arbete med stavvibratorer vid betongggjutning*, in *Rapport nr 9, Arbets- och miljömedicin - Syd*. 2016: Medicinsk service, labmedicin, Arbets- och miljömedicin, Lund.
51. Arbetsmiljöverket, *Bedöm risker vid manuell hantering*, in *ADI 627*. 2008: Stockholm.
52. Rempel, D. and A. Barr, *A universal rig for supporting large hammer drills: Reduced injury risk and improved productivity*. Safety Science, 2015. 78: p. 20-24.
53. Rempel, D., A. Barr, and A. Antonucci, *A new test bench system for hammer drills: Validation for handle vibration*. International Journal of Industrial Ergonomics, 2016.
54. Poole, C.J.M., H. Mason, and A.H. Harding, *The relationship between clinical and standardized tests for hand–arm vibration syndrome*. Occupational Medicine, 2016. 66(4): p. 285-291.
55. Health, Safety, and Executive, *Health surveillance for Hand-arm vibration syndrome* in <http://www.hse.gov.uk/vibration/hav/advicetoemployers/havsemployers.pdf>. 2005.

56. Qassem, W., M.O. Othman, and S. Abdul-Majeed, *The effects of vertical and horizontal vibrations on the human body*. Medical Engineering & Physics, 1994. **16**(2): p. 151-161.
57. Shibata, N. and S. Maeda, *Determination of backrest inclination based on biodynamic response study for prevention of low back pain*. Medical Engineering & Physics, 2010. **32**(6): p. 577-583.
58. Tiemessen, I.J., C.T.J. Hulshof, and M.H.W. Frings-Dresen, *An overview of strategies to reduce whole-body vibration exposure on drivers: A systematic review*. International Journal of Industrial Ergonomics, 2007. **37**(3): p. 245-256.
59. Lee, W., et al., *An evaluation of wearable sensors and their placements for analyzing construction worker's trunk posture in laboratory conditions*. Applied Ergonomics, 2017. **65**: p. 424-436.
60. Paquet, V.L., L. Punnett, and B. Buchholz, *Validity of fixed-interval observations for postural assessment in construction work*. Applied Ergonomics, 2001. **32**(3): p. 215-224.
61. Marhavilas, P.K., D. Koulouriotis, and V. Gemeni, *Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000–2009*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2011. **24**(5): p. 477-523.
62. Pinto, A., I.L. Nunes, and R.A. Ribeiro, *Occupational risk assessment in construction industry – Overview and reflection*. Safety Science, 2011. **49**(5): p. 616-624.
63. Zalk, D.M., et al., *Review of Qualitative Approaches for the Construction Industry: Designing a Risk Management Toolbox*. Safety and Health at Work, 2011. **2**(2): p. 105-121.
64. Occhipinti, E. and D. Colombini, *A toolkit for the analysis of biomechanical overload and prevention of WMSDs: Criteria, procedures and tool selection in a step-by-step approach*. International Journal of Industrial Ergonomics, 2016. **52**: p. 18-28.
65. David, G.C., *Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders*. Occupational Medicine, 2005. **55**(3): p. 190-199.
66. Lee, W., et al., *Wearable sensors for monitoring on-duty and off-duty worker physiological status and activities in construction*. Automation in Construction, 2017. **83**: p. 341-353.
67. Chang, F.-L., et al., *Work fatigue and physiological symptoms in different occupations of high-elevation construction workers*. Applied Ergonomics, 2009. **40**(4): p. 591-596.
68. Eaves, S., D.E. Gyi, and A.G.F. Gibb, *Building healthy construction workers: Their views on health, wellbeing and better workplace design*. Applied Ergonomics, 2016. **54**: p. 10-18.
69. Parida, R. and P.K. Ray, *Factors Influencing Construction Ergonomic Performance in India*. Procedia Manufacturing, 2015. **3**: p. 6587-6592.
70. Campbell, R.A., M.R. Janko, and R.I. Hacker, *Hand-arm vibration syndrome: A rarely seen diagnosis*. Journal of Vascular Surgery Cases and Innovative Techniques, 2017. **3**(2): p. 60-62.
71. Handford, M., et al., *Hand-arm vibration syndrome: Workers' experience with functional impairment and disability*. Journal of Hand Therapy, 2017. **30**(4): p. 491-499.

