

Ergonomisk Flexibilitet

Potentiale for læring af god praksis gennem tekniske målinger i byggebranchen

Jonas Ørts Vinstrup, Rúni Bláfoss, Mikkel Brandt Petersen, Lars Louis Andersen & Markus Due Jakobsen

AMFF rapport

Titel	Ergonomisk Fleksibilitet
Undertitel	Potentiale for læring af god praksis gennem tekniske målinger i byggebranchen
Forfattere	Jonas Ørts Vinstrup, Rúni Bláfoss, Mikkel Brandt Petersen, Lars Louis Andersen & Markus Due Jakobsen
Udgiver(e)	Det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø (NFA)
Udgivet	April 2025
Finansiell støtte	Projektet er støttet af Arbejdsmiljøforskningsfonden med en bevilling til Professor Lars Louis Andersen (sagsnummer: J.nr. 43-2021-09 20205100700)
ISBN	87-7904-xxx-x (udfyldes af Forskningssekretariatet ved færdiggørelse af layout)
Internetudgave	nfa.dk

Det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø

Lersø Parkallé 105
2100 København Ø
Tlf.: 39165200
Fax: 39165201
e-post: nfa@nfa.dk
Hjemmeside: nfa.dk

Forord

Vi har i et tidligere støttet AMFF-projekt identificeret en række fysisk betonede arbejdsopgaver og -situationer inden for byggebranchen. Dette har allerede ført til udvikling af en ny type elektrisk stenklipper, som markant nedsætter belastningen på arm og skulder. Vi er samtidig opmærksomme på, at samme arbejdsopgaver ofte løses på vidt forskellige måder, herunder i forhold til:

- Hvilket hjælpemiddel der anvendes (lift, stenklipper, manuel eller elektrisk udkørsel af sten, eller manglende brug),
- Hvordan arbejdet er organiseret, eks. om man er én eller flere personer til udførsel af tunge arbejdsopgaver,
- Hvilken løfteteknik der anvendes (eks. om flere elementer løftes på én gang eller byrden deles op i mindre enheder, eller om der overvejende løftes med ryggen eller benene).
- Og slutteligt; i hvilken grad arbejdsopgaverne kan løses på flere forskellige hensigtsmæssige måder med henblik på at undgå gentagne, ensartede og tunge belastninger, men i stedet opnå en grad af *Ergonomisk Fleksibilitet* i arbejdet.

Denne fleksibilitet i måden at udføre samme arbejdsopgave på var ikke et fokus i det oprindelige projekt, men efter dialog med en række praktikere og interessenter, er det blevet klart, at der ligger et enormt inspirations-, lærings- og muligt forebyggelsespotentiale i dette.

Visionen er, at en øget grad af *Ergonomisk Fleksibilitet* på sigt bliver en integreret og naturlig del af den måde man tilrettelægger og udfører sundt og sikkert arbejde på inden for brancher karakteriseret ved fysisk krævende arbejde, og at det på længere sigt bidrager til at forebygge smerter og sygefravær.

*Projektet bidrager til de **nationale mål** ift. at begrænse væsentlige fysiske belastninger, samt til BFA bygge-anlægs plan om at gennemføre arbejdspladsnære aktiviteter, der kan understøtte de nationale mål.*

God læselyst.

Jonas Ørts Vinstrup, Rúni Bláfoss, Mikkel Brandt Petersen, Lars Louis Andersen & Markus Due Jakobsen

Indhold

Indhold

Forord.....	3
Indhold.....	4
Sammenfatning.....	6
Summary	9
Baggrund	12
Ergonomisk arbejdsmiljø og helbred.....	12
Ergonomisk Fleksibilitet.....	12
Fra målinger af fysisk belastning til Ergonomisk Fleksibilitet.....	13
Vision: Mod en mere fleksibel ergonomisk tilgang i byggebranchen.....	14
Metoder.....	16
Datagrundlag	16
Re-analyse af eksisterende data.....	17
Statistisk analyse.....	18
Face validity og praktisk relevans.....	18
Faktaark	19
Resultater	20
Stenklip	21
Face validity – Stenklip.....	21
Skub af stenvogn	22
Face validity – Skub af stenvogn.....	22
Skub af trillebør	22
Face validity – Skub af trillebør.....	23
Vibrering af beton – nedsækning af vibrator	23
Face validity – Vibrering af beton – nedsækning af vibrator.....	24
Vibrering af beton – Træk af vibrator	24
Face validity – Vibrering af beton – træk af vibrator	25
Kranarbejde (skub af materiel)	25
Face validity – Kranarbejde.....	26
Face validity - Opsummering	26
Diskussion	29
Ergonomisk Fleksibilitet som alternativ til traditionelle ergonomiske tilgange	29

Teknologiske fremskridt og deres betydning for fysisk belastning i byggebranchen...	29
Ergonomisk Fleksibilitet i praksis: Muligheder og begrænsninger	30
Barrierer for implementering.....	30
Individuelle forskelle og træningsbehov	31
Konklusion og perspektivering.....	31
Ergonomisk Fleksibilitet som en ny tilgang til arbejdsmiljøet.....	31
Implementeringsudfordringer og fremtidige muligheder	32
Betydning for arbejdsmiljøet.....	33
Referencer	34

Sammenfatning

Baggrund & Formål

Høje fysiske belastninger i arbejdet udgør fortsat en væsentlig udfordring i arbejdsmiljøet og medfører øget risiko for muskel- og skeletbesvær samt tab af arbejdsevne. Dette gør sig også gældende i byggebranchen under murer- og betonarbejde, som er kendetegnet ved hyppige og tunge løft, og hvor en stor del af medarbejderne har smerter i kroppen.

I mange år har man inden for fysisk betonede jobgrupper lavet initiativer for at mindske de fysiske belastninger i arbejdet (fx ift. hvor meget man løfter i løbet af dagen). På samfundsplan kan man dog ikke observere, at det har haft nogen effekt på antallet af arbejdstagere, der oplever at have smerter i kroppen. Dette indikerer, at de hidtidige initiativer enten ikke har været effektfulde eller implementeret i tilstrækkelig grad. Inden for stillesiddende arbejde er det anerkendt, at *"den bedste arbejdsstilling er den næste"*. I modsætning er den ergonomiske tilgang til manuelt arbejde stadig, at der findes én korrekt måde at udføre en bestemt arbejdsopgave på. Sidstnævnte påstand vil vi gerne udfordre med et nyt koncept:

***Ergonomisk Fleksibilitet** udtrykker muligheden for at udføre samme opgave på flere forskellige hensigtsmæssige måder, hvor ensformigt, gentaget og tungt arbejde minimeres.*

Formålet med projektet var derfor at udforske *Ergonomisk Fleksibilitet* ud fra arbejdsopgaver i byggebranchen gennem avancerede dataanalyser. Målet var at undersøge, om det er muligt at identificere flere forskellige hensigtsmæssige måder at udføre den samme arbejdsopgave på.

Metoder

Selv med nøje observationer og et indgående kendskab til arbejdsopgaver og arbejdsgange er det en kompleks og omfattende opgave at identificere forskellige hensigtsmæssige måder at udføre den samme arbejdsopgave på.

For at adressere denne udfordring anvendte vi eksisterende data fra tekniske målinger af 80 mureres og betonarbejderes arbejdsdage. Ved hjælp af cluster-analyser undersøgte vi, om der kunne identificeres mønstre i dataene, der afspejler forskellige relevante og ergonomisk hensigtsmæssige – og uhensigtsmæssige – måder at udføre arbejdet på. På sigt kan denne tilgang muliggøre automatiske analyser baseret på enkle tekniske målinger af arbejdsopgaver, hvilket kan bidrage til at kortlægge og fremme ergonomisk fleksibilitet i praksis.

Det anvendte data indeholdt videooptagelser og tilhørende data med muskelaktivitet og bevægelser af alle arbejdsopgaver kategoriseret efter type (hovedopgave), arbejdsøjde, byrde, placering og arbejdsstand. For hver af de 665 fundne arbejdsopgaver, anvendte vi cluster-analyser af medarbejdernes bevægelser til at identificere de forskellige måder at løse samme opgave på. Afslutningsvis gennemførte vi en workshop med praktikere til at vurdere, hvilke af de forskellige identificerede måder at løse arbejdsopgaverne på, der rent faktisk ville være praktiske ude på byggepladserne, og hvad der skal til for at opnå ergonomisk fleksibilitet i et stadigt stigende antal arbejdsopgaver.

Resultater

I alt blev 13.373 arbejdsituationer identificeret, hvoraf 98 hovedopgaver optrådte mindst 100 gange. Disse blev yderligere opdelt i 665 underopgaver efter faktorer som højde, byrde og placering. Cluster-analyserne viste, at 80 arbejdsopgaver kunne udføres på flere forskellige måder. Ved at gennemgå videooptagelser af de cluster-inddelte arbejdsopgaver udvalgte vi seks opgaver til at demonstrere potentialet for ergonomisk fleksibilitet. Disse opgaver var: 'Stenklip', 'Skub af stenvogn', 'Skub af trillebør', 'Vibrering af beton - Nedsænkning', 'Vibrering af beton - Træk' og 'Kranarbejde'.

Vi identificerede tre forskellige måder at udføre stenklip på, hvor brug af manuel stenklipper på hhv. jord og trillebør var hensigtsmæssige, mens brug af hammer til at flække sten var uhensigtsmæssig. Vi fandt, at skub af stenvogn kunne udføres på to forskellige måder. Her viste den ene måde sig primært at indebære brug af elektriske vogne, hvilket reducerede muskelbelastningen. Skub af trillebør viste, at kørsel på stillads kræver højere muskelaktivitet end på jord, mens nedsænkning af slange vibrering af beton viste, at brug af armeringsjern til at glide slangen på kan reducere belastningen, mens hjælp fra en kollega ved træk af vibratorslangen reducerede belastningen. Kranarbejde blev analyseret med to metoder inden for ergonomisk fleksibilitets-begrebet, hvor placeringen af hænderne påvirkede muskelaktivitet og bevægelse.

