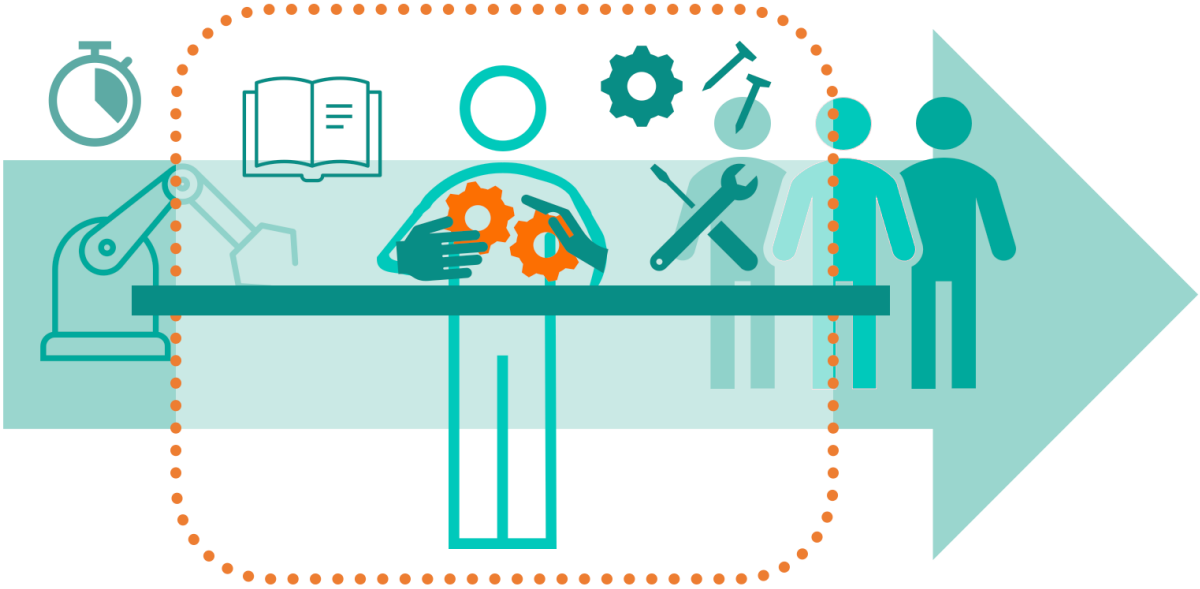
SLUTRAPPORT

2021-11-01

Proaktiv bedömning av kognitiva och mentala arbetsbelastningskrav och resurser i manuell montering - PreKo-modellen



Projekt dnr. 170018	Projektledare
”Modell för prediktiv bedömning av kognitiv arbetsbelastning – PreKo”	**Cecilia Berlin** Chalmers tekniska högskola, Avd. Design & Human Factors

Innehållsförteckning

Sammanfattning ... 3
Tack ... 4
1. Projektets syfte och bakgrund ... 5
2. Projektets genomförande ... 6
2.1 Avvikelser och Ekonomi ... 6
2.2 Forskningsfrågor ... 7
2.3 Intervjustudie med tre industriella företag ... 7
2.3.1 Datainsamling ... 7
2.3.2 Analys ... 8
2.4 Studiens begränsningar ... 9
2.4.1 Ordval ... 9
2.4.2 Urval ... 9
2.4.3 Kvalitativ ansats ... 10
3. Uppnådda resultat ... 11
3.1 Grundläggande begrepp och litteraturöversikt ... 11
3.1.1 Begreppen kognitiv respektive mental belastning ... 11
3.1.2 Perspektiv på kognitiv/mental belastning från litteraturen ... 12
3.1.3 Befintliga metoder för bedömning av kognitiva/mentala belastningsfaktorer ... 14
3.2 Intervjustudiens resultat (översikt) ... 16
3.2.1 En bild av montörernas kognitiva/mentala belastning ... 16
3.2.2 Referat artikel 1 (konferensartikel, översiktliga helhetsresultat) ... 17
3.2.3 Referat artikel 2, (montörsresultaten från ett Krav/Resursperspektiv) ... 17
3.3 Intervjuer med tänkta användare av bedömningsmodell ... 18
4. PreKo-modellen: en bedömningschecklista ... 22
4.1 Indata: definition av bedömningens omfattning ... 23
4.3 Bedömning av Krav respektive Resurser ... 24
4.6 Sammanvägning av bedömningar ... 25
5. Genomförda och planerade insatser för att resultaten ska komma till praktisk användning ... 26
6. Publikationer, presentationer och annan spridning ... 27
7. Slutsatser och reflektioner ... 28
7.1 Svar på forskningsfrågorna ... 28
7.2 Summering och framtida arbete ... 30
Referenser ... 31
Bilaga A – Projektets detaljerade tidslinje ... 35
Bilaga B – Redovisning av avvikelser från projektplan och budget ... 36
Bilaga C – COREQ-checklista för kvalitativ forskningsrapportering ... 38
Bilaga D – Litteraturöversikt ... 41
Bilaga E – Intervjufrågor till Montörer samt Beredare/Konstruktörer ... 42
Bilaga F – Redovisning av projektets ekonomiska resultat ... 47
Bilaga G – Översikt av PreKo-modellen och PRECO-verktyget ... 48

Sammanfattning

Projektet ”Modell för prediktiv bedömning av kognitiv belastning” (”PreKo”, dnr. 170018) genomfördes 2018-2021 och syftade till att sammanställa vetenskaplig och empirisk kunskap om kognitiv och mental belastning i sammanhanget taktad industriell montering av komplexa produkter. Målet var att skapa underlag för rådgivning kring utformning av såväl monteringsuppgifter och instruktioner som av monterbara komponenter.

Föreliggande rapport ger översiktliga resultat av projektet ”Modell för prediktiv bedömning av kognitiv belastning - PreKo”. Detaljerade resultat återges i separata vetenskapliga publikationer. Det praktiska slutresultatet av projektet är en framåtsyftande, holistisk och systemorienterad ”bedömningschecklista” som vi kallar PreKo-modellen. Denna modell stöttar olika roller i tillverkande företag i att kartlägga möjliga kognitiva/mentala belastningskällor och avlastande resurser – i en balans mellan dessa strävar man efter en sund och lagom utmanande belastning, som främjar montörernas trivsel och motivation i arbetet samt hög monteringskvalitet. Modellen och det tillhörande verktyget ”PRECO I” är tänkt att hjälpa företag att analysera förutsättningarna för montörers välmående och prestation samt identifiera krav och resurser från ett flertal systemnivåer (konstruktionen, monteringsstationen, produktionsflödet, inlärning och instruktioner, arbetslaget och övriga krav/resurser). För att få insikt i alla dessa aspekter, som ibland är organisatoriskt och geografiskt separerade på vissa företag, förespråkar modellen att ett flertal bedömare som representerar olika roller (erfaren montör, oerfaren montör, konstruktör, produktionsberedare och ergonom/arbetsmiljöansvarig) för att genomföra bedömningen. Eftersom checklistan bygger på litteraturstudier och en intervjustudie så syftar modellen i nuläget inte till att kvantifiera och mäta kognitiv/mental belastning; i stället bör modellen användas som ett praktiskt orienterande scanning-verktyg.

Projektet utfördes av ett kärnteam av forskare kopplade till Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg. Projektet omfattade en informell litteraturstudie; en intervjustudie med tre industriella företag; medverkande i ett flertal forum där företagen och andra intressenter delgavs preliminära resultat löpande under projektet; samt ett antal konferenspresentationer och vetenskapliga publikationer.

Covid 19-pandemin under våren 2020 till hösten 2021 påverkade delvis projektets genomförande, dock endast till lindrig grad. Några planerade intervjustudier behövde ställas in pga. utbrottet, som begränsade möjligheten att kunna ta nya intervjupersoners tid i anspråk. Dock gjorde forskarlaget bedömningen att det insamlade antalet intervjuer (75 totalt, varav 50 med montörer och resten med konstruktörer och beredare) totalt sett är tillräckligt för att understödja våra resultat och slutsatser, med givna förbehåll om att studien är i huvudsak kvalitativ och att fokuset hålls på kognitiv och mental belastning hos montörer på industriella monteringsföretag. Vissa personalrelaterade omständigheter och ett internt ekonomiskt sparbeting på Chalmers Tekniska Högskola under 2019-2021 påverkade också delvis projektets bemanning och genomförande, men anställning säkrades för kritiska projektmedlemmar fram till projektets verksamhetsslut.

Tack

Först av allt vill vi varmt tacka alla montörer, beredare och konstruktörer som deltagit i studien som intervjupersoner. Ert generösa delande av insikter, observationer och tankar kring ”hur ni tänker när ni tänker” har berikat vår studie enormt. Utan er, inga nya insikter!

Därmed vill vi också varmt tacka våra kontaktpersoner på studiens tre deltagande företag: Företag A och B som gav oss insikter i montering av stora, komplexa produkter, och Företag C som bidrog med perspektiv från komponenttillverkning. Ni har alla imponerat på oss med hur ni hanterar monteringskomplexitet, ”kognitivt krångel” och allehanda utmaningar – vi är ert stort tack skyldiga för att ni gett oss möjlighet och organiserat tid och rum för att intervjua era medarbetare.

Vi tackar även de tre ytterligare medelstora företag som vid olika skeden i projektet erbjöd sig att delta i studien, men omorganisering i ett fall och Covid19-pandemin i de andra två satte tyvärr stopp för att vi skulle få med era insikter. (Tack ändå för den goda viljan!)

Vi vill även varmt tacka alla transkriberare, varav flera Chalmersstudenter och tjänsten Transkribering.nu, som tålmodigt hjälpte oss få de intervjuades tankar på pränt.

Tack till Fredrik Karlsson som assisterade projektets senare skeden genom att intervjua tänkta användare och mottagare av PreKo-modellen samt med att utföra delar av litteratursammanfattningen.

Vi vill slutligen varmt tacka *AFA Försäkring* för möjligheten, medlen och förtroendet att få göra detta forskningsprojekt, samt ge ett extra stort tack för flexibiliteten ni visat i ljuset av de många kringfaktorer som dramatiskt påverkade projektets genomförande (bemanningsfrågor, besparingsbeting och Covid19-pandemin) och bidrog till lite extra mental belastning för alla inblandade. En extra stor eloge till vår handläggare Barbro Jacobsson för tålmodiga och positiva bemötanden genom hela projektresan. *Tack!*

1. Projektets syfte och bakgrund

Det här forskningsprojektet handlar om kognitiv och mental belastning som förekommer i manuell montering. Kognitiv respektive mental belastning är två begrepp med subtila skillnader som kan behöva förtydligas. Sammanhanget för forskningen har varit tillverkande industri, där arbetslag av mänskliga montörer sätter ihop komplexa mekaniska produkter, på taktade monteringsbanor med hjälp av mer eller mindre avancerade verktyg, fästelement och utrustningar. Dessa produkter behöver hålla hög kvalitet och levereras under tidsbegränsning.

PreKo-projektets övergripande syfte var att bidra till socialt hållbart arbetsliv genom att utforska effekterna av kognitiv och mental[1] belastning vid monteringsarbete, samt utveckla en ”prediktiv” kognitiv bedömningsmodell som beslutsstöd vid tidig utformning av monteringslösningar och arbetsuppgifter. Detta görs genom att utreda hur kognitiva belastningsfaktorer kan betraktas på systemnivå, dvs hur bedömningsmodellen kan kopplas till produktplaneringsprocessen, för att underlägga och stödja beslutsfattande under tidiga utvecklingsfaser.

Tanken har varit att möjliggöra bättre helhetsbedömning i tidigt stadium, med syfte att proaktivt minska kombinatoriska belastningsrisker.

I synnerhet syftade projektet från början till att söka svar på fyra övergripande forskningsfrågor, som under arbetets gång förfinats och brutits ner i mer tillskärpta, detaljerade frågor (se avsnitt 2.2):

Projektets ursprungliga forskningsfrågor från projektstart

1. Vilka fysiska och kognitiva faktorer kopplade till monteringsförutsättningar kan påverka subjektivt upplevd komplexitet i arbetet?
2. Vilka drivkrafter finns bakom s.k. ”upparbetning” och andra psykosociala stressbeteenden?
3. Om s.k. ”flow” i arbetet (välfungerande arbete utan störningsmoment) kan motverka riskerna med hög kognitiv belastning - vilka faktorer kan stödja detta flow?
4. Vilka kognitiva förutsättningar (bedömningskriterier) kan kopplas till det psykosociala arbetsklimatet, produktutvecklingsprocessen, respektive arbetsorganisationen?

Projektets tänkta effekt var att skapa kunskap och verktyg för att tidigt upptäcka och förebygga arbetsuppgiftsrelaterad kognitiv stress, frustration eller över-/underbelastning, vilket förväntas leda till förbättrad hälsa samt ökad effektivitet och kvalitet på produkter och tjänster. Projektets tillämpningshemvist är primärt monteringsarbete i tillverkningsindustri, men bör ha relevans för alla arbetsuppgifter som fordrar instruktioner och därmed innebär kognitiv belastning. Modellen är tänkt att kunna gagnas omgående efter projektavslut av (industriella) företag med egen utveckling av arbetssystem och organisation och eventuellt produkter.

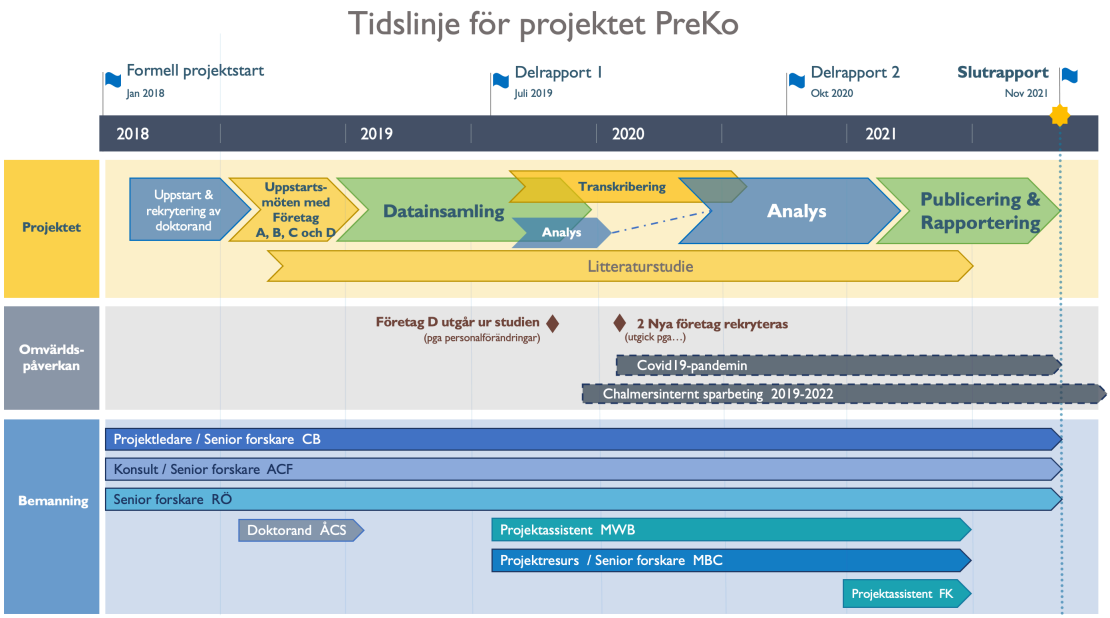
[1] Ett fynd från vår litteraturstudie (Bilaga D) är att det finns en svårfångad omfattningsmässig skillnad mellan begreppen ”kognitiv” och ”mental” arbetsbelastning, eftersom de två begreppen ibland används synonymt och ibland används mycket olika mellan olika forskningsfält. I rapporten omnämner vi därför båda, eftersom de båda perspektiven går in i varandra och är relevanta för projektets omfattning.

2. Projektets genomförande

Projektet utfördes huvudsakligen i form av en stor intervjustudie med montörer från tre deltagande företag. Projektets praktiska del pågick under 3 års tid, Avsikten var att få en helhetsbild av så många olika faktorer som möjligt som kunde påverka montörers upplevelse av kognitiv och mental belastning från monteringsarbetet. Som komplettering utfördes även en studie av relevant litteratur som belyste ämnet kognitiv eller mental arbetsbelastning från ett produktionsperspektiv.

Från början rekryterades fyra industriella företag med egen tillverkning på olika orter i Sverige. Projektet inleddes med uppstartsmöten på plats hos dessa med minst tre av forskarna i forskarlaget. På dessa möten presenterades projektets syften och önskade involvering av företagen, t.ex. med att planera och rekrytera deltagare för intervjuer. I samtliga fall planerade forskarna för att intervjua montörer på plats i fabrik på arbetstid, med hjälp av kontaktpersoner på respektive företag.

Två av företagen (A och B) var fordonstillverkare och två (C och D) var fordonskomponenttillverkare med olika produktspecialisering. Ett av företagen (D) utgick ur studien ca 1,5 år efter projektstart på grund av försenad projektstart i kombination med personalförändringar i företaget kraftigt begränsade deras möjlighet och intresse för att delta.



Figur 1: PreKo-projektets översiktliga tidslinje med avseende på projektaktiviteter, omvärldspåverkan och bemanning

Bilaga A redovisar hela projektets detaljerade tidslinje och aktiviteter från ett praktiskt och administrativt perspektiv. Ett internt sparbeting på Chalmers under 2020-2022, parallellt med Covid19-pandemins utbrott våren 2020, medförde påverkan på projektets framskridande, dock endast till lindrig grad eftersom stora delar av datainsamlingen var klara till våren 2020.

Vi redovisar även förutsättningarna för projektets kvalitativa forskningskvalitet (bland annat forskarnas bakgrund, hanteringen av intervjupersoner och analysarbetsgången) med hjälp av en COREQ-checklista [1], se Bilaga C eller [2].

2.1 Avvikelser och Ekonomi

En redovisning av avvikelser från projektplan samt projektets ekonomiska resultat redovisas i Bilaga B respektive Bilaga F.
En hel del förseningar, projektförlängningar och uteblivna budgetuttag uppstod främst på grund av:

- personalförändringar inom projektet
- att Chalmers under 2020-2022 genomgick ett internt sparbeting, och
- att Covid19-pandemin minskade möjligheten till forsknings- och konferensresor (flera delgivningsaktiviteter och konferensdeltaganden genomfördes under denna tid digitalt).

2.2 Forskningsfrågor

Projektets ursprungliga fyra frågor (se avsnitt 1) bearbetades under projektets gång till tio detaljerade forskningsfrågor, som användes av forskarlaget för att strukturera arbetet med både litteratursökningen och bearbetningen av det empiriska materialet. Svaren på frågorna ges i avsnitt 8.

Tabell 1: Detaljerade forskningsfrågor i projektet, samt sidor där dessa behandlas i föreliggande rapport

Forskningsfråga	Syfte
Vad innebär mental respektive kognitiv belastning?	Tydliggöra begrepp och deras inbördes skillnader, för konsekvent användning i forskningsprojektet
Vilka fysiska och kognitiva faktorer kan påverka mental belastning i monteringsarbetet, och hur samspelar de?	Koppla samman faktorer (krav och resurser i produktionssystemet) som montörer exponeras för i monteringsarbetet
Vilka faktorer under arbetet påverkar monterings-förutsättningar och "flow"?	Belysa det önskvärda tillståndet "flow" eller "bra flyt" där montering löper på smidigt, inget krånglar och uppgifterna görs korrekt och med hög kvalitet
Hur upplevs den mentala belastningen av erfarna respektive oerfarna montörer?	Undersöka skillnader i hur samma exponering/krav från arbetsuppgiften hanteras av montörer med olika erfarenhetsgrad
Hur samspelar kognitiv/mental belastning med motivation och arbetsinställning?	Undersöka huruvida montörens inställning till arbetet och arbetssammanhanget (inkl. motivation) påverkar kognitiv prestation
Hur relaterar arbetsorganisatoriska förut-sättningar till kognitiv/mental belastning för montörerna?	Undersöka huruvida (och i så fall hur) arbetsorganisation påverkar kognitiv prestation
Vad underlättar kognitiv och motorisk inlärning för montörerna?	Identifiera kända inlärningsfaktorer som främjar montörernas inlärning
Hur kan man ta hänsyn till montörers kognitiva/mental belastning i produkt-utvecklingsprocessen?	Undersöka förekomsten av känd kunskap om hur roller i tidiga utvecklingsfaser har möjlighet att basera konstruktions- och beredningsbeslut på det som främjar montörers kognitiva prestation
Vilka (proaktiva) bedömnings-instrument finns tillgängliga idag?	Kartlägga befintliga metoder och mätmodeller för kognitiv/mental belastning
Vad för utvecklingar kan hjälpa / påverka monterings-förutsättningar i framtiden?	Kartlägga teknik, verktyg och andra kända arbetsmiljöfaktorer vars syfte är att påverka/främja kognitiv prestation i monteringsarbete

2.3 Intervjustudie med tre industriella företag

2.3.1 Datainsamling

Inom ramen för projektet genomfördes intervjuer med totalt 50 industrimontörer från tre olika företag, samt 25 intervjuer med konstruktörer och beredare vid samma företag. Tabell 2 visar en översikt av de genom-förda intervjuerna, vars omfattning motsvarar 1065 A4-sidor transkriberad intervjutext (över 432 000 ord). I *Delrapport 1* nämndes ett fjärde företag (D), men de utgick ur projektet. Ett försök gjordes att ersätta detta företag med två nya, små/medelstora företag som tackade ja till deltagande, men pga. Covid19-pandemins utbrott tidigt på våren 2020 så ställdes deras planerade intervjuer in.

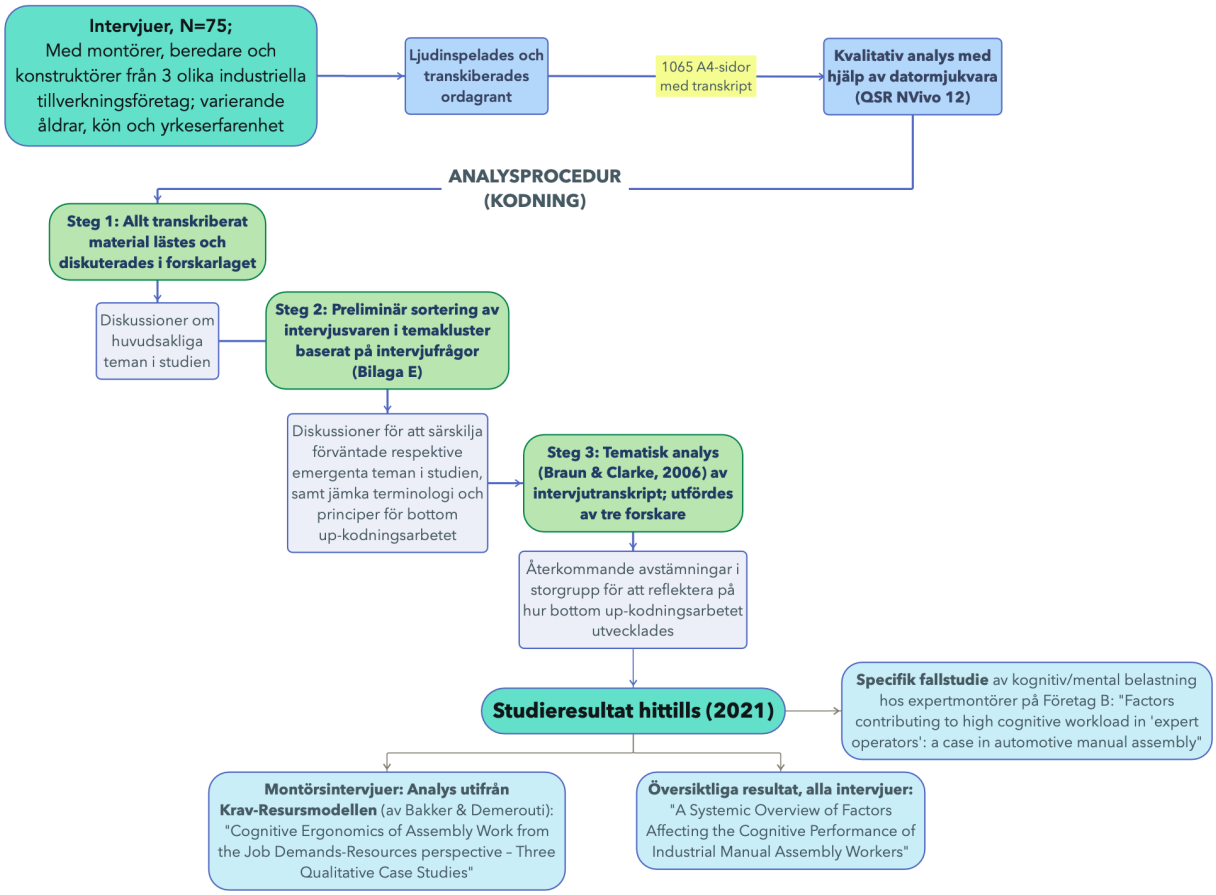
Utifrån litteraturen och forskarnas förförståelse av ämnet och tillämpningssammanhanget, så formulerades frågebatterier (se Bilaga E) riktade i synnerhet mot rollerna *montörer, produktionsberedare* och *konstruktörer*. Intervjuerna var *semi-strukturerade,* vilket betyder att intervjuledaren utgår ifrån ett manus med frågor som man avser att täcka i helhet, men att det även är viktigt att tillåta den svarande att utveckla sidospår och relevanta aspekter som inte tänkts på tidigare. I så fall ska intervjuledaren balansera mellan att täcka frågeområdena i manuset och att uppmuntra den intervjuade till att utveckla och förklara mer.