72. Berglund, L., et al., *Risker och säkerhetsarbete i byggbranschen*, in *Kunskapssammanställning 2017:5*. 2017, Luleå tekniska universitet: Arbetsmiljöverket. p. 105.
73. Rose, L.M., U.E. Orrenius, and W.P. Neumann, *Work environment and the bottom line: Survey of tools relating work environment to business results*. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries, 2013. **23**(5): p. 368-381.
74. Hallowell, M., *Cost-effectiveness of construction safety programme elements*. Construction Management and Economics, 2010. **28**(1): p. 25-34.
75. Ikpe, E., F. Hammon, and D. Oloke, *Cost-Benefit Analysis for Accident Prevention in Construction Projects*. Journal of Construction Engineering and Management, 2012. **138**(8): p. 991-998.
76. Sousa, V., N.M. Almeida, and L.A. Dias, *Risk-based management of occupational safety and health in the construction industry–Part 1: Background knowledge*. Safety science, 2014. **66**: p. 75-86.
77. Aminbakhsh, S., M. Gunduz, and R. Sonmez, *Safety risk assessment using analytic hierarchy process (AHP) during planning and budgeting of construction projects*. Journal of safety research, 2013. **46**: p. 99-105.
78. Feng, Y., et al., *Exploring the interactive effects of safety investments, safety culture and project hazard on safety performance: An empirical analysis*. International Journal of Project Management, 2014. **32**(6): p. 932-943.
79. Rechenthin, D., *Project safety as a sustainable competitive advantage*. Journal of Safety Research, 2004. **35**(3): p. 297-308.
80. Brockman, J.L., *The Cost of Interpersonal Conflict in Construction*, in *The Center for Construction Research and Training*. 2012: Silver Spring, MD, USA. p. 40.
81. Oswald, D., F. Sherratt, and S.D. Smith. *AN INVESTIGATION INTO A HEALTH & SAFETY REWARDS SYSTEM ON A LARGE CONSTRUCTION PROJECT*. in *Proceeding of the 33rd Annual ARCOM Conference*. 2017.
82. Musonda, I. and J. Pretorius, *Effectiveness of economic incentives on clients' participation in health and safety programmes*. Journal of the South African Institution of Civil Engineering, 2015. **57**(2): p. 2-7.
83. Yassin, A.S. and J.F. Martonik, *The effectiveness of the revised scaffold safety standard in the construction industry*. Safety Science, 2004. **42**(10): p. 921-931.
84. Simonsson, P. and R. Rwamamara. *Ergonomic exposures from the usage of conventional and self compacting concrete*. in *Annual Conference of the International Group for Lean Construction: 13/07/2009-19/07/2009*. 2009.
85. Rwamamara, R. *Evaluating concrete casting tasks through ergonomic risk assessment methods*. in *World Congress on Ergonomics: 09/08/2009-14/08/2009*. 2009. Chinese Ergonomics Society.
86. Khamees, H.H. and K.H. Alwan, *Självkompakterande betong (SKB) förbättrad arbetsmiljö och konstruktion, (Self-compacting concrete Improved work environment and construction.)*, in *KTH Arkitektur och Samhällsbyggnad*. 2014.
87. Ljunggren, S. and K. Karlsson.
https://vardgivarwebb.regionostergotland.se/pages/295141/M%C3%A4ta%20vibrationer_SL.pdf. 2016.
88. Berlin, C. and C. Adams, *Production ergonomics: Designing Work Systems to Support Optimal Human Performance*. 2017, London: Ubiquity Press.
89. Olofsson, P. *Skanska Sveriges Arbetsmiljöpolicy*.
<https://www.skanska.se/4b10e9/siteassets/om->

- [skanska/hallbarhet/sakerhet/safety-week/skanska-sveriges-arbetsmiljopolicy.pdf](https://www.skanska.se/hallbarhet/sakerhet/safety-week/skanska-sveriges-arbetsmiljopolicy.pdf)
2015.
90. <https://www.av.se/arbetsmiljoarbete-och-inspektioner/arbeta-med-arbetsmiljon/sakerhetskultur---ett-samspel-mellan-manniskor-och-riskstyrning/sa-har-arbetar-olika-foretag-med-sakerhetskultur/>.
91. <https://www.youtube.com/watch?v=V6VXJc-4zwQ>.
92. http://fhvmetodik.se/wp-content/uploads/2016/08/verktygsformul%C3%A4r_trafikljus_intervall_Po%C3%A4ng_Intervall-2016-08-301.pdf.
93. <https://www.afaforsakring.se/globalassets/nyhetsrum/statistik-om-vibrationsskador.pdf>.
94. Gram, A., *Modelling of Bingham Suspensional Flow : Influence of Viscosity and Particle Properties Applicable to Cementitious Materials*, in *TRITA-BKN. Bulletin*. 2015, KTH Royal Institute of Technology: Stockholm. p. xiii, 53.
95. AMV 2014 AFS 2014:26.
96. Sandhal, R., *Ett utökat system med sanktionsavgifter – en lägesbild*. 2017: Arbetsmiljöverket

BILAGA 1. Lagar, Regler och rekommendationer

Byggnads och Anläggningsarbete, AFS 1999-3 med tillägg: AFS 2008:3, AFS 2014:26

I avsnittet Arbetets Utförande / Val av arbetsmetoder och utrustning / 45 § [54], står ”För arbetets utförande skall sådana arbetsmetoder och sådan utrustning väljas som medför låg exponering för buller, vibrationer, farliga ämnen och luftföroreningar...”