I workshoppen kom det frem, at flere af de målte arbejdsopgaver sidenhen er blevet teknologisk optimerede, og at faktaark med relevante, opdaterede arbejdsmetoder kan hjælpe virksomheder med at implementere ergonomiske løsninger. En fleksibel ergonomisk tilgang blev fremhævet som en vigtig faktor for at imødekomme forskellige arbejdsforhold og medarbejders fysiske kapacitet.

Konklusioner

Dette projekt har undersøgt konceptet *Ergonomisk Fleksibilitet* ud fra arbejdsopgaver i byggebranchen gennem detaljerede dataanalyser og cluster-analyser. De detaljerede analyser viste, at vi kunne identificere flere forskellige måder at udføre samme opgave på i godt 12% af alle de 665 arbejdsopgaver. Projektet fremhæver seks eksempler på arbejdsopgaver, der illustrerer ergonomisk fleksibilitet: stenklipek, skub af stenvogn, skub af trillebør, vibrering af beton på to forskellige måder og kranarbejde. Resultaterne viser, at selvom der kan identificeres flere forskellige hensigtsmæssige måder at udføre disse opgaver på, har udførelsesmetoden, valget af hjælpemidler og den anvendte teknik en væsentlig indflydelse på muskelbelastningen. Dette understreger potentialet i at skabe variation i arbejdet gennem ergonomisk fleksibilitet. Workshoppene med praktikere understregede, at flere af de traditionelle arbejdsmetoder er blevet erstattet af nye teknologiske løsninger, særligt elektriske stenklypere og stenvogne, hvilket har mindsket behovet for manuel håndtering. Praktikerne påpegede dog, at der stadig findes situationer, hvor manuel arbejdsudførelse er nødvendig, og at fleksibilitet i ergonomiske strategier er vigtig. Projektets resultater understøtter ideen om, at der ikke findes én korrekt ergonomisk løsning, men at fleksibilitet i valg af arbejdsmetoder kan have betydning ift. at øge variationen i arbejdet og mindske den fysiske belastning. Slutteligt viser projektet, at den anvendte metode (cluster-analyse) er velegnet til at identificere forskellige hensigtsmæssige måder at løse samme arbejdsopgaver på.

Perspektivering

Projektet har fremhævet potentialet bag *Ergonomisk Fleksibilitet* i byggebranchen ved at identificere flere forskellige måder at udføre samme arbejdsopgaver på ved brug af komplicerede dataanalyser (cluster-analyser) på et stort datasæt. Teknologiske fremskridt har medført væsentlige forbedringer, men den praktiske implementering af fleksible ergonomiske løsninger er fortsat en udfordring. For at opnå en mere bæredygtig tilgang til ergonomi bør fremtidige studier fokusere på, hvordan arbejdspladser kan integrere fleksibilitet i daglig praksis. Desuden er der et behov for at identificere barrierer og drivkræfter for adoptionen af nye arbejdsmetoder, særligt i små virksomheder med begrænsede ressourcer. Ved brug af arbejdspladsmålinger med let tilgængelige bevægelsessensorer vil disse analyser kunne anvendes i andre brancher med høj fysisk belastning, såsom sundhedssektoren eller transportbranchen for at identificere arbejdsopgaver med stort variationspotentiale. Endelig kan udviklingen af digitale værktøjer og faktaark spille en central rolle i at udbrede viden om ergonomisk fleksibilitet og hjælpe medarbejdere og ledere med at træffe informerede beslutninger om arbejdsmetoder og hjælpemidler.

Summary

Background & Objective

High physical workloads in labor-intensive occupations remain a significant occupational health challenge, increasing the risk of musculoskeletal disorders and loss of work ability. This issue is particularly prevalent in the construction sector, especially among masons and concrete workers, who frequently perform heavy lifting, leading to a high prevalence of pain among employees.

For years, initiatives have been introduced to reduce physical strain in physically demanding jobs, such as limiting the total daily lifting load. However, at the societal level, no clear impact has been observed in reducing the number of workers experiencing bodily pain. This suggests that previous initiatives have either been ineffective or insufficiently implemented. In sedentary work, it is well recognized that *"the best working position is the next one"*. In contrast, the ergonomic approach to manual labor is still based on the assumption that there is one correct way to perform a specific task. This assumption is challenged by a new concept:

***Ergonomic Flexibility** refers to the ability to perform the same task in multiple appropriate ways, minimizing monotonous, repetitive, and heavy work.*

The purpose of this project was therefore to explore Ergonomic Flexibility in the construction industry through advanced data analysis, investigating whether it is possible to identify multiple appropriate ways of performing the same task.

Methods

Even with careful observations and detailed knowledge of work tasks and workflows, identifying different appropriate ways of performing the same task is a complex and extensive task. To address this challenge, we employed existing data from technical measurements during workdays of 80 masons and concrete workers. Using cluster-analyses, we examined whether patterns in the data could reflect different relevant and ergonomically appropriate – and inappropriate – ways to perform work tasks. Ultimately, this approach may enable automatic analyses based on simple technical measurements of tasks, facilitating mapping and promoting ergonomic flexibility in practice.

The employed data comprised video recordings and associated data on muscle activity and movements of all work tasks categorized by type (main task), work height, load, location, and object type. For each of the 665 identified subtasks, cluster-analyses of workers' movements were conducted to identify different ways of performing the same

task. Finally, a workshop with practitioners assessed the practical feasibility of the identified task execution methods and discussed what would be required to achieve ergonomic flexibility in an increasing number of tasks.

Results

A total of 13,373 work situations were identified, of which 98 main tasks occurred at least 100 times. These were further divided into 665 subtasks based on factors such as height, load, and location. Cluster-analyses indicated that 80 tasks could be performed in multiple ways. By reviewing video recordings of the clustered tasks, we selected six tasks to demonstrate the potential for ergonomic flexibility. These tasks were: "Stone cutting," "Pushing a stone cart," "Pushing a wheelbarrow," "Concrete vibration – Insertion," "Concrete vibration – Pull," and "Crane work."

We identified three different ways to perform stone cutting where the use of a manual stonecutter on the ground and a wheelbarrow represented two appropriate ways, respectively, while using a hammer represented an inappropriate way. Pushing a stone cart could be performed in two ways, one primarily involving electric carts, which reduced muscle strain. Pushing a wheelbarrow showed that work on scaffolding requires higher muscle activity than on the ground. Insertion of the vibrator hose during concrete vibration demonstrated that using rebar to slide the hose could reduce physical strain, while receiving help from a colleague when pulling the vibrator hose reduced muscle strain. Crane work was analyzed using two ergonomic flexibility methods, showing that hand positioning influenced muscle activity and movement.

The workshop confirmed that several measured tasks have since been technologically optimized and that fact sheets with relevant, updated work methods can help companies implement ergonomic solutions. A flexible ergonomic approach was highlighted as essential for accommodating diverse work conditions and employee capacities.

Conclusion

This project explored the concept of Ergonomic Flexibility in the construction industry through detailed data and cluster-analyses. Detailed analyses demonstrated that we could identify multiple appropriate ways of performing the same task in approximately 12% of all 665 tasks. The project highlights six examples demonstrating ergonomic flexibility: stone cutting, pushing a stone cart, pushing a wheelbarrow, concrete vibration (two methods), and crane work. Results indicate that although multiple appropriate ways to perform tasks were identified, the execution method, choice of assistive tools, and applied techniques significantly influence muscle strain. This underlines the potential to create variation in work through ergonomic flexibility.

The workshop with practitioners emphasized that several traditional work methods have been replaced by technological innovations, particularly electric stonecutters and stone carts, reducing the need for manual handling. However, practitioners noted that manual execution is still necessary in some situations, making flexibility in ergonomic strategies essential. Results support the idea that no single ergonomic solution is universally correct, and flexibility in task execution methods is crucial for reducing strain and preventing injuries. Finally, the project demonstrates that cluster-analysis is suitable for identifying different ways of performing the same tasks.

Perspectives

This project highlighted the potential of *Ergonomic Flexibility* in the construction industry by identifying multiple ways of performing the same tasks using advanced data analyses (cluster-analyses) on a large dataset. Technological advances have brought significant improvements, but the practical implementation of flexible ergonomic solutions remains challenging. Future studies should focus on integrating flexibility into daily practice. Additionally, there is a need to identify barriers and drivers for adopting new methods, especially in small businesses with limited resources. Analyses using workplace measurements with accessible motion sensors could be applied to other physically demanding sectors, such as healthcare or transportation, to identify tasks with high potential for variation. Finally, developing digital tools and fact sheets could be crucial in spreading knowledge about ergonomic flexibility, helping employees and managers make informed decisions regarding work methods and assistive tools.

Baggrund

Ergonomisk arbejdsmiljø og helbred

Muskel- og skeletbesvær er en af de største arbejdsmiljømæssige udfordringer, særligt i brancher med høje fysiske belastninger. Disse belastninger kan medføre nedsat arbejdssevne, længerevarende smerter og øget risiko for sygefravær. Ifølge overvågningsdata fra *Arbejdsmiljø & Helbred* (2012-2018) har fysisk krævende arbejde fortsat en signifikant negativ indvirkning på arbejdssevnen i Danmark (Andersen, Vinstrup, et al., 2021). Samme tendens ses i andre europæiske lande, hvor høj fysisk belastning ofte er forbundet med forringet helbred og øget risiko for arbejdsrelaterede lidelser (European Agency for Safety and Health at Work. et al., 2019).

Byggebranchen er blandt de mest udsatte sektorer, hvor særligt murer- og betonarbejde indebærer gentagne tunge løft, ugunstige arbejdsstillinger og fysisk krævende bevægelser. Ifølge data fra *Arbejdsmiljø & Helbred 2018* udfører 64% af betonarbejdere og 83% af murere løftearbejde i mindst en fjerdedel af deres arbejdstid, hvilket er markant højere end gennemsnittet på 30% for danske lønmodtagere (NFA, 2018). Nye tal fra *Den Nationale Overvågning af Arbejdsmiljøet blandt Lønmodtagere* (Arbejdstilsynet, 2023) i Danmark viser, at tendensen fortsat er gældende. Desuden overstiger vægten af et typisk løft 16 kg for henholdsvis 36% af betonarbejderne og 43% af murerne, mens det generelle gennemsnit for danske arbejdstagere er 13% (NFA, 2018).