Tabell 2: Urval av intervjuade

	Företag A - lastbilstillverkare	Företag B – lastbilstillverkare	Företag C – fordonskomponent-tillverkare	
	Montörer			**Totalt**
Antal	10 män, 5 kvinnor	16 män, 6 kvinnor	5 män, 8 kvinnor	50 montörer
Datum	mars 2019	mars - april 2019	april-maj 2019	
	Konstruktörer / Beredare			**Totalt**
Antal	6 män, 1 kvinna	8 män, 3 kvinnor	7 män	18 konstruktörer
Datum	juli – dec 2019	sep 2019 – mar 2020	maj 2019	7 beredare

2.3.2 Analys

Det transkriberade materialet genomgick flera stadier av analys (se Figur 2). Först sorterades intervjusvaren baserat på en top-down-analys som byggde på kluster av intervjufrågor (till montörer respektive beredare/konstruktörer), som forskarteamet ansåg vara innehållsmässigt sammankopplade till varandra.



Figur 2: Datainsamling och analys samt bearbetning till vetenskapliga publikationer

Den insamlade intervjudatan transkriberades och analyserades främst med den kvalitativa metodiken *tematisk analys* [3]. Denna metodik är en klassisk form av bottom up-kodning av (oftast skriftligt) kvalitativt material, som mynnar ut i olika konsoliderade temaområden funna i intervjuresultaten. Metodiken är särskilt lämplig för semi-strukturerade intervjuer, där forskarna vill öppna upp för att de intervjuade kan tillföra teman och insikter som inte forskarna själva tänkt på.

Ibland kan temaområden tilldelas en inbördes hierarki om det finns en logik i hur dessa förhåller sig till varandra. Analysen genomfördes av forskarlaget genom att tre av forskarna gjorde kodningsarbetet och resultaten upprepade gånger diskuterades och stämdes av i storgruppen. Arbetet underlättades genom användning av det datoriserade analysverktyget QSR NVivo 12.

I Figur 2 visas det huvudsakliga datainsamlings- och analysförfarandet i projektet; vissa variationer i hanteringen av analysresultaten anpassades efter vårt parallella arbete med att publicera studiens resultat på konferenser och i vetenskapliga tidskrifter (journaler). I dessa fall fokuserade oftast varje publikation på ett specifikt perspektiv av studien, dels för att fokusera på ett sammanhängande budskap, dels på grund av ordbegränsningar i varje artikel.

2.4 Studiens begränsningar

2.4.1 Ordval

Det visade sig tidigt i projektets litteratursökningar att ordet ”prediktiv” i titeln var ett olyckligt valt begrepp för projektets vetenskapliga omfattning, eftersom ”prediktiva” metoder som beskrivs i litteraturen normalt innebär en statistisk eller matematisk modellering av framtida systemtillstånd. Eftersom projektets avsedda datainsamling och undersökningsförfarande huvudsakligen byggde på kvalitativa ansatser så kunde kvantifiering inte på ett försvarbart sätt åstadkommas. Efter att ha fått denna insikt arbetade gruppen fortsättningsvis med den nya devisen ”Proaktiv” bedömning, för att bibehålla projektets framåtsyftande och förebyggande avsikter, men också för att inte kommunicera felaktigt kring vad studiens utfall och bedömningsmodell skulle syfta till.

Av denna anledning har projektet valt att i fortsatta kommunikationer om bedömningsmodellen valt att använda namnet **PRECO**, som förkortning av engelskans ***"Proactive Evaluation of Cognitive/Mental demands and resources"***.

Det har varit utmanande att närma sig ämnena kognitiv/mental belastning och komplexitet utan att använda ett alltför abstrakt och akademiskt språk. Som diskuteras i avsnitt 3.1.1 så är det vanskligt att söka efter kunskap både empiriskt och i litteratur med begreppet ”kognitiv” eller ”mental” belastning på såväl engelska som svenska; vår erfarenhet, likaså våra företagskontakters, var att ord som ”mental” kunde väcka associationer till mentala sjukdomar och psykisk (o)hälsa, och att ”kognitiv” var ett ord som de flesta inte var helt införstådda med. När intervjustudien väl inleddes så ägnade forskarna en stund åt att förklara för varje intervjuad att vi var intresserade av tankeverksamhet, problemlösning, minne, beslutsfattande och andra typer av ”hjärnarbete” i monteringen. De flesta av de intervjuade använde sig därefter företrädelsevis av andra begrepp under intervjuerna, t.ex.:

- “Psykiskt ansträngande” (i motsats till fysiskt ansträngande)
- “Mentalt krävande”
- “Mentalt, det är väl stress då.”
- “Stressigt”
- “Ofokuserat”
- “Trött i huvudet”
- “Körd i skallen”

Oftast pratades det i intervjuerna om ”krånglighet” när monteringsuppgifter ansågs utmanande. Detta, och resultatet av vår litteraturstudie (avsnitt 3.1.1), antyder att det fortsatt krävs lite flexibilitet hos forskare som på kvalitativt vis vill undersöka kognitiv och mental belastning i arbetsmiljöer.

2.4.2 Urval

Från början eftersöktes deltagande av både stora och medelstora företag med olika komplexitet på sina produkter (kännetecknat av t.ex. antal varianter, grad av ”skräddarsydda” eller mängdproducerade produkter, behov av löpande kvalitetskontroll och antal olika stationer och monteringslinor i hela produktionen), och fyra företag rekryterades för att balansera insikterna från stora och medelstora företag. Praktiska hinder gjorde dock att ett av de medelstora företagen med medium-komplx produkt uteblev, vilket följaktligen gör att studiens resultat tenderar till att få tyngdpunkten vid fynd som gäller för stora fabriker och högkomplexa, skräddarsydda produkter. Detta kan anses vara en inbyggd bias i studien, varför vi måste dra den klassiska slutsatsen att ”vidare studier krävs” för att balansera insikterna från vår studie.

En annan urvalsrelaterad praktisk begränsning var att företagen tillät oss att komma till deras pågående produktion och intervjua en montör i taget; detta på villkor att företagets kontaktperson styrde urvalet av personer som kom till intervjuerna (i samråd med produktionsledare), och att forskarna höll den överenskomna tiden (ca 30-40 min) för att störa produktionen så lite som möjligt. Varje intervjuad montör

förväntades därefter återvända till monteringsarbetet så snart som möjligt. Kontaktpersonerna på företagen ombads av forskarna att rekrytera både erfarna och oerfarna montörer av olika kön och åldrar och i olika monteringslag (eller delfabriker) för en bred representation av erfarenheter; kontaktpersonerna på företagen valde dessutom avsiktligen individer med god svensk språkförmåga, dock ej på forskarnas begäran. Dessa villkor medförde vissa begränsningar, t.ex. så kan inte studien uttala sig om kognitiv/mental belastning för montörer som inte behärskar svenska språket, eller för den delen om de svensktalande montörerna kommunicerar på andra språk.

Slutligen så fanns en svårighet hos vissa företag i att rekrytera konstruktörer och beredare som intervjupersoner, så dessa blev relativt få till antalet jämfört med montörerna. Detta beror till stor del på att de större företagen hade så stora organisatoriska och geografiska avstånd mellan olika funktioner att kontaktpersonerna inte alltid kunde bistå med kontakter till rätt avdelning eller chef. Vidare så skedde under datainsamlingsperioden en större teknisk förändring på ett av de stora företagen och även om forskarna fick tag på flera konstruktörer till slut, så tackade de flesta nej på grund av hög arbetsbelastning med denna förändring. Av dessa anledningar var det lättast att få tag på ett tillfredsställande antal konstruktörer och beredare på det minsta deltagande företaget – delvis för att vissa intervjupersoner var både konstruktör och beredare, och dessutom satt fysiskt i produktionens lokaler.

2.4.3 Kvalitativ ansats

Detta projekt har utgått ifrån behovsbilden att industriella tillverkande företag ofta saknar metoder och verktyg för att ta hänsyn till kognitiv/mental belastning i monteringsarbete – framför allt i tidiga planeringsfaser – även om de redan har befintliga interna standarder och verktyg för att utvärdera fysisk ergonomi och belastning. Syftet har därför varit att undersöka förekomst av kognitiv och mental belastning i systemet *som helhet* och med stark anknytning till det industriella monteringssammanhanget, för att säkra resultatens relevans för de industriella företag som vi betraktar som projektets primära mottagare. För att åstadkomma denna systemförståelse och vara öppna för att informanterna har insikter i faktorer och samspel som inte forskarna redan känner till, så har en semi-strukturerad intervjustudie hos ett antal olika företag genomförts.

På grund av studiens utformning vad gäller datainsamling med intervjuer så är inte kvantifiering och ”mätbarhet” det primära målet. Det finns många vetenskapliga studier där man försökt att objektivt och kvantitativt mäta kognitiv eller mental belastning; i dessa fall behöver man förlita sig på sensorer för biomarkörer och fysiologiska reaktioner (t.ex. mätning av ökningar och minskningar i puls, elektrisk aktivitet i huden, kortisol i saliven, hjärnaktivitet, ögonrörelser m.m.) eller på absoluta prestationsmått (som t.ex. antal korrekt eller felaktigt utförda uppgifter, tidtagning m.m.). Fördelarna med dessa objektiva mätningar är att de oftast kan mätas medan människans arbete pågår, är skapligt transparenta och förlitar sig inte på personens självmedvetenhet och förmåga att uttrycka sig; nackdelarna är behovet av utrustning, osäkerhet i mätinstrumenten, och att forskaren behöver vara säker på att ’det mätbara måttet’ verkligen är relevant för den mentala process och belastning som man försöker kvantifiera. Vidare så brukar kvantitativa resultat inte kunna indikera möjliga lösningar och alternativ, utan endast konstatera belastningens storlek.

Av ovanstående anledningar så *avgränsas projektet helt från att försöka kvantifiera kognitiv och/eller mental belastning i utvecklingen av PreKo-modellen.*

3. Uppnådda resultat

I denna del redovisas grundläggande begrepp och en mycket kortfattad översikt av relevant litteratur om kognitiv och mental belastning, befintliga metoder för utvärdering samt arbetskomplexitet och produktionsmiljöns krav. Den fullständiga redovisningen av litteraturen har lyfts ut i en fristående rapportbilaga, *"Litteraturöversikt: kognitiv och mental belastning i monteringsarbete"* (se Bilaga D). Därefter redovisas intervjustudiens huvudresultat, d.v.s. vilka typer av faktorer som operativa montörer upplever som kognitivt belastande och vilka hjälpande och hindrande faktorer som påverkar deras monteringsprestation. Dessa fynd speglas mot beredares och konstruktörers syn på vad som är kognitivt belastande, samt vilka möjligheter de har i sina roller att beakta och förbättra förutsättningarna för kognitiv prestation i montering. Slutligen presenteras synpunkter ifrån en informell "användarstudie" där tänkbara användare av en eventuell bedömningsmodell för kognitiv/mental belastning i montering intervjuades och fick ge synpunkter på vad de önskade av ett sådant verktyg.

3.1 Grundläggande begrepp och litteraturöversikt

Som del av PreKo-projektet har en litteraturöversikt genomförts i syfte att kartlägga befintlig kunskap om mental och/eller kognitivt belastande arbete (med särskilt fokus på montering), samt kring metoder för bedömning av kognitiv belastning. En kort översikt av fynden ges här i Slutrapporten, men den fullständiga redovisningen av litteraturen har lyfts ut i en fristående rapportbilaga, ***"Litteraturöversikt: kognitiv och mental belastning i monteringsarbete"*** (se Bilaga D) som är tänkt att fungera som en användbar litteraturresurs för tillverkande företag och andra aktörer.

3.1.1 Begreppen kognitiv respektive mental belastning

En tidig insikt i detta projekt (se avsnitt 2.4.1) var att det inte var så enkelt som att bege sig till företagen och fråga montörerna, "Hur är din kognitiva belastning när du jobbar?". Det vardagliga språkbruket kring ämnet var minst sagt oklart när projektet startades upp år 2018, och än idag råder ingen klarhet i vilka termer2 som är självklara på svenska). Att särskilja mellan begreppen kognitiv och mental (arbets)belastning utifrån vetenskaplig litteratur (på engelska) är inte heller helt okomplicerat. Begreppen "mental belastning" och "kognitiv belastning" används båda frekvent, och ibland till synes som synonymer. Det har gjorts försök i den vetenskapliga att både skilja termerna åt och att relatera dem till varandra [4, 5], vilket bidrar till begreppsförvirringen.

Vanskligheten i att finna en entydig definition exemplifieras på annat håll av det faktum att standarden ISO 10075, på svenska "Ergonomiska principer avseende mental arbetsbelastning" (del 1-3) [6, 7], helt enkelt avstår från att definiera begreppet mental belastning över huvud taget, och refererar till det som en "paraplyterm" för de två koncepten *"mental stress"* och *"mental strain"*. Dock står det i standarden att mental stress (i betydelsen externa belastningar som påverkar människan mentalt) består av *kognitiva* och *emotionella* processer, och att dessa är så starkt sammantvinnade att det inte är möjligt eller rationellt att analysera dem separat. Begreppet mental strain syftar i standarden till den *omedelbara reaktionen hos individen* till mental stress; i standarden står följaktligen att vissa egenskaper hos individen modererar hens reaktioner och utfall på kort och lång sikt (exempelvis aktivering, lärande, mental trötthet, monotoni, vaksamhetsbrist, stressreaktioner eller utbrändhet).

En anledning att särskilja termerna kognitiv och mental är att olika forskningsfält som har studerat "hjärnan i arbete" föredrar olika termer, och en annan är att forskarlagets ämneshemvist, Ergonomi och Human Factors (E/HF), är multidisciplinärt och därför inspireras och bygger på kombinationer av idéer och språkbruk från olika traditioner. Begreppet "mental (arbets)belastning" (eng:mental workload, MWL) dominerar i E/HF- och kognitionsvetenskapsfälten, men det dyker även upp E/HF-bidrag där "kognitiv (arbets)belasting" *(eng: cognitive workload, CWL)* används; detta är troligen ett arv från kognitiva vetenskaper och utbildningspsykologi *(eng: educational psychology)* där i synnerhet en tredelad definition av Sweller, *cognitive load theory, CLT* [8–10] fått stor förankring och används som delkomponent i viss E/HF-litteratur som en byggsten till MWL. På svenska delas CLT in i tre typer av kognitiv belastning: *Inneboende* (eng. *Intrinsic*), Genuin (*Germane*) och Omständighetsrelaterad / ovidkommande (*Extraneous*). Psykologiguiden[8] summerar det som att *"Kognitiv belastning ger upphov till mental ansträngning"*.

[2] Termen "*hjärnvänlig*" har dock lanserats under 2010- till 20-tal och återgav drygt 4200 sökresultat i sökmotorn Google i slutet av oktober 2021, varav 339 resultat skapats under projekttiden.

Van Acker m.fl. [11] gjorde en så kallad konceptanalys för att definiera mental arbetsbelastning med höh grad av vetenskaplig förankring; de kom fram till att MWL är *"ett subjektivt upplevt psykologiskt bearbetningstillstånd, som avslöjar samspelet mellan ens begränsade och multidimensionella kognitiva resurser och de kognitiva arbetskrav som man utsätts för"*[3] (s. 358). Deras modell bygger på Swellers definition av CLT och bortser från emotionell belastning, trots konstaterandet att det ingår i vissa konceptualiseringar i litteraturen, eftersom emotionella aspekter var svåra att ”fånga” på ett entydigt sätt. Deras definition antyder att mental arbetsbelastning är ett mer allomfattande, situationsfokuserat koncept än kognitiv belastning, som helt enkelt är en komponent därav. Dock skriver de själva att deras modell inte heller kan fånga alla nyanser och komplexiteten av vad MWL innebär, eftersom *”ergonomi handlar alltid om kontext”* (s. 360).

Eftersom E/HF-forskning oftast syftar till att skapa kunskap om hur man bör utforma arbete, verktyg och hjälpmedel för att optimera mänskligt välmående och prestation parallellt, så tenderar det fältet till att utgå ifrån att den arbetande människan som studeras kommer att tillägna alla sina kognitiva resurser åt att lösa uppgiften, vilket för fokuset till prestation. En frekvent citerad MWL-definition av Wickens m.fl. [12] sätter tonen för mycket av Human Factors-disciplinen när den (fritt översatt) säger att *”mental arbetsbelastning beskriver hur uppgifter ställer krav på hjärnans begränsade förmåga att processa information, på samma vis som fysisk belastning beskriver hur uppgifter kräver energi från musklerna”* (s. 347). Med andra ord så betraktas hjärnans kapacitet att ta itu med en uppgift som begränsad, och därmed finns en risk för att ”överbelasta” hjärnans förmåga att processa information på kort sikt. Young m. fl. [4] beskriver även ett mentalt ”belastningsoptimum” för hjärnan, där den mentala arbetsbelastningen varken över- eller underbelastar hjärnan den bästa prestationen uppnås. I de båda ytterligheterna så har det alltså uppstått en missmatch mellan uppgiftens krav och individens mentala kapacitet, och hen blir antingen överväldigad eller uttråkad.

Tidiga E/HF- bidrag (ca 1980-tal) tenderade att betrakta mänskligt mentalt arbete som ren "informationsbearbetning", dvs. att uppfatta och tolka sensoriska signaler och besluta om ett handlingssätt, baserat på den tolkningsprocessen [13, 14]. Denna bild är fortfarande dominerande i disciplinen Människa-maskinsystem *(eng. förkortning: HMI).* När forskningen eller utvecklingen är prestations- och säkerhetsfokuserad, studeras ofta mental belastning på ett experimentellt sätt där utförandet av uppgiften ofta bedöms baserat på korrekt genomförande, tidsanvändning och förekomst av mänskliga felhandlingar. CLT däremot utgår dock inte ifrån att personen ägnar alla sina mentala resurser åt (inlärnings)uppgiften; snarare diskuteras det [15] om de passivt upplever den kognitiva belastningen, eller *aktivt väljer* att anstränga sig för att engagera sig i den. Hockey [16] stöder att det skulle vara klokt att erkänna idén om "frivillig tillämpning av ansträngning" [15] på scenarier med montering vid löpande band; när individer utför uppgifter under tidspressade förhållanden kan de enligt denna modell anpassa sig till stress med en avsiktlig mängd ansträngning, eller att omedvetet uppfylla specifika prestationsmål på bekostnad av andra mål, vilket kan resultera i sämre prestation och/eller trötthet.

Eftersom vi avser att studera ”montörens hjärna i arbete” i ett komplext och föränderligt industriell arbetssystemkontext, som fordrar korrekt och jämn monteringsprestation, och vi vill ta höjd för att omfattningen av påverkansfaktorer är bred och att människor kan ha olika motivation för hur mycket de är villiga att anstränga sig för att utföra en uppgift, ***så betecknar vi fortsättningsvis omfattningen av PreKo-projektet som ”kognitiv/mental” (ibland K/M-) belastning.***

3.1.2 Perspektiv på kognitiv/mental belastning från litteraturen

Att döma av den funna litteraturen så finns många faktorer på många olika systemnivåer att ta hänsyn till med avseende på kognitiv/mental belastning hos montörer. En genomgång av dessa perspektiv har varit högst väsentlig för PreKo-modellens struktur, omfattning och logik. En mer detaljerad genomgång av de referenser som sammanfattas i Tabell 3 utvecklas i Bilaga D (Litteraturöversikten). Avsikten med nedanstående tabell är att ge en grov översikt över tidigare utforskade faktorer och helhetssystem som påverkar montörers/operatörers prestation och välmående i arbetet.

Tabell 3: Urval av relevant litteratur för kognitiv och mental belastning i tillverkande industri

Ämnesområde	Referenser
Processflödets gynnsamma förhållanden	*What makes a process flow (ur: This is Lean: Resolving the Efficiency Paradox) [17]*
”Flow” (upplevelsemässigt)	*The concept of Flow [18]* *Flow: The psychology of optimal experience [19]*

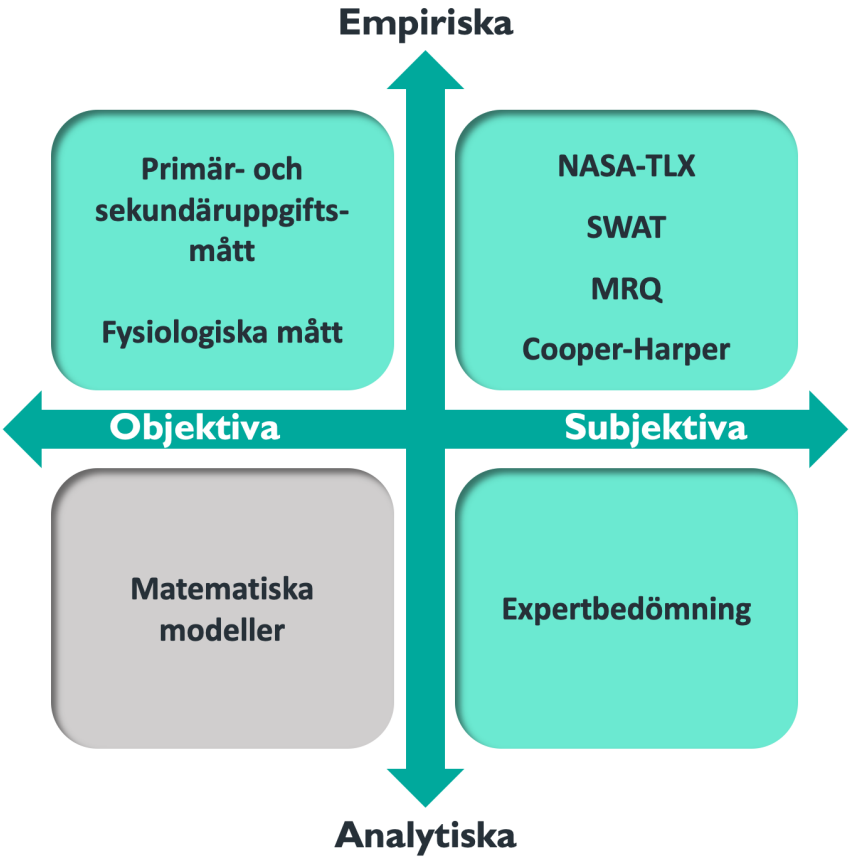
[3]Översättningar av artikelns engelska citat gjordes av Cecilia Berlin.