I AFS 2008:16 (*kommentar till 5§ punkt 5*) står det ” Vid planering och projektering av arbeten som innebär utbyte av installationer är det viktigt att tänka på att manuellt bilningsarbete bl.a. innebär stor risk för vibrationsskador och risk för belastningsskador. Dessutom alstras skadligt damm. Det är därför lämpligt att välja lösningar som minimerar bilningsarbetet.”

Medicinska kontroller i arbetslivet, AFS 2005:6

Generella regler om medicinska kontroller, 4§. Arbetsgivaren ska oavsett riskbedömningen i 3§ erbjuda arbetstagarna medicinsk kontroll vid e) arbete som innebär exponering för vibrationer enligt 57-62§

Enligt kapitlet ”Arbete med vibrationsexponering” stycket ”Läkarundersökning” skall arbetstagare erbjudas en medicinsk kontroll innan arbete påbörjas med vibrerande utrustning. Den skall omfatta; yrkesanamnes (anamnes = sjukdomshistoria), tidigare sjukdomar, läkemedelsanvändning, tobaksbruk och tidigare anamnes gällande vibrationer. Om arbete innebär belastning på armar och händer skall en riktad undersökning för just det genomföras. Undersökningen skall erbjudas vart tredje år och inte vara äldre än tolv månader. I dag finns dock inget förbud för vibrationsskadad att fortsätta arbeta.

I tillägget 2015:3 har kravet skärpts till att arbetsgivaren ska erbjuda arbetstagarna medicinsk kontroll oavsett riskbedömning vid arbete som innebär exponering för vibrationer.

Vibrationer, AFS 2005:15,

AFS:en om vibrationer är den som är mest utförlig och mycket av det som står i de ovan nämnda kommer från den och frågan om arbetsgivarens ansvar och förebyggande åtgärder är ett genomgående tema. I kapitlet ”Planering av arbetet” sammanfattas allt med ”Arbeten skall planeras, bedrivs och följas upp så att riskerna till följd av exponering för vibrationer minimeras genom att vibrationerna elimineras vid källan eller sänks till lägsta möjliga nivå. Hänsyn skall tas till den tekniska utvecklingen och möjligheterna att begränsa vibrationerna.”

Den pekar på att arbetsgivaren är skyldig att göra en riskbedömning utifrån exponering av vibrationer och att den skall genomföras regelbundet och revideras. Vidare skall extra åtgärder vidtas om vibrationsexponeringen överstiger de insatsvärden som angetts och att arbetsgivaren är skyldig att tillhandahålla arbetskläder som skyddar mot fukt och

kyla. Om gränsvärdena för vibrationsexponering överstiger gränsvärden skall åtgärder omedelbart vidtas så att det inte inträffar i fortsättningen. Arbetsgivaren är dessutom skyldig att säkerställa att arbetstagaren erhållit information och utbildning rörande riskerna och erbjuda medicinska kontroller motsvarande AFS 2005:6 ovan. Vid tecken på vibrationsskador som fastställts av läkare vid medicinska kontroller skall riskbedömningar revideras och åtgärder vidtas, samt erbjuda medicinska kontroller till övriga arbetare som utsatts på liknande sätt av vibrationer.

Ett utökat system med sanktionsavgifter – en lägesbild [96]

Den 1 juli 2014 genomfördes förändringar på arbetsmiljöområdet som innebar att man i stor utsträckning ersatte straffsanktioner med sanktionsavgifter. Syftet med det utökade systemet med sanktionsavgifter var att få en högre efterlevnad, enklare administration och en snabbare reaktion på och en mer kännbar påföljd av överträdelser än tidigare.

I en rapport från Arbetsmiljöverket [96] går man igenom de 700 beslut om sanktionsavgifter som kom in under 2016 (1/7 – 15/11) och vilket utfall de fick i syfte att utvärdera lagen.

Rapporten konstaterar att systemet med sanktionsavgifter haft sina brister under sina första ett och ett halvt år, 2015 och halva 2016. Trots det menar författaren att de nya bestämmelserna gett positiva resultat. Det konstateras att i de fall där sanktionsavgifter tilldömts har domstolarna följt arbetsmiljöverkets rekommendationer och att en samsyn råder nationellt. ”Detta skall jämföras med det gamla systemet med åtalsanmälan där det sällan utdömdes ett straff”, skriver författaren.

En sammanställning av antalet utdömda sanktionsavgifter efter näringsgren återges i TABELL I. en sammanställning till bakomliggande orsak till straffavgift ges i TABELL II. Man ser att den vanligaste orsaken till sanktionsavgift var brist på fallskydd.

TABELL I. Antal sanktionsavgifter per näringsgren 2015.