Den høje fysiske belastning afspejles også i den høje forekomst af smerter. Data viser, at 44% af betonarbejdere og 47% af murere rapporterer smerter flere gange ugentligt (NFA, 2018). Langvarig eksponering for gentagne løft og arbejde med armene over skulderhøjde øger risikoen for sygefravær og udvikling af kroniske smerter i ryg, nakke og skuldre (Andersen, Pedersen, et al., 2021; Andersen, Vinstrup, et al., 2021). Disse tendenser understreger behovet for nye ergonomiske tilgange, der kan reducere belastningen og skabe bedre arbejdsvilkår.

Ergonomisk Fleksibilitet

Inden for stillesiddende arbejde er det veldokumenteret, at variation er nøglen til et sundere arbejdsmiljø – den bedste arbejdsstilling er den næste. I modsætning hertil har den ergonomiske tilgang til manuelt arbejde traditionelt været baseret på antagelsen om, at der findes én optimal metode til at udføre en arbejdsopgave. I dette projekt vil vi, som nævnt indledningsvis, udfordre denne antagelse ved at undersøge konceptet

‘ergonomisk fleksibilitet’. Teknologiske fremskridt har hertil gjort det muligt at måle fysiske arbejdskrav mere præcist end tidligere. Gennem tekniske målinger såsom muskelaktivitet, bevægelsesanalyser og video kan man få detaljeret indsigt i arbejdsbelastningen over en hel arbejdsdag (Brandt et al., 2018; Jakobsen et al., 2014; Samani et al., 2012; Vinstrup et al., 2020a).

I et tidligere projekt, *"Deltagerinvolverende intervention mod fysiske risikofaktorer for muskel- og skeletbesvær i byggebranchen"*, blev heldagsmålinger af muskelaktivitet, bevægelsesmønstre og videooptagelser anvendt til at kortlægge arbejdets fysiske belastninger i byggebranchen (Brandt et al., 2018). Undersøgelsen førte blandt andet til udviklingen af en elektrisk stenklipper, der markant reducerede belastningen på arme og skuldre, hvilket forbedrede arbejdsvilkårene for murere (Brandt et al., 2020).

Et efterfølgende AMFF-støttet projekt, *"Omsætning af tekniske målinger til konkret og brugbar viden om fysiske belastninger i byggebranchen"*, kategoriserede alle arbejdsopgaverne fra ovenstående projekt efter type (hovedopgave), arbejdshøjde, byrde, placering og arbejdsgenstand og fandt også, at identiske arbejdsopgaver ofte blev løst på forskellige måder, afhængigt af en række faktorer såsom:

- **Hjælpemidler** (fx brug af lift, manuel eller elektrisk stenklipper).
- **Arbejdsorganisering** (fx hvorvidt en eller flere personer udfører tunge opgaver sammen).
- **Forflytningsteknikker** (fx om byrden opdeles i mindre enheder, eller om der primært løftes med ryggen eller benene).
- **Variationsmuligheder** (fx om arbejdsopgaverne kan udføres på flere forskellige måder for at undgå gentagne og ensartede belastninger og dermed opnå ergonomisk fleksibilitet)

Disse fund indikerer et potentiale for at undersøge, hvordan et større udvalg af fremgangsmåder til at udføre den enkelte opgave kan bidrage til ergonomisk fleksibilitet. Når medarbejdere har flere hensigtsmæssige metoder at vælge imellem, skabes mulighed for variation i arbejdet, hvilket kan reducere ensidig belastning og understøtte mere skånsomme og varierede arbejdsgange.

Fra målinger af fysisk belastning til Ergonomisk Fleksibilitet

En af de mest værdifulde anvendelser af tekniske målinger er deres potentiale til at identificere *alternativer* til belastende arbejdsmetoder. Inden for fysisk krævende erhverv er arbejdsopgaver sjældent identiske fra person til person – forskellige medarbejdere udvikler egne strategier afhængigt af fysiske forudsætninger, erfaring og de

hjælpemidler, der er til rådighed. Dette åbner op for en ny måde at tænke ergonomi på: i stedet for at søge én "korrekt" måde at udføre en arbejdsopgave på, bør man undersøge, om der findes flere *hensigtsmæssige* måder at udføre den på, som alle kan reducere belastningen.

Tekniske målinger gør det muligt at sammenligne forskellige arbejdsmetoder og vurdere, hvilke der er mest skånsomme. Hvis der identificeres flere ligeværdige løsninger, kan medarbejderne have større frihed til at variere deres arbejdsstillinger og teknikker – hvilket netop er kernen i *Ergonomisk Fleksibilitet*.

Den traditionelle tilgang til ergonomi har ofte haft fokus på at eliminere skadelige arbejdsmetoder, men nyere forskning understøtter, at variation i arbejdsbevægelser og belastninger kan være mindst lige så vigtig for at forebygge skader (Jun et al., 2017).

Ved at bruge tekniske målinger til at identificere ergonomisk fleksibilitet kan vi ikke blot finde de arbejdsopgaver, der er særligt belastende, men også udvikle strategier for, hvordan de kan udføres mere varieret og skånsomt. Dette perspektiv har potentiale til at ændre den måde, ergonomiske interventioner designes og implementeres på, særligt i brancher med høj fysisk belastning såsom bygge- og anlægsbranchen.

Vision: Mod en mere fleksibel ergonomisk tilgang i byggebranchen

Traditionelt har ergonomiske strategier haft fokus på at eliminere u hensigtsmæssige arbejdsmetoder og fastlægge den "korrekte" måde at udføre en opgave på. Denne tilgang har ført til udviklingen af forskellige tekniske hjælpemidler og retningslinjer, der har reduceret belastningen i mange brancher. Dog viser forskning, at ensidige ergonomiske løsninger kan have begrænsninger, da arbejdet ofte ikke er statisk, men derimod påvirket af kontekstuelle faktorer såsom arbejdsforhold, individuelle forskelle, tilgængelige hjælpemidler og organisatoriske rammer.

Dette projekt introducerer *Ergonomisk Fleksibilitet* som et nyt perspektiv på fysisk arbejde, hvor der ikke nødvendigvis findes én optimal metode, men snarere flere hensigtsmæssige måder at udføre en opgave på. Visionen er at ændre måden, hvorpå ergonomi tænkes og implementeres i byggebranchen og beslægtede erhverv, samt at give medarbejderne mere frihed til at løse arbejdsopgaverne ergonomisk hensigtsmæssigt.

Fra fastlåste løsninger til fleksible strategier

I stedet for at pålægge en universel "korrekt" arbejdsmetode, sigter denne tilgang derfor mod at:

1. **Identificere og dokumentere flere ergonomisk hensigtsmæssige måder at udføre de samme opgaver på** – således at medarbejdere kan tilpasse deres arbejdsmetoder efter behov.
2. **Understøtte variation i arbejdsbevægelser og stillinger** – da dynamik og fleksibilitet i arbejdet kan reducere belastning og forebygge smerter.
3. **Undgå u hensigtsmæssige høje fysiske belastninger** - da metoden også afslører, om en bestemt måde at udføre arbejdet på medfører unødige høje belastninger.
4. **Integrere teknologiske hjælpemidler i praksis** – ved at vurdere, hvordan nye teknologier som fx elektriske stenvogne kan understøtte fleksible arbejdsmetoder.
5. **Fremme viden og praksisnær læring i byggebranchen** – gennem faktaark og vejledninger, der gør det lettere for virksomheder og medarbejdere at implementere ergonomisk fleksibilitet i dagligdagen.

På sigt er målet, at *Ergonomisk Fleksibilitet* bliver en integreret del af planlægningen og udførelsen af fysisk krævende arbejde. Hvis arbejdspladser i højere grad anerkender og fremmer variation i arbejdsopgaver, kan det bidrage til:

- **Forebyggelse af muskel- og skeletbesvær** ved at mindske ensidige, gentagne og tunge belastninger og give medarbejdere mulighed for at vælge mindre belastende arbejdsmetoder og skifte mellem arbejdsmetoder.
- **Reduceret sygefravær og længere arbejdsliv** gennem bedre tilpasning af arbejdsopgaver til den enkeltes kapacitet.
- **Øget produktivitet og arbejdsglæde** ved at give medarbejdere større autonomi til at tilrettelægge deres arbejdsopgaver på en måde, der passer til deres fysiske formåen og erfaring, samtidig med at de kan opnå større variation i arbejdet.
- **Bedre implementering af nye teknologier** ved at undersøge, hvordan innovationer kan understøtte fleksibilitet frem for blot at erstatte manuelle processer.

Denne vision understøtter de nationale arbejdsmiljømål om at reducere fysisk nedslidning og skabe mere bæredygtige arbejdsforhold i byggebranchen.

Metoder

Datagrundlag

De seneste årtiers teknologiske udvikling har gjort det muligt at måle fysiske belastninger i arbejdet langt mere præcist end tidligere. Ved brug af tekniske målinger som biomekaniske sensorer, accelerometri og elektromyografi (EMG) kan man nu analysere arbejdsbevægelser, muskelaktivitet og belastningsmønstre i realtid. Disse metoder gør det muligt at identificere både åbenlyse og skjulte ergonomiske udfordringer, der kan have betydning for udviklingen af muskel- og skeletbesvær.

Mange tidligere ergonomiske studier har fokuseret på statiske eller isolerede målinger af arbejdsstillinger og muskelaktivitet i kontrollerede laboratorieforhold. Dette giver vigtige indsigter, men fanger ikke nødvendigvis den variation og kompleksitet, der findes i virkelige arbejdsmiljøer. Feltstudier med tekniske målinger muliggør en mere helhedsorienteret forståelse af arbejdsbelastninger, fordi de kan registrere hele arbejdsdage og tage højde for faktorer som arbejdsrytme, variation og individuelle strategier for opgaveløsningen. Data i dette projekt bestod af biomekaniske målinger og videooptagelser fra 80 medarbejdere, som blev fulgt over hele arbejdsdage. Gennem en systematisk analyse blev 98 hovedarbejdsopgaver identificeret, defineret som arbejdsopgaver, der gentog sig mindst 100 gange i videomaterialet.