Hur montörer hanterar störningar i arbetet	*Interruptions in the wild: portraying the handling of interruptions in manufacturing from a distributed cognition lens [20]* *Coordinating the interruption of assembly workers in manufacturing [21]* *How Embodied Cognition Matters in Manufacturing [22]*
Effekten av operatörens ålder	*Effects of aging and job demands on cognitive flexibility assessed by task switching [23]* *Workforce aging in production systems: Modeling and performance evaluation [24]* *Ergonomics/human factors needs of an ageing workforce in the manufacturing sector [25]* *Guidelines for designing assembly work considering age management - An ergonomics approach to an ageing Europe [26]*
Samspel mellan fysisk och mental belastning	*Mind the Body: How Embodied Cognition Matters in Manufacturing. [22]* *Putting mind and body back together: A human-systems approach to the integration of the physical and cognitive dimensions of task design and operations. [27]* *Effects of different physical workload parameters on mental workload and performance [28]* *Interactive effects of physical and mental workload on subjective workload assessment [29]*
Kognitiv och motorisk inlärning	*Complexity in engineering design and manufacturing* [30] *Understanding the complex needs of automotive training at final assembly lines* [31] *Assessment Based Information Needs in Manual Assembly* [32] *Adjustment for cognitive interference enhances the predictability of the power learning curve* [33] *Mapping quality linkages based on tacit knowledge* [34] *Forming a cognitive automation strategy for Operator 4.0 in complex assembly* [35] *Training Virtually Virtual* [36]
Operatörens erfarenhet och kompetens	*Alternatives to line assembly: Some Swedish examples* [37] *A multi-dimensional measure for determining the complexity of manual assembly operations* [38] *Modeling job rotation in manufacturing systems: The study of employee's boredom and skill variations* [39]
Uttråkning	*Modeling job rotation in manufacturing systems: The study of employee's boredom and skill variations* [39]
Lämplighet och effektivitet hos verktyg, material och instruktioner	*Cognitive aspects of tool use* [40] *Assessment Based Information Needs in Manual Assembly* [32] *How to improve worker's well-being and company performance: a method to identify effective corrective actions* [41] *Experimental study of cognitive aspects affecting human performance in manual assembly* [42]
Effekten och upplevelsen av tidspress	*What is the relationship between mental workload factors and cognitive load types [5]*
Uppgifts- och produktionskomplexitet	*Complexity in engineering design and manufacturing* [30] *A multi-dimensional measure for determining the complexity of manual assembly operations* [38] *Towards a production complexity model that supports operation, re-balancing and man-hour planning* [43] *Assessment of manual assembly complexity: A theoretical and empirical comparison of two methods* [44]
Tekniska utvecklingar som påverkar kognitiva monteringsförutsättningar	*Employee acceptance of wearable technology in the workplace* [45] *Assessment Based Information Needs in Manual Assembly* [32] *An Adaptive Framework for Augmented Reality Instructions Considering Workforce Skill* [46] *Managing Human Errors: Augmented Reality systems as a tool in the quality journey* [47] *How to improve worker's well-being and company performance: a method to identify effective corrective actions* [41]
Metoder för att bedöma och mäta kognitiv/mental belastning i produktion	*Se avsnitt 3.1.3*

Därmed stöder litteraturens omfattning att det finns behov för en mer holistisk bedömningsmodell som kan hjälpa företag förutspå förekomsten av såväl krävande som avhjälpande faktorer kring kognitiv/mental belastning i monteringsarbete.

3.1.3 Befintliga metoder för bedömning av kognitiva/mentala belastningsfaktorer

Enligt en översikt av metodtyper för arbetsbelastning i stort av Rusnock m.fl. [48] så kan metoder för att bedöma och/eller mäta kognitiv/mental belastning delas in i fyra kvadranter (Figur 3). Eftersom projektet är avgränsat från kvantifierande och matematiska modeller, så kommer endast de två empiriska och den analytiska-subjektiva kvadrantens metoder att omnämnas.



Figur 3: Fyra huvudsakliga typer av bedömningsmetoder för arbetsbelastning enligt [48]

Det existerar ett stort antal relevanta bedömningsmetoder som är observations- eller empiriskt baserade, men majoriteten av de som funnits vara relevanta för projektets scope är subjektiva (vilket innebär att det måste finnas människor med erfarenhet av uppgiften för att metoderna skall kunna brukas); endast ett fåtal av de funna metoderna anses vara objektiva (dvs brukas utan att fråga en mänsklig operatör), och ännu färre är prediktiva eller gjorda för tillämpning i designfas. En detaljerad jämförelse av metoder som utvärderar kognitiv/mental belastning på ett sätt som är relevant för produktionsmiljö sammanfattas i Bilaga D; ett urval beskrivs kortfattat i Tabell 4.

Tabell 4: Urval av metoder för att bedöma och/eller mäta kognitiv/mental belastning som är tillämpbara eller beprövade i produktionsmiljö

Metod / instrument	Beskrivning
ACTA (Applied Cognitive Task Analysis)	Intervjubaserad bedömning av yrkeskunnande. Fokuserar på att få insikt i den ”expertis” som behövs för att utföra en uppgift på hög prestationsnivå. En expertutförare intervjuas med öppna standardfrågor som ska stimulera beskrivningar av situationserfarenheter, helhetsbild, ”cues” (ledtrådar), smarta arbetssätt, improvisation och självmedvetenhet. [49]
NASA-TLX (Task Load Index)	Subjektiv bedömning på individnivå av både fysisk och mental arbetsbelastning, baserat på sex 20-gradiga (men onumrerade) skalor som den observerade personen fyller i intuitivt under eller strax efter en uppgift. Innefattar Mentala krav, Fysiska krav, Tidskrav, Prestation, Ansträngning och Frustration. Det är möjligt att vikta faktorerna relativt varandra och räkna ut poäng. [50–52]
Stress-Energi-modellen	En enkel subjektiv skattning av olika aspekter av upplevd stress och energinivå på jobbet. Subjektiv skattning på 12 skalor med värdeord om hur man känner sig med avseende på de senaste 10 minuterna graderas mellan 0 (Inte alls) till 5 (Mycket, mycket). [53–55]
SWAT (Simplified Subjective Work-load Assessment Technique)	Subjektiv skattning av tre upplevda aspekter (Tidsbelastning, Mental ansträngning och Psykologisk stressnivå) på nivåerna Låg-Medium-Hög. Innebär ett steg där operatören ska sortera kort. [52, 56, 57]
CLAM (Cognitive Load Assessment for Manufacturing)	Särskilt utformad metod för bedömning av kognitiv belastning på en arbetsstation. Objektiv och subjektiv skattning på en skala mellan 0–8 av faktorerna: balansmättnad (*eng. Saturation*), variantflora (i %), svårighetsgrad (grad av expertis som behövs), produktionsmedvetenhet (grad av rutinmontering), svårighetsgrad på verktygsanvändning, antal tillgängliga verktyg, layout av arbetsstation, komponentigenkänning, instruktionskvalitet (m.a.p. grafisk/visuell design och läsbarhet), informationskostnad, ansträngning för att erhålla information, samt grad av Poka-yoke (kvalitetssäkring). [58–60]
CXI (CompleXity Index)	Subjektiv bedömning av monteringskomplexitet ur montörens självupplevda perspektiv på tre nivåer: Stationsdesign, Variation i arbetet och Hantering av störningar. Tillämpar 21 uttalanden som montören besvarar på skattningsskalor graderade 1-5. Resulterar i ett CXI-index för stationen. [44, 61]
CXB (Basic Assembly Complexity)	Semi-objektiv metod; Förekomst eller ej av 16 kriterier för komplexiteten hos en föreslagen monteringsuppgift konstateras med Ja/Nej; ett visst antal av förekommande kriterier gör att monteringen klassas som grön (Låg komplexitet, mellan 0-3 uppfyllda kriterier), via gul-grön, gul, gul-röd till röd Hög komplexitet, mellan 15-16 uppfyllda kriterier). [44, 62, 63] Falck m.fl. har dessutom konstaterat samband mellan Hög monteringskomplexitet och högre kostnader för fel och justeringar [64].

Workload profile	Personen som utför en serie uppgifter får skatta var och en av dessa med en matris där hen fyller i hur mycket av hens uppmärksamhet fördelas på åtta dimensioner av mental belastning baserat på Wickens' modell av multimodala informationsbearbetningsprocesser [52, 65, 66]

3.2 Intervjustudiens resultat (översikt)

I denna rapport har vi av utrymmesskäl endast möjlighet att ge en översiktlig bild av intervjuresultaten; detaljerade återgivningar av resultaten utifrån specifika ämnessynvinklar finns i nuläget i våra vetenskapliga publikationer (en konferensartikel [67] och en journalartikel [68]. Av denna anledning ger vi endast en översiktlig bild av montörernas K/M-belastning, och därefter två referat av våra publikationer. Båda dessa är fritt tillgängliga på http://bit.ly/PreKomaterial.

De deltagande företagen i studien får också var sin ”caserapport” med sina egna detaljerade intervjuresultat; dessa är dock planerade att hållas som företagsinterna.

3.2.1 En bild av montörernas kognitiva/mentala belastning

Industriella montörer sysslar inte enbart med att sätta ihop komponenter för att bygga produkter; de måste även hålla uppsikt på kommande produkter, tolka ny information, tolerera eller hantera störningar, lösa problem, hantera tidsbegränsningar, navigera i sociala samspel, känna igen upprepade mönster för att bygga upp rutiner, och lära sig sitt yrke på jobbet. Figur 4 visar några av de temaområden som montörerna beskrev i intervjuerna.

I samtliga tre deltagande företag så arbetade montörerna (med enstaka undantag) i produktion vid löpande band med en specificerad takttid, vilket begränsade hur lång tid de kunde ägna åt att utföra varje delmonteringsuppgift. För de flesta bestod arbetsdagen av flera tidsbegränsade rotationer på olika arbetsstationer, där de skulle utföra monteringsarbete mellan 20 minuter och ett par timmar i taget, innan byte till en annan station. I företag C var de flesta produkter mycket lika och tillverkade i ”batcher”, medan varje enskild produkt (fordon) hos företag A och B kom med var sin unika specifikation som krävde att montörer bekantade sig med hur just den produkten skulle skräddarsys. Det kunde handla om val av komponenter och material, hantering av förpackningar, lyft och/eller förflyttning av föremål från närliggande materialställ till monteringen, och fastsättning av komponenter till produkten med ett eller flera verktyg och fästelement. Komponenterna och materialen kunde ibland vara mycket tunga och ibland kräva användning av lyftanordningar och verktyg.

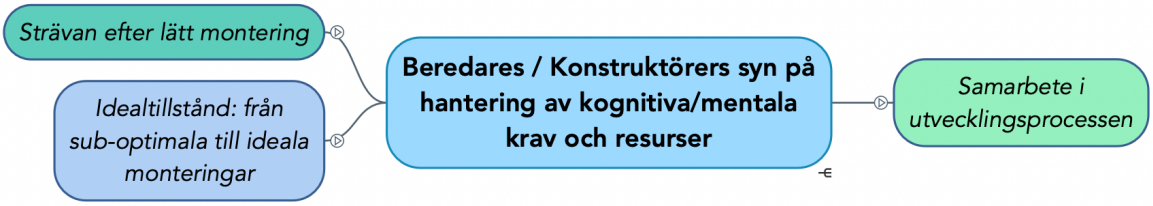
I stort sett samtliga montörer beskrev från början arbetsbelastningen som ”fysisk snarare än mental”. Den fysiska ansträngningen dominerade de flestas intryck av arbetet och vad som betraktades som ”jobbigt” eller ”krångligt”. Majoriteten av montörerna, men i synnerhet de oerfarna, berättade att medvetenhet om taktklockan var en källa till stress och gjorde att det fanns en emotionell komponent för att de inte ville göra fel inom tidsramen, och om så skedde så kunde den frustrationen fortsatt påverka ens mentala förmåga. Att göra fel kunde leda till ansträngande efterjusteringar eller stopp av produktionen som kunde leda till övertidsarbete, vilket i så fall drabbade hela laget och skapade ännu mer (och dessutom kollektiv) frustration.

En annan intressant observation var att flera äldre och erfarna montörer anser att de unga inte har de rätta kombinerade fysiska och mentala förutsättningarna att klara av ett monteringsjobb ända fram till pension. Flertalet montörer överlag framhåller att arbetet är tungt belastande med avseende på tunga lyft och hög repetitivitet, men det nämns också att arbetet har blivit mer fragmenterat (och därmed svårare att göra sig en helhetsbild av), samtidigt som det eftersträvansvärda ”lugn” som många anser att erfarna montörer besitter är svårt för unga, oerfarna montörer att utveckla.

3.2.2 Referat artikel 1 (konferensartikel, översiktliga helhetsresultat)

Figur 4: Huvudsakliga "resultatkluster" av montörernas berättelser i intervjustudien

I artikeln *"A Systemic Overview of Factors Affecting the Cognitive Performance of Industrial Manual Assembly Workers"* [67] beskriver vi dels ett urval av montörernas syn på ett flertal aspekter som de anser påverkar deras mmöjligheter till att lyckas montera väl (Figur 4) och Beredarnas och konstruktörernas syn på vilka processförfaranden som kunde möjliggöra att ta hänsyn till K/M-belastning och skapa enklare monteringsförutsättningar. Både positiva och negativa effekter på montering kunde härröra ifrån uppgiftens utformning, fysiska belastningskrav, externa motivationsfaktorer, lagarbete och laganda, och utformningen på monteringens gränssnitt gentemot montören. Bland konstruktörer och beredare fann vi två distinkta "mindset": 1) å ena sidan en produktfokuserat tankesätt där konstruktörer prioriterade att designa för monteringskvalitet och kundnöjdhet, och ansåg att montörens (tillräckliga) erfarenhet, kunskap och monteringsinstruktioner borde vara garanten för lyckad montering; och 2) ett montörfokuserat tankesätt kännetecknades av en iterativ och samarbetande utvecklingsprocess med fler involverade aktörer för att säkerställa lättmonterade lösningar.



Figur 5: Huvudsakliga "resultatkluster" av beredarnas och konstruktörernas berättelser om sina arbetssätt i intervjustudien

3.2.3 Referat artikel 2, (montörsresultaten från ett Krav/Resursperspektiv)

I artikeln *"Cognitive Ergonomics of Assembly Work from the Job De-mands-Resources perspective – Three Qualitative Case Studies"* [68] fokuserar vi på att belysa enbart montörsintervjuerna (n=50) och rama in resultaten utifrån modellen Krav-Resursmodellen av Bakker och Demerouti [69, 70]. Vi fann ett flertal intressanta undergrupperingar av krav respektive resurser som "hjälpte eller stjälpte" montörernas tankeprocesser i arbetet. Flera av dessa berörde inte bara produktens, uppgiftens och monteringsstationens utformning, utan även organisatoriska, emotionella (ibland orsakat av en känsla av bristande kontroll, t.ex. vid maskinhaverier eller svårhanterade "krånglande" produkter), tidsmässiga, motivationsrelaterade och sociala aspekter.

Intressant nog så fanns ett ibland skönjbart kontrastförhållande mellan krav och resurser: ibland om montörerna hade "bra monteringsförhållanden" stärkt av många kognitiva och sociala resurser, så kunde de ofta se arbetets krav som *önskvärda* utmaningar att leva upp till och klara av, vilket främjade motivation och positiva känslor inför arbetet. Däremot om kraven var överväldigande eller K/M-belastningen var för låg eller monoton, så kunde en del känslor för arbetet i helhet, socialt samspel med kollegorna eller motivationen för att fortsätta i yrket bli lidande. Dock var det tydligt att om arbetet ansågs fysiskt tungt, så hade detta en effekt både på kort sikt (tröttheten påverkade mentala skärpan) och på lång sikt (montörerna trodde inte alltid de skulle fysiskt orka eller känna sig motiverade att arbeta som montör på lång sikt).

3.3 Intervjuer med tänkta användare av bedömningsmodell

Som del av projektets avslutande faser så utfördes en ”opportunistisk”[4] intervjustudie för att eftersöka tänkta användare av bedömningsmodellen som vi syftade till att utveckla. Denna del var dock ej förplanerad, så resultatet ska betraktas som vägledande endast för framtagandet av modellen/verktyget och inte för de vetenskapliga resultaten. Vi betraktar det som att få input från en styrgrupp, fast en informell sådan som aldrig träffades; Coronapandemin och tidsbegränsningar gjorde det olämpligt att anordna en fokusgruppsdiskussion, varför insamlingen av synpunkter skedde med individuella intervjuer under maj-juni 2021. Två konstruktörer, tre beredare och två arbetsmiljöutvecklare/ergonomer intervjuades, och intervjuaren tog endast skriftliga anteckningar i syfte att sammanfatta synpunkterna.

De intervjuade, varav flera hade flerårig egen montörserfarenhet, berättade om egna erfarenheter och insikter i vad som är kognitivt belastande inom montering (Tabell 5) och uttryckte sina förväntningar och önskemål på en bedömningsmodell utifrån sina egna roller (Tabell 6):

Tabell 5: Urval av erfarenheter från de tillfrågade angående kognitiv/mental belastning i produktion

Konstruktörer
• Jobbar med att testa och utvärdera konstruktioner, samt kundanpassning • Kännedom om svårighet att montera specifika element, t.ex. sladdriga packningar och O-ringar som kan hamna fel och som är svåra att upptäcka visuellt • Får veta att montörerna klagar på ovanstående komponenters svårighet, de får ont • Ena konstruktören vet ej om erfarna/oerfarna montörer tycker olika saker är svåra, den andra tycker att en skillnad märks i vilka fel de gör (och att detta kan läggas till konstruktörens erfarenhet) • En ideal montering ska bara gå att montera på ett sätt och inte kräva kraft • Har ingen checklista, förlitar sig på erfarenhet • Komponenten skickas ut för testning, kan få tillbaka återkopplingen att det inte är bra • Strävar efter att ha så få detaljer som möjligt, mest för att göra den så billig som möjligt, och lätt • Vissa krav upptäcks senare i utvecklingen, det går inte att testa allt tidigt • ”Enligt processen ska man provmontera” • Fokuserar på kvalitetsfrågor som drabbar kunden • ”Toleranserna rör sig mycket. I ena änden är det svårt och i andra är det enklare”. • Tester och provmontering sker ofta med 3D-printade detaljer • En provmontering får inte ha hur mycket innehåll som helst • Tröga monteringar / tajta passningar / dålig passform och glapp kan orsaka monteringsfel • Bra att jobba med felsäkring • Använder ergonomistandard för att fånga upp problem • Fysiska problem dyker upp och följs nitiskt • Konstruktionsgenomgångar hålls i gruppen • Har följande data om komponenter: Kostnad, monterbarhet, huruvida demonterbart, omgivningen (plats), hållfasthet. • ”Fungerar det bra, kommer ingen information” • Under projektet kan konstruktörer få reda på både bra och dålig återkoppling, men ”i produktion kommer bara dåliga saker, från kvalitetsavdelningen”

[4] Denna serie intervjuer utfördes av projektassistent Fredrik Karlsson som anslöt till projektet under sista halvåret; eftersom FKs utbildning berörde användarstudier så tog vi tillfället i akt att samla in några synpunkter från potentiella användare av den modell som projektet skulle utveckla.

Beredare
• ”Vi utgår ifrån en van operatör, men vem som helst ska kunna montera” • Svårmonterade konstruktioner missas lätt i tidiga faser. • I felrapporteringssystemen från produktion förekommer ”toppar”, berg av saker som gått fel. • Mycket att lära sig som montör, om hur man hanterar artiklar, lyftar, verktyg, skruv och hur man lägger upp jobbet. • Det finns värde i att lära sig om flera områden och få helhetsbild av jobbet – dessutom roligare! • Vanlig fråga: om en detalj går att vända på, blir det fel då? Vanligt med fel när det går att montera på flera sätt • Förändringsprojekt är resurskrävande – ett litet projekt kan bli en halvtidssysselsättning, stora kräver fler personer • Högrepetitivt arbete är tråkigt för montören – ”mentalt jobbigt” att göra samma sak hela tiden • Hög variation tar längre tid att lära, är en felkälla • Montörer kan få komma och öva, deltar i att skapa instruktioner • Takttiden stressar montörer • Arbete med pill och mjuka material kan strula till det • Blir ofta fel vid montage där detaljer kan röra sig, där man måste böja sig för att se, där tid måste ägnas åt annat eller där det finns fler än en valmöjlighet • Erfarna montörer har fördelen med rutin och muskelminne, de har därmed lättare för att känna igen konfigurationer och reagera på om något är fel • Erfarna montörer vet ofta vad som ska hända med produkten senare i kedjan • Varianter som tar lång tid gör att takttiden missas • Får veta från ”linen” om jobbiga montage när de säger till – det följs inte upp självmant av beredare. ”Hör vi inget går det bra” • Främsta möjlighet att förbättra är att balansera momenten i cykeltiden • Går i nuläget igenom ett frågeformulär med montörer • Koppla kablar och vinkla slangar är mentalt besvärligt • En beredningsfråga för stora företag: gör man likadant i andra fabriker/internationellt? • Tågordning: ändra på processen i första hand, och om inte det går, ändra produkten • Finns möjlighet att verifiera virtuellt (t.ex. med hjälp av VR) • Går att beställa ergonomibedömning i fabrik, både fysiskt och mentalt.
Arbetsmiljöutvecklare/Ergonom
• Cheferna har i uppgift att undersöka montörernas hälsa löpande. Detta görs kontinuerligt, på gruppnivå • Standarder behöver uppdateras eftersom produkter uppdateras • Stressigt med taktklockan, ska klara av uppgifter på utsatt tid • Mental trötthet när det är mycket, även när takttiderna är långa (skräddarsydda fordon) • Erfarna montörer har fördel i att moment återkommer, kan använda igenkänning och finmotorisk träning. • Erfarna operatörer ”tar det lite mer chill” och stör sig mindre på stopp • Fel/krångel fångas upp genom kvalitetskontroller – jämförelse med pärm (standard) • Upplärning är resurskrävande

- Största riskerna är belastningsergonomi
- Kan göra digitala eller fysiska utvärderingar
- Tydliga checklistor med ”vad som gör det rött”
- Montörerna kan stressas av en rädsla för att göra fel
- Även stressande att handha flera verktyg och ha tidspress
- Det är mycket sinnesintryck i fabriken, t.ex. buller
- Mental avslappning ges av pauser och mikropauser
- Fem operatörer intervjuas om sin upplevelse vid utvärdering av stationer
- Det kan finnas rädsla för att flagga för problem – det närvarande ledarskapet ska göra detta.

Tabell 6: Urval av synpunkter från de tillfrågade angående en modell för bedömning av Urval av kognitiv/mental belastning

Konstruktörer

- Skulle vilja att frågorna fångades upp på projektmöten
- CAD-program, dokument för tekniska krav och protokoll ”ska prata med varandra”
- Det befintliga dokumentet för designriktlinjer är tråkigt och krångligt
- ”Standarder kan man innantill”
- Det hade varit bra med mer info om vad nya montörer tycker
- Hade varit bra med exempel på bra och dåliga monteringar
- I nuläget hinner vi inte

Beredare

- Vill samla feedback om var problemen (flaskhalsar, dålig ergonomi) finns i produktion, vad de tycker är ”mest jobbigt”
- Vill ha stöd i stadiet när man gör den detaljerade balanseringen, ute på avdelningen
- Svårt med tidiga analyser, behöver vara sammanhängande
- Vill dock ha stödet så tidigt som möjligt i processen eftersom ändringar blir svårare ju längre projekten går.
- Bedömningsmodellen bör vara del av ergonomianalyserna
- Bör sträva mot minimering av repetition
- Gärna Excelformat
- Checklistor är bra när nya personer ska göra bedömningar
- ”Har man verktyg och saker utgår man från det, annars får man utveckla det parallellt”
- Vill att ett verktyg ska ”visualisera och beskriva problemet på ett tydligt sätt”
- Modellen/verktyget bör ta upp tidsåtgången
- Kan kanske sammanföras med DFA (design for assembly), men det är egentligen mer en filosofi.