Näringsgren	Antal sanktionsavgifter
01-03 Jordbruk, skogsbruk och fiske	2
10-33 Tillverkning	65
36-39 Vattenförsörjning; avloppsrening, avfallshantering och sanering	5
41-43 Byggverksamhet	155
45-47 Handel; reparation av motorfordon och motorcyklar	58
49-53 Transport och magasinering	12
55-56 Hotell- och restaurangverksamhet	3
58-63 Informations- och kommunikationsverksamhet	1
68 Fastighetsverksamhet	9
69-75 Verksamhet inom juridik, ekonomi, vetenskap och teknik	5
77-82 Uthyrning, fastighetsservice, resetjänster och andra stödtjänster	9
84 Offentlig förvaltning och försvar; obligatorisk socialförsäkring	3
85 Utbildning	3
Summa	330

TABELL II. Antal sanktionsavgifter per föreskrift och orsak 2016 (1 jan – 15 nov).

Orsak/AFS	1999:3	2003:3	2003:6	2005:3	2005:6	2006:1	2006:3	2006:5	2006:7	2011:19	2012:1	2013:4	2015:2	Summa
Arbetsmiljöplan	16													16
Asbest						28								28
Basmaskin&arb.korg									1					1
Explosionsfarlig miljö		7												7
Fallskydd	146													146
Förarmålan	9													9
Kemiskt ämne										6			18	24
Medicinska kontroller					11									11
Motorkedjesåg											1			1
Ställningar												4		4
Teknisk anordning			26				1							27
Truck								41						41
Trycksatt anordning				28										28
Summa	171	7	26	28	11	28	1	41	1	6	1	4	18	343

Det finns en förteckning över samtliga Föreskrifter och paragrafer gällande sanktionsavgifter att ladda ned från AMV hemsida: <https://www.av.se/globalassets/filer/sanktionsavgifter-foreskrifter-paragrafer-med-sanktionsavgifter.pdf>

Se även AMV's hemsida med länk till Arbetsmiljölagen: <https://www.av.se/arbetsmiljoarbete-och-inspektioner/lagar-och-regler-om-arbetsmiljo/arbetsmiljolagen/>

TABELL III visar vad olika typer av brister i arbetsmiljöarbetet kan kosta.

TABELL III. Föreskrifter med sanktionsavgift, november 2016.

Byggnads- och anläggningsarbete	1999:3	7	Förhandsanmälan	5 000 kr
		8	Arbetsmiljöplan	10 000 kr/ 50 000 kr
		12	Arbetsmiljöplan	10 000 kr/ 50 000 kr
		14	Arbetsmiljöplan	10 000 kr/ 50 000 kr
		60a	Fallskydd	40 000 - 400 000 kr
		92a	Fallskydd	40 000 - 400 000 kr

BILAGA 2. Statistik om arbetsskador och arbetsmiljö

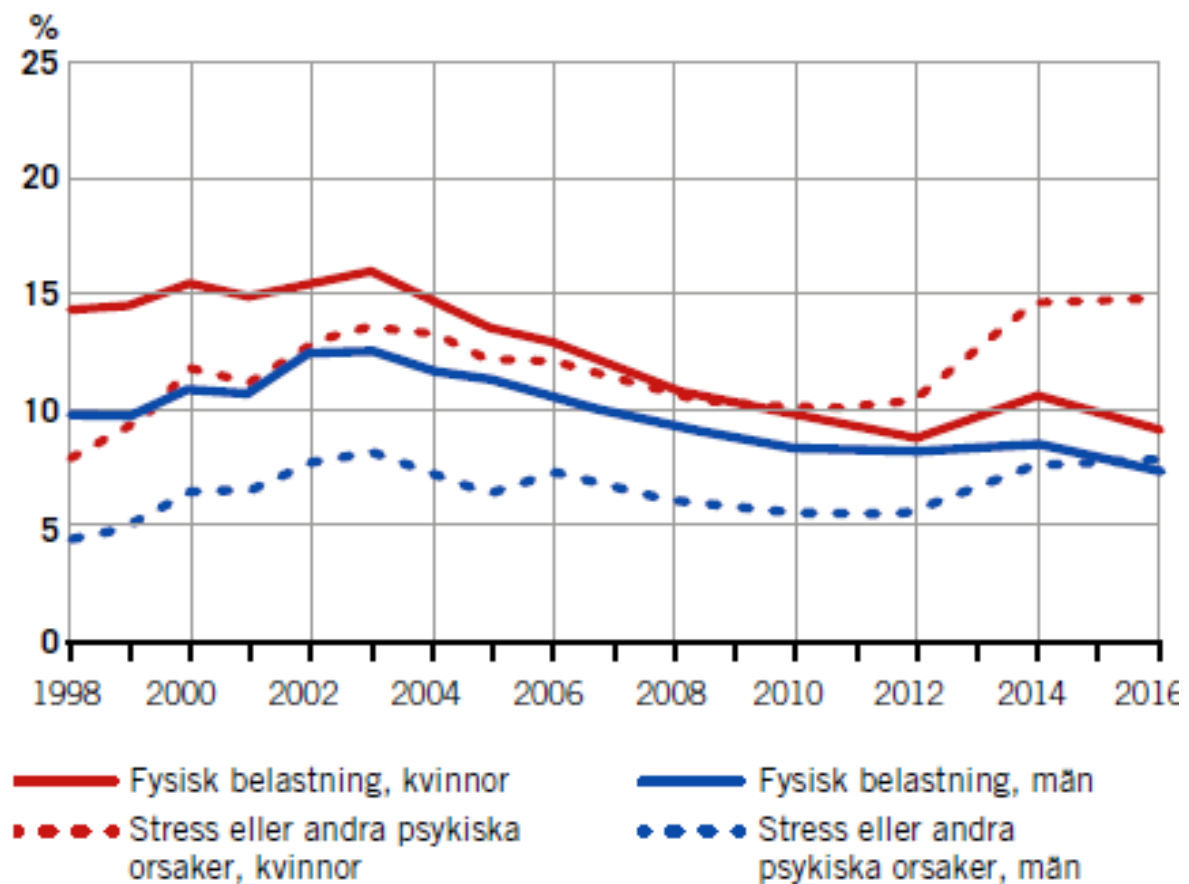
Vibrationsskador vanligaste arbetssjukdomen, artikel i tidningen Arbetsliv 12/10 2016