Tekniske målinger

I dette projekt anvendes eksisterende data af videooptagelser og tilhørende data med muskelaktivitet og bevægelser, hvor vi i et tidligere AMFF-støttet projekt ("*Omsætning af tekniske målinger til konkret og brugbar viden om fysiske belastninger i byggebranchen*") markerede og kategoriserede alle arbejdsopgaverne ift. type (hovedopgave), arbejds højde, byrde, placering og arbejds genstand. For at indsamle viden om muskelbelastning, kropssposition og arbejdsbevægelser blev der anvendt følgende målemetoder:

1. EMG-målinger (muskelbelastning):

Muskelaktivitet blev registreret ved hjælp af bipolære overfladeelektroder placeret på både venstre og højre **rygmuskel (m. erector spinae)** samt **nakke- og skuldermusklerne (m. trapezius)**. Data blev indsamlet med **Noraxon 4-kanals EMG-loggere**.

- For at kalibrere målingerne blev der udført en maksimal statisk muskelkontraktion for at fastsætte 100% EMG. Dermed er EMG-målingerne den relative (i procent) muskelaktivitet (belastning) af den

maksimal muskelaktivitet.

2. **Actigrafi (kropsposition og bevægelser):**

Kropsposition og bevægelser blev registreret med **GT9X Link Actigraph accelerometre**, der blev placeret på **ben, ryg og skuldre**. Disse data giver indsigt i kropssegmenternes bevægelser og arbejdsstillinger og kan sammenholdes med EMG-målingerne for at analysere belastningen under forskellige arbejdsopgaver.

3. **Videoptagelser (arbejdsanalyse):**

For at supplere måledataene blev der anvendt et **bærbart brystmonteret kamera (Reveal Media RS2-X2)**. Videoptagelserne gør det muligt at analysere, hvilke arbejdsopgaverne blev udført og hvordan (fx højde, type af arbejdsgegenstand, arbejdslokation, byrdens vægt), og sikrer en mere præcis vurdering af de registrerede muskel- og bevægelsesdata.

Ved at koble disse metoder kunne vi undersøge, hvordan specifikke arbejdsopgaver udføres i praksis, hvilke bevægelsesmønstre der gentages hyppigst, og hvilke ergonomiske belastninger de medfører.

Re-analyse af eksisterende data

I dette projekt blev allerede eksisterende data, målt med ovenstående udstyr, genanvendt med henblik på at kortlægge muskelaktivitet og kropspositioner under forskellige udførelsesmetoder af de samme arbejdsopgaver. Eksempler på disse opgaver kunne være løft af materiel, jernbinding, muring, anhugning af materiel, flækning af sten og udlægning af armeringsjern.

For at identificere naturligt forekommende variationer i arbejdsudførelsen blev cluster-analyser anvendt. Cluster-analyser bruges til at finde mønstre i data. I dette projekt anvendte vi K-means clustering til at gruppere forskellige måder, som folk udfører en arbejdsopgave på, baseret på deres bevægelser. Målet var at se, om man alene ud fra bevægelsesmønstre kunne identificere forskellige arbejdsmetoder og derefter sammenligne dem med muskelaktivitet for at vurdere belastningen. Dette ville være yderst omstændigt og ressourcekrævende at undersøge ved brug af observationer.

Cluster-analysen blev således baseret på accelerometerdata, hvor grad (det totale, maksimale og gennemsnitlige bevægeudslag) og varighed af foroverbøjning og sidebøjning af øvre og nedre del af ryggen, bøjning i knæene samt elevation og abduktion af begge arme blev kortlagt. Derudover blev EMG-målinger anvendt til at registrere muskelaktiviteten i ryg og skuldre. Data blev grupperet i clustre, hvorefter

disse blev rangeret ud fra stigende muskelaktivitet for at identificere de mest og mindst belastende måder at udføre arbejdsopgaverne på.

Foruden biomekaniske parametre inddrog cluster-analyserne følgende faktorer:

- **Type af arbejdsgenstand** (fx cement, bjælker, murerspande).
- **Arbejdsopgavens højde** (gulvniveau, midt-højde, over skulderniveau).
- **Arbejdslokation** (fx stige, lift, stillads).
- **Byrdens vægt** (inddelt i kategorier såsom 'tom/halvtom' og 'halvfuld/fuld' for eksempelvis paller og stenvogne).

Da cluster-analyserne blev udført på baggrund af bevægelsesudslag, kunne det ikke garanteres, at hver gruppe udelukkende repræsenterede én bestemt arbejdsmetode. For eksempel kunne et cluster indeholde både manuel flækning af sten med hammer og brug af en stenklipper placeret på gulvet. Observationer viste dog, at hvert cluster primært repræsenterede en specifik arbejdsmetode, hvilket gjorde det muligt at identificere mønstre i arbejdsudførelsen og sammenholde disse med belastningsmålinger.

Statistisk analyse

Data fra tidligere laboratorieundersøgelser med EMG-målinger har vist tydelige forskelle mellem forskellige typer fysiske belastninger blandt 10-15 personer med enkelte gentagne målinger (Andersen et al., 2010; Jakobsen et al., 2014). I nærværende projekt analyseres data fra 80 medarbejdere med mange gentagne målinger under en hel arbejdsdag, hvilket sikrer stor statistisk styrke og mulighed for at identificere variationer i fysisk belastning og sammenligne clustre. Vi anvendte K-means cluster-analyser til at identificere grupperinger i data, hvor forskellen mellem grupperne var mindst 10%. Hvis forskellen mellem de identificerede grupper var under denne tærskel, blev de samlet i ét enkelt cluster. For at sikre en tilstrækkelig statistisk styrke blev cluster-analyserne kun udført på arbejdsopgaver, der forekom mindst 20 gange i datasættet.

Face validity og praktisk relevans

For at vurdere den praktiske anvendelighed og relevans af konceptet *Ergonomisk Fleksibilitet* blev der afholdt en workshop med praktikere fra byggebranchen. Denne tilgang, kendt som *face validity*, anvendes til at sikre, at forskningsresultater ikke blot er statistisk og metodisk valide, men også opleves som relevante og brugbare i praksis (Allen et al., 2023; Mosier, 1947).

Workshoppen blev afholdt som et hybridmøde, hvor nogle deltagere var fysisk til stede, mens andre deltog online via Microsoft Teams. Deltagerne blev præsenteret for videoklip af arbejdsopgaver, hvor cluster-analyserne havde identificeret variationer i måden, de blev udført på. Gennem diskussioner vurderede praktikere de forskellige arbejdsmetoder og delte deres erfaringer om, hvorfor bestemte metoder blev foretrukket frem for andre. Her blev faktorer som arbejdsorganisering, udvikling og anvendelse af tilgængelige hjælpemidler samt ergonomi inddraget som væsentlige aspekter.

Derudover blev workshoppen brugt til at udvikle et vidensgrundlag for formidling af *Ergonomisk Fleksibilitet* til praksis. Deltagerne diskuterede relevans af faktaarkene, hvordan faktaarkene skulle udformes, hvilke arbejdsopgaver der burde inkluderes, og hvilken form materialet skulle præsenteres i (digitalt og/eller fysisk).

Faktaark

For at sikre en bred anvendelighed af projektets resultater blev faktaarkene og deres potentielle indhold diskuteret. Derudover udarbejdes to faktaark:

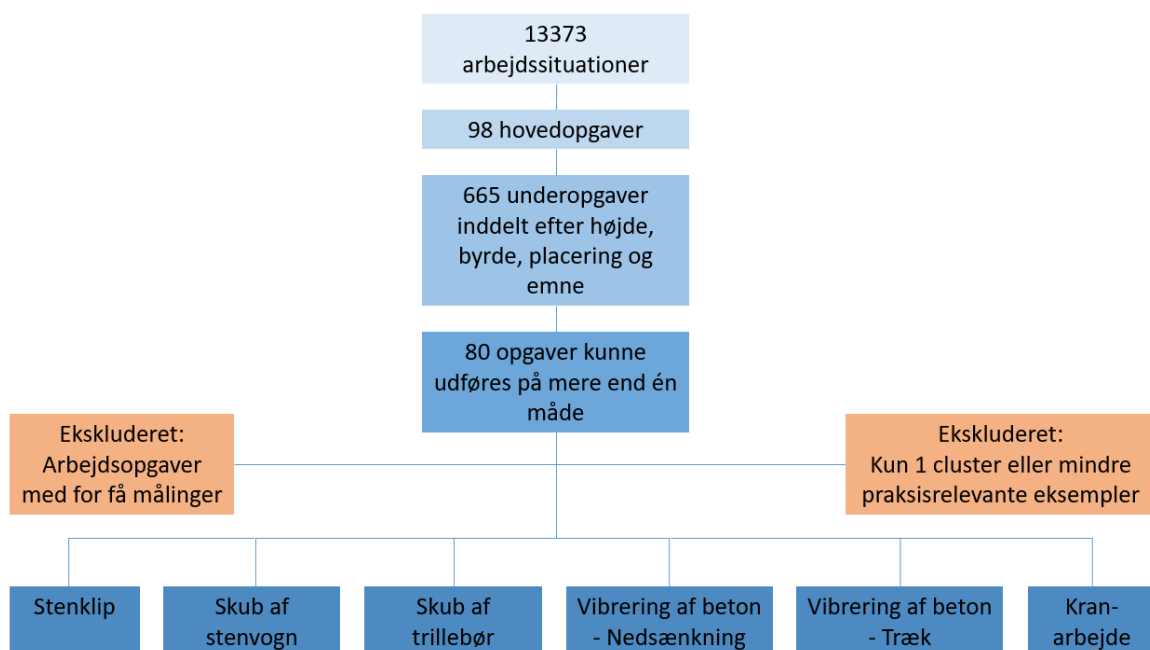
1. **Et faktaark om selve konceptet *Ergonomisk Fleksibilitet***, som forklarer principperne bag målrettet bygge- og anlægsbranchen.
2. **Et praksisorienteret faktaark**, der præsenterer 5-10 konkrete eksempler på de mest hyppige arbejdsopgaver, og forslag til hensigtsmæssige måder at udføre disse arbejdsopgaver på.