Arbetsmiljöutvecklare/Ergonom

- Denna roll skapar checklistor för beredarna (Processingenjörer, mechanical engineering)
- Oftast handlar förbättringar om ändringar i redan existerande stationer
- Skulle vilja kvantifiera, men det är svårt att mäta mental belastning. Jobbar med enkäter
- Vill gärna mäta individers prestation med smarta textilier
- Hade gärna haft enkäter i produktionen och ett register över risker
- Borde ta upp arbetsinnehåll och ev. variation.

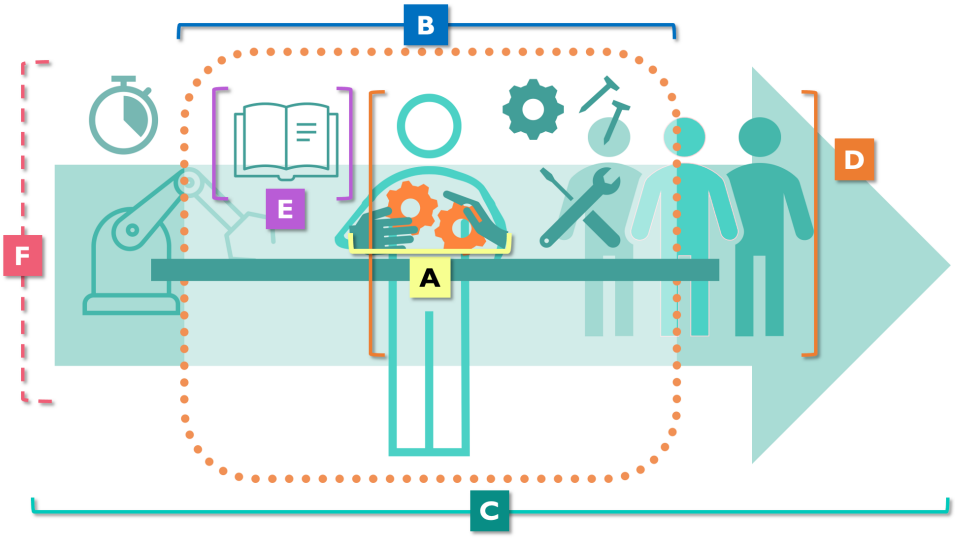
- Utbildar tekniker i riskbedömning och ergonomistandarden (både beredare och konstruktörer)
- När standarden ”flaggar rött” är signalen tydlig att åtgärd krävs. Produktionsledare meddelar.
- Värdefullt att ha ” medarbetare som kan ge konstruktiva kritiska tankar” och “en montör som provmonterar”
- ”Det ska vara participativ ergonomi, annars fungerar det inte”
- “Kognitivt är knepigt och det måste vara användarvänligt för den som utvärderar något.”
- ”Verktyget bör vara ett komplement till ergonomistandard. ”
- Utvärderingen ska kunna vara mätbar
- Man ska inte behöva vara specialist för att utvärdera, det måste gå att lära ut informationen
- Bör ta upp ”mental ergonomi och tidsåtgången”

4. PreKo-modellen: en bedömningschecklista

Resultaten från intervju- och litteraturstudierna (kap 3) utgör grunden för vårt förslag till en översiktlig systemmodell för hur de olika identifierade faktorerna uppkommer på olika systemnivåer och kan kartläggas. Bedömningen som vår modell föreslår kan dock inte brukas för att kvantifiera faktorerna ännu, därför bygger modellen på en kvalitativ ansats som kräver att olika roller representeras i bedömningsprocessen. Den fullständiga genomgången av modellen finns i Bilaga G, nedan följer en kondenserad version.

Baserat på intervju- och litteraturstudiens resultat så har en samling bedömningskriterier tagits fram för att hjälpa företag att proaktivt bedöma möjliga faktorer som kan förvärra eller avhjälpa kognitiv/mental belastning för montörer. Denna samling kriterier kallar vi för **PreKo-modellen.** Som stöd för att utvärdera har projektet tagit fram ett Excel-baserat verktyg, PRECO I (v.1.0)[5].

Bedömningen i PreKo-modellen är *kvalitativ*, dvs. baserad på kunniga representanters omdöme av monteringsförutsättningarna, och går alltså *inte* ut på att kvantifiera faktorerna. I nuläget prioriterar vi att försöka betona systemsyn och göra rättvisa för samspelen i en komplex produktionsmiljö. Modellen och verktyget syftar därför till *konstaterande av förekomst* av krävande eller avhjälpande faktorer, dvs. **kognitiva/mentala krav och resurser**. Dessa är kategoriserade i 6 olika grupperingar som granskar olika ”systemnivåer” av produktionen: A) Konstruktionen, B) Stationen, C) Flödet, D) Monteringslaget, E) Inlärning och instruktioner, och F) Fysiska & övriga krav/resurser.



Figur 6: De sex systemnivåerna som PreKo-modellen utvärderar kognitiv/mental belastning utifrån; A) Konstruktionen, B) Stationen, C) Flödet, D) Monteringslaget, E) Inlärning och instruktioner, och F) Fysiska & övriga krav/resurser.

Syftet med bedömningen är att:

- Kartlägga montörens givna förutsättningar att kunna montera rätt,
- Analysera kognitiv/mental (K/M-) belastning i produktionssystemet som helhet,
- Utgå ifrån en Krav/Resurs-modell[69], som betonar hur vissa krav kan balanseras av tillgängliga resurser,
- Konkretisera faktorer som kan orsaka eller avhjälpa olämplig K/M-belastning,
- Skapa delaktighet genom att engagera flera roller/ansvar som kan påverka K/M-belastning,
- Synliggöra K/M-krav och resurser tidigt i utvecklingsprocesser (konstruktion och beredning)
- Ta hänsyn till montörers erfarenhet, och
- Syfta framåt; utvärdera tänkta lösningsförslag baserade på önskat effektmål.

[5] Verktyget **PRECO I** är ett Microsoft Excel-baserat verktyg för att underlätta bedömningen, som bygger på PreKo-modellen v.1.0. **PRECO** är en förkortning för det engelska metodnamnet *"Proactive Evaluation of Cognitive/Mental demands and resources"*. När denna rapport skrivs finns den i version 1.0 och är tillgänglig på http://bit.ly/PreKomaterial.

4.1 Indata: definition av bedömningens omfattning

Bedömningen bygger på ett tänkt scenario hos företaget, där ett önskat effektmål för en monteringsförändring har identifierats, och ett antal alternativa lösningsförslag har tagits fram för att uppnå effektmålet. För att bedömningen ska kunna vara holistisk (dvs. betrakta från flera olika systemnivåer och perspektiv) men samtidigt vara väldefinierad, är det viktigt för bedömarna att enas om:

- Aktuell(a) **komponent(er)** som påverkas av lösningsförslagen
- **Vilken monteringslina och station** som lösningsförslagen anses gälla
- En kortfattad beskrivning eller benämning av **upp till tre** (tekniska eller arbetsorganisatoriska) **lösningsförslag** (som kan vara utformade internt eller köpas in)

En person bör även ta huvudansvaret kartläggningen och sammanföra alla bedömningar i ett samlingsdokument (stöd för detta ges i PRECO I-verktyget). I verktyget kallas denna person ”utfärdare” av bedömningen.

4.2 Delaktighet: bedömning görs av flera roller

Eftersom ett produktionsystem är komplext som helhet så blir bedömningen bäst om den genomförs av olika bedömare som kan bidra med kompletterande perspektiv på systemets olika faser, strukturer, delar och beteenden. Intervjustudien fann att det inte alltid är självklart att roller i tidiga utvecklingsfaser (Konstruktörer och Beredare) har en pågående kommunikation med produktionsdriften, och kan därför ibland ha otillräcklig insikt i hur de ska kunna skapa goda förutsättningar för montörer.

Modellen förespråkar att engagera minst en representant för var och en av följande roller (Tabell 7):

Tabell 7: Roller som bör representeras i kognitiv/mental belastningsbedömning utifrån PreKo-modellen

Roll	Bidrag
Erfaren operatör (EO)	Bidrar med erfarenhet, insikt i arbetet och systemkännedom, t.ex.: kunskaper om besvärliga produktvarianter, verktyg eller komponenter; kännedom om lagets beteenden för att underlätta arbetet för sig; idéer om systemförbättringar; samt eventuellt en bättre helhetsinsikt i produkten och varför den är byggd på ett visst sätt.
Novisoperatör (NO)	Bidrar med insikt i kraven som ställs på nya operatörer under upplärning; insikt i aktuella upplärnings-/onboarding-processer; kännedom om huruvida instruktioner är tillgängliga och tillräckliga; erfarenhet av kunskapsutbyte med mer erfarna kollegor; samt insikt i känslor för tillvänjning av tidsbegränsning och prestationskrav.
Konstruktion / Design (K/D)	Bidrar med insikt i tidig processutveckling; krav som ställs på produktens prestanda från ett komponent- och passningsperspektiv; utformning av instruktioner; samt idéer och lösningsförslag som kan ge förbättringspotential för monteringen i tidiga utvecklingsfaser.
Produktionsberedning (P)	Bidrar med insikt i uppgiftsbalansering vid stationer; tidsbegränsningsproblematik; grad av rutinarbete respektive ovanliga uppgifter/sällanuppgifter vid stationer; utformning av instruktioner; samt insikt i graden av över/underbalansering av uppgifter på stationen.
Ergonom /Arbetsmiljöansvarig (ER)	Bidrar med helhetsinsikt i arbetsmiljöns utformning; vanliga (fysiska) belastningsproblem och klagomål hos montörerna; verktyg och maskiner som underlättar arbetet; kännedom om lagets beteenden för att underlätta arbetet för sig; idéer om systemförbättringar, m.m.

Det kan i vissa scenarion vara lämpligt att engagera andra roller, t.ex. någon kvalitetsansvarig, en HR- eller personalansvarig, eller en lagledare om lösningsförslagen drivs av eller påverkar dessa områden.

4.3 Bedömning av Krav respektive Resurser

Utgångspunkten är i PreKo-modellen version 1.0[6] att en, två eller tre olika lösningsförslag ska utvärderas med PreKo-modellen. Varje bedömare får ta ställning till krav- och resurs-förutsättningar inom tidigare nämnda systemnivåer/fokusområden. För varje **krav**förutsättning bör bedömaren konstatera förekomst på fyra olika nivåer (eller nivån "Vet ej"), samt bifoga förtydligande kommentarer (Tabell 8):

Tabell 8: Bedömningsnivåer för Krav respektive Resurser:

Kravbedömning	Tolkning
Acceptabelt (grön nivå)	Oavsett om kravet förekommer eller ej, så bedöms den kognitiva/mentala belastningen på montören vara hanterbar och oproblematisk.
Förekommer på enstaka varianter (gul nivå)	Kravet förekommer på enstaka eller ett fåtal produkter, antingen sporadiskt i sekvensen eller som en egen "batch". Detta förutsätter att det finns någon känd och avsiktlig variation på produkterna som tillverkas.
Förekommer oftast (orange nivå)	Kravet förekommer på ett flertal (men inte alla) produkter.
Hotar kvalitet eller välmående (röd nivå)	Kravet medför ett välkänt besvär som antingen över- eller underbelastar montören, och/eller leder till produktmontering som är av lägre kvalitet eller felaktig.
Vet ej	Bedömaren anser sig inte ha insikt i kravets förekomst.
Resursbedömning	**Tolkning**
Implementerat (grön nivå)	Resursen förekommer och/eller är implementerad på ett sådant sätt att montörens kognitiva/mentala belastning upplevs som huvudsakligen tillfredsställande.
Variation förekommer (gul nivå)	Resursen förekommer, men inte regelbundet (tillfällen finns där resursen inte är tillgänglig eller tillämpbar).
Bristande kontrollmöjlighet (orange nivå)	Resursen finns men är mestadels otillgänglig av tekniska, organisatoriska eller praktiska skäl.
Hinder föreligger (röd nivå)	Resursen är inte tillgänglig och det existerar tekniska, organisatoriska eller praktiska hinder för dess implementering (bör kommenteras).
Vet ej	Bedömaren anser sig inte ha insikt i resursens förekomst.

4.5 Bedömningskriterier i sex kategorier (A-F)

Bedömning av kognitiv/mental belastning sker enligt PreKo-modellen på 6 "systemnivåer" av produktionen: A) Konstruktionen, B) Stationen, C) Flödet, D) Monteringslaget, E) Inlärning och instruktioner, och F) Fysiska & övriga krav/resurser.

A: Konstruktionens krav och resurser

På denna nivå ska förutsättningar bedömas utifrån strukturen och utformningen av de *komponenter* som berörs av lösningsförslagen. Primärt förväntas en (1) huvudsaklig komponent vara aktuell, eftersom det oftast är konstruktörens ansvarsområde, men det är möjligt att bredda bedömningen till samtliga komponenter som ingår vid en monteringssekvens vid samma station.

[6] Framtida versioner av modellen kan komma att öka eller minska antalet kriterier, till följd av tester i praktiken, eventuell sammanslagning av vissa kriterier, samt insikter om andra förutsättningar från nya företag.

B: Stationens krav och resurser

På denna nivå ska bedömaren utvärdera ingående uppgiftsmoment, arbetsupplägg, verktyg, maskiner, material, information och layout på en specifik station. Det är alltså stationens begränsning i tid och rum som avgör omfattningen.

C: Flödets krav och resurser

På denna nivå ska blicken lyftas från stationsnivå till ”hel line”, dvs. produktionsflödet i stort. Här behövs insikter i produktkännedom, variantflora, kringflöden (t.ex. logistik, underhåll m.m.), ofta förekommande problem som kan orsaka störningar, m.m.

D: Monteringslagets krav och resurser

På denna nivå placeras fokus på de krav och resurser som ges av monteringslagets kommunikation och samarbete. Samarbete och tillgänglighet för hjälp och stöd kan verka avlastande från ett kognitivt/mentalt perspektiv, medan samarbetssvårigheter, otillgänglighet och underbemanning i stället kan förvärra belastningen. I viss mån beaktas även professionella drivkrafter (som t.ex. kvalitetsfokus och ansvarskänsla).

E: Inlärnings-/instruktioners krav och resurser

Montörer behöver vid olika tillfällen få vägledning i hur monteringen ska utföras; detta gäller både 1) i början av yrkeskarriären där en novismontör ska lära sig för första gången hur montering går till, vilka standarder och instruktioner som ska följas, och var de kan få stöd av instruktioner vid behov; samt 2) när erfarna montörer ska lära nytt, återkomma efter en tids frånvaro, och/eller stämma av sina rutiner mot instruktioner.

F: Fysiska och övriga krav och resurser

Det finns fysiska och andra krav och resurser som kan påverka montörens upplevda kognitiva/mentala belastning. Att kartlägga dessa kan vara värdefullt för att beakta helhetsbelastningen som upplevs av montörer, eftersom många upplever arbetet som primärt *fysiskt* ansträngande, men fysisk trötthet kan påverka upplevelsen av mental belastning.

4.6 Sammanvägning av bedömningar

Eftersom flera olika roller ska göra bedömningar så finns viss sannolikhet att bedömningarna på varje kriterium kan skilja sig åt. Sammanvägningen av bedömningar är därför en viktig del av modellen, eftersom de olika rollerna har erfarenhet av och insikt i olika delar av planeringen respektive driften. Tanken är att uppmärksamma samtliga roller om de många olika förutsättningar som kan påverka kognitiv/mental belastning och att dessa samspelar systemiskt.

Stöd för sammanvägning av bedömningarna ges i PRECO I-verktyget, där det är möjligt att räkna samman de olika bedömarnas utvärderingar i samma matris och få en översikt av huruvida bedömningarna stämmer överens eller ej; i det senare fallet uppmanas bedömargruppen att hålla en diskussion för att sprida kännedom om olika perspektiv på kognitiv/mental belastning.

5. Genomförda och planerade insatser för att resultaten ska komma till praktisk användning

Resultat från projektet har publicerats vetenskapligt i (hittills) två konferensartiklar [67, 71] som presenterades internationellt (vid NES-2019 i Danmark och IEA-21, som skedde online pga. pandemin) och en journalartikel i en Open access-tidskrift [68]. Ytterligare journalartiklar är möjliga att skriva baserat på befintlig och ny analys av materialet, bland annat för att fokusera på 1) hur konstruktörer och beredare kan hantera kognitiv belastning i produktion proaktivt, 2) ett intressentperspektiv på vad som skulle kunna optimera montering från produktperspektivet, och 3) möjliggörande och hinder för produktionsflöde och flow. Projektet avsåg att presentera resultat på FALF2020 som dessvärre ställdes in, och projektmedlemmarna ser möjligheter att presentera resultaten där i framtiden för att nå en annorlunda publik än ergonomi-specialister.

Projektets resultat har kontinuerligt delgivits till de deltagande företagen i form av presentationer, och har även resulterat i tre företagsspecifika Caserapporter med fördjupade resultat för respektive företag, inklusive en separat litteraturöversikt (Bilaga D) samt PreKo-modellen som är utformad som ett praktiskt checklisteverktyg som ska kunna integreras i de befintliga arbetsflödena som har beskrivits av Konstruktörer, Beredare och företagskontakter, samt av de intervjuade i den kompletterade användarstudien (avsnitt 3.3). Viss inspiration har tagits ifrån utformningen på befintliga ergonomibedömningsförfaranden hos de tre företagen, samt från metoden RAMP [72][73] som utvecklats som ett generellt verktyg för ergonomibedömning hos svenska industriföretag.

Resultaten av PreKo-projektet har även presenterats (och kommer att presenteras) i mer publika forum, t.ex. Nätverket Arbetsplatsnära Forskning och Utvecklings (AFoU) onlineträff den 5 oktober 2021 med över 115 deltagare. Nästkommande presentation (vid rapportens slutförande) är AFA Försäkrings webbinarium den 3 november 2021. Arbetet i PreKo-projektet har även gett synergieffekter i ett parallellt pågående projekt hos organisationen Prevent, *”Hjärnvänlig Arbetsmiljö”*[74, 75] som fokuserar på kognitiv arbetsmiljö fast utan fokuset på taktad produktionsmiljö.

En av författarna (Berlin) avser att nyttja en del av projektets resultat för att uppdatera nästa upplaga av en fritt tillgänglig lärobok om Produktionsergonomi, som publicerades första gången 2017 av C. Berlin och C. Adams *(”Production Ergonomics*”,[76]).

Slutligen så görs de samlade materialen från projektet lätt tillgängliga via en webbsida med kort URL, http://bit.ly/PreKomaterial.

6. Publikationer, presentationer och annan spridning

Detta avsnitt ger en kortfattad översikt av material som producerats och spridits som resultat av projektet.

Spannet av publikationer inom ramen för projektet täcker presentationer (P), artiklar i vetenskapligt granskad journal / tidskrift (J), konferensartiklar (K) (med tillhörande presentationer), delrapporter och denna slutrapport (R), video (V) samt material (M) för utbildning och nyttiggörande baserat på projektets resultat. Tabell 9 visar en översikt av publika framträdanden, delgivningar och publiceringar.

Tabell 9: Presentationer, artiklar och rapporter som genererats i projektet PreKo

2018 - 2019	• (P) Presentationer genomfördes löpande under projektets gång i form av:
	  ○ internpresentation för ergonomipersonalen på Företag A, 2018-10-29
	  ○ på 2019 års Årsmöte för Sveriges registrerade Europaergonomer (CREE) 2019-01-31
	• (K, P) Konferensbidrag *"Factors contributing to high cognitive workload in "expert operators": a case in automotive manual assembly"* [71] inkl. presentation vid 50th Nordic Ergonomics and Human Factors Society Conference i Helsingör, Danmark 2019-08-28
	• (R) Delrapport 1 till AFA Försäkring 2019-07-01

2020	*Stor påverkan av Covid-19-pandemin: flera inställda/uppskjutna event och konferenser.*
	• (P) Presentationer löpande under projektets gång:
	  ○ Företag A:s europeiska ergonomer 2020-09-28
	  ○ Företag B:s ergonomer och produktionsledare 2020-12-18
	• (R) Delrapport 2 till AFA Försäkring 2020-10-01

2021	• (K, V, P) Konferensbidrag till International Ergonomics Association (IEA) 2021: *"A systemic overview of factors influencing cognitive performance among industrial manual assembly workers"* i Vancouver, Kanada*; videopresentation online 2021-06-18
	• (J) Journalartikel "Cognitive Ergonomics of Assembly Work from the Job Demands-Resources perspective – Three Qualitative Case Studies".
	• (P) Presentationer för att sprida resultaten till de deltagande företagen och till allmänheten:
	  ○ Företag C:s arbetsmiljögrupp 2021-02-09
	  ○ Företag A:s europeiska ergonomer 2021-06-14 samt produktionsledning mfl 2021-06-29
	  ○ Presentation för nätverket AFoU (Nätverket arbetsplatsnära FoU för hållbart arbetsliv) 2021-10-05
	  ○ Presentation för Sveriges registrerade Europaergonomer (CREE) 2021-10-14
	  ○ AFA Försäkring Frukostseminarium 2021-11-03
	• (M) Material som tillgängliggör projektets resultat samt bedömningsmodellen, på ett sätt som gör den snabbt tillämpbar för företagen.
	• (R) Slutrapport till AFA Försäkring (föreliggande) 2021-11-01
	---------- 	
	* *Pga Covid-19-pandemin hölls IEA-kongressen och vår presentation helt digitalt.*

7. Slutsatser och reflektioner

I detta avsnitt besvaras de ursprungliga forskningsfrågorna och ges några reflektioner om projektet och framtida arbete.

7.1 Svar på forskningsfrågorna

Tabell 10: Svar på forskningsfrågorna i projektet PreKo

Forskningsfråga	Svar utifrån projektets resultat
Vad innebär mental respektive kognitiv belastning?	Ett utvecklat försök att svara på denna fråga finns i avsnitt 3.1.1. Det är inte enkelt att skilja termerna åt på vetenskaplig basis eftersom ergonomi/human factors oftast föredragit att använda termen ”mental belastning” samtidigt som det influerats av undervisningspsykologi som föredrar termen ”kognitiv belastning”, och vardera termen utgår ifrån olika antaganden om hur ”frivilligt” den arbetande människan tar av sina kognitiva resurser för att lösa en uppgift. Vi valde därför att kalla det vi eftersökte med PreKo-modellen för *kognitiv/mental* belastning, för att behålla ett brett perspektiv på omfattningen av vad som är intressant att kartlägga.
Vilka fysiska och kognitiva faktorer kan påverka mental belastning i monterings-arbetet, och hur samspelar de?	En del svar på denna fråga återfinns dels i litteraturen (se Bilaga D), dels i montörsintervjuerna (avsnitt 3.2), men det krävs mer noggrann analys för att dra ut särskilda slutsatser kring detta samspel. Det verkar väl belagt att montörerna är medvetna om att kroppens ”dagsform” och fysiska belastning spelar roll för förmågan att lösa problem. Framför allt den förrädiskt enkla termen ”krångel” används för när maskiner, verktyg, fästelement och komponenter är svåra att förstå, till att de rent fysiskt är svåra att kontrollera med kraft och/eller precision.
Vilka faktorer under arbetet påverkar monterings-förutsättningar och “flow”?	Många montörer pratade i intervjuerna (avsnitt 3.2) om att en ideal montering är ”när allt flyter på”, d.v.s alla ingående systemkomponenter ”krånglar” så lite som möjligt och det är fullt möjligt att montera klart i tid, men en känsla av kontroll och ”lugn” samt vetskapen om att ha gjort ett kvalitetsjobb. Även beredare visade medvetenhet om att detta störningsfria flöde var eftersträvansvärt och till stor del möjliggörs med hjälp av välbalanserade uppgifter och rätt mängd kringutrustning, som tillåter montörerna att lägga uppmärksamheten på monteringsuppgiften i första hand. Ett flertal faktorer på flera systemnivåer bidrar till denna helhetskänsla, vilket vi har försökt att åskådliggöra i PreKo-modellens indelning i 6 kategorier och i PRECO I-verktyget (avsnitt 4 och Bilaga G).
Hur upplevs den mentala belastningen av erfarna respektive oerfarna montörer?	Svar på denna fråga återfinns i montörs- beredar- och konstruktörs-intervjuerna (avsnitt 3.2). Preliminärt verkar en intressant skillnad mellan ”erfarna” och ”oerfarna” montörer hänga samman med ett generationsskifte, där den ”äldre” generationen har kunskap om hela produkten och därmed har insikt i dess helhetsegenskaper, vet vad som ska hända ”i nästa steg” och kan föreslå idéer till förbättringar, medan ”yngre” generationens montörer saknar denna helhetssyn på grund av att de bara har getts erfarenhet av specifika delsystem i produkten, och är oftast inte förmögna att ge idéer på förbättringar av processen eller produkten. Vissa erfarna montörer gav uttryck för en del oro för de yngre kollegorna för att de inte skulle orka med tempot i längden (medan de själva hänvisade till att deras vana och ”lugn” gjorde det mer hållbart för dem).

	Nya montörer får en stor mängd detaljkunskap att ta ställning till tidigt, och kan dels pga. tidsbrist, dels pga. otillräcklig introduktion få svårt att få en helhetsförståelse för monteringsarbetet, och blir då mycket mer beroende av att ha tillgängliga instruktioner och/eller erfarna kollegor att fråga. De blir känsligare för att göra fel som orsakas av att något går att montera på mer än ett sätt, dvs. beslutsfattande, vilket blir extra märkbart i verksamheter med många varianter. Vissa konstruktörer och beredare har också noterat att erfarna montörers rutin och ”muskelminne” gör det lättare för dem att känna igen avvikelser från bekanta mönster och därmed inse i tid när något är fel. Några konstruktörer och beredare utgår ifrån en erfaren montörs förmåga när de planerar en ändring.
Hur samspelar kognitiv/mental belastning med motivation och arbetsinställning?	Svar på denna fråga återfinns i montörsintervjuerna (avsnitt 3.2). Det finns en del indikationer i intervjumaterialet på att motivation och arbetsinställing delvis påverkas av lagandan och kulturen på arbetsplatsen, t.ex. om det finns mycket yrkesstolthet och vilja att göra rätt ifrån sig och följa standardiserade arbetssätt för att säkra god kvalitet, så verkar detta understödjas av gott kollegialt samarbete.
Hur relaterar arbetsorganisatoriska förutsättningar till kognitiv/mental belastning för montörerna?	Svar på denna fråga återfinns i montörsintervjuerna (avsnitt 3.2). Montörerna nämnde vikten av att ha tillfällen och forum där deras input tas på allvar, och att arbetsorganisation i form av tidsplanering, rotation och möjligheten till kontakt med andra kollegor kunde medge många resurser som gjorde det lättare att handskas med K/M-belastningen i arbetet. Övertid kunde öka kraven eftersom det i regel skedde efter en full dags ansträngningar och lade ännu mer emotionell börda på frustrationen av att redan veta att felmontering skett tidigare under dagen.
Vad underlättar kognitiv och motorisk inlärning för montörerna?	Många av de intervjuade (avsnitt 3.2) berättar om hur ett visst upplägg på introduktionen till nya monteringar kunde hjälpa dem ta dem till sig lättare. Huvudsakliga önskade komponenten var tid – att de skulle få tillräckligt med tid för en lugn och metodisk genomgång samt att kunna se och testa i praktiken, samt ha stöd av en erfaren kollega. Dock skilde sig några av synpunkterna åt beroende på den lokala kulturen i företaget – på ett företag som starkt betonade vikten av att arbeta efter en standard, så tyckte montörer att de ville lära sig ”göra rätt” från en och samma kollega, medan motörerna på ett annat företag med lite mindre betoning på standardiserat arbete tyckte det var givande att ”gå bredvid” lite olika kollegor för att snappa upp olika tips på arbetssätt. I litteraturen (avsnitt 3.1.2 och Bilaga D) finns bidrag om främst träning av operatörer, men även om att förstärka inlärning med virtuell träning och andra ”kognitiva automationstekniker”, att koppla kvalitet till tyst kunskap, och att utreda informationsbehov i arbetet.
Hur kan man ta hänsyn till montörers kognitiva/mental belastning i produkt-utvecklingsprocessen?	Intervjuerna med Beredare och Konstruktörer antyder att det finns mycket potential för att höja medvetenheten om betydelsen av kognitiv belastning hos montörer och hur den skulle kunna påverkas av konstruktion respektive beredning. En del konstruktörer ser dock sin primära uppgift som att säkra kvalitet och prioritera kundnöjdhet, och vissa anser att montörernas arbetssituation är utanför deras ansvarsområde. Flera nämner dock att det vore bra att få insikter i var det kan gå fel i produktion tidigt, men att de enda tillfällen som ges är om de får feedback från produktionen eller om frågan fångas upp av en rutinprocess eller standard. Det verkar redan finnas medvetenhet hos både konstruktörer och beredare om fördelar med att ”bara kunna montera på ett sätt” och med ”lite kraft” och att ha en ergonomistandard att följa. Dock verkar flera obenägna att ta dessa initiativ själva inom ramen för sitt arbete. Att de ska kunna ta hänsyn

	till K/M-belastning verkar kunna gynnas av ett verktyg som kombineras med befintliga granskningsprocesser, mötesgenomgångar och standardutvärderingar som redan genomförs.
Vilka (proaktiva) bedömnings-instrument finns tillgängliga idag?	Se avsnitt 3.1.3 och Tabell 4 för ett urval av relevanta metoder (från ett produktionsperspektiv). Ett flertal till finns för att mäta och bedöma kognitiv respektive mental belastning, men många är inte tillämpbara i proaktivt syfte för komplex produktion eftersom de utgår ifrån scenarion med en, enkel väldefinierad uppgift. Dock existerar det metoder specifikt framtagna för produktionsmiljöer – flera av dessa är specifikt inriktade på att utvärdera befintliga stationer. Det existerar en del objektiva/kvantitativa metoder för mätning av K/M-arbetsbelastning, men dessa kan inte vidareutvecklas av just vår studie, och de syftar dessutom sällan till att förstå roten till ohälsosam K/M-belastning eller ge indikationer på hur den kan åtgärdas.
Vad för utvecklingar kan hjälpa / påverka monterings-förutsättningar i framtiden?	Se litteraturgenomgången, avsnitt 3.1 och Bilaga D. Ett flertal teknikutvecklingar har kommit som kan skapa nya förutsättningar för montörernas förmåga att ta in och sortera information, samt kan ge möjlighet att kontinuerligt mäta deras fysiska respons till arbetsbelastning utan att störa arbetet. Flera av dessa börjar öka i teknikmognad och teknisk stabilitet till den grad att företag börjar intressera sig för att investera dem. Beredare och konstruktörer i studien verkar medvetna och intresserade av en del av dessa tekniker. Dock återstår det att utreda om dessa tekniker (t.ex. förstärkt verklighet (*eng. augmented reality*), virtuell verklighet (*eng. virtual reality*), pick-to-light, smarta textilier, co-bots m.m.) kommer att utgöra rena kognitiva resurser som avlastar montörerna, eller om de kommer att introducera nya krav (t.ex. genom att erbjuda valmöjligheter som kräver montörens beslutsfattande) utöver de som redan ingår i monteringsarbetet.

7.2 Summering och framtida arbete

Resultaten från detta kvalitativa projekt har resulterat i en nyanserad och komplex bild av montörers kognitiva och mentala belastning i produktion. Genom att belysa resultaten ifrån ett Krav-Resurs-perspektiv så har vi kunnat ta fram PreKo-modellen, en långlista med kriterier (eller snarare kognitiva och mentala monteringsförutsättningar) som en varierad grupp med bedömare kan gå igenom systematiskt för att avgöra om dessa förekommer på den aktuella monteringssituationen man vill bedöma. Kraven bedöms på huruvida de anses acceptabla eller om deras förekomst innebär en risk, baserat antingen på frekvens/variation eller att de leder till kända problem. Resurserna värderas utifrån om de finns implementerade, om de ger oregelbundet stöd eller om något förhindrar att systemet kan dra nytta av resursen. Genom att dela in kraven och resurserna i olika ”systemnivåer” vill PreKo belysa och betona att lösningarna och ”avlastningen” från en olämplig K/M-belastning kan förverkligas på flera systemnivåer, understödda av olika kompetenser.

Eftersom modellen i nuläget är avsett att bredda perspektiven hos ett flertal aktörer om vad som kan påverka K/M-belastning utifrån våra intervjuresultat, så är listorna på kriterier långa och det finns möjlighet att vissa kriterier tangerar varandra till innehållet. Det krävs därför test av modellen i nya, praktiska fall för att utreda nyttan och stringensen i de befintliga kriterierna, och för att konsolidera, ändra eller utöka kraven och resurserna. Denna metodförädling skulle kunna vara en uppgift för ett eller flera examensarbeten för t.ex. ingenjörsstudenter av olika slag.

Flera av de tillfrågade potentiella användarna av PreKo-modellen har uttryckt en önskan om att kunna kvantifiera K/M-belastningsbedömningen. Detta kräver dock framtida detaljstudier med empirisk bas för att utreda om några av kriterierna i modellen är möjliga att förse med mätbara gränsvärden, eller om det kan läggas till kriterier som entydigt är möjliga att mäta (antingen absolut eller relativt).

Referenser

1. Tong, A.; Sainsbury, P.; Craig, J. Consolidated criteria for reporting qualitative research (COREQ): A 32-item checklist for interviews and focus groups. *Int J Qual Heal Care* 2007; 19: 349–357.
2. Berlin, C.; Falck, A.-C.; Wollter Bergman, M.; et al. COREQ checklist for the research project PreKo, 2018-2021, https://research.chalmers.se/publication/?created=true&id=959369c4-4c74-4e00-9273-e0ff61e7afdf (2021, accessed 8 October 2021).
3. Braun, V.; Clarke, V. Using thematic analysis in psychology. *Qual Res Psychol* 2006; 3: 77–101.
4. Young, M.S.; Brookhuis, K.A.; Wickens, C.D.; et al. State of science: mental workload in ergonomics. *Ergonomics* 2015; 58: 1–17.
5. Galy, E.; Cariou, M.; Mélan, C. What is the relationship between mental workload factors and cognitive load types? *Int J Psychophysiol* 2012; 83: 269–275.
6. ISO. *Ergonomiska principer avseende mental arbetsbelastning – Del 1: Allmänna frågeställningar och begrepp, termer och definitioner (ISO 10075-1:2017)*. 2nd ed., www.sis.se (2017).
7. ISO. *Ergonomiska principer avseende mental arbets- belastning – Del 3 : Principer och krav på metoder för mätning och bedömning av mental arbetsbelastning (ISO 10075-3 : 2004) Ergonomic principles related to mental workload – Part 3 : Principles and requirem*. 1st ed. 2004.
8. Psykologiguiden. Psykologiguiden: Kognitiv vs mental belastning, https://www.psykologiguiden.se/psykologilexikon/?Lookup=mental+arbetsbelastning%0D%0A.
9. Sweller, J. Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learn Instr* 1994; 4: 295–312.
10. Sweller, J. Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cogn Sci* 1988; 12: 257–285.
11. Van Acker, B.B.; Parmentier, D.D.; Vlerick, P.; et al. Understanding mental workload: from a clarifying concept analysis toward an implementable framework. *Cogn Technol Work* 2018; 20: 351–365.
12. Wickens, C.D.; Hollands, J.G.; Banbury, S.; et al. *Engineering psychology and human performance*. 4th ed. Routledge, 2016.
13. Wickens, C.D.; Carswell, M. INFORMATION PROCESSING. In: Salvendy G, Karwowski W (eds) *Handbook of Human Factors and Ergonomics* . Epub ahead of print 2021. DOI: 10.1002/9781119636113.ch5.
14. Chapanis, A. Human Mental Charateristics. In: *Human Factors in Systems Engineering*. John Wiley & Sons, Inc., 1996, pp. 206–259.
15. Klepsch, M.; Seufert, T. Making an Effort Versus Experiencing Load. *Front Educ* 2021; 6: 1–14.
16. Hockey, G.R.J. Compensatory control in the regulation of human performance under stress and high workload: A cognitive-energetical framework. *Biol Psychol* 1997; 45: 73–93.
17. Modig, N.; Åhlström, P. What makes a process flow. In: *This is lean*. Rheologica, 2012, pp. 31–46.
18. Nakamura, J.; Csikszentmihalyi, M. Concept of Flow.pdf. In: *Handbook of Positive Psychology*. Springer, 2005, pp. 239–263.
19. Csikszentmihalyi, M. *Flow: The psychology of optimal experience*. HarperPerennial New York, 1991.
20. Andreasson, R.; Lindblom, J.; Thorvald, P. Interruptions in the wild: portraying the handling of interruptions in manufacturing from a distributed cognition lens. *Cogn Technol Work* 2017; 19: 85–108.
21. Kolbeinsson, A.; Thorvald, P.; Lindblom, J. Coordinating the interruption of assembly workers in manufacturing. *Appl Ergon* 2017; 58: 361–371.
22. Kolbeinsson, A.; Lindblom, J. Mind the Body: How Embodied Cognition Matters in Manufacturing. *Procedia Manuf* 2015; 3: 5184–5191.
23. Gajewski, P.D.; Wild-Wall, N.; Schapkin, S.A.; et al. Effects of aging and job demands on cognitive flexibility assessed by task switching. *Biol Psychol* 2010; 85: 187–199.
24. Boenzi, F.; Mossa, G.; Mummolo, G.; et al. Workforce aging in production systems: Modeling

and performance evaluation. *Procedia Eng* 2015; 100: 1108–1115.
25. Stedmon, A.W.; Howells, H.; Wilson, J.R.; et al. Ergonomics/human factors needs of an ageing workforce in the manufacturing sector. *Heal Promot Perspect* 2012; 2: 112.
26. García Merello, M. del C. *Guidelines for designing assembly work considering age management An ergonomics approach to an ageing Europe*, https://hdl.handle.net/20.500.12380/300009 (2019).
27. Marras, W.S.; Hancock, P.A. Putting mind and body back together: A human-systems approach to the integration of the physical and cognitive dimensions of task design and operations. *Appl Ergon* 2014; 45: 55–60.
28. DiDomenico, A.; Nussbaum, M.A. Effects of different physical workload parameters on mental workload and performance. *Int J Ind Ergon* 2011; 41: 255–260.
29. DiDomenico, A.; Nussbaum, M.A. Interactive effects of physical and mental workload on subjective workload assessment. *Int J Ind Ergon* 2008; 38: 977–983.
30. Elmaraghy, W.; Elmaraghy, H.; Tomiyama, T.; et al. Complexity in engineering design and manufacturing. *CIRP Ann - Manuf Technol* 2012; 61: 793–814.
31. Hermawati, S.; Lawson, G.; D'Cruz, M.; et al. Understanding the complex needs of automotive training at final assembly lines. *Appl Ergon* 2015; 46: 144–157.
32. Johansson, P.E..; Eriksson, G.; Johansson, P.; et al. Assessment Based Information Needs in Manual Assembly. *DEStech Trans Eng Technol Res*. Epub ahead of print 2018. DOI: 10.12783/dtetr/icpr2017/17637.
33. Jaber, M.Y.; Peltokorpi, J.; Glock, C.H.; et al. Adjustment for cognitive interference enhances the predictability of the power learning curve. *Int J Prod Econ* 2021; 234: 108045.
34. Ladinig, T.B.; Vastag, G. Mapping quality linkages based on tacit knowledge. *Int J Prod Econ* 2021; 233: 108006.
35. Mattsson, S.; Fast-Berglund, Å.; Li, D.; et al. Forming a cognitive automation strategy for Operator 4.0 in complex assembly. *Comput Ind Eng*; 139. Epub ahead of print 2020. DOI: 10.1016/j.cie.2018.08.011.
36. Malmsköld, L.; Örtengren, R.; Svensson, L. Training virtually virtual. *Int J Adv Corp Learn* 2012; 5: 29–34.
37. Engström, T.; Jonsson, D.; Johansson, B. Alternatives to line assembly: Some Swedish examples. *Int J Ind Ergon* 1996; 17: 235–245.
38. Zaeh, M.F.; Wiesbeck, M.; Stork, S.; et al. A multi-dimensional measure for determining the complexity of manual assembly operations. *Prod Eng* 2009; 3: 489–496.
39. Azizi, N.; Zolfaghari, S.; Liang, M. Modeling job rotation in manufacturing systems: The study of employee's boredom and skill variations. *Int J Prod Econ* 2010; 123: 69–85.
40. Baber, C. Cognitive aspects of tool use. *Appl Ergon* 2006; 37: 3–15.
41. Scafà, M.; Papetti, A.; Brunzini, A.; et al. How to improve worker's well-being and company performance: a method to identify effective corrective actions. *Procedia CIRP* 2019; 81: 162–167.
42. Brolin, A.; Thorvald, P.; Case, K. Experimental study of cognitive aspects affecting human performance in manual assembly. *Prod Manuf Res* 2017; 5: 141–163.
43. Gullander, P.; Davidsson, A.; Dencker, K.; et al. Towards a production complexity model that supports operation, re-balancing and man-hour planning. In: *Proceedings of the 4th Swedish Production Symposium (SPS): Lund, Sweden*. 2011.
44. Falck, A.C.; Tarrar, M.; Mattsson, S.; et al. Assessment of manual assembly complexity: A theoretical and empirical comparison of two methods. *Int J Prod Res* 2017; 55: 7237–7250.
45. Jacobs, J. V.; Hettinger, L.J.; Huang, Y.H.; et al. Employee acceptance of wearable technology in the workplace. *Appl Ergon* 2019; 78: 148–156.
46. Mourtzis, D.; Xanthi, F.; Zogopoulos, V. An Adaptive Framework for Augmented Reality Instructions Considering Workforce Skill. *Procedia CIRP* 2019; 81: 363–368.
47. Qeshmy, D.E.; Makdisi, J.; Ribeiro da Silva, E.H.D.; et al. Managing Human Errors: Augmented Reality systems as a tool in the quality journey. *Procedia Manuf* 2019; 28: 24–30.
48. Rusnock, C.; Borghetti, B.; McQuaid, I. Objective-analytical measures of workload–the third pillar of workload triangulation? In: *International Conference on Augmented Cognition*. Springer, 2015, pp. 124–135.
49. Militello, L.G.; Hutton, R.J.B. Applied cognitive task analysis (ACTA): A practitioner's toolkit for understanding cognitive task demands. *Ergonomics* 1998; 41: 1618–1641.
50. Hart, S.G.; Staveland, L.E. Development of NASA-TLX: Results of empirical and theoretical

research. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Eds.). *Hum Ment Workload* 1987; 139–183.
51. Galy, E.; Paxion, J.; Berthelon, C. Measuring mental workload with the NASA-TLX needs to examine each dimension rather than relying on the global score: an example with driving. *Ergonomics* 2018; 61: 517–527.
52. Rubio, S.; Díaz, E.; Martín, J.; et al. Evaluation of Subjective Mental Workload: A Comparison of SWAT, NASA-TLX, and Workload Profile Methods. *Appl Psychol* 2004; 53: 61–86.
53. Kjellberg, A.; Iwanowski, S. *Stress/energi-formuläret : utveckling av en metod för skattning av sinnesstämning i arbetet*. Solna: Arbetsmiljöinstitutet, 1989.
54. Hadzibajramovic, E.; Ahlborg, G.; Grimby-Ekman, A.; et al. Internal construct validity of the stress-energy questionnaire in a working population, a cohort study. *BMC Public Health* 2015; 15: 1–9.
55. Kjellberg, A.; Wadman, C. *Subjektiv stress och dess samband med psykosociala förhållanden och besvär: En prövning av Stress-Energi-modellen*. Arbetslivsinstitutet, 2002.
56. Luximon, A.; Goonetilleke, R.S. Simplified subjective workload assessment technique. *Ergonomics* 2001; 44: 229–243.
57. Reid, G.B.; Nygren, T.E. The Subjective Workload Assessment Technique: A Scaling Procedure for Measuring Mental Workload. In: Hancock PA, Meshkati NBT-A in P (eds) *Human Mental Workload*. North-Holland, pp. 185–218.
58. Thorvald, P.; Lindblom, J.; Andreasson, R. CLAM - A method for cognitive load assessment in manufacturing. *Adv Transdiscipl Eng* 2017; 6: 114–119.
59. Thorvald, P.; Lindblom, J.; Schmitz, S. Modified Pluralistic Walkthrough for Method Evaluation in Manufacturing. *Procedia Manuf* 2015; 3: 5139–5146.
60. Thorvald, P.; Lindblom, J. The CLAM Handbook. *University of Skövde*.
61. Mattsson, S.; Tarrar, M.; Fast-Berglund, Å. Perceived production complexity – understanding more than parts of a system. *Int J Prod Res* 2016; 7543: 1–9.
62. Falck, A.C.; Örtengren, R.; Rosenqvist, M.; et al. Criteria for Assessment of Basic Manual Assembly Complexity. *Procedia CIRP* 2016; 44: 424–428.
63. Falck, A.C.; Örtengren, R.; Rosenqvist, M.; et al. Basic complexity criteria and their impact on manual assembly quality in actual production. *Int J Ind Ergon* 2017; 58: 117–128.
64. Falck, A.C.; Örtengren, R.; Rosenqvist, M.; et al. Proactive assessment of basic complexity in manual assembly: development of a tool to predict and control operator-induced quality errors. *Int J Prod Res* 2017; 55: 4248–4260.
65. Tsang, P.S.; Velazquez, V.L. Diagnosticity and multidimensional subjective workload ratings. *Ergonomics* 1996; 39: 358–381.
66. Wickens, C.D. Multiple resources and mental workload. *Hum Factors* 2008; 50: 449–455.
67. Berlin, C.; Bergman, M.W.; Chafi, M.B.; et al. A Systemic Overview of Factors Affecting the Cognitive Performance of Industrial Manual Assembly Workers. In: *IEA 2021: Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021)*. Springer International Publishing, pp. 371–381.
68. Wollter Bergman, M.; Berlin, C.; Babapour Chafi, M.; et al. Cognitive Ergonomics of Assembly Work from a Job Demands – Resources Perspective : Three Qualitative Case Studies. *Int J.ournal Environ Res Public Heal* 2021; 18: 12282.
69. Bakker, A.B.; Demerouti, E. The Job Demands-Resources model: State of the art. *J Manag Psychol* 2007; 22: 309–328.
70. Bakker, A.; Demerouti, E.; Schaufeli, W. Dual processes at work in a call centre: An application of the job demands–resources model. *Eur J Work Organ Psychol* 2003; 12: 393–417.
71. Berlin, C.; Söderström, Å.C. Factors contributing to high cognitive workload in "expert operators": a case in automotive manual assembly. In: Broberg O, Seim R (eds) *Proceedings of the 50th Nordic Ergonomics and Human Factors Society Conference*. Elsinore: DTU Management, Technical University of Denmark, Denmark, pp. 336–343.
72. Lind, C.M.; Forsman, M.; Rose, L.M. Development and evaluation of RAMP I – a practitioner's tool for screening of musculoskeletal disorder risk factors in manual handling. *Int J Occup Saf Ergon* 2019; 25: 165–180.
73. Lind, C.M.; Forsman, M.; Rose, L.M. Development and evaluation of RAMP II - a practitioner's tool for assessing musculoskeletal disorder risk factors in industrial manual handling. *Ergonomics* 2020; 63: 477–504.
74. Prevent. Hjärnvänlig arbetsmiljö, https://www.prevent.se/jobba-med-

arbetsmiljo/osa/hjarnvanlig-arbetsmiljo/ (2021).
75. Prevent. Ordlista Kognitiv ergonomi.
76. Berlin, C.; Adams, C. *Production Ergonomics: Designing Work Systems to Support Optimal Human Performance*. London, UK: Ubiquity Press Ltd. Epub ahead of print 28 June 2017. DOI: 10.5334/bbe.
77. Booth, A.; Hannes, K.; Harden, A.; et al. COREQ (consolidated criteria for reporting qualitative studies). In: *Guidelines for Reporting Health Research: A User's Manual*. Wiley-Blackwell Inc.; England, 2014, pp. 214–226.
78. Falck, A.C.; Örtengren, R.; Rosenqvist, M.; et al. Basic complexity criteria and their impact on manual assembly quality in actual production. *Int J Ind Ergon* 2017; 58: 117–128.
79. Falck, A.C.; Tarrar, M.; Mattsson, S.; et al. Assessment of manual assembly complexity: A theoretical and empirical comparison of two methods. *Int J Prod Res* 2017; 55: 7237–7250.
80. Falck, A.C.; Örtengren, R.; Rosenqvist, M.; et al. Proactive assessment of basic complexity in manual assembly: development of a tool to predict and control operator-induced quality errors. *Int J Prod Res* 2017; 55: 4248–4260.
81. Falck, A.C.; Örtengren, R.; Rosenqvist, M.; et al. Criteria for Assessment of Basic Manual Assembly Complexity. *Procedia CIRP* 2016; 44: 424–428.

Bilaga A – Projektets detaljerade tidslinje

----------**2017**----------

juli 2017: Ursprunglig ansökan till AFA Försäkringar (AFA) om 3-årigt forskningsprojekt för 5,5 miljoner SEK.

dec 2017: AFA beviljar projektet med 4,5 miljoner SEK fördelat på 3 år.

----------**2018**----------

jan 2018: Officiell projektstart.

feb-mar 2018: Rekrytering av ny doktorand på 85% till projektet (övr. tid institutionstjänstgöring)

maj 2018: Doktorandkandidat tackar ja.

juni 2018: Projekttiden förlängs av AFA på begäran, pga. att doktoranden påbörjar tjänsten först i september och projektbudgeten börjar belastas först då. AFA beviljar nytt slutdatum till 2021-07-01.

sep-dec 2018: Doktorand börjar, företagen involveras och PreKos datainsamling startas upp.

okt 2018: Med anledning av att projektets budget utgick ifrån 5,5 miljoner, så dimensioneras alla relevanta budgetposter om internt till ca 81% av ursprungligt tänkta summor.

----------**2019**----------

feb 2019: Doktorand avslutar doktorandtjänsten i förtid.

våren-hösten 2019: Datainsamling i PreKo, intervjuer utförs främst på plats hos företagen.

juli 2019*: Delrapport 1* för projektet samt ekonomisk delrapport lämnas in till AFA.

aug - sep 2019: projektets bemanning förstärks med en projektassistent på 50% och en post-doc på 20%.

Höst-vinter 2019: Datainsamlings- och analysarbete.

Årsskiftet 2019-2020: Chalmers genomgick ett internt sparbeting som begränsade möjligheten att bemanna projektet.

----------**2020**----------

jan-feb 2020: Två nya företag (små/medelstora) rekryteras för att ingå i studien som ersättning för det fjärde företaget.

mar-juni 2020: *Covid-19-pandemin förhindrar datainsamling hos de nya företagen i projektet samt gör att ett planerat konferensdeltagande ställdes in.*

maj-sep 2020: Analys av intervjuer, delvis i förutbestämda frågekluster.

juni 2020: Projektets konsult beslutar att gå ner väsentligen i tid.

28 sep 2020: Delpresentation för Företag A (preliminära resultat) – planering för framtida avstämning av slutliga resultat och projektets modell.

okt 2020: *Delrapport 2* för projektet samt ekonomisk delrapport lämnas in till AFA.

Höst-vinter 2020 - 2021: Fortsatt analysarbete och avstämning med övriga företag.

----------**2021**----------

jan-maj 2021: En studentamanuens (Fredrik Karlsson) ansluter till forskargruppen och deltar som ”Research Assistant”

maj-juni 2021: Skrivande och inskick av artikel till vetenskaplig tidskrift, samt presentationer för deltagande företag.

juli 2021: digitalt deltagande i IEA2021-konferensen (Internationella Ergonomiförbundets trienniala kongress) för att presentera projektets resultat för svensk och internationell publik.

juli-okt 2021: Utformning av dokumentation och PreKo-modellen / PRECO I-verktyget.

okt-nov 2021: Slutrapportering.

Bilaga B – Redovisning av avvikelser från projektplan och budget

Den ursprungligen avsedda projekttiden var 2018-01-01 – 2020-01-01, men förlängdes senare till 2021-09-30. År 1 avser 2018, År 2 2019, År 3 2020 och År 4 2021.

Avvikelser År 1

Se Delrapport 1 daterad 1 juli 2019; Projektets År 1 räknas från 2018-01-01 till och med 2019-06-30 *(OBS: Förlängning av projektet, se nedan).*

Ursprungliga medelsansökan anhöll om 5 500 tkr; 4500 tkr beviljades i december 2017. Den interna budgeteringen efter projektstart reviderades därför för att spegla storleken på de erhållna medlen, då med 1658 tkr År 1; 1426 tkr År 2; och 1416 tkr År 3.

På grund av utdragen rekryteringsprocess för projektets doktorand därtill huvudsakliga resurs (rekryterades våren 2018 men påbörjade sin tjänst den 1 september 2018), så försenades projektets start i praktiken. På begäran i juni 2018 så beviljade Afa Försäkrings handläggare därför en förlängning av projektet till 2021-07-01.

Ursprungligen rekryterades 4 företag för att delta i studien; dock genomgick företag D (komponenttillverkare) en omorganisering och personalförändring som gjorde att projektet tappade sin kontaktperson på företaget. Det beslutades under hösten 2019 att inte längre räkna med företag D:s medverkan i studien.

Doktoranden (som var anställd på 85% i projektet) slutade i förtid i februari 2019. Detta medförde reducerad bemanning i projektet och försening av datainsamlingen. Arbetet fördelades mellan projektets resterande medlemmar (C. Berlin, A.-C. Falck, R. Örtengren).

Under datainsamlingen visade det sig vara svårt att få kontakt med framför allt konstruktörer hos företag A pga. krävande internprojekt som de förväntades fokusera på, vilket ledde till försening av datainsamlingen samt få informanter från det perspektivet.

Efter datainsamlingsfasen anlitades dels studentamanuenser, dels en transkriberingstjänst (Transkribering.nu) för att omvandla inspelat ljudmaterial till avidentifierade intervjutranskript. Båda skrev på sekretessavtal.

Avvikelser År 2

Se Delrapport 1 daterad 1 juli 2019; Projektets År 2 räknas från 2019-07-01 till och med 2020-06-30.

Hösten 2019 beviljades förstärkning i projektpersonalen med 2 deltidstjänster ett år i taget på max 2 års tid: M. Wollter Bergman (MWB) som projektassistent på 50%, respektive M. Babapour Chafi (MBC) som forskare på 20%.

Hösten 2019 rekryterades två nya tillverkande företag till studien, båda av SME-karaktär, som ett försök att ersätta företag D. Dessa schemalades för intervjuer på plats (hos företagen) under tidiga 2020.

Under årsskiftet 2019-2020 genomgick Chalmers en intern finanskris med sparbeting, vilket påverkade projektets bemanningstrygghet och godkända utgifter under de två följande åren. Detta innebar bland annat att studentamanuenser och transkriberingstjänst inte längre kunde anlitas, och att deltidsanställdas tjänster primärt inte skulle få fortsätta bortom befintligt kontrakt. I kontakt med Afa Försäkringar träffades muntlig överenskommelse om att de två deltidsmedlemmarna i projektet skulle kunna delta och avlönas fortsättningsvis som konsulter; denna problematik löste sig dock på annat vis då Chalmers godkände en dispens för att fortsätta deras tidsbegränsade tjänster fram till 2021-06-30.

Tidigt våren 2020 nåddes Sverige av Covid 19-pandemin som påverkade möjligheten till datainsamling och resultatspridning. Pandemin omöjliggjorde resor och gjorde så att den planerade extra datainsamlingen under våren 2020 samt att en konferens som projektmedlemmarna avsåg att presentera på (FALF2020) ställdes in.

Avvikelser År 3

Se Delrapport 2 daterad 1 okt 2020; Projektets År 3 räknas från 2020-07-01 till och med 2021-06-30.

Även detta år räknas som drabbat av Covid 19-pandemin som gjorde resor omöjliga (vilket påverkade datainsamling och resultatspridning), och av Chalmers interna sparbeting (som påverkade förutsättningarna för bemanning).

A-C Falck valde att minska sin aktiva arbetstid i projektet ner till ca 2-5 h/mån av personliga skäl efter maj 2020. En viss del av arbetet omfördelades mellan projektets resterande medlemmar (främst CB, MWB och MBC). ACF slutade att aktivt medverka i analysarbetet, men blev kvar i en rådgivande och granskande roll likt den som R. Örtengren (RÖ) fyllt, och CB ökade sin bemanningstid i projektet. Detta ledde till avsevärt minskade konsultkostnader för projektets resterande tid.

Under våren 2020 planerades deltagande i den då preliminärt planerade IEA2021[7]-kongressen i Vancouver, Kanada, som skulle hållas i juni 2021. I samråd med Afa Försäkringar och Chalmers beviljades ändring i budgeten för att medge en utlandsresa för projektets fem medlemmar (CB., ACF, RÖ, MWB och MBC). Detta ansågs befogat som kompensation för utebliven resultatspridning och som projektavslut.

Avvikelser År 4

Se Delrapport 2 daterad 1 okt 2020; Projektets År 4 räknas från 2020-07-01 till och med 2021-09-30. *(OBS: Förlängning av projektet, se nedan).* Även detta år räknas som drabbat av Covid 19-pandemin och Chalmers interna sparbeting.

Projektet fick under våren 2021 förstärkning av F. Karlsson, en Chalmersstudent som engagerades i projektet via initiativet ”Research Assistant” som anordnas av Chalmers Institution för Industri- och Materialvetenskaper. FK belastade dock inte projektbudgeten eftersom han avlönades separat av RA-initiativet.

Pandemin gjorde att IEA2021-kongressen i Vancouver omvandlades till en helt digital konferens och några projektmedlemmar tackade då nej helt till att delta. Detta minskade kostnaderna för resor och konferensavgifter avsevärt då endast ACF och CB deltog som konferensdeltagare.

Eftersom projektet blev underbemannat efter juni 2021och det fanns projektmedel kvar (se korrespondens med Afa Försäkrings handläggare och Bilaga A i slutrapporten) beviljades en förlängning av projektets administrativa slutfas med 3 månader (verksamhetsslut 2021-09-30, förväntad slutrapportering 2021-11-01) där CB ökade sin tid i projektet ytterligare.

[7] International Ergonomics Association:s trienniala kongress, som attraherar en stor internationell publik

Bilaga C – COREQ-checklista för kvalitativ forskningsrapportering

I enlighet med en existerande checklista för kvalitativ forskningsrapportering, COREQ (Consolidated Criteria for Reporting Qualitative Studies; [1]; [77]) så redovisas här projektets detaljerade studieupplägg med avseende på intervjustudien. Vi har valt att svara på checklistans frågor på originalspråket (engelska).

Domain 1: research team and reflexivity		
Personal Characteristics		
1. Interviewer/facilitator	Which author/s conducted the interview or focus group?	Ann-Christine Falck, PhD and Cecilia Berlin, PhD (both in Production Ergonomics) conducted all interviews.
2. Credentials	What were the researcher's credentials? e.g. *PhD, MD*	Both Falck and Berlin hold PhD:s and Associate Professorships (*swe: Docent*) in Production Ergonomics, and are registered Certified European Ergonomists via CREE.
3. Occupation	What was their occupation at the time of the study?	Berlin was Associate Professor (*Reader*) at Chalmers University of Technology. Falck was a researcher consultant with affiliation to Chalmers, but independently contracted to the project through her private business.
4. Gender	Was the researcher male or female?	Both interviewing researchers were female.
5. Experience and training	What experience or training did the researcher have?	Both Falck's and Berlin's PhD training regimes included plentiful instruction in qualitative data collection and analysis, and they have previously carried out numerous interview-based studies on physical and organizational ergonomics
Relationship with participants		
6. Relationship established	Was a relationship established prior to study commencement?	A relationship was established with a contact person at each participating case company. The contact person then facilitated the recruitment of interview participants.
7. Participant knowledge of the interviewer	What did the participants know about the researcher? *e.g. personal goals, reasons for doing the research*	All participants were introduced at the beginning of the interview to the goals and procedure of the research project, both in writing and from an intro script read at the beginning of each interview. A personal introduction to the individual interviewer was not prioritized, due to limited time to speak to participants.
8. Interviewer characteristics	What characteristics were reported about the interviewer/facilitator? e.g. Bias, assumptions, reasons and interests in the research topic	Berlin and Falck varied slightly in their semi-structured interview approach, due to the following characteristics. Falck has previously worked as an industrial ergonomics practitioner and has carried out considerable research in the field of assembly complexity, with decades of insight into automotive manufacturing. Berlin, being more of an industrial ergonomics generalist, framed each interviewee's perception more individually and with less specific focus on complexity.

Domain 2: study design		
Theoretical framework		
9. Methodological orientation and Theory	What methodological orientation was stated to underpin the study? e.g. grounded theory, discourse analysis, ethno-graphy, phenomenology, content analysis	Thematic Analysis (as described by [3])
Participant selection		
10. Sampling	How were participants selected? e.g. purposive, convenience, consecutive, snowball	”Purposive convenience sample”, where company contact persons (e.g. production managers or occupational health officers) selected which people to recruit from their company’s assembly lines (in order to disrupt on-going operations as little as possible). The contact persons mostly selected people who were comfortable communicating in Swedish.
11. Method of approach	How were participants approached? e.g. face-to-face, telephone, mail, email	Face-to-face in most cases; 100% of assembly workers were interviewed at their respective production site, while some Design Engineers and Manufacturing engineers were interviewed via video conference or telephone.
12. Sample size	How many participants were in the study?	75 interviewees in total: Assembly workers (50) / Manufacturing engineers (7) / Design Engineers (18)
13. Non-participation	How many people refused to participate or dropped out? Reasons?	N/A (if a planned participant was not present, they were replaced by the company contact person)
Setting		
14. Setting of data collection	Where was the data collected? e.g. *home, clinic, workplace*	All interviewees were interviewed during working hours. Assembly workers were interviewed in break rooms adjacent to the factory. Design Engineers and Manufacturing engineers were interviewed either in a secluded meeting room away from their office desk (if face-to-face), or at a location of their choice if via video conference or telephone.
15. Presence of non-participants	Was anyone else present besides the participants and researchers?	At certain operator interviews at Company A, a second researcher (industrial PhD student) from Company A was present as a listener.
16. Description of sample	What are the important characteristics of the sample? *e.g. demographic data, date*	Age range: 19 – 61 Assembly workers: 19 – 60 years (/50) Manufacturing engineers: (/7) Design Engineers: 26 – 58 (/18) Range of experience: Assembly workers: 3 months – 33 years Manufacturing engineers: 1.5 – 25 years Design Engineers: 2 – 33 years Male/Female: 52 / 23 Interview period: Feb 2019 – Mar 2020

Data collection		
17. Interview guide	Were questions, prompts, guides provided by the authors? Was it pilot tested?	The interview questions have been added as an appendix to reports and some publications, when space allows. Yes, the questions to assembly workers were pilot tested
18. Repeat interviews	Were repeat interviews carried out? If yes, how many?	No (would have been considered if not for Covid-19 pandemic)
19. Audio/visual recording	Did the research use audio or visual recording to collect the data?	Yes, audio recordings were made of all interviews
20. Field notes	Were field notes made during and/or after the interview or focus group?	Yes, but only for supportive purposes and to cover attribute or organizational information for each interviewee. The researchers relied mainly on transcribing the recordings.
21. Duration	What was the duration of the interviews or focus group?	Between 20 – 50 minutes
22. Data saturation	Was data saturation discussed?	This is discussed in the project report and in separate publications
23. Transcripts returned	Were transcripts returned to participants for comment and/or correction?	No; this was deemed unfeasible due to long time delays
Domain 3: analysis and findings		
Data analysis		
24. Number of data coders	How many data coders coded the data?	3-4 people (CB, MWB, MBC, AF)
25. Description of the coding tree	Did authors provide a description of the coding tree?	Yes
26. Derivation of themes	Were themes identified in advance or derived from the data?	Both; since the interview was semi-structured, some a-priori coding was deemed possible and appropriate
27. Software	What software, if applicable, was used to manage the data?	NVivo 12 (for qualitative data management)
28. Participant checking	Did participants provide feedback on the findings?	No (mainly due to time delays and the Covid-19 pandemic)
Reporting		
29. Quotations presented	Were participant quotations presented to illustrate the themes / findings? Was each quotation identified? e.g. *participant number*	Yes (to both)
30. Data and findings consistent	Was there consistency between the data presented and the findings?	Yes
31. Clarity of major themes	Were major themes clearly presented in the findings?	Yes
32. Clarity of minor themes	Is there a description of diverse cases or discussion of minor themes?	Partially (not comprehensive, but minor themes are mentioned in some publications as relevant)

Bilaga D – Litteraturöversikt

Litteraturöversikten levereras som en separat, fristående rapportbilaga som är tänkt att fungera som en kunskapsöversikt av litteratur som berör kognitiv och mental belastning i monteringsindustri. Urvalet av litteratur har profilerats specifikt mot industriella monteringssituationer med förmodad tidsbegränsning (taktad montering).

Titeln på översikten är *"Litteraturöversikt: Kognitiv och Mental Belastning i Monteringsarbete"* av Berlin, Falck, Örtengren, Karlsson, Babapour Chafi och Bergman. När denna rapport publiceras finns den tillgänglig på http://bit.ly/PreKomaterial.

Bilaga E – Intervjufrågor till Montörer samt Beredare/Konstruktörer

Här redovisar vi de intervjufrågor som ställdes till intervjupersonerna. Olika frågebatterier ställdes till montörer respektive de planerande rollerna (beredare/konstruktörer). Intervjuerna var semi-strukturerade, vilket innebär att de intervjuande forskarna kunde anpassa ordningen på frågorna beroende på samtalsämnen som intervjupersonen utvecklade, och ibland inflikade följdfrågor.

Intervjuguide, montörer:

Introduktion	• **Hej, och stort tack för att du ställer upp som intervjuperson i vår studie! Vi är verkligen tacksamma för att du tar dig tid.**
	• **Jag vill börja med att fråga: har du fått tillräcklig information om studien, vad det handlar om, och hur din data kommer att hanteras, eller vill du att jag berättar?** (om nej, läs upp nedanstående)
	  ○ Vi som gör studien är en grupp arbetsmiljöforskare från Chalmers, som vill undersöka hur en bra kognitiv arbetsmiljö ser ut när man ska montera komplexa produkter. Kognitiv arbetsmiljö handlar om vilka förutsättningar som finns för att förstå hur man ska göra ett jobb, och hur man ska göra på ett tillräckligt bra sätt.
	  ○ Resultatet vi vill ta fram är en guideline som hjälper produktkonstruktörer, beredare, arbetsplatsdesigners och arbetsledare att inse i tid när en kognitiv arbetsmiljö kan ställa för höga eller låga krav på monteringen.
	  ○ Både för hög och för låg kognitiv utmaning kan vara skadligt, eftersom det varken är bra att vara stressad och överväldigad, eller att vara uttråkad och okoncentrerad. Då blir monteringen inte bra.
	  ○ Vårt arbete syftar till att skapa arbetsplatser där det ska *vara lätt att göra rätt.*
	  ○ När vi intervjuar dig kommer vi ställa frågor om vad som ingår i dina arbetsuppgifter, vad du fått för förutsättningar att klara av dem, vad du tycker är utmanande, och vad som hjälper dig göra rätt.
	• Har du några ytterligare frågor du vill ställa?
	• Bra, då vill jag först påminna om att alla intervjuer kommer att avidentifieras och hanteras helt konfidentiellt, och att det bara är forskarlaget på Chalmers som kommer att ta del av det obearbetade materialet. Du får avbryta intervjun när du vill.
	• Första frågan är: är det OK att jag startar ljudinspelningen nu? (Om Ja, sätt igång ljudinspelning)

Bakgrundsinformation (möjligtvis samlas denna information från arbetsplatsledningen innan intervjun, för att spara tid. Montören får i så fall bekräfta om uppgifterna stämmer.)	• Först av allt: kan du bekräfta om följande bakgrundsinformation stämmer för dig? (visa deltagaren på papper, låt hen korrigera om nödvändigt)
	  ○ Namn? (endast för att kunna återkoppla vid ev. uppföljningsintervjutillfälle och kunna dubbelkolla svar)
	  ○ Ålder och antal års anställning/erfarenhet? (endast för att kunna söka gemensamma drag i svaren bland intervjuade i liknande ålder)
	  ○ Upplärningstid för att börja? Hur sker överlämning av arbetsuppgifter vid arbetsrotation? Hur sker överlämning av arbetsuppgifter vid skiftbyte? (troligen gemensamt)
	  ○ Takttid / cykeltid där du jobbar nu?

En vanlig arbetsdag (ca 5 min)	1. Hur ser en vanlig arbetsdag ut för dig? Vilka uppgifter gör du, vad använder du för verktyg och hjälpmedel när du monterar?

	2. Hur många olika stationer behärskar du, och hur ofta byter/roterar du? 3. Kan du ge exempel på uppgifter man gör väldigt ofta (som montör), och uppgifter som görs mer sällan? 4. Finns det arbetsmoment som känns både fysiskt och mentalt krävande? 5. Kan du beskriva hur du känner för ditt monteringsarbete här? (följdfråga: är du nöjd över att gå till jobbet, känner du arbetsglädje, känns det stimulerande/tråkigt, positivt/negativt?) 6. Hur är din ork efter en arbetsdag?
Montörens egna förutsättningar och resurser	7. Hur gick det till när du lärde dig att bli montör? (utbildning, upplärning, gick bredvid kollega, etc.) 8. Hur lång tid tog det innan du kände att kunde göra dina arbetsuppgifter självständigt? 9. Känner du dig trygg i att kunna utföra ditt arbete som montör i alla situationer? 10. Hur ofta behöver du lära dig nya monteringar eller arbetssätt? 11. Hur skulle du helst vilja lära dig nya monteringar, nu när du arbetar? 12. Vad får ditt arbete att flyta på bra? (Hur ofta/vid vilka tillfällen upplever du ett bra flyt? 13. Vad kan få ditt arbete att inte flyta på? (Hur ofta/vid vilka tillfällen upplever du dåligt flyt?) 14. Klarar du som regel av att prestera det som förväntas av dig? 15. Kan du planera ditt arbete och påverka upplägget i förväg? (Hur gör du då?)
Utmaningar för montören orsakade av arbetet och arbetsplatsen	16. Hur skulle du beskriva den kognitiva belastningen i ditt arbete *(med det menar vi hur du förstår vad du ska göra och hur du agerar på ledtrådar – behöver du ofta tänka efter, tolka, koncentrera dig, minnas, fatta beslut)?* 17. Finns det något som gör monteringen ansträngande eller frustrerande? 18. Vad skulle du säga kännetecknar en bra resp. dålig montering? 19. Finns det arbetsmoment som är möjliga att glömma? 20. Behöver du hålla mycket information i minnet när du jobbar? Finns några minnesstöd? 21. Vad finns det för typ av monteringsinstruktioner? *(Använder du dem, isf varför/varför inte? Har du tankar på hur de skulle kunna förbättras?)* 22. Finns det några källor till stress i arbetet? 23. Finns det distraktioner i arbetsmiljön? 24. Förekommer det störningar från omgivningen (t.ex. störande buller, ljusbrist eller reflexer, vibrationer, klimat)? 25. Tycker du att du får variation i arbetsuppgifterna? 26. Har du/ni några knep i jobbet för att underlätta för dig/er själva? 27. Jobbar man upp sig (*jobbar snabbare än takt*) i monteringen hos er? I så fall varför och när?
Utmaningar för montören relaterade till produkten	28. Är någon del av monteringen/produkten svår att se ordentligt, eller tolka (både monteringsdetaljer och ev. text)? 29. Tycker du att konstruktörerna borde ha gjort något i produkten annorlunda för att underlätta för ditt arbete? (*Vill du i så fall föreslå någon förändring?)*
Framtiden / det långa loppet	30. Finns något forum på arbetsplatsen för att ta till vara på era idéer/förbättringsförslag?

	31. Vad får dig i nuläget att vilja fortsätta jobba som montör? 32. Ser du några möjliga anledningar att sluta som montör? 33. Tror du att du skulle vilja arbeta kvar som montör här även när du blir äldre (*fram till pension*)? Vad tror du skulle behövas för att klara av detta? 34. Tror du att du skulle klara av ditt nuvarande arbetsupplägg och tempo, även som äldre?
Avslut	35. Vi tänker oss att det kanske är ovant för många att sätta ord på hur man upplever kognitiva och mentala krav i arbetet, så jag undrar: Skulle du kunna eventuellt tänka dig att vara med på en mycket kort uppföljningsintervju på telefon om några veckor, där jag återkommer med några korta frågor om du fått någon ny insikt medan du jobbat eller tänkt på frågorna efteråt? Om Ja – byt kontaktinfo med operatören (mail, hemadress och telefon) och säg att vi i så fall kommer kontakta dem på mail för att komma överens om ett bra tillfälle att ringa med uppföljningsfrågor. 36. Då är det dags att avrunda – vill du lägga till eller fråga något? **Tack, nu är intervjun avslutad för denna gång och jag och mina kollegor tackar så mycket för att du delat med dig av din erfarenhet, det har varit ett stort nöje att få träffa dig!** • Vi kommer att transkribera dina svar och anonymisera det skriftliga materialet så att inga svar kan härledas direkt till dig, och allt material är konfidentiellt. När vi transkriberat klart intervjuerna kommer vi att radera ljudfilerna. • (Om montören gick med på uppföljning) För att jag ska kunna kontakta dig för uppföljning så skulle jag vilja ha kontaktinfo så jag eventuellt kan följa upp med några korta frågor, samt en adress att skicka en biobiljett till som tack. När den skickats kommer jag att radera all din kontaktinfo. • När projektet är avslutat kommer alla företag som deltagit få ta del av helhetsresultatet. • Har du några frågor eller kommer på något som du missat att säga, så finns möjligheten att ta upp det vid nästa tillfälle eller kontakta mig (ge kontaktinfo).

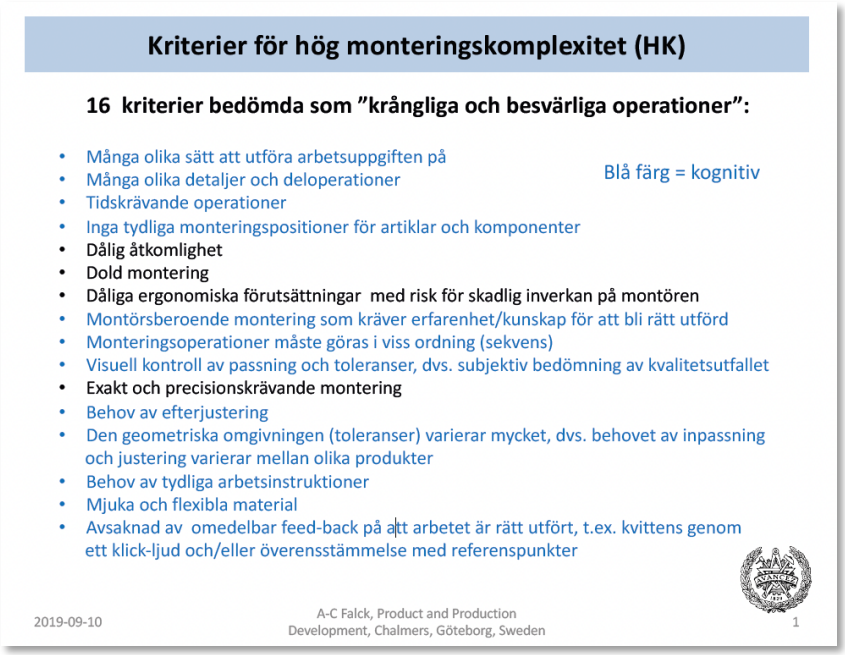
Intervjuguide, beredare / konstruktörer:

Introduktion	• **Hej, och stort tack för att du ställer upp som intervjuperson i vår studie! Vi är verkligen tacksamma för att du tar dig tid.**
	• **Jag vill börja med att fråga: har du fått tillräcklig information om studien, vad det handlar om, och hur din data kommer att hanteras, eller vill du att jag berättar?** (om nej, läs upp nedanstående)
	  ○ Vi som gör studien är en grupp arbetsmiljöforskare från Chalmers, som vill undersöka hur en bra kognitiv arbetsmiljö ser ut när man ska montera komplexa produkter. Kognitiv arbetsmiljö handlar om vilka förutsättningar som finns för att förstå hur man ska göra ett jobb, och hur man ska göra på ett tillräckligt bra sätt.
	  ○ Resultatet vi vill ta fram är en guideline som hjälper produktkonstruktörer, beredare, arbetsplatsdesigners och arbetsledare att inse i tid när en kognitiv arbetsmiljö kan ställa för höga eller låga krav på monteringen.
	  ○ Både för hög och för låg kognitiv utmaning kan vara skadligt, eftersom det varken är bra att vara stressad och överväldigad, eller att vara uttråkad och okoncentrerad. Då blir monteringen inte bra.
	  ○ Vårt arbete syftar till att skapa arbetsplatser där det ska *vara lätt att göra rätt.*
	  ○ När vi intervjuar dig kommer vi ställa frågor om vad som ingår i dina arbetsuppgifter, vad du har för insikter i monterings-situationen, vad du tänker på när du planerar en montering och vad för feedback du får från produktionen.
	• Har du några ytterligare frågor du vill ställa?
	• Bra, då vill jag först påminna om att alla intervjuer kommer att avidentifieras och hanteras helt konfidentiellt, och att det bara är forskarlaget på Chalmers som kommer att ta del av det obearbetade materialet. Du får avbryta intervjun när du vill.
	• Första frågan är: är det OK att jag startar ljudinspelningen nu? (Om Ja, sätt igång ljudinspelning)

Bakgrunds-information	• **Först av allt, kan du berätta:**
	  ○ Namn? (endast för att kunna återkoppla vid nästa intervjutillfälle och kunna dubbelkolla svar)
	  ○ Ålder och antal års anställning/erfarenhet? (endast för att kunna söka gemensamma drag i svaren från alla företag, bland intervjuade i liknande ålder)
	  ○ Har du någon tidigare egen erfarenhet från montering?

En vanlig arbetsdag (ca 5 min)	1. **Hur ser en vanlig arbetsdag ut för dig?** Vilka arbetsuppgifter ingår? 2. Vad använder du för verktyg och hjälpmedel när du utför ditt konstruktionsarbete? 3. Hur godkänns dina konstruktionslösningar / monteringskoncept för produktion?

Kunskap om montörernas förutsättning-ar och resurser	4. Har du någon egen monteringserfarenhet?
	5. Är du nere i produktion och har en klar bild av hur monteringen går till?
	  • På ett helt monteringsavsnitt eller bara av din ”egen” montering?
	6. Tar du egna initiativ för att kontrollera att ”ditt” monteringskoncept fungerar för montörerna?
	7. Vet du redan nu något som är problematiskt och skulle kunna förbättras?
	8. Är det några beteenden/arbetssätt hos montörerna som du upplever är problematiska?
	  • Vad tror du det kan bero på?

	• Hur skulle det kunna lösas ur produkt/konceptsynpunkt? 9. Hur skulle en idealmontering kunna se ut med avseende på kognitiv och fysisk belastning?
Vad konstruktören/beredaren kan göra (produkten /arbetsstationen)	10. Talar ni konstruktörer (el. beredare) med varandra om ergonomi och/eller kognitiv belastning, och hur den kan påverka själva monteringsutförandet? • Hur kan du som konstruktör / beredare underlätta för montörerna att montera rätt? 11. Vad gör du/ni redan under tidiga konstruktionsfaser för att skapa lättmonterade koncept? • Kan du ge några exempel? 12. När ni konstruerar/bereder nya monteringskoncept till produktion: vilka **kognitiva** förutsättningar för montören tar ni hänsyn till? *(dvs hur kan de förstå hur de ska göra rätt?)* • Exempel? 13. Vad för kognitiva stöd bedömer du/tror du montören behöver för att klara att montera olika produkt*varianter* (på stationsnivå)? 14. Använder du någon metodik i ditt konstruktionsarbete för att uppnå monterbarhet med låg kognitiv belastning? • Har du dialog med beredare eller motsvarande om detta? 15. Tycker du att du har fått tillräcklig kunskap eller utbildning för att kunna förebygga kognitivt belastande montering? 16. Eftersom arbetskraften blir allt äldre - • Tror du äldre montörer behöver annorlunda stöd än yngre? • Tänker du som konstruktör på äldre personers kognitiva och fysiska förutsättningar för monteringsarbete? 17. [***Visa listan med 16 komplexitetskriterier***[8]]  **Kriterier för hög monteringskomplexitet (HK)** **16 kriterier bedömda som "krångliga och besvärliga operationer":** • Många olika sätt att utföra arbetsuppgiften på • Många olika detaljer och deloperationer • Tidskrävande operationer • Inga tydliga monteringspositioner för artiklar och komponenter • Dålig åtkomlighet • Dold montering • Dåliga ergonomiska förutsättningar med risk för skadlig inverkan på montören • Montörsberoende montering som kräver erfarenhet/kunskap för att bli rätt utförd • Monteringsoperationer måste göras i viss ordning (sekvens) • Visuell kontroll av passning och toleranser, dvs. subjektiv bedömning av kvalitetsutfallet • Exakt och precisionskrävande montering • Behov av efterjustering • Den geometriska omgivningen (toleranser) varierar mycket, dvs. behovet av inpassning och justering varierar mellan olika produkter • Behov av tydliga arbetsinstruktioner • Mjuka och flexibla material • Avsaknad av omedelbar feed-back på att arbetet är rätt utfört, t.ex. kvittens genom ett klick-ljud och/eller överensstämmelse med referenspunkter Blå färg = kognitiv 2019-09-10 A-C Falck, Product and Production Development, Chalmers, Göteborg, Sweden 1 Om du tänker på dina egna monteringskoncept; stämmer något av dessa kriterier in på dem? (*Svara Ja / Nej / Vet ej*) • Kommentera gärna. 18. Vad upplever du är svårast att lösa konstruktionsmässigt, som kan vara kognitivt belastande för montören?

[8] Denna lista med 16 komplexitetskriterier baseras på forskning av A.-C. Falck m.fl. ([78–81]) och användes som exempel på en checklista för konkreta monteringsoperationer som ansågs "krångliga och besvärliga".

	19. Vilka krav ställer ni på underleverantörer av monteringskoncept avseende fysisk och kognitiv ergonomi? 20. Klarar de att leva upp till dessa?
Feedback från Produktion	21. Får du feedback från Produktion om monterbarhet och kvalitetsutfall avseende ”dina” produkter? • Hur hanterar du/ ni den feedbacken? 22. Har du några regelbundna avstämningar med produktion? • Hur går de i så fall till?
Avslut	23. Då är det dags att avrunda – vill du lägga till eller fråga något? **Tack, nu är intervjun avslutad för denna gång och jag och mina kollegor tackar så mycket för att du delat med dig av din erfarenhet, det har varit ett stort nöje att få träffa dig!** • Vi kommer att transkribera dina svar och anonymisera det skriftliga materialet så att inga svar kan härledas direkt till dig, och allt material är konfidentiellt. När vi transkriberat klart intervjuerna kommer vi att radera ljudfilerna. • När projektet är avslutat kommer alla företag som deltagit få ta del av helhetsresultatet. • Har du några frågor eller kommer på något som du missat att säga, så finns möjligheten att kontakta oss (ge kontaktinfo).

Bilaga F – Redovisning av projektets ekonomiska resultat

I enlighet med AFA Försäkrings rapporteringssed så lämnas en separat bilaga (en standardiserad Excelfil), *”PreKo dnr 170018 Ekonomisk redovisning – slutrapportering.xlsx”* in via AFA Försäkrings FoU-portal.

Bilaga G – Översikt av PreKo-modellen och PRECO-verktyget

Här presenteras vår modell av holistiska systemförutsättningar för kognitiv/mental belastning inom industriell montering från ett krav/resurs-perspektiv.

Förord

Baserat på intervjustudiens resultat i PreKo-projektet[9] så har en samling holistiska bedömningskriterier tagits fram för att hjälpa olika roller på tillverkande företag att proaktivt bedöma huruvida det finns faktorer som kan förvärra eller avhjälpa kognitiv/mental belastning för montörer (som antas utföra montering av fysiska produkter i taktad produktionsmiljö på företrädelsevis tillverkande företag). Dessa kriterier kallar vi för **PreKo-modellen.**

Verktyget **PRECO I** är ett Microsoft Excel-baserat verktyg för att underlätta bedömningen, som bygger på PreKo-modellen. **PRECO** är en förkortning för det engelska metodnamnet *"Proactive Evaluation of Cognitive/Mental demands and resources".* När denna rapportbilaga skrivs finns den i version 1.0 och är tillgänglig på http://bit.ly/PreKomaterial. Verktygets första version bör betraktas primärt som ett ”proof-of-concept” och en långlista av kriterier som i framtida versioner eventuellt kommer att konsolideras, ändras eller utökas. Det är även förväntat att vissa företag kan vilja skräddarsy kriterierna för sin egen produktion.

Bedömningen i PreKo-modellen och PRECO I är *kvalitativ*, dvs. baserad på kunniga representanters omdöme av monteringsförutsättningarna, och **går alltså *inte* ut på att kvantifiera** faktorerna. I nuläget är det svårt att på ett entydigt sätt mäta faktorer som bidrar till kognitiv belastning på ett sätt som gör rättvisa för samspelen i en komplex produktionsmiljö.

Modellen och verktyget syftar därför till konstaterande av förekomst av krävande eller avhjälpande faktorer, dvs. **kognitiva/mentala krav och resurser**. Dessa är kategoriserade i 6 olika grupperingar som granskar olika ”systemnivåer” av produktionen: Konstruktionen, Stationen, Flödet, Monteringslaget, Inlärning och instruktioner, och övriga krav/resurser.

Syftet med bedömningen är att:

- Kartlägga **montörens givna förutsättningar** att kunna montera rätt
- Analysera *kognitiv/mental* (K/M-) belastning i produktionssystemet som helhet
- Utgå ifrån en **Krav/Resurs-modell**, som betonar hur vissa krav kan balanseras av tillgängliga resurser
- Konkretisera faktorer som kan orsaka eller avhjälpa olämplig K/M-belastning
- **Skapa delaktighet** genom att **engagera flera roller**/ansvar som kan påverka K/M-belastning
- Synliggöra K/M-krav och resurser **tidigt i utvecklingsprocesser** (konstruktion och beredning)
- Ta hänsyn till montörers erfarenhet
- **Syfta framåt**; utvärdera tänkta lösningsförslag baserade på **önskat effektmål**

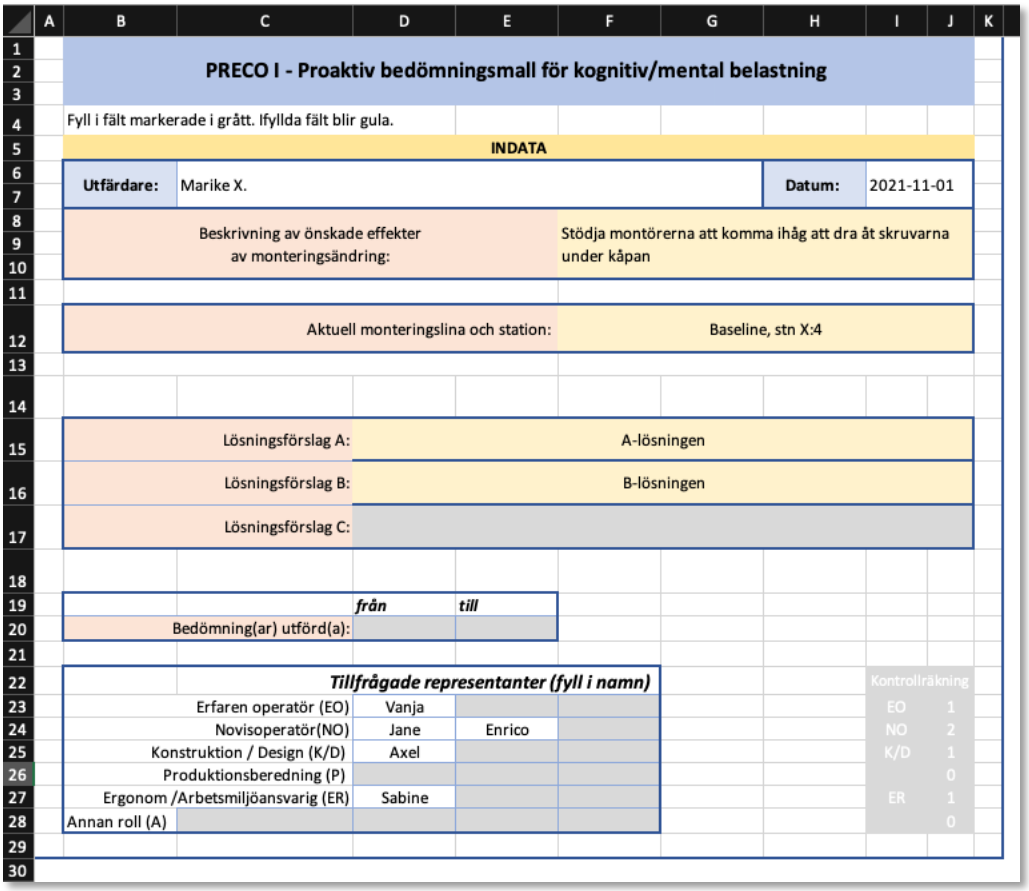
Indata: definition av bedömningens scope (omfattning)

Bedömningen bygger på ett scenario där ett önskat effektmål för en montering har identifierats, och man tar fram upp till tre[10] alternativa lösningsförslag som tros kunna uppnå effektmålet. För att bedömningen ska kunna vara holistisk (dvs. betrakta från flera olika systemnivåer och perspektiv) men samtidigt vara väldefinierad, är det viktigt för bedömarna att enas om:

[9] Se artikeln *“Cognitive Ergonomics of Assembly Work from a Job Demands – Resources Perspective : Three Qualitative Case Studies”* av Wollter Bergman, Berlin, Babapour Chafi, Falck och Örtengren (2021).
[10] Maxantalet lösningar är i modellen är godtyckligt satt till tre, men kan vara en bra begränsning för att inte överdrivet komplicera bedömningen.

- Aktuell(a) **komponent(er)** som påverkas av lösningsförslagen
- **Vilken monteringslina och station** som lösningsförslagen anses gälla
- En kortfattad beskrivning eller benämning av **upp till tre** (tekniska eller arbetsorganisatoriska) **lösningsförslag** (som kan vara utformade/konstruerade internt eller köpas in)

Indatan bör även ange en ”***Utfärdare***”; denna person är lämpligen initiativtagare till kartläggningen och tar ansvar för att sammanföra alla bedömningar i ett samlingsdokument (stöd för detta ges i PRECO I-verktyget).



1										
2		PRECO I - Proaktiv bedömningsmall för kognitiv/mental belastning								
3										
4		Fyll i fält markerade i grått. Ifyllda fält blir gula.								
5		INDATA								
6		Utfärdare:	Marike X.					Datum:	2021-11-01	
7										
8		Beskrivning av önskade effekter								
9		av monteringsändring:			Stödja montörerna att komma ihåg att dra åt skruvarna					
10					under kåpan					
11										
12		Aktuell monteringslina och station:				Baseline, stn X:4				
13										
14										
15		Lösningsförslag A:			A-lösningen					
16		Lösningsförslag B:			B-lösningen					
17		Lösningsförslag C:								
18										
19				*från*	*till*					
20		Bedömning(ar) utförd(a):								
21										
22				*Tillfrågade representanter (fyll i namn)*					Kontrollräkning	
23			Erfaren operatör (EO)	Vanja					EO	1
24			Novisoperatör(NO)	Jane	Enrico				NO	2
25			Konstruktion / Design (K/D)	Axel					K/D	1
26			Produktionsberedning (P)							0
27			Ergonom /Arbetsmiljöansvarig (ER)	Sabine					ER	1
28		Annan roll (A)								0
29										
30										

Delaktighet: bedömning av flera roller

Eftersom ett produktionsystem är komplext som helhet (där alla ingående delar och förutsättningar kan befinna sig i ett tillstånd av ständig förändring), så blir bedömningen bäst om den genomförs av olika bedömare som kan bidra med kompletterande perspektiv på systemets olika faser, strukturer, delar och beteenden.

PreKo-projektets intervjustudie fann att det inte alltid är självklart att roller i tidiga utvecklingsfaser (Konstruktörer och Beredare) har en pågående kommunikation med produktionsdriften, och kan därför ibland ha otillräcklig insikt i hur de ska kunna skapa goda förutsättningar för montörer. Detta kan vara särskilt vanskligt på företag där planerande roller sällan träffar produktionen.

Modellen förespråkar att engagera minst en representant för var och en av följande roller:

Roll	Bidrag
Erfaren operatör (EO)	Bidrar med erfarenhet, insikt i arbetet och systemkännedom, t.ex.: kunskaper om besvärliga produktvarianter, verktyg eller komponenter; kännedom om lagets beteenden för att underlätta arbetet för sig; idéer om systemförbättringar; samt eventuellt en bättre helhetsinsikt i produkten och varför den är byggd på ett visst sätt. Förväntas primärt kunna bedöma Krav/resurser i kategori B, C, D och E.

Novisoperatör (NO)	Bidrar med insikt i kraven som ställs på nya operatörer under upplärning; insikt i aktuella upplärnings-/onboarding-processer; kännedom om huruvida instruktioner är tillgängliga och tillräckliga; erfarenhet av kunskapsutbyte med mer erfarna kollegor; samt insikt i känslor för tillvänjning av tidsbegränsning och prestationskrav. Förväntas primärt kunna bedöma Krav/resurser i kategori B, C, D och E.
Konstruktion / Design (K/D)	Bidrar med insikt i tidig processutveckling; krav som ställs på produktens prestanda från ett komponent- och passningsperspektiv; utformning av instruktioner; samt idéer och lösningsförslag som kan ge förbättringspotential för monteringen i tidiga utvecklingsfaser. Förväntas primärt kunna bedöma Krav/resurser i kategori A och B.
Produktionsberedning (P)	Bidrar med insikt i uppgiftsbalansering vid stationer; tidsbegränsningsproblematik; grad av rutinarbete respektive ovanliga uppgifter/sällanuppgifter vid stationer; utformning av instruktioner; samt insikt i graden av över/underbalansering av uppgifter på stationen. Förväntas primärt kunna bedöma Krav/resurser i kategori A, B, och C.
Ergonom /Arbetsmiljöansvarig (ER)	Bidrar med helhetsinsikt i arbetsmiljöns utformning; vanliga (fysiska) belastningsproblem och klagomål hos montörerna; verktyg och maskiner som underlättar arbetet; kännedom om lagets beteenden för att underlätta arbetet för sig; idéer om systemförbättringar, m.m. Förväntas kunna bedöma Krav/resurser i spridda kategorier, samt ha en sammanförande roll för de olika representanternas feedback.

Det kan i vissa scenarion vara lämpligt att engagera andra roller, t.ex. en kvalitetsansvarig, en HR- eller personalansvarig, eller en lagledare. Stöd för detta ges i PRECO I-verktyget.

Förekomst av Krav respektive Resurser

Utgångspunkten är att en, två eller tre olika lösningsförslag ska utvärderas med PreKo-modellen – lösningsförslagen ska uppnå vissa fördefinierade effektmål. Varje bedömare får ta ställning till förutsättningar (i PreKo-modellen version 1.0)[11] som delas in i krav eller resurser, inom sex kategorier (A-F). För varje **krav**förutsättning bör bedömaren konstatera förekomst på fyra olika nivåer (eller nivån ”Vet ej”), samt bifoga förtydligande kommentarer på framför allt gul, orange och röd nivå:

Krav

Bedömningsnivå	Tolkning
Acceptabelt (grön nivå)	Oavsett om kravet förekommer eller ej, så bedöms den kognitiva/mentala belastningen på montören vara hanterbar och oproblematisk.
Förekommer på enstaka varianter (gul nivå)	Kravet förekommer på enstaka eller ett fåtal produkter, antingen sporadiskt i sekvensen eller som en egen ”batch”. Detta förutsätter att det finns någon känd och avsiktlig variation på produkterna som tillverkas.
Förekommer oftast (orange nivå)	Kravet förekommer på ett flertal (men inte alla) produkter.
Hotar kvalitet eller välmående (röd nivå)	Kravet medför ett välkänt besvär som antingen över- eller underbelastar montören, och/eller leder till produktmontering som är av lägre kvalitet eller felaktig.
Vet ej	Bedömaren anser sig inte ha insikt i kravets förekomst.

[11] Framtida versioner av modellen kan komma att öka eller minska antalet, till följd av tester i praktiken, eventuell sammanslagning av vissa kriterier, samt insikter om nya förutsättningar från nya företag.

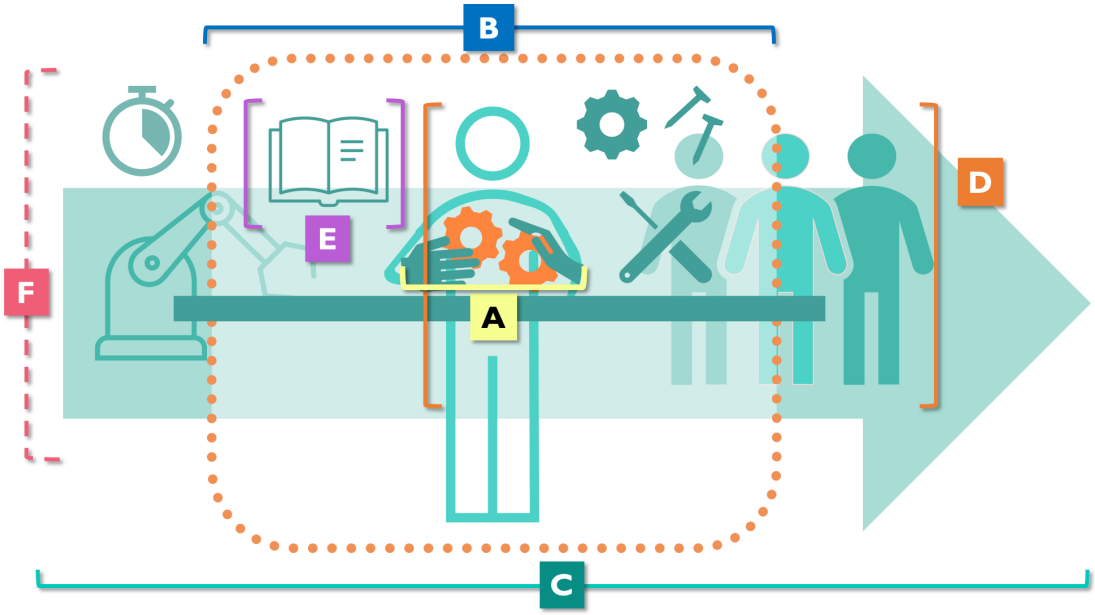
För varje **resurs**förutsättning så ligger fokuset istället på att bedöma förekomst av den möjliga avhjälpande resursen utifrån fyra olika nivåer (samt nivån ”Vet ej”), samt bifoga en förtydligande kommentar på framför allt gul, orange och röd nivå:

Resurser

Bedömningsnivå	Tolkning
Implementerat (grön nivå)	Resursen förekommer och/eller är implementerad på ett sådant sätt att montörens kognitiva/mentala belastning upplevs som huvudsakligen tillfredsställande.
Variation förekommer (gul nivå)	Resursen förekommer, men inte regelbundet (tillfällen finns där resursen inte är tillgänglig eller tillämpbar).
Bristande kontrollmöjlighet (orange nivå)	Resursen finns men är mestadels otillgänglig av tekniska, organisatoriska eller praktiska skäl.
Hinder föreligger (röd nivå)	Resursen är inte tillgänglig och det existerar tekniska, organisatoriska eller praktiska hinder för dess implementering (bör kommenteras).
Vet ej	Bedömaren anser sig inte ha insikt i resursens förekomst.

Bedömningskriterier i sex kategorier (A-F)

Bedömningskriterierna kategoriseras i 5 olika grupperingar som betraktar kognitiva/mentala krav och resurser på olika ”systemnivåer” av produktionen: A) Konstruktionen, B) Stationen, C) Flödet, D) Monteringslaget, E) Inlärning och instruktioner, och F) Fysiska & övriga krav/resurser.



Ett antal av kriterierna är komplexitetskriterier som hämtats från CXB- (*basic complexity criteria)* metoden [62, 63]; deras ursprungliga numrering i den modellen är i så fall angiven inom hakparenteser.

A: Konstruktionens krav och resurser

På denna nivå ska förutsättningar bedömas utifrån strukturen och utformningen av de *komponenter* som berörs av lösningsförslagen. Primärt förväntas en (1) huvudsaklig komponent vara aktuell, eftersom det oftast är konstruktörens ansvarsområde, men det är möjligt att bredda bedömningen till samtliga komponenter som ingår vid en monteringssekvens vid samma station.

Konstruktionens krav (A1)		Bedömningsnivå				
A1.1	Många olika sätt att montera komponenten på [1]	Acceptabelt (grön nivå)	Förekommer på enstaka varianter (gul nivå)	Förekommer oftast (orange nivå)	Hotar kvalitet eller välmående (röd nivå)	Vet ej
A1.2	Tidskrävande operationer [3]					
A1.3	Inga tydliga monteringspositioner för artiklar och komponenter [4]					
A1.4	Monteringen kräver visuell kontroll av passning och toleranser, dvs. subjektiv bedömning av kvalitetsutfallet [10]					
A1.5	Exakt och precisionskrävande montering (exakt vinkel, noggrann passning) [11]					
A1.6	Geometriska omgivningen (toleranser) varierar mycket, dvs. behovet av inpassning och justering varierar mellan olika produkter [13]					
A1.7	Avsaknad av omedelbar feedback på att arbetet är rätt utfört, t.ex. kvittens genom klick-ljud och/eller överensstämmelse med referenspunkter [16]					
A1.8	Snäva toleranser (monteringen är känslig för dålig passning)					
A1.9	Vanligt med konstruktionstekniska utmaningar (tätning, synlighet, kvalitetsvariation i materialet)					

Konstruktionens resurser (A2)		Bedömningsnivå				
A2.1	Få varianter; standardiserad montering som är likadan varje gång [1]	Implementerat (grön nivå)	Variation förekommer (gul nivå)	Bristande kontrollmöjlighet (orange nivå)	Hinder föreligger (röd nivå)	Vet ej
A2.2	Enkla ”plug-in/click-in” lösningar som går lätt och snabbt att utföra (ej tidskrävande) [3]					
A2.3	Tydlig monteringsposition för delar och komponenter, t.ex. visuella markeringar (färger, symboler, spår) som guidar placering [4]					
A2.4	Noggrann subjektiv bedömning av passning och toleranser behövs ej [10]					
A2.5	Ej precisionskrävande operationer, dvs. ingen passning [11]					
A2.6	Enkel passning: självpositionerande delar som kan kontrolleras i tre dimensioner, (X,Y,Z); bara en monteringsorientering möjlig (poka-yoke) [13]					
A2.7	Omedelbar feed-back på rätt gjord montering/arbete, t.ex. genom klickljud och/eller överensstämmelse med referenspunkter [16]					
A2.8	Avstämning sker mellan Konstruktion/Design och Beredning/Produktion angående komponentens utformning					
A2.9	Monteringen kräver ej vridning /bändning av kroppen					
A2.10	Montören får tillfälle att fysiskt provmontera komponenten					

B: Stationens krav och resurser

På denna nivå ska bedömaren utvärdera ingående uppgiftsmoment, arbetsupplägg, verktyg, maskiner, material, information och layout på en specifik station. Det är alltså stationens begränsning i tid och rum som avgör omfattningen.

Stationens krav (B1)		Bedömningsnivå				
B1.1	Många individuella detaljer och delmonteringar [2]	Acceptabelt (grön nivå)	Förekommer på enstaka varianter (gul nivå)	Förekommer oftast (orange nivå)	Hotar kvalitet eller välmående (röd nivå)	Vet ej
B1.2	Behov av (efter)justering [12]					
B1.3	Behov av tydliga arbetsinstruktioner [14]					
B1.4	Krånglande maskiner och verktyg					
B1.5	Överbalanserad station (ofta tidsbrist)					
B1.6	Flera fixturer med liknande utformning					
B1.7	Kvalitetstestning av produkter ingår som del av sekvensen					
B1.8	Felaktig information visas i stödsystem (t.ex. materialdatabaser)					
B1.9	Fler maskiner och verktyg än nödvändigt för uppgiften finns tillgängliga vid stationen					
B1.10	Montör behöver hålla annan process/station under uppsikt					
B1.11	Svåröverblickat eller långt avstånd till material					
B1.12	Repetitivt, enformigt arbete					

Stationens resurser (B2)		Bedömningsnivå				
B2.1	Få delar/detaljer att montera; förmontering; modullösningar (integrerad montering) [2]	Implementerat (grön nivå)	Variation förekommer (gul nivå)	Bristande kontrollmöjlighet (orange nivå)	Hinder föreligger (röd nivå)	Vet ej
B2.2	Ingen (efter)justering krävs [12]					
B2.3	"Självklara" operationer som inte kräver skrivna instruktioner [14]					
B2.4	Endast nödvändiga och välfungerande maskiner och verktyg finns tillgängliga vid stationen					
B2.5	Välbalanserad station (tillräcklig tid)					
B2.6	Välfungerande, distinkta fixturer med tydlig utformning					
B2.7	Välplanerad station med avseende på layout (god åtkomst och överblick)					
B2.8	Tydliga, aktuella och lättillgängliga instruktioner finns på stationen					
B2.9	Montörer får inflytande över stationens planering och utforming					
B2.10	Montörer vet *varför* monteringen ska göras på ett visst sätt och/eller viss ordning					
B2.11	Välplacerade material och komponenter					

C: Flödets krav och resurser

På denna nivå ska blicken lyftas från stationsnivå till ”hel line”, dvs. produktionsflödet i stort. Här behövs insikter i produktkännedom, variantflora, kringflöden (t.ex. logistik, underhåll m.m.), ofta förekommande problem som kan orsaka störningar, m.m.

Flödets krav (C1)		Bedömningsnivå				
C1.1	Monteringsoperationer måste göras i viss ordning (tvingad sekvens) [9]	Acceptabelt (grön nivå)	Förekommer på enstaka varianter (gul nivå)	Förekommer oftast (orange nivå)	Hotar kvalitet eller välmående (röd nivå)	Vet ej
C1.2	Brist på tydlig monteringsordning					
C1.3	Krånglande fästelement (clips, skruvar mm.)					
C1.4	Hög variantflora (många olika produktvarianter)					
C1.5	Enstaka sällankommande produktvarianter					
C1.6	Montör behöver avgöra om komponenter är defekta under pågående montering					
C1.7	Montörer upplever tidspress					
C1.8	Kvalitetsbrister på komponenter eller fästelement					
C1.9	Montör måste ofta hämta material					
C1.10	Störningar och avbrott					

Flödets resurser (C2)		Bedömningsnivå				
C2.1	Oberoende av monteringsordning [9]	Implementerat (grön nivå)	Variation förekommer (gul nivå)	Bristande kontrollmöjlighet (orange nivå)	Hinder föreligger (röd nivå)	Vet ej
C2.2	Tydlig monteringsordning					
C2.3	Standardiserade fästelement används för monteringen					
C2.4	Hanterbar variantflora					
C2.5	Välfungerande logistik och materialtillförsel					
C2.6	God tillgång till reparatör vid maskin- eller verktygskrångel					
C2.7	Montörer har tid och möjlighet att assistera varandra (t.ex. materialpåfyllnad eller rådfrågning)					
C2.8	Montören har tid för eftertanke och kontroll					
C2.9	Frekvent arbetsrotation (berikande och varierande innehåll)					
C2.10	Ostörd process som flyter på					

D: Monteringslagets krav och resurser

På denna nivå placeras fokus på de krav och resurser som ges av monteringslagets kommunikation och samarbete. Samarbete och tillgänglighet för hjälp och stöd kan verka avlastande från ett kognitivt/mentalt perspektiv, medan samarbetssvårigheter, otillgänglighet och underbemanning i stället kan förvärra belastningen. I viss mån beaktas även professionella drivkrafter (som t.ex. kvalitetsfokus och ansvarskänsla).

Lagets krav (D1)		Bedömningsnivå				
D1.1	Montörsberoende monteringar som kräver erfarenhet/kunskap för att bli rätt utförda [8]	Acceptabelt (grön nivå)	Förekommer på enstaka varianter (gul nivå)	Förekommer oftast (orange nivå)	Hotar kvalitet eller välmående (röd nivå)	Vet ej
D1.2	Vanligt med övertid pga. produktionsstopp					
D1.3	Montörer lånas ut/in från andra produktionslinor eller extern bemanning					
D1.4	Personalbrist (i förhållande till arbetsmängden)					
D1.5	Montörerna styrs/tvingas till att montera på ett visst sätt					
D1.6	Hinder för somliga montörer att delta i arbetsrotation					
D1.7	Montörer känner bristande fokus eller trötthet					

Lagets resurser (D2)		Bedömningsnivå				
D2.1	Montörs**o**beroende monteringar som **ej** kräver erfarenhet/kunskap för att bli rätt utförda [8]	Implementerat (grön nivå)	Variation förekommer (gul nivå)	Bristande kontrollmöjlighet (orange nivå)	Hinder föreligger (röd nivå)	Vet ej
D2.2	Lite övertid					
D2.3	Tillräcklig bemanning					
D2.4	Kollegor samarbetar (t.ex. hjälper till med materialpåfyllnad eller rådfrågning)					
D2.5	Högt personligt kvalitetsfokus (”rätt från mig”), kvalitetskultur					
D2.6	Montörerna har tillfällen och forum för inflytande					
D2.7	Tillräcklig träning/upplärning					
D2.8	Erfarna medarbetare är lätt tillgängliga					
D2.9	God trivsel bland kollegor					
D2.10	Ansvarskänsla i laget					

E: Inlärnings-/instruktioners krav och resurser

Montörer behöver vid olika tillfällen få vägledning i hur monteringen ska utföras; detta gäller både 1) i början av yrkeskarriären där en novismontör ska lära sig för första gången hur montering går till, vilka standarder och instruktioner som ska följas, och var de kan få stöd av instruktioner vid behov; samt 2) när erfarna montörer ska lära nytt, återkomma efter en tids frånvaro, och/eller stämma av sina rutiner mot instruktioner.

Inlärnings-/instruktioners krav (E1)		Bedömningsnivå				
E1.1	Montörsberoende monteringar som kräver erfarenhet/kunskap för att bli rätt utförda [8]	Acceptabelt (grön nivå)	Förekommer på enstaka varianter (gul nivå)	Förekommer oftast (orange nivå)	Hotar kvalitet eller välmående (röd nivå)	Vet ej
E1.2	Otillräcklig tid eller handledning vid inlärning av monteringsmoment					
E1.3	Otillräcklig introduktion till instruktionerna (innehåll och hur man får tillgång till dem)					
E1.4	Oregelbunden uppdatering av instruktioner					
E1.5	Långa uppehåll från monteringsstation/uppgiften (t.ex. pga. utlån av personal, sjukfrånvaro m.m.)					

Inlärnings-/instruktionsresurser (E2)		Bedömningsnivå				
E2.1	Montörs<u>o</u>beroende operationer, som <u>*ej*</u> kräver mycket erfarenhet/kunskap för att bli rätt utförda [8]	Implementerat (grön nivå)	Variation förekommer (gul nivå)	Bristande kontrollmöjlighet (orange nivå)	Hinder föreligger (röd nivå)	Vet ej
E2.2	Montörer har en förståelse för hela produkten och alla dess ingående delar					
E2.3	Tillräcklig träning/upplärning					
E2.4	Erfarna medarbetare är lätt tillgängliga					
E2.5	God förtrogenhet med instruktioner (vana vid innehåll och hur man får tillgång till dem)					
E2.6	Tydliga och begripliga instruktioner med visuellt stöd (bilder, film)					

F: Fysiska och övriga krav och resurser

Det finns fysiska och andra krav och resurser som även de kan ha påverkan på montörens upplevda kognitiva/mentala belastning. Att kartlägga dessa kan vara värdefullt för att beakta helhetsbelastningen som upplevs av montörer, eftersom många upplever arbetet som primärt *fysiskt* ansträngande, men fysisk trötthet kan påverka upplevelsen av mental belastning.

Fysiska och övriga krav (F1)		Bedömningsnivå				
F1.1	Trång montering / dålig åtkomlighet (fysiskt ont om plats för händer, behöver sträcka sig, m.m.) [5]	Acceptabelt (grön nivå)	Förekommer på enstaka varianter (gul nivå)	Förekommer oftast (orange nivå)	Hotar kvalitet eller välmående (röd nivå)	Vet ej
F1.2	Dold montering (svårt att se vad man gör) [6]					
F1.3	Dåliga ergonomiska förutsättningar med risk för skadlig inverkan på montören (sikt, arbetshöjder, räckvidd, kraftkrav m.m.) [7]					
F1.4	Komponenter av mjuka och flexibla material [15]					
F1.5	Fysiskt ansträngande att montera					
F1.6	Kännedom om att en line/station på arbetsplatsen är tung eller krånglig					
F1.7	Kännedom om att vissa produktvarianter är krångliga och/eller tungt belastande					
F1.8	Bristande fysisk ork (vid tidpunkten då arbetet är som mest krävande)					

Fysiska och övriga resurser (F2)		Bedömningsnivå				
F2.1	God åtkomst vid montering [5]	Implementerat (grön nivå)	Variation förekommer (gul nivå)	Bristande kontrollmöjlighet (orange nivå)	Hinder föreligger (röd nivå)	Vet ej
F2.2	Synlig montering [6]					
F2.3	Goda ergonomiska förutsättningar utan risk för skadlig inverkan på montören [7]					
F2.4	Komponenter av formfasta material som inte ändrar form (deformeras) vid montering [15]					
F2.5	Montörer har en förståelse för hela produkten och alla dess ingående delar					
F2.6	Effektiv arbetsteknik och ergonomiska kroppsställningar (god placering, kraftöverföring och räckvidd) vid montering					
F2.7	Monteringen kräver ej vridning /bändning av kroppen					

Sammanvägning av bedömningar i verktyget

Eftersom flera olika roller ska göra bedömningar så finns viss sannolikhet att bedömningarna på varje kriterium kan skilja sig åt – detta är både väntat och önskvärt att uppmärksamma. Sammanvägningen av bedömningar är därför en viktig del av processen, eftersom de olika rollerna har erfarenhet av och insikt i olika delar av planeringen respektive produktionsdriften. Tanken med att modellen avslutas med en sammanvägande diskussion är att uppmärksamma samtliga roller om hur förutsättningarna som kan påverka kognitiv/mental belastning samspelar i det givna systemet.

Stöd för sammanvägning av bedömningarna ges i PRECO I-verktyget, där det är möjligt att räkna samman de olika bedömarnas utvärderingar i samma matris. Tack vare bladens programmering är det möjligt att få en sammanfattningslista av vilka specifika kriterier som utgör aktuella krav respektive resurser för respektive lösningsförslag, samt vilken systemkategori (A-E) som har störst utvecklingspotential, vilket visas med hjälp av en ”hotspot” som visas med mörkare cellfärg. Verktyget ger även en översikt av huruvida bedömningarna stämmer överens eller ej; i det senare fallet uppmanas bedömargruppen att hålla en diskussion för att sprida kännedom om olika perspektiv på kognitiv/mental belastning.

PRECO I - Proaktiv bedömningsmall för kognitiv/mental belastning

Sammanfattning av bedömning (ifylls automatiskt från blad A-E samt Indata)

Tillfrågade roller	Involverats?	Antal	Rekommendation
Erfaren operatör	Nej	0	Rådfråga Erfaren Operatör för att ta hänsyn till systemkännedom
Novisoperatör	Ja	2	Se sammanfattning av Krav/Resursbild nedan
Konstruktion / Design	Nej	0	Rådfråga Konstruktion / Design för att finna åtgärdsmöjligheter i tidig utvecklingsfas
Produktionsberedning	Ja	1	Se sammanfattning av Krav/Resursbild nedan
Ergonom / Arbetsmil.ansv.	Ja	1	Se sammanfattning av Krav/Resursbild nedan
Annan roll:	Nej	0	Övriga roller tillfrågas vid behov

Antal bedömare: 4

	från	*till*
Bedömning(ar) utförd(a):	ÅÅ-MM-DD	ÅÅ-MM-DD

RESULTATSAMMANFATTNING

Lösningsförslag A: *A-lösningen*

Mörk ruta antyder en "hotspot"	**Krav på montören** (antal kriterier uppfyllda)				**Avhjälpande resurser** (antal kriterier uppfyllda)			
	Acceptabelt	Förekommer på enstaka varianter	Förekommer oftast	Hotar kvalitet eller välmående	Implementerat	Variation förekommer	Bristande kontrollmöjlighet	Hinder föreligger
A: Konstruktionen	1	1	1	0	1	0	0	0
B: Stationen	0	0	0	0	0	0	0	0
C: Flödet	1	1	0	1	0	0	0	0
D: Laget	0	0	0	0	0	0	0	0
E: Inlärning & instruktioner	0	0	0	0	0	1	1	0
F: Övriga krav/resurser	0	0	0	0	0	0	0	0

Lösningsförslag B: *B-lösningen*

Mörk ruta antyder en "hotspot"	**Krav på montören** (antal kriterier uppfyllda)				**Avhjälpande resurser** (antal kriterier uppfyllda)			
	Acceptabelt	Förekommer på enstaka varianter	Förekommer oftast	Hotar kvalitet eller välmående	Implementerat	Variation förekommer	Bristande kontrollmöjlighet	Hinder föreligger
A: Konstruktionen	0	2	0	2	2	1	1	1
B: Stationen	0	0	0	0	0	4	5	0

Indata | Sammanfattning | A Konstruktionen | B Stationen | C Flödet | D Arbetslaget | E Inlärni