I artikeln intervjuas Anna Weigelt chef på analysavdelningen på AFA försäkringar. Hon säger att vibrationsskador idag har blivit den vanligaste orsaken till arbetssjukdom och står för 36% av alla godkända arbets-sjukdomsfall

Arbetsmiljöstatistik rapport 2016:3, Arbetsorsakade besvär 2016 [7]

Arbetsmiljöverket har från regeringens och riksdagen i uppdrag att ansvara för den officiella statistiken om arbetsskador och arbetsmiljö. Undersökningarna sker vartannat år under första kvartalet och de år som undersöks är 2014 och 2016. Undersökningarna baseras på telefonintervjuer med sysselsatta i Sverige folkbokförda 16-60 åringar.

I FIGUR I nedan visas att över hela arbetande populationen har ca 7,5% av männen arbetsorsakade besvär.



FIGUR I. Andel sysselsatta kvinnor och män med arbetsorsakade besvär till följd av fysisk belästning respektive stress eller andra psykiska orsaker. Undersökningsår 1998-2016.

Enligt tabellen 1c "Några jämförelser åren 2000 – 2016, Andelen av sysselsatta män." i rapporten [7] kan följande konstateras: Andelen av samtliga sysselsatta män med kroppsliga besvär har minskat från 17,8 år 2000 till 13,2 år 2016. Anledningen till besvären är; buller där en förbättring på över 30% gjorts (1,8% - 0,9%), kyla m.fl. där eventuellt en liten förbättring gjorts från 0,6% till 0,5% $\pm 0,1$ och tung manuell hantering som har minskat med 39%. Däremot så har orsaken "vibrationer" försämrats från 0,2% - 0,3% förvisso med felmarginalen $\pm 0,1$ men det kan även innebära att nuvärdet är 0,4% vilket skulle innebära en fördubbling av orsaken.

Följande tabeller sammanställer statistik från [7] om sjukskrivningar och besvär inom byggnadsbranschen. TABELL IV – XI presenterar besvär och sjukfrånvaro efter yrke och TABELL XII – XIV presenterar besvär och sjukfrånvaro fördelade efter näringsgren.

Besvär och sjukfrånvaro fördelade efter yrke.

TABELL IV. Besvär och sjukskrivningar efter yrke	Besvär senaste 12 mån	Sjukfrånvaro
Byggnadsingenjörer och byggnadstekniker	17,9	1,9
Hantverksarbete inom byggverksamhet och tillverkning	25,9	8,6
Gruv-, bygg- och anläggningsarbete	26,6	9,1
Samtliga sysselsatta	8,9	11,1

TABELL V. Sjukskrivningar av andra orsaker än arbetsolyckor.	Totalt (%)	> 5v. sjukfrånvaro (%)
Byggnadsingenjörer och byggnadstekniker	1,7	-
Hantverksarbete inom byggverksamhet och tillverkning	5,9	2,2
Gruv-, bygg- och anläggningsarbete	6,1	2,4
Samtliga sysselsatta	5,1	2,4

TABELL VI. Besvär pga. fysisk belastning och stress, psykiska påfrestningar.	Fysisk belastning (%)	Stress, psykiska påfrestningar (%)
Byggnadsingenjörer och byggnadstekniker	5,5	9,0
Hantverksarbete inom byggverksamhet och tillverkning	15,1	6,1
Gruv-, bygg- och anläggningsarbete	16,0	5,9
Samtliga sysselsatta	8,9	11,1