Inden workshoppen blev seks relevante arbejdsopgaver udvalgt til at præsentere for workshopdeltagerne for at få praktikernes input til eksemplernes relevans og repræsentativitet.

Faktaarkene blev udviklet i både en fysisk version, som blev produceret på opfordring af workshopdeltagerne, så materialet kan anvendes direkte på arbejdspladserne som et værktøj til at understøtte implementering af ergonomisk fleksible løsninger.

Resultater

I alt 13.373 arbejdsopgaver blev identificeret, hvoraf 98 forskellige hovedopgaver gik igen mindst 100 gange (se Figur 1). Ud fra de 98 hovedopgaver, blev 665 underopgaver identificeret, som blev inddelt efter højde, byrde, placering og emne. Figur 1 illustrerer ligeledes, at vi i analyserne ekskluderede i) arbejdsopgaver med for få målinger, ii) mindre praksisrelevante eksempler samt iii) arbejdsopgaver, hvor der kun var et cluster (dvs. en observeret måde at udføre en arbejdsopgave på). De endelige cluster-analyser viste, at vi ud af de 665 arbejdsopgaver fandt 80 forskellige arbejdsopgaver, hvor der var to eller flere hensigtsmæssige måder at udføre arbejdsopgaven på. På baggrund af en omfattende videoanalyse udvalgte vi seks arbejdsopgaver, som vi vurderede som relevante, og hvor den ergonomiske fleksibilitet tydeligt kunne identificeres ud fra videooptagelserne. De seks arbejdsopgaver var 'Stenklip', 'Skub af stenvogn', 'Skub af trillebør', 'Vibrering af beton - Nedsænking', 'Vibrering af beton - Træk' og 'Kranarbejde'.



Figur 1. Flow chart af arbejdsituationer og udvalgte arbejdsopgaver ud fra cluster-analyserne.

Nedenfor beskrives de overordnede resultater af de udvalgte arbejdsopgaver enkeltvis, mens nogle kommentarer fra workshopen med praktikerne om de specifikke arbejdsopgaver er indsat i et underafsnit ('Face validity') til hver arbejdsopgaver. Resultatafsnittet afsluttes med et overordnet 'Face validity' afsnit over alle arbejdsopgaverne samt diskussion af faktaark.

Stenklip

Stenklip var en af de mest hyppigt forekommende arbejdsopgaver i dataindsamlingen, og cluster-analyserne identificerede tre forskellige udførelsesmetoder. I den første metode (Cluster 1) anvendte medarbejderne primært en hammer til at flække sten. I den anden metode (Cluster 2) blev en stenklipper placeret direkte på gulvet anvendt, mens den tredje metode (Cluster 3) involverede brug af en stenklipper placeret på en trillebør.

EMG-målinger viste, at anvendelsen af hammer (Cluster 1) resulterede i den laveste muskelaktivitet i rygmuskulaturen, sammenligneligt med Cluster 2. Omvendt var muskelaktiviteten i skuldermusklerne højest i Cluster 1, dog kun marginalt højere end i de to øvrige metoder, hvilket gør det vanskeligt at fastslå en signifikant forskel. Bevægeanalysen viste, at brugen af hammer var forbundet med mindre maksimal foroverbøjning af ryggen, hvilket var på niveau med Cluster 3, mens den maksimale arm elevation var lavest i Cluster 1.

Disse resultater indikerer, at de tre metoder for stenklipping er, ud fra selve målingerne, omtrent lige hensigtsmæssige, idet ingen af dem fremstår væsentligt mere belastende end de andre. Dette understøtter, at der er en vis *Ergonomisk Fleksibilitet* i udførelsen af denne arbejdsopgave.

Opgavenavn	Cluster	Antal	Muskelaktivitet (% max)		Bevægelse (grader)		Gennemgående kendetegn
			Ryg Max	Skulder Max	Øvre ryg Max foroverbøjning	Skulder (højre) Max arm elevation	
STENKLIP	1	125	29	17	32	74	Primært med hammer
STENKLIP	2	125	29	16	44	77	Primært med stenklipper på gulv
STENKLIP	3	137	37	14	31	87	Primært med stenklipper på trillebør
							

Figur 2. Oversigt over clustre for arbejdsopgaven 'Stenklip'. Figuren viser tre clustre og clustrenes antal observationer, muskelaktivitet, bevægelser og gennemgående kendetegn.

Face validity – Stenklip

Praktikerne i workshoppene påpegede, at siden dataindsamlingen i 2018 er elektriske stenklippere blevet implementeret på byggepladserne for at reducere de fysiske belastninger. Ifølge deltagerne anvendes disse elektriske løsninger nu i overvejende grad, hvilket betyder, at de tre oprindelige arbejdsmetoder er blevet mindre relevante i praksis. Desuden er den elektriske stenklipper mere effektiv, da den skærer murstenene pænere og dermed går færre mursten til spilde. Hammeren er en nødløsning, som egentligt ikke må anvendes. Dermed anses hammeren som uhensigtsmæssig, mens

anvendelse af de to manuelle stenklippere repræsenterer to hensigtsmæssige måder at udføre opgaven på.

Skub af stenvogn

Cluster-analyserne identificerede to primære måder at skubbe en stenvogn på. I Cluster 1 blev en manuel stenvogn anvendt, mens Cluster 2 omfattede brug af en elektrisk stenvogn.

Målingerne viste, at manuel håndtering af en stenvogn (Cluster 1) var forbundet med en højere maksimal muskelaktivitet i både ryg og skuldre. Derudover blev der registreret en større maksimal foroverbøjning af ryggen i Cluster 1, mens den maksimale arm elevation var lavere sammenlignet med Cluster 2. Samlet set indikerer resultaterne, at brugen af en elektrisk stenvogn reducerer den fysiske belastning i forhold til den manuelle metode, men hvor en manuel stenvogn også er hensigtsmæssig at bruge.

Opgavenavn	Cluster	Antal	Muskelaktivitet (% max)		Bevægelse (grader)		Gennemgående kendetegn
			Ryg Max	Skulder Max	Øvre ryg Max foroverbøjning	Skulder (højre) Max arm elevation	
SKUB AF STENVOGN	1	30	37	14	44	39	Primært med manuel stenvogn
SKUB AF STENVOGN	2	71	31	9	27	84	Primært med elektrisk stenvogn
							

Figur 3. Oversigt over clustre for arbejdsopgaven 'Skub af stenvogn'. Figuren viser to clustre og clustrenes antal observationer, muskelaktivitet, bevægelser og gennemgående kendetegn.

Face validity – Skub af stenvogn

Workshopdeltagerne bekræftede, at elektriske stenvogne i dag er den foretrukne løsning på byggepladserne, at der findes flere elektriske end manuelle, og at de manuelle versioner primært anvendes i særlige tilfælde. De understregede dog, at manuel håndtering stadig forekommer, hvorfor det kan være relevant at kende belastningsforskellene mellem de to metoder.

Skub af trillebør

Cluster-analysen identificerede to forskellige måder at skubbe en trillebør på: i Cluster 1 foregik arbejdet primært på et stillads, mens Cluster 2 omfattede skubning på jævnt underlag (jord).

Resultaterne viste, at kørsel med trillebør på stillads (Cluster 1) var forbundet med markant højere maksimal muskelaktivitet i både ryg- og skuldermuskulaturen sammenlignet med kørsel på jord (Cluster 2). Ligeledes var den maksimale arm elevation højere i Cluster 1, mens graden af foroverbøjning var lavere end i Cluster 2. Disse fund indikerer, at kørsel på stillads stiller højere fysiske krav end kørsel på jævnt underlag.

Det skal her bemærkes, at disse to clustre repræsenterer to ret forskellige arbejdsopgaver, da medarbejdere sjældent kan vælge underlaget. Derfor viser disse to clustre mere, at skub af trillebør på clustre stiller højere fysiske krav.

Opgavenavn	Cluster	Antal	Muskelaktivitet (% max)		Bevægelse (grader)		Gennemgående kendetegn
			Ryg Max	Skulder Max	Øvre ryg Max foroverbøjning	Skulder (højre) Max arm elevation	
SKUB AF TRILLEBØR	1	198	44	27	22	85	Kører primært på stillads
SKUB AF TRILLEBØR	2	31	33	16	34	58	Kører primært på jord
							

Figur 4. Oversigt over clustre for arbejdsopgaven 'Skub af trillebør'. Figuren viser to clustre og clustrenes antal observationer, muskelaktivitet, bevægelser og gennemgående kendetegn.

Face validity – Skub af trillebør

Workshopdeltagerne diskuterede, hvorvidt de observerede forskelle var repræsentative for almindeligt forekommende arbejdsforhold. De fremhævede, at kørsel på stillads ofte indebærer begrænset plads, flere retningsskift og transport op ad hældninger, hvilket kan bidrage til øget fysisk belastning. En alternativ løsning, der blev diskuteret, var brugen af en balje monteret på en elektrisk stenvogn, som potentielt kan reducere belastningen. Dette er en nuværende løsning, som bare ikke anvendes i så stor grad. En anden løsning er at hejse mørtlen ind med en kran, men det er ikke muligt alle steder - mest på større byggepladser. Der var dog ingen enighed om, hvorvidt en elektrisk løsning var praktisk anvendelig i alle arbejdsituationer.

Vibrering af beton – nedsænkning af vibrator

Cluster-analyserne identificerede to forskellige måder at nedsænke en vibrator på under vibrering af beton. I Cluster 1 gled medarbejderne slangen mindre på armeringsjernet, mens Cluster 2 var karakteriseret ved, at slangen blev ført nedad ved hjælp af armeringsjernet.

Resultaterne viste, at Cluster 1 var forbundet med højere maksimal muskelaktivitet i både ryg- og skuldermuskulaturen sammenlignet med Cluster 2. Derudover var armens maksimale elevation marginalt højere i Cluster 1, mens foroverbøjning af ryggen var mere udtalt i Cluster 2. Disse resultater tyder på, at anvendelse af armeringsjernet til at glide slangen ned kan reducere muskelbelastningen, selvom det samtidig øger graden af foroverbøjning.

Opgavenavn	Cluster	Antal	Muskelaktivitet (% max)		Bevægelse (grader)		Gennemgående kendetegn
			Ryg Max	Skulder Max	Øvre ryg Max foroverbøjning	Skulder (højre) Max arm elevation	
VIBRERING AF BETON (SÆNKNING)	1	11	17	28	25	74	Glider primært slangen mindre på armeringsjern
VIBRERING AF BETON (SÆNKNING)	2	9	12	11	42	72	Glider primært slangen mere på armeringsjern
							

Figur 5. Oversigt over clustre for arbejdsopgaven 'Vibrering af beton - Nedsænkning'. Figuren viser to clustre og clustrenes antal observationer, muskelaktivitet, bevægelser og gennemgående kendetegn.

Face validity – Vibrering af beton – nedsænkning af vibrator

Workshopdeltagerne bemærkede, at brugen af vibrationsfri beton er blevet mere udbredt, og at ca. 80% af betonen i dag ikke længere kræver vibrering. De bekræftede dog, at når vibrering er nødvendig, er det hensigtsmæssigt at anvende armeringsjernet til at lette nedsænkningen af slangen for at reducere den fysiske belastning.

Vibrering af beton – Træk af vibrator

Ved trækket af vibratorslangen blev der identificeret to udførelsesmetoder: I Cluster 1 udførte medarbejderne opgaven alene og med mere ret ryg og større skulderbevægelser, mens opgaven i Cluster 2 blev udført af to personer, hvor ryggen var mere foroverbøjet, og skulderbevægelsen var mindre.

Blandt de analyserede arbejdsopgaver var træk af vibratoren forbundet med den højeste samlede muskelaktivitet. Begge metoder medførte høj fysisk belastning, men Cluster 1 viste signifikant højere muskelaktivitet i skuldermuskulaturen. Resultaterne tyder på, at samarbejde mellem to personer kan reducere den fysiske belastning. Da arbejdsbelastningen ved denne opgave er høj, er det vigtigt at sikre tilstrækkelig restitution mellem opgaverne for at undgå overbelastning og reducere risikoen for udvikling af muskeltræthed og MSB (McCrary et al., 2018).

Opgavenavn	Cluster Antal		Muskelaktivitet (% max)		Bevægelse (grader)		Gennemgående kendetegn
			Ryg Max	Skulder Max	Øvre ryg Max foroverbøjning	Skulder (højre) Max arm elevation	
VIBRERING AF BETON (TRÆK)	1	14	68	58	9	92	Mere ret ryg og større bevægelseslag i skulder
VIBRERING AF BETON (TRÆK)	2	7	47	45	47	101	Mere foroverbøjet ryg, mindre bevægelseslag med arm, 2 personer
							

Figur 6. Oversigt over clustre for arbejdsopgaven 'Vibrering af beton - Træk'. Figuren viser to clustre og clustrenes antal observationer, muskelaktivitet, bevægelser og gennemgående kendetegn.

Face validity – Vibrering af beton – træk af vibrator

Workshopdeltagerne gentog, at størstedelen af betonen i dag er vibrationsfri, hvilket mindsker relevansen af disse fund. Dog bekræftede de, at når vibrering er påkrævet, kan det være fordelagtigt at være to personer om opgaven for at mindske belastningen, og at anvende den 'rigtige' ergonomi.

Kranarbejde (skub af materiel)

Cluster-analyserne identificerede to måder, hvorpå medarbejdere kunne skubbe materiel under kranarbejde: I Cluster 1 tog medarbejderne fat i kranen med armene over skulderhøjde, mens de i Cluster 2 tog fat i kranen, når den var sænket længere ned.

Muskelaktiviteten i ryggen var markant lavere i Cluster 1, mens skulderbelastningen var højere i Cluster 2. Disse resultater indikerer, at håndtering af kranens last kan have forskellige fysiske konsekvenser afhængigt af grebshøjden.

Opgavenavn	Cluster Antal		Muskelaktivitet (% max)		Bevægelse (grader)		Gennemgående kendetegn
			Ryg Max	Skulder Max	Øvre ryg Max foroverbøjning	Skulder (højre) Max arm elevation	
SKUB AF MATERIEL (KRAN)	1	93	32	25	14	95	Tager primært fat højt
SKUB AF MATERIEL (KRAN)	2	31	57	17	27	80	Tager primært fat længere nede
							

Figur 7. Oversigt over clustre for arbejdsopgaven 'Kranarbejde (skub af materiel)'. Figuren viser to clustre og clustrenes antal observationer, muskelaktivitet, bevægelser og gennemgående kendetegn.

Face validity – Kranarbejde

Workshopdeltagerne forklarede, at dette var almindelig praksis. Der blev diskuteret, hvorvidt det i praksis var muligt at ændre grebshøjden, og at nyere letvægtsforme som fx aluminiumsforme reducerer belastningen.

Face validity - Opsummering

Workshoppen bekræftede, at flere af de analyserede arbejdsopgaver har gennemgået betydelige teknologiske forbedringer siden dataindsamlingen. Særligt elektriske stenklyppere er i dag blevet normal praksis på mange byggepladser og har markant reduceret den fysiske belastning ved stenklipning. Desuden er den elektriske stenklypper mere effektiv, da den skærer murstene pænere og færre går i stykker. Praktikerne understregede, at medarbejderne generelt foretrækker de elektriske modeller frem for de manuelle, og at brancheaktører aktivt har arbejdet for at fremme deres udbredelse. Af samme årsag vurderede flere deltagere, at en formidling af tidligere arbejdsmetoder uden elektriske stenklyppere potentielt kunne risikere at forsinke implementeringen af disse nye teknologiske løsninger. Hammeren er i dag en nødløsning, som egentligt ikke må anvendes. Af større løsninger udtalte praktikerne, at den optimale løsning var, hvis teglværkerne leverede teglvarene i den rigtige størrelse, så de ikke skulle klippes.

Elektriske stenvogne er i dag ligeledes den primære løsning i mange arbejdssituationer, idet de reducerer den fysiske belastning sammenlignet med manuelle vogne. I dag findes også flere elektriske stenvogne end manuelle. Praktikerne fremhævede dog, at manuelle stenvogne stadig er i brug i visse sammenhænge, og at der derfor er behov for en balanceret tilgang i formidlingen af arbejdsmetoder.

Skub af trillebør er normal praksis, men de fleste stilladser bygges i dag i samme plan (uden etager), så der ikke trilles op ad bakke, hvilket reducerer den fysiske belastning. Der findes også mørtelspand som ekstra udstyr, som kan sættes på elektriske stenvogne, men disse bliver ikke så meget anvendt. Som et alternativ til manuelle trillebøre nævnte deltagerne ydermere, at nogle byggepladser er begyndt at transportere mørtel via kran, hvilket kan mindske de ergonomiske krav yderligere. Dette er dog primært muligt på større byggepladser, hvormed de simple løsninger stadig er aktuelle og relevante. Generelt mente praktikerne ikke, at der var mulighed for gode tekniske løsninger ved denne arbejdsopgave.

Derudover har udvikling af vibrationsfri beton medført, at ca. 80% af betonen i dag ikke længere kræver vibrering, hvilket mindsker relevansen af de identificerede arbejdsvariationer i denne opgave. Dog understregede praktikerne, at vibreringsbeton

stadig anvendes i nogle sammenhænge, og at det derfor fortsat kan være værdifuldt at forstå, hvordan arbejdsopgaverne kan udføres på en ergonomisk hensigtsmæssig måde – både ved nedsækning og træk af vibratoren.

I forhold til kranarbejde bemærkede praktikerne, at videomaterialet viste en standardiseret arbejdsprocedure, hvor medarbejderen på jorden kommunikerede med kranføreren for at sikre præcis placering af materialet. Dog opstod der en diskussion om, hvorvidt det var nødvendigt for medarbejderen at tage fat i formen over skulderhøjde, eller om det kunne være en fordel at vente, til formen var sænket længere ned. Der var ingen entydig konklusion på dette spørgsmål, men det blev bemærket, at letvægtsforme, såsom aluminiumsforme, i stigende grad vinder indpas og kan bidrage til at reducere de ergonomiske krav ved kranarbejde.

Faktaark som implementeringsværktøj

Praktikerne udtrykte en vis skepsis ved at udarbejde et faktaark med de præsenterede eksempler, da branchen har været under stor udvikling siden dataindsamlingen, hvormed anvendeligheden af de viste eksempler ikke er så høj. Dog udtalte praktikerne, at faktaarkene kunne være værdifulde, hvis de baserede sig på konceptet 'Ergonomisk Flexibilitet' med opdaterede eksempler, og hvis de blev formidlet i et anvendeligt format, der kunne understøtte implementeringen af ergonomiske løsninger i branchen. De påpegede, at faktaark med opdaterede eksempler på arbejdsopgaver kunne være særligt værdifulde for virksomheder, medarbejdere og arbejdsmiljøprofessionelle. Praktikerne udtalte også, at af de præsenterede eksempler ville 'træk af vibrator' være det bedste eksempel, hvor fokus så skulle være på at løse arbejdsopgaven på den mest hensigtsmæssige ergonomiske måde. Derudover nævnte deltagerne, at faktaarkene kunne være en for indskrænket formidling, hvor man fik de lavest hængende frugter med en for forsimplet tilgang. Der var enighed om, at de tekniske løsninger er vejen frem, og at man ville have noget ergonomisk fleksibilitet ift. anvendelse af de tekniske løsninger.

En deltagende virksomhed påpegede dog, at sådanne faktaark kunne fungere som et redskab, når medarbejdere eller arbejdsmiljørepræsentanter henvender sig til ledelsen med forslag om investering i nye hjælpemidler eller ændringer i arbejdsorganisering.

Derudover blev det fremhævet, at løsninger ofte udvikles med fokus på *best-case scenarios*, hvor ressourcer og logistiske forhold er optimale. I praksis kan mindre virksomheder have begrænsede økonomiske og organisatoriske muligheder for at implementere ny teknologi som elektriske stenklippere eller stenvogne. Ligeledes kan nogle arbejdsopgaver være så små eller kortvarige, at det ikke giver mening at opstille et omfattende teknologisk setup. I disse tilfælde kan lavpraktiske løsninger fortsat være relevante, og det er derfor vigtigt at forstå, hvordan ergonomisk fleksibilitet kan

anvendes inden for de rammer, virksomhederne arbejder under. Virksomhederne kunne nyde godt af sådanne faktaark for at kunne hjælpe og vejlede medarbejderne.

Afslutningsvis blev det bemærket, at en *ergonomisk fleksibel tankegang* kan være en vigtig ressource for medarbejdere med smerter eller nedsat fysisk kapacitet. Ved at øge bevidstheden om forskellige måder at udføre arbejdsopgaver på, kan medarbejdere i højere grad tilpasse deres arbejdsmetoder til deres individuelle behov og dermed reducere belastningen i hverdagen.

Diskussion

Ergonomisk Flexibilitet som alternativ til traditionelle ergonomiske tilgange

Traditionelt har, som nævnt indledningsvist, ergonomiske tilgange til fysisk arbejde fokuseret på at identificere én optimal måde at udføre en arbejdsopgave på, ofte med henblik på at reducere belastningen gennem teknologiske hjælpemidler eller organisatoriske ændringer. Nærværende projekt udfordrer denne tankegang ved at introducere *Ergonomisk Flexibilitet*, hvis formål var at undersøge via komplekse dataanalyser (cluster-analyser) på et stort datasæt, om samme arbejdsopgaver kan udføres på flere hensigtsmæssige måder, afhængigt af kontekstuelle faktorer som arbejdspladsens fysiske forhold, medarbejdernes individuelle præferencer og tilgængelige hjælpemidler.

I overensstemmelse med tidligere forskning understøtter resultaterne, at variation i arbejdsbevægelser kan spille en central rolle i forebyggelsen af muskel- og skeletbesvær (Holtermann et al., 2010; Jun et al., 2017). Eksempelvis viste analyserne af *stenklipning*, *skub af stenvogn* og *vibrering af beton*, at forskellige metoder havde varierende effekter på muskelaktivitet, men at der i flere tilfælde ikke var én enkelt metode, der entydigt var den mest hensigtsmæssige. Dette tyder på, at medarbejderne kan have en vis frihed til at vælge mellem forskellige arbejdsmetoder uden nødvendigvis at øge belastningen. Dermed tyder resultaterne også på, at cluster-analysen har potentiale for at blive anvendt til at identificere mønstre i data ift. at identificere ergonomisk fleksibilitet i udførelsen af arbejdet.

Derudover bekræfter studiets resultater, at teknologiske hjælpemidler – såsom elektriske stenvogne – har reduceret den fysiske belastning markant i de seneste år. Samtidig understreger praktikerne i workshopen, at manuel arbejdsudførelse stadig forekommer i visse situationer, hvilket gør det relevant at undersøge, hvordan ergonomisk fleksibilitet kan bidrage til at optimere disse opgaver.

Teknologiske fremskridt og deres betydning for fysisk belastning i byggebranchen

En væsentlig udfordring i arbejdsmiljøforbedringer er implementeringen af nye teknologiske løsninger (Sundstrup et al., 2022), som ikke altid er realistiske at anvende i alle arbejdsituationer. Som det fremgår af workshoppens resultater, er brugen af

elektriske stenklyppere og stenvogne blevet stadig mere udbredt, men dette betyder ikke, at manuelle metoder er fuldstændigt udfaset. Dette understøtter behovet for at forstå, hvordan forskellige arbejdsmetoder påvirker den fysiske belastning, så medarbejderne kan tilpasse deres arbejdsstrategier ud fra de givne betingelser.

Eksempelvis viste cluster-analyserne af *skub af trillebør*, at skub på stillads var mere fysisk krævende end skub på jord. Workshopdeltagerne berettede, at en anden løsning er at anvende en mørtelspand på en elektrisk stenvogn til transport af mørtel i stedet for en manuel trillebør. Dog understregede de også, at denne løsning ikke er bredt anvendt, og at sådanne løsninger ikke altid er praktisk mulige, hvilket igen fremhæver vigtigheden af en fleksibel tilgang til ergonomi.

En lignende problemstilling blev identificeret i forbindelse med *kranarbejde*, hvor der opstod en diskussion blandt praktikerne om, hvorvidt medarbejdere på jorden kunne vente med at tage fat i kranen, indtil den var sænket længere ned. Dette viser, at ergonomisk fleksibilitet ikke kun handler om fysiske faktorer, men også om organisatoriske og kulturelle praksisser, hvor arbejdsmønstre og vaner kan have stor betydning for, hvordan arbejdsopgaver udføres.

Ergonomisk Fleksibilitet i praksis: Muligheder og begrænsninger

Selvom *Ergonomisk Fleksibilitet* har vist sig at være et anvendeligt koncept i flere af de analyserede arbejdsopgaver, er der også visse begrænsninger, som bør adresseres.

Barrierer for implementering

En af de største udfordringer ved at implementere ergonomisk fleksibilitet i praksis er medarbejdernes og virksomheders motivation til at ændre arbejdsmønstre. Workshopdeltagerne bemærkede, at mange virksomheder fokuserer på løsninger, der fungerer i et *best-case scenario*, hvor ressourcer og tid ikke er begrænsende faktorer. I virkeligheden er der dog mange mindre virksomheder, hvor økonomiske eller logistiske forhold kan gøre det vanskeligt at investere i nye teknologiske hjælpemidler som elektriske stenklyppere eller stenvogne. Ligeledes kan (små) virksomheder have mange mindre opgaver, hvor det logistisk ikke giver mening at have et stort setup med diverse elektroniske hjælpemidler. I sådanne tilfælde kan det være nødvendigt at fokusere på at optimere de eksisterende arbejdsmetoder frem for at erstatte dem fuldstændigt.

Individuelle forskelle og træningsbehov

En anden vigtig faktor er, at medarbejdernes fysiske formåen og erfaring kan påvirke, hvordan de reagerer på forskellige arbejdsmetoder. Studier har hertil vist, at muskelbelastning og træthed varierer betydeligt efter endt arbejdsdag (Bláfoss et al., 2023, 2024; Jakobsen et al., 2014), og at dette kan medføre smerte og skade på sigt (Andersen et al., 2014; Holtermann et al., 2015; Vinstrup et al., 2020b). Derfor er det nødvendigt at supplere ergonomisk fleksibilitet med træning og instruktion i forskellige arbejdsmetoder, så medarbejderne kan træffe informerede valg om, hvordan de udfører deres opgaver.

Workshoppen pegede desuden på, at faktaark og visuelle vejledninger kan spille en vigtig rolle i at fremme implementeringen af *Ergonomisk Fleksibilitet*. Ved at give konkrete eksempler på, hvordan arbejdsopgaver kan udføres på flere måder, kan virksomheder lettere understøtte en fleksibel tilgang til ergonomi.

Konklusion og perspektivering

Dette projekt har undersøgt konceptet *Ergonomisk Fleksibilitet* ud fra arbejdsopgaver i byggebranchen ved at analysere, hvordan forskellige arbejdsopgaver kan udføres på flere hensigtsmæssige måder. Gennem detaljerede biomekaniske målinger, cluster-analyser og en workshop med praktikere har studiet demonstreret, at der i mange tilfælde ikke findes én entydigt optimal metode til at udføre en given opgave, og at den anvendte metode (cluster-analysen) kan anvendes til at identificere flere hensigtsmæssige måder at udføre samme arbejdsopgaver på. Forskellige udførelsesmetoder kan have varierende påvirkning på muskelaktivitet, arbejdsbelastning og bevægelsesmønstre, afhængigt af faktorer som arbejdsforhold, hjælpemidler og individuelle præferencer.

Ergonomisk Fleksibilitet som en ny tilgang til arbejdsmiljøet

Resultaterne bekræfter, at variation i arbejdsudførelsen kan have en afgørende betydning for at reducere fysisk belastning. Vores fund viser, at en række arbejdsopgaver med fordel kan udføres på flere måder, hvor ingen enkeltstående metode nødvendigvis er bedst for alle situationer.

Dette perspektiv udfordrer den traditionelle tilgang til ergonomi, som ofte har haft fokus på at eliminere belastende arbejdsstillinger uden nødvendigvis at anerkende, at variation og fleksibilitet i arbejds mønstre også kan være en væsentlig del af løsningen. I stedet for at pålægge én universel "korrekt" måde at udføre en arbejdsopgave på, kan *Ergonomisk Fleksibilitet* bidrage til at give medarbejdere flere muligheder for at tilpasse deres arbejde efter deres fysiske kapacitet og arbejds situationens krav.

En central indsigt fra projektet er, at teknologiske fremskridt har ændret arbejds vilkårene markant siden dataindsamlingen. Elektriske stenklippere og stenvogne er i dag blevet standard på mange byggepladser, og praktikerne understregede, at disse hjælpemidler har reduceret den fysiske belastning væsentligt. Samtidig fremhævede de, at manuel arbejdsudførelse stadig finder sted, enten på grund af logistik, økonomi eller arbejds situationens karakter. Dette viser, at ergonomiske løsninger bør tage højde for både moderne teknologi og den praksis, der stadig er gældende i mange arbejds situationer.

Selvom resultaterne viser, at teknologiske hjælpemidler ofte reducerer den fysiske belastning, understreger de også, at fleksibilitet i arbejdsudførelsen stadig spiller en vigtig rolle. I eksemplerne med *skub af trillebør* og *kranarbejde* blev det tydeligt, at selv med adgang til hjælpemidler kan arbejdsopgaven stadig udføres på flere måder, som hver især har fordele og ulemper afhængigt af konteksten.

Implementeringsudfordringer og fremtidige muligheder

En af de største udfordringer ved at implementere *Ergonomisk Fleksibilitet* i praksis er, at virksomheder og medarbejdere ofte har etablerede arbejds mønstre, der kan være vanskelige at ændre. Workshopdeltagerne påpegede, at selv når teknologiske løsninger er tilgængelige, kan der være modstand mod at ændre arbejdsrutiner, særligt i mindre virksomheder, hvor økonomiske ressourcer og arbejdskultur kan være en barriere.

For at øge sandsynligheden for succesfuld implementering er der behov for yderligere tiltag, der kan gøre *Ergonomisk Fleksibilitet* til en naturlig del af arbejdet i byggebranchen. Dette kan inkludere:

- **Undervisning og bevidstgørelse:** Medarbejdere bør introduceres til flere måder at udføre arbejdsopgaver på og undervises i at vælge den mindst belastende metode i forskellige situationer.

- **Faktaark og visuelle vejledninger:** Formidling af konkrete eksempler på ergonomisk fleksible arbejdsmetoder kan hjælpe virksomheder med at hjælpe og vejlede medarbejderne samt at implementere nye tilgange i praksis.
- **Integration af digitale løsninger:** Digitale værktøjer, såsom sensorer eller apps, kunne give realtids-feedback om arbejdsstillinger og belastning, hvilket kan understøtte medarbejdernes valg af arbejdsmetoder.

Betydning for arbejdsmiljøet

På længere sigt kan *Ergonomisk Fleksibilitet* have en væsentlig indflydelse på arbejdsmiljøet i brancher med høj fysisk belastning. Hvis medarbejdere får mulighed for at variere deres arbejdsstillinger og -metoder, kan det potentielt reducere risikoen for overbelastningsskader og forlænge arbejdsevnen.

Dette projekt har vist, at *Ergonomisk Fleksibilitet* kan være et værdifuldt supplement til traditionelle ergonomiske tilgange i byggebranchen. Ved at anerkende, at der ofte findes flere hensigtsmæssige måder at udføre en opgave på, kan virksomheder og medarbejdere opnå større frihed til at vælge arbejdsmetoder, der passer til den enkelte situation. Samtidig er det vigtigt at sikre, at fleksibilitet ikke fører til øget risiko for u hensigtsmæssige arbejdsstillinger, men snarere understøtter en bevidst og varieret tilgang til fysiske arbejdsopgaver.

For at realisere det fulde potentiale af *Ergonomisk Fleksibilitet* kræves en målrettet indsats for at ændre arbejdskultur, fremme implementering af nye løsninger og integrere teknologiske hjælpemidler på en måde, der understøtter medarbejdernes behov. Med en systematisk og praksisorienteret tilgang kan denne strategi bidrage til et mere bæredygtigt og sundt arbejdsmiljø i byggebranchen.

Slutteligt demonstrerede dette projekt, at de anvendte cluster-analyser har potentiale for at identificere *ergonomisk fleksibilitet*, så medarbejdere har større autonomi i deres arbejde. På sigt kan denne tilgang muliggøre automatiske analyser baseret på enkle tekniske målinger af arbejdsopgaver, hvilket kan bidrage til at fremme ergonomisk fleksibilitet i praksis. Ved brug af arbejdspladsmålinger med let tilgængelige bevægelsessensorer vil disse analyser kunne anvendes med endnu større datagrundlag og i andre brancher med høj fysisk belastning, såsom sundhedssektoren eller transportbranchen for at identificere arbejdsopgaver med stort potentiale for ergonomisk fleksibilitet i udførelsen af opgaven.

Referencer

- Allen, M. S., Robson, D. A., & Iliescu, D. (2023). Face Validity: A Critical but Ignored Component of Scale Construction in Psychological Assessment. *European Journal of Psychological Assessment*, 39(3), 153–156. <https://doi.org/10.1027/1015-5759/a000777>
- Andersen, L. L., Andersen, C. H., Mortensen, O. S., Poulsen, O. M., Bjørnlund, I. B. T., & Zebis, M. K. (2010). Muscle activation and perceived loading during rehabilitation exercises: Comparison of dumbbells and elastic resistance. *Physical Therapy*, 90(4), 538–549. <https://doi.org/10.2522/ptj.20090167>
- Andersen, L. L., Burdorf, A., Fallentin, N., Persson, R., Jakobsen, M. D., Mortensen, O. S., Clausen, T., & Holtermann, A. (2014). Patient transfers and assistive devices: Prospective cohort study on the risk for occupational back injury among healthcare workers. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 40(1), 74–81. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3382>
- Andersen, L. L., Pedersen, J., Sundstrup, E., Thorsen, S. V., & Rugulies, R. (2021). High physical work demands have worse consequences for older workers: Prospective study of long-term sickness absence among 69 117 employees. *Occupational and Environmental Medicine*, 78(11), 829–834. <https://doi.org/10.1136/oemed-2020-107281>
- Andersen, L. L., Vinstrup, J., Sundstrup, E., Skovlund, S. V., Villadsen, E., & Thorsen, S. V. (2021). Combined ergonomic exposures and development of musculoskeletal pain in the general working population: A prospective cohort study. *Scandinavian*

Journal of Work, Environment & Health, 47(4), 287–295.

<https://doi.org/10.5271/sjweh.3954>

Arbejdstilsynet. (2023). *National Overvågning af Arbejdsmiljøet blandt Lønmodtagere 2021 og 2023*. <https://at.dk/arbejdsmiljoe-i-tal/national-overvaagning-af-arbejdsmiljoeet-blandt-loenmodtagere/datavisning/>

Bláfoss, R., Aagaard, P., Clausen, T., & Andersen, L. L. (2023). Effects of consecutive workdays and days off on low back pain, fatigue and stress: Prospective cohort study among warehouse and construction workers. *Occupational and Environmental Medicine*, 80(11), 650–658. <https://doi.org/10.1136/oemed-2023-109043>

Bláfoss, R., Aagaard, P., Clausen, T., & Andersen, L. L. (2024). Association of objectively measured lifting load with low-back pain, stress, and fatigue: A prospective cohort study. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 50(1), 11–21. <https://doi.org/10.5271/sjweh.4127>

Brandt, M., Ajslev, J. Z. N., & Andersen, L. L. (2020, October 6). *Elektrisk stenklipper kan afhjælpe fysisk belastende arbejde for tusindvis af murere*. <https://nfa.dk/nyt/nyheder/2020/elektrisk-stenklipper-kan-afhjaelpe-fysisk-belastende-arbejde-for-tusindvis-af-murere>

Brandt, M., Madeleine, P., Samani, A., Ajslev, J. Z., Jakobsen, M. D., Sundstrup, E., & Andersen, L. L. (2018). Effects of a Participatory Ergonomics Intervention With Wearable Technical Measurements of Physical Workload in the Construction Industry: Cluster Randomized Controlled Trial. *Journal of Medical Internet Research*, 20(12), e10272. <https://doi.org/10.2196/10272>

- European Agency for Safety and Health at Work., IKEI., & Panteia. (2019). *Work-related musculoskeletal disorders: Prevalence, costs and demographics in the EU*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2802/66947>
- Holtermann, A., Clausen, T., Jørgensen, M. B., Aust, B., Mortensen, O. S., Burdorf, A., Fallentin, N., & Andersen, L. L. (2015). Does rare use of assistive devices during patient handling increase the risk of low back pain? A prospective cohort study among female healthcare workers. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 88(3), 335–342. <https://doi.org/10.1007/s00420-014-0963-4>
- Holtermann, A., Jørgensen, M. B., Gram, B., Christensen, J. R., Faber, A., Overgaard, K., Ektor-Andersen, J., Mortensen, O. S., Sjøgaard, G., & Søgaard, K. (2010). Worksite interventions for preventing physical deterioration among employees in job-groups with high physical work demands: Background, design and conceptual model of FINALE. *BMC Public Health*, 10, 120. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-10-120>
- Jakobsen, M. D., Sundstrup, E., Persson, R., Andersen, C. H., & Andersen, L. L. (2014). Is Borg's perceived exertion scale a useful indicator of muscular and cardiovascular load in blue-collar workers with lifting tasks? A cross-sectional workplace study. *European Journal of Applied Physiology*, 114(2), 425–434. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2782-9>
- Jun, D., Zoe, M., Johnston, V., & O'Leary, S. (2017). Physical risk factors for developing non-specific neck pain in office workers: A systematic review and meta-analysis. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 90(5), 373–410. <https://doi.org/10.1007/s00420-017-1205-3>

- McCrary, J. M., Ackermann, B. J., & Halaki, M. (2018). EMG amplitude, fatigue threshold, and time to task failure: A meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(7), 736–741. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.11.005>
- Mosier, C. I. (1947). A critical examination of the concepts of face validity. *Educational and Psychological Measurement*, 7(2), 191–205.
<https://doi.org/10.1177/001316444700700201>
- NFA. (2018). *Arbejdsmiljø og helbred 2012-2018*. <https://at.dk/arbejdsmiljoe-i-tal/national-overvaagning-af-arbejdsmiljoeet-blandt-loenmodtagere/arbejdsmiljoe-og-helbred-2012-2018/>
- Samani, A., Holtermann, A., Søgaard, K., Holtermann, A., & Madeleine, P. (2012). Following ergonomics guidelines decreases physical and cardiovascular workload during cleaning tasks. *Ergonomics*, 55(3), 295–307.
<https://doi.org/10.1080/00140139.2011.640945>
- Sundstrup, E., Meng, A., Ajslev, J. Z. N., Albertsen, K., Pedersen, F., & Andersen, L. L. (2022). New Technology and Loss of Paid Employment among Older Workers: Prospective Cohort Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(12), 7168. <https://doi.org/10.3390/ijerph19127168>
- Vinstrup, J., Jakobsen, M. D., Madeleine, P., & Andersen, L. L. (2020a). Biomechanical load during patient transfer with assistive devices: Cross-sectional study. *Ergonomics*, 63(9), 1164–1174. <https://doi.org/10.1080/00140139.2020.1764113>
- Vinstrup, J., Jakobsen, M. D., Madeleine, P., & Andersen, L. L. (2020b). Physical exposure during patient transfer and risk of back injury & low-back pain: Prospective

cohort study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 21(1), 715.

<https://doi.org/10.1186/s12891-020-03731-2>