<u>TABELL VII.</u> Besvär till följd av påfrestande arbetsställningar och tung manuell hantering.	Påfrestande arbetsställningar (%)	Tung manuell hantering (%)
Byggnadsingenjörer och byggnadstekniker	4,3	1,4
Hantverksarbete inom byggverksamhet och tillverkning	11	8,6
Gruv-, bygg- och anläggningsarbete	11,6	9,8
Samtliga sysselsatta	6,6	4,0

<u>TABELL VIII.</u> Besvär till följd av buller och bildskärmsarbete.	Buller (%)	Bildskärmsarbete (%)
Byggnadsingenjörer och byggnadstekniker		1,6
Hantverksarbete inom byggverksamhet och tillverkning	2,1	-
Gruv-, bygg- och anläggningsarbete	1,9	-
Samtliga sysselsatta	1,2	1,7

<u>TABELL IX.</u> Besvär p.g.a. vibrationer och värme, kyla eller drag.	Vibrationer (%)	Värme, kyla eller drag (%)
Byggnadsingenjörer och byggnadstekniker	-	-
Hantverksarbete inom byggverksamhet och tillverkning	1	0,7
Gruv-, bygg- och anläggningsarbete	1,1	0,8
Samtliga sysselsatta	0,3	0,5

<u>TABELL X.</u> Besvär i hals eller nacke och axel eller arm, Hand, handled fingrar.	Hals / nacke (%)	Axel / arm (%)	Hand, handled fingrar (%)
Byggnadsingenjörer och byggnadstekniker	2,2	2,2	-
Hantverksarbete inom byggverksamhet och tillverkning	3,0	7,2	4,2
Gruv-, bygg- och anläggningsarbete	2,9	7,6	4,2

TABELL X. Besvär i hals eller nacke och axel eller arm, Hand, handled fingrar.	Hals / nacke (%)	Axel / arm (%)	Hand, handled fingrar (%)
Samtliga sysselsatta	3,2	5,2	2,3

TABELL XI. Besvär i rygg eller i höftled, ben och/eller knä.	Rygg (%)	Höftled, ben, knä (%)
Byggnadsingenjörer och byggnadstekniker	4,9	1,7
Hantverksarbete inom byggverksamhet och tillverkning	10,5	3,8
Gruv-, bygg- och anläggningsarbete	11,2	3,8
Samtliga sysselsatta	7,3	2,1

Besvär och sjukfrånvaro fördelade efter näringsgren.

TABELL XII. Besvär till följd av arbetet under de senaste 12 månaderna, respektive varit sjukfrånvarande till följd av besvären, fördelade efter näringsgren.	Besvär %	Sjukfrånvaro %
Byggverksamhet	24,8	8,1
Utbildning	28,4	7,9
Information och Kommunikation	15,7	3,3
Juridik, ekonomi, vetenskap och teknik	17,6	3,3
Samtliga sysselsatta	22,8	6,4

TABELL XIII. Sjukskrivningar av andra orsaker än arbetsolyckor.	Totalt (%)	> 5v. sjukfrånvaro (%)
Byggverksamhet	5,3	1,9
Utbildning	6,8	3,3
Information och Kommunikation	2,9	1,5
Juridik, ekonomi, vetenskap och teknik	2,5	1,1
Samtliga sysselsatta	5,1	2,4

<u>TABELL XIV.</u> Besvär de senaste 12 månaderna från: % av yrkesarbetande	Fysisk belastning	Stress, utmattning	Påfrestande arbetsställningar	Tung manuell hantering	Buller	Bildskärmsarbete	Vibrationer	Värme, kyla eller drag	Hals, nacke	Axel, arm	Hand, handled, fingrar	Rygg	Höftled, ben eller knä
Bygg-verksamhet	13,3	6,4	9,8	7,9	1,6	0,3	1,1	0,6	2,7	9,5	3,4	9,5	3,8
Samtliga sysselsatta	8,9	11,1	6,6	4,0	1,2	1,7	0,3	0,5	3,2	7,3	2,3	7,3	2,1

Allvarliga arbetsskador och sjukfrånvaro – 2016,

AFA försäkring drivs utan vinstintresse på uppdrag av arbetsmarknadens parter och ägs av Svenskt näringsliv, LO och PTK. Deras skadedatabas täcker 90% av den arbetande befolkningen och innehåller drygt 13 miljoner försäkringsärenden. AFA:s statistik har ett fokus på olyckor men även sjukfrånvaro av andra orsaker.

Statistiken visar att antalet män sjukskrivna mindre än 30 dagar har nästan fördubblats mellan åren 2004 och 2014 men antalet sjukskrivna mer än 30 dagar har minskat från 3581 st till 2968 st (17%). Å andra sidan har den medicinska invaliditeten ökat från 3104 st till 3805 st (ökning med 22,6%). På dessa 10 år (2004 – 2014) ca 0,3% av byggnadsarbetarna (0,03%/år), godkändes 376 st arbetssjukdomar för män som arbetar inom betong, bygg- och anläggningsarbete. Fyra sorters besvär står för 78 % av arbetssjukdomarna under perioden från 2004 till 2014. De är hörselnedsättning (24%), vibrationsrelaterade besvär (24%), karpaltunnelsyndrom (17%) och skelettets och rörelseorganens sjukdomar (13%). Andelen sjukskrivna med muskuloskeletala diagnoser har konstant varit ca 40 % under perioden. Medianlängden för sjukskrivningsperioder över 90 dagar har varit konstant på 220 dagar. Statistiken visar också att mediansjukskrivningen för muskuloskeletala sjukdomar bland män är 207 dagar och för sjukdomar i nervsystemet är 329 dagar.

I bilagan "Industrialized construction: benefits using SCC in cast in-situ construction" i [3] beräknades att kostnaden för sjukfrånvaro kunde uppskattas till 6,17 milj. euro under 2004. Kostnaden för varje enskilt fall beräknades till 4600 euro (inkluderat merkostnader).

BILAGA 3. Arbetsmiljöverkets poängsystem för olika verktyg



FIGUR II. Arbetsmiljöverkets diagram för beräkning av insatsvärde vid arbete med vibrerande verktyg.

BILAGA 4. Exponeringspoäng för olika verktyg.

Förteckning över vanliga vibrerande verktyg

Insatsvärde nås efter:

> 2 timmar

30 min - 2 timmar

< 30 min

Gränsvärde nås efter:

> 8 timmar

2 - 8 tim

< 2 tim

Slående verktyg ger vibrationer med slag (höga toppar) som lätt underskattas i standardmätningar.

Insatsvärdet = 100 Poäng

Angivna poäng motsvarar ett genomsnitt för verktygstypen.

Gränsvärdet = 400 Poäng

50 % av verktygstypens vibrationer ligger inom det angivna $\pm$ värdet.

Verktygstyp		Vibrations-poäng/min	Verktygstyp		Vibrations-poäng/min
Bergborr		10 ± 3 P/ min Slag	Gräsklippare		$1,0 \pm 0,6$ P/ min
Bilnings-maskin		8 ± 3 P/ min Slag	Grästrimmer		$0,9 \pm 0,5$ P/ min
Borrhammare		7 ± 3 P/ min Slag	Häcksax		$1,1 \pm 0,6$ P/ min
Bormaskin		$0,6 \pm 0,4$ P/ min	Kapmaskin		$0,9 \pm 0,4$ P/ min
Bormaskin, slående		5 ± 3 P/ min Slag	Mejselhacka		4 ± 2 P/ min Slag
Bult/spikpistol		$1,0 \pm 0,3$ P/ min Slag	Mejsel-hammare		5 ± 3 P/ min Slag
Cirkelsåg		$0,8 \pm 0,3$ P/ min	Motorsåg		$1,2 \pm 0,5$ P/ min
Filmaskin		$0,8 \pm 0,3$ P/ min	Mutterdragare Segdragande		$0,3 \pm 0,1$ P/ min
Fotvårds-instrument		$0,05$ P/ min Högfrekvent	Mutterdragare Slående		$1,7 \pm 0,9$ P/ min Slag
Glasrutekniv		$2,4 \pm 0,9$ P/ min			

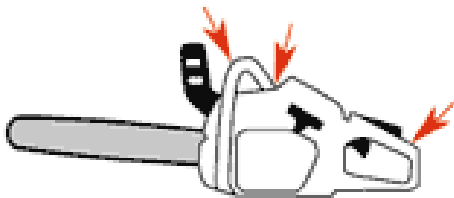
Verktygstyp		Vibrations- poäng/min
Nithammare		$1,2 \pm 0,8 \text{ P/ min}$
Nålhacka		$1,2 \pm 0,5 \text{ P/ min}$
Slipmaskin		$1,4 \pm 0,8 \text{ P/ min}$
Rak slipmaskin/ polermaskin		$1,9 \pm 0,3 \text{ P/ min}$
Ramm		$30 \pm 15 \text{ P/ min}$ Slag
Reglage/Ratt		$0,3 \pm 0,1 \text{ P/ min}$
Röjsåg		$0,7 \pm 0,3 \text{ P/ min}$
Skruvdragare		$0,3 \pm 0,2 \text{ P/ min}$
Spettmaskin		$7 \pm 3 \text{ P/ min}$ Slag

Verktygstyp		Vibrations- poäng/min
Spårslipmaskin		$4 \pm 2 \text{ P/ min}$
Sticksåg		$2,1 \pm 1,1 \text{ P/ min}$
Tandläkarborr		$0,007 \text{ P/ min}$ Högfrekvent
Tandtekniker- instrument		$0,6 \pm 0,5 \text{ P/ min}$ Högfrekvent
Tigersåg		$4 \pm 3 \text{ P/ min}$ slag
Vibratorstamp		$4 \pm 1 \text{ P/ min}$
Vibroplatta		$7 \pm 5 \text{ P/ min}$
Vibrostav		$1 \pm 0,9 \text{ P/ min}$
Vinkelslip- maskin		$1,0 \pm 0,6 \text{ P/ min}$

BILAGA 5. Teknisk beräkning av hand-arm vibrationer

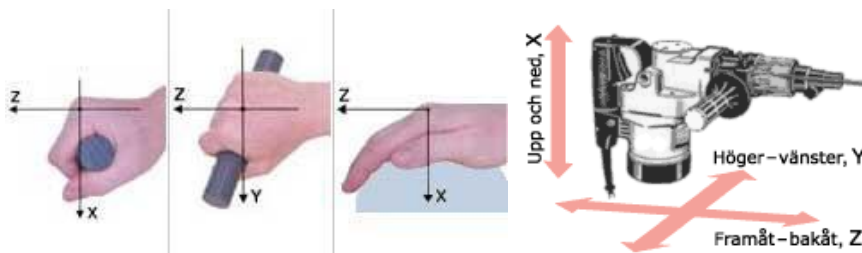
Enligt Arbetsmiljöverkets föreskrift om vibrationer (AFS 2005:15) ska mätning av hand-arm vibrationer göras enligt standarden SS-EN ISO 5349, som består av två delar. Del 1 omfattar generella krav och del 2 praktisk vägledning för arbetsplatsmätningar.

Mätgivaren är oftast en så kallad accelerometer. Vid mätning placeras accelerometern i handens omedelbara närhet. I FIGUR III finns exempel på olika rekommenderade mätpositioner för en motorsåg. I standarden SS-EN ISO 5349-2 finns fler exempel. Accelerometern ska monteras på den vibrerande ytan så stabilt som möjligt. Det sker bäst med skruv eller lim. På cylindriska handtag kan det vara en fördel att använda någon form av slangklämma för montering. Exempel på detta ges också i samma standard.



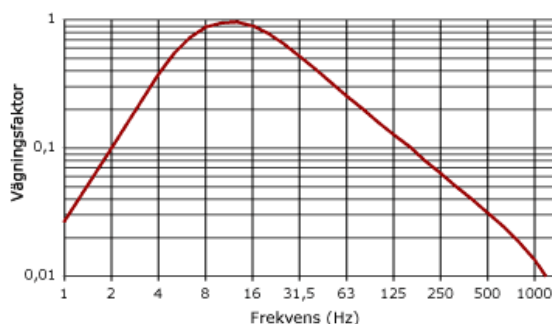
Figur III. Exempel på mätpunkter

Standarden beskriver att vibrationer ska mätas inom ett frekvensområde av minst 5 Hz till 1500 Hz. Mätningar skall utföras på maskinhandtaget när maskinen används på ett normalt sätt. Vidare skall mätningen göras i tre mot varandra vinkelräta riktningar (x, y och z), se FIGUR IV.



FIGUR IV. Definition av mätriktningar för hand-arm vibrationer.

Uppmätta värden i de olika riktningarna ska därefter ”frekvensvägas”. Inom frekvensområdet under 20 Hz sker ingen nämndvärd vägning av uppmätt acceleration medan för högre frekvenser blir vägningen kraftigare, FIGUR V.



FIGUR V. Frekvensvägning för hand-arm vibrationer.

Vid mätningar av vibrationer är det den frekvensvägda accelerationen i m/s^2 uttryckt som effektivvärde för summan av de tre vibrationsriktningarna som ska bestämmas. Mättiden för att bestämma hand- och arm vibrationer bör inte understiga 1 minut för varje arbetsoperation.

Mätning av vibrationer kan ske med exempelvis direktvisande instrument som har inbyggda funktioner för frekvensvägning, och medelvärdesbildning. Vid mätning av vibrationer är det viktigt att all osäkerhet i mätresultaten minimeras. Utrustning ska kalibreras före och efter mätningen med en kalibrator som ger en vibration med känd storlek och frekvens.

Referenser:

Arbetsmiljöverkets föreskrift, AFS 2005:15 Vibrationer.

Vibrationer i arbetet - hur du minskar risken för skador, H395. Arbetsmiljöverket, 2005.

SS-EN ISO 5349-1 Vibration och stöt – Mätning och bedömning av vibrationer som överförs till handen – Del 1: Allmänna riktlinjer, Utgåva 1 (2001).

SS-EN ISO 5349-2 Vibration och stöt – Mätning och bedömning av vibrationer som överförs

till handen – Del 2: Praktiska riktlinjer för mätning vid arbetsplats, Utgåva 1 (2001)

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,200 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 200 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB
Box 5608, 114 86 STOCKHOLM
Telefon: 010-516 50 00
E-post: info@ri.se, Internet: www.ri.se

CBI Betonginstitutet
RISE Rapport 2019:69
ISBN: