

## Innholdsfortegnelse

Forord.....	i
<b>Tabeller.....</b>	<b>3</b>
<b>Figurer .....</b>	<b>3</b>
<b>Bilde .....</b>	<b>3</b>
<b>Forkortelser.....</b>	<b>4</b>
<b>Sammendrag .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Introduksjon .....</b>	<b>6</b>
1.1 Oppgavens Struktur .....	6
1.2 Automatikk.....	7
1.2.1 Problemer med automatikk.....	7
1.2.2 Nivå av automatikk.....	8
1.3 Mental Arbeidsbelastning og Prestasjon .....	10
1.3.1 Oppmerksomhet og informasjonsprosessering.....	11
1.3.4 Prestasjon.....	13
<i>Årvåkenhet</i> .....	15
<i>Situasjonsbevissthet</i> .....	16
1.4 Oppgavens Formål og Problemstilling.....	17
1.5 Avgrensning av Oppgaven .....	18
<b>2. Teori og Forskning .....</b>	<b>19</b>
2.1 Operasjoner i Prosesskontrollrom .....	19
2.1.1 Alarmsystemet og dets oppgaver.....	19
2.1.2 Alarmproblemet.....	21
<i>Underspesifiserte alarmer</i> .....	21
<i>Uønskede alarmer ("plagsomme alarmer")</i> .....	22
<i>Kontekstavhengige alarmer</i> .....	22
2.1.3 Kontrollromsoperatørens rolle.....	23
2.1.4 Alarmhåndtering.....	24
<i>Signaldetektering</i> .....	24
2.2 Teoretiske Tradisjoner.....	26
2.2.1 Human factors og ergonomi. ....	28
2.2.2 Hva er mental arbeidsbelastning?.....	28
2.2.3 Hva er ressurser? .....	30

2.2.4 Mental arbeidsbelastning og oppmerksomhet .....	31
2.2.5 Oppmerksomhetsmodeller og ressursteorier .....	32
<i>Multipple ressursteori (MRT)</i> .....	33
2.2.6 Automatikk og mental arbeidsbelastning .....	34
2.2.7 Mental arbeidsbelastning og prestasjon.....	36
" <i>Malleable attentional resource theory</i> " (MART) .....	37
2.2.8 Årvåkenhet .....	40
<i>Årvåkenhet og mental arbeidsbelastning</i> .....	41
<i>Ressursteori</i> .....	43
<i>Aktiveringsteori</i> .....	43
2.2.9 Situasjonsbevissthet.....	44
<i>SB og kognitive prosesser</i> .....	47
<i>SB og mental arbeidsbelastning</i> .....	49
<i>Automatikk og SB</i> .....	50
<b>3 Diskusjon .....</b>	<b>53</b>
3.1 Optimal Prestasjon .....	53
3.2 "Malleable Attentional Resource Theory" .....	54
3.2.1 Fleksible ressursreservoarer og kapasitetsgrense .....	54
3.3 Oppmerksomhetsressurser og Ressursteori .....	56
3.4 Reliabilitet og Validitet .....	57
3.4.1 Eksperimenter i laboratorium, med og uten simulator .....	57
3.4.2 Forskningsutvalget .....	59
3.4.3 Mål av mental arbeidsbelastning .....	60
3.5 Videre Forskning.....	60
<b>4. Oppsummering og Konklusjon .....</b>	<b>62</b>
4.1 Mental Arbeidsbelastning.....	62
4.2 Oppmerksomhetskapasitet og Ressurser .....	63
4.3 Prestasjon.....	63
4.4 Mental Underbelastning og Alarmhåndtering .....	64
<b>Referanser .....</b>	<b>66</b>

## Tabeller

Tabell 1.	Automatikknivåer for beslutninger og handlingsvalg	s. 9
Tabell 2.	Signaldeteksjonsteori – operatørens oppfatning og – realitetene i situasjonen	s. 25
Tabell 3.	Innvirkning av uteblitte alarmer (missed alarms) og falske alarmer på prestasjonen under forskjellige arbeidsbelastningsnivåer.	s. 35

## Figurer

Figur 1.	Modell av menneskets informasjonsprosessering.	s. 12
Figur 2.	Yerkes-Dodson prestasjonskurve	s. 27
Figur 3.	Relasjonen mellom oppgavekrav og prestasjon under ”Malleable attentional resource modell”.	s. 38
Figur 4.	Billedig fremstilling av prestasjonsforskjeller under ”Malleable attentional resource” hypotese.	s. 39
Figur 5.	Nivå 1 i situasjonsbevissthet. Persepsjon av nødvendig data.	s. 45
Figur 6.	Nivå 2 i situasjonsbevissthet. Forståelse av informasjon.	s. 46
Figur 7.	Nivå 3 i situasjonsbevissthet. Projeksjon av fremtidig status.	s. 46
Figur 8.	Endsleys modell av situasjonsbevissthet.	s. 48

## Bilde

Forside	Kontrollrom (kilde: IFE-foto), Profile of a man’s head and a translucent brain with an inner glow (kilde: Shutterstock images). Bildene er manipulert av forfatter.
---------	---

## Forkortelser

DNP	Det norske petroleumstilsyn
EMMUA	Engineering Equipment and Materials Users Association
HSE	Health and Safety Executive
IP	Informasjonsprosessering
MART	Malleable attentional resources theory
MRT	Multiple resource theory
SB	Situasjonsbevissthet (Situation awareness – SA)
STSS	Short-term sensory stores
TMI	Three Mile Island

## Sammendrag

I denne oppgaven har hensikten vært å undersøke hvordan mental arbeidsbelastning, særskilt underbelastning, påvirker operatørens prestasjon (alarmhåndtering), gjennom nærliggende faktorer som årvåkenhet og situasjonsbevissthet. Videre har formålet vært å kartlegge hvorvidt det er behov med mer forskning på mental underbelastning. Det finnes betydningsfulle funn i human factors og ergonomilitteraturen som viser at automatikk kan vesentlig redusere operatørens mentale arbeidsbelastning. I tillegg kan det samme automatikksystemet også øke arbeidsbelastningen. I litteraturen fremkommer det at underbelastede situasjoner er en stor utfordring i dagens kontrollrom, og er ansett for å ha like svekkende effekt på prestasjonen som overbelastning. Mental arbeidsbelastning er ansett for å være nært tilknyttet menneskets oppmerksomhet gjennom informasjonsprosesseringsystemet og konseptet om oppmerksomhetsressurser og kapasitet. Dette har dannet grunnlaget for oppgaven. Faktorer som er vist å være nært tilknyttet konseptet om mental arbeidsbelastning er situasjonsbevissthet og årvåkenhet. Konseptene er funnet å bli påvirket av graden av arbeidsbelastning som er pålagt operatøren under en oppgaveutførelse. Funn i litteraturen har vist at underbelastningssituasjoner påvirker operatørprestasjonen gjennom årvåkenhetsdegresjon og ”out of the loop performance”. Situasjoner med lav arbeidsbelastning er funnet å fremkalle tilstand av lav våkenhet, hvor signaldeteksjonen reduseres, og nedsatt situasjonsbevissthet gjennom årvåkenhetsproblemer. Litteraturgjennomgangen viser interessante indikasjoner på at mental underbelastning gjennom nærliggende faktorer som årvåkenhet, og situasjonsbevissthet forårsaker nedgang i operatørprestasjonen. Imidlertid viser også oppgaven at det finnes relativt lite forskning på mental underbelastning, årvåkenhet og situasjonsbevissthet innen prosessindustrien, i motsetning til luftfartsdomenet som har tydelig preget forskningen. Videre viser litteraturgjennomgangen at det eksisterer en del begrepsforvirring i litteraturen om oppmerksomhetsressurser og kapasitet, hvilket indikerer at uklarhetene i ressursteori behøver mer forskning. Implikasjonene av denne oppgaven er diskutert i henhold til svakheter så vel som mangler i litteraturen, og hva fremtidig forskning bør rette mer oppmerksomhet mot.

# 1. Introduksjon

Beskrivelsene av hendelsene på Three Mile Island (1979) og Tsjernobyl (1986) anvendes fortsatt i litteraturen som eksempler på hvor galt det kan gå når interaksjonen mellom mennesket og maskin svikter. Årsakene bak ulykkene er mange. Både menneskelige faktorer så vel som tekniske er påvist å være de bakenforliggende årsakene til disse hendelsene. I etterkant av TMI-ulykken og Tsjernobyl hevdet mange eksperter at hendelsene viste at det var større behov for mer automatisering for å forbedre menneske-maskin grensesnittet (Cox & Cox, 1996). Ønsket om økt sikkerhet, produktivitet og operatørkomfort, gjennom reduksjon av operatørens mentale arbeidsbelastning (Sarter, Woods & Billings, 1997), har ført til økt automatisering av systemene hvor operatørene er satt til å overvåke det automatiserte systemet. Dette har ført til stadige nye utfordringer på arbeidsplassen, hvor operatøren blir møtt med økte kognitive utfordringer. Kunnskap om menneskets begrensinger og evner gjør det mulig å forutse hva som behøves for at operatørene skal handle optimalt, samtidig som at sikkerheten på industriene opprettholdes og forbedres. Gjennom optimalisering av operatørprestasjon og bedre brukersnitt på alarmsystemene (verken for få alarmer eller for mange falske alarmer), kan dette bidra til å øke produktiviteten.

## 1.1 Oppgavens Struktur

Opgaven er inndelt i fire avsnitt, hvilket vil bli i korthet presentert nedenfor i henhold til dets innhold og hensikt.

- Introduksjon. Formålet med dette avsnittet er å gi leseren en kortfattet presentasjon av oppgavens bakgrunn, og problemstilling relatert til temaets kompleksitet. Relevante begreper og konsepter blir presentert, mens mer omfattende begrepsforklaring vil bli gitt i avsnittet om teori og forskning.
- Teori. Relevant teori og forskning om oppgavens tema og problemstilling presenteres. Første del av dette avsnittet er viet til det tekniske aspektet i oppgaven, hvor kompleksiteten i arbeidet i prosesskontrollrommet og operatørens rolle blir presentert. Andre delen av avsnittet introduserer de teoretiske tradisjonene relatert til mental arbeidsbelastning og prestasjon.

- Diskusjon. Funnene fra foretatt litteraturgjennomgang diskuteres i samsvar med oppgavens implikasjoner, reliabilitet og validitet. Forslag til videre forskning blir også tatt opp.
- Konklusjon. Dette avsnittet er inndelt i fire seksjoner, hvor de tre første seksjonene legger frem generelle konklusjoner av funnene i litteraturen om mental arbeidsbelastning, oppmerksomhetskapasitet og ressurser, og prestasjon. Siste seksjon presenterer konklusjoner tilknyttet mental underbelastning og alarmhåndtering.

## 1. 2 Automatikk

Automatikk kan generelt defineres som *"the execution by a machine agent (usually a computer) of a function that was previously carried out by a human"*<sup>1</sup> (Parasuraman & Riley, 1997, s. 321). Mer konkret innebærer automatikk fornemmelser, detektering, informasjonsprosessering, beslutningstaking eller styrt tiltak (Moray, Inagaki & Itoh, 2000), hvilket utføres (delvis eller fullstendig) av maskiner eller systemer som tidligere var oppgaver utført av mennesker (Parasuraman & Riley, 1997). Utfordringene relatert til automatikk har i nærmere 70 år vært av stor interesse innenfor fagfeltet human factors. Økt automatisering av komplekse systemer som ulike prosesskontrollrom (f.eks. kjernekraft, petrokjemisk industri), samt flycockpit og diverse kontrollrom i militære fartøy, har ført til at mennesket er blitt erstattet av maskiner som utfører en mengde varierte oppgaver.

**1.2.1 Problemer med automatikk.** Dagens teknologiutvikling har medført økt automatisering, hvilket har hatt som hensikt å avlaste operatøren og for å forhindre mental overbelastning. Økt automatisering ble introdusert for å øke den menneskelige prestasjonen, samt redusere menneskelig svikt (Schoenfeld & Scerbo, 1999). Denne utviklingen har imidlertid ført til nye utfordringer og krav til operatøren, som innebærer muligheter for andre former for menneskelig svikt. Videre har operatørens rolle i kontrollrommet gått fra å være aktivt involvert i driften til passiv overvåkning, hvilket har fått konsekvenser for operatørens årvåkenhet og situasjonsbevissthet. Ironisk nok har dette medført at automatiserte systemer

---

<sup>1</sup> "utførelsen av et maskinverktøy for en funksjon som tidligere ble utført av et menneske" (norsk oversettelse av forfatter).

har potensialer til å innføre mental underbelastning (Young & Stanton, 2002a). Ifølge Warm (1993) er operatørens funksjon som prosessovervåker blitt en tilsynsrolle, som ikke er velegnet mennesker. Til tross for at økt automatikk har avlastet mange av operatørens oppgaver, forblir operatørens rolle i kontrollrommet fortsatt viktig. Den endelige identifiseringen (f.eks. feildiagnostisering) og tolkningen av forholdene og signalene (f.eks. planlegging, problemløsning), samt deretter beslutningstaking er fortsatt funksjoner operatøren må utføre, hvilket også er hjørnesteinene i systemprestasjon (Donald, 2001).

Et ytterligere problem i forholdet mellom operatør og automatikk er spesielt tilknyttet to automatikkfeil (automation errors): falske alarmer<sup>2</sup> og automatikksvikt<sup>3</sup> (automation miss), hvor operatørens mentale arbeidsbelastning kan påvirke alarmresponsen. God samhandling mellom menneske og automatikk er essensielt for optimal prestasjon, og for å unngå kostbare og ikke minst katastrofale situasjoner. Operatørens alarmhåndtering under ulike nivåer av mental arbeidsbelastning kan dermed forårsake at problemer blir oversett, alarmundertrykking<sup>4</sup> av brysomme og irriterende alarmer, og et skifte i driftsstrategi (Endsley, Bolté & Jones, 2003).

**1.2.2 Nivå av automatikk.** Til tross for at det finnes utallige problemer tilknyttet automatikk og menneskelig prestasjon, er automatikk likevel ansett for å være nøkkelløsningen til økt sikkerhet og pålitelige industrielle prosesser (Hollnagel & Bye, 2000). I følge Hollnagel og Bye (2000) krever valg av type og automatikknivå en varsom betraktning av hvordan oppgaver mellom operatør og automatikk bør fordeles (function allocation). Hovedfokuset i dag ligger i å finne ut hvordan mennesker og automatikk kan utfylle og støtte hverandre, i motsetning til tidligere perspektiv hvor synet lå i kompensasjonsprinsippet, også referert som "Fitts list". Grunnlaget for oppgavefordelingen og ansvaret for de ulike systemkomponentene ble trukket ut fra en liste over sterke og svake særpreg hos mennesket og maskiner (Fitts, 1951). Anvendelse av middels automatikknivå hevdes for å kunne gi en tilnærming mot menneskesentrert automatikk, hvilket innebærer at automatikken er designet og implementert for å være kompatibel med menneskets kapasitet og evner (Endsley &

---

<sup>2</sup> Falske alarmer er definert som "*incorrect indication of an event*" (Dixon, Wickens & McCarley, 2006, s. 25)

<sup>3</sup> Automatikksvikt (automation miss) kan defineres som "*a failure of the automation to notice an event*" (Dixon, Wickens & McCarley, 2006, s. 25)

<sup>4</sup> Automatisk eller manuell kontroll/operasjon som fjerner alarmfunksjonalitet som lyd, lys (blinking), og visning på alarmlisten (Statoil, *Alarmfilosofi for Gullfaks, GFX-1-J-PH-001, 2001*, som nevnt i Åsland, J.E., 2003), men alarmene er fortsatt tilgjengelige i systemet på et mer detaljert nivå (Det Norske Petroleumstilsyn, 2001).



Kaber, 1999). Dette perspektivet har fått støtte i flere ulike domener hvor problemer i operatørprestasjonen er blitt observert under drifting (operations) i forbindelse med automatiserte systemer (Billings, 1991). Det er en generell enighet om at et passende nivå av automatikk kan optimalisere operatørens mentale arbeidsbelastning så vel som operatørens situasjonsbevissthet (Endsley & Kaber, 1999; Endsley & Kiris, 1995; Parasuraman, Sheridan & Wickens, 2000). I følge Endsley og Kaber (1999) hevdes det at ved å holde mennesket aktivt involvert i systemoperasjonene, kan middels automatikknivå medføre bedre menneske-system prestasjon og situasjonsbevissthet (SB). Videre kan dette også bidra til reduksjon i ”out of the loop performance”<sup>5</sup> problemene. Automatiserte systemer kan utføre en vid utstrekning av både manuelle og kognitive oppgaver, hvilket strekker seg fra minimal til fullstendig systemkontroll (Strauch, 2002). Flere ulike klassifikasjonssystemer av disse to ekstremene er blitt foreslått (Endsley, 1987 som nevnt i Endsley & Kaber, 1999; Parasuraman, Sheridan & Wickens, 2000), hvor det i denne oppgaven er valgt å anvende følgende modell av Parasuraman, Sheridan og Wickens (2000):

Tabell 1.

*Automatikknivåer for beslutninger og handlingsvalg.*

HØY	10.	Datamaskinen beslutter alt, fungerer selvstyrende, overser mennesket
	9.	Informerer mennesket kun hvis datamaskinen beslutter det
	8.	Informerer mennesket kun hvis spurt, eller
	7.	Utfører automatisk, så uvilkarlig informerer mennesket, og
	6.	Tillater mennesket en begrenset tid til å forkaste før automatisk utførelse, eller
LAV	5.	Utføre det forslaget dersom mennesket godkjenner, eller
	4.	Foreslår et alternativ
	3.	Snevrer utvalget ned til noen få, eller
	2.	Datamaskinen tilbyr et komplett sett av beslutnings- eller handlingsalternativer, eller
	1.	Datamaskinen tilbyr ingen assistanse, mennesket må ta alle beslutningene og handlingene.

*Note.* Fritt avbildet og oversatt av forfatter fra engelsk i original “A model for types and levels of human interaction with automation”, av Parasuraman, R., Sheridan, T.B. & Wickens, C.D., 2000, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A-Systems and Humans*, vol. 30, 3, s. 286-297. Copyright 2000 av IEEE.

<sup>5</sup> ”out of the loop performance” betegner redusert involvering av operatør i driftssystemet, og kan forårsake årvåkenhets- og situasjonsbevissthetsproblemer. Mer om dette vil bli presentert i seksjon 2.2.9 Situasjonbevissthet.

Graden av automatikk har vist å være av viktighet for operatørens mentale arbeidsbelastning og opplevd trygghet til systemet. Funn viser at veldesignet automatikk kan forandre operatørens mentale arbeidsbelastning, til et nivå som anses passende for å utføre systemoppgaver (Parasuraman, et al., 2000). Til tross for slike funn er det derimot ikke alltid at automatikk balanserer operatørens arbeidsbelastning. Forekomst av hendelser hvor automatikk bidrar til å øke arbeidsbelastningen er også blitt funnet (Parasuraman & Riley, 1997), og som blant annet har ført til økt mental arbeidsbelastning så vel som fysisk arbeidsbelastning (Kirlik, 1993).

### **1.3 Mental Arbeidsbelastning og Prestasjon**

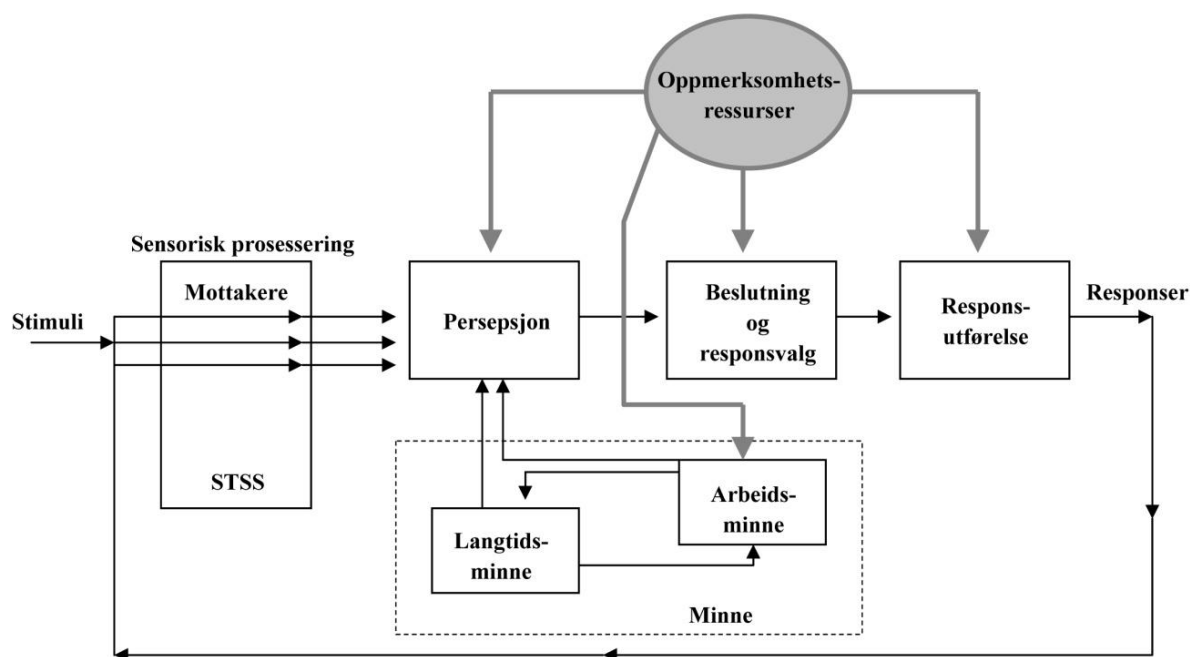
Mental arbeidsbelastning er et begrep som er av stor betydelse innen fagdisiplinene human factors og ergonomi, samtidig som at temaet er i økende grad blitt mer viktig i høyt automatiserte industrier. Mental arbeidsbelastning<sup>6</sup> kan forstås som interaksjonen mellom en operatør og en tildelt oppgave (Gopher & Donchin, 1986; Tsang & Vidulich, 2006; Collet & Averty, 2003; Young & Stanton, 2002a), og refererer til mengden av ressurser som kreves for å utføre en oppgave. Stadige nye og moderne tekniske løsninger og økt automatikk, har medført reduksjon i fysiske krav blant operatørene, samtidig som at de kognitive kravene har økt. Mer kunnskap og forståelse for mental arbeidsbelastning og dets effekter på operatørens oppgaveutførelse vil være av stor betydelse, for både økt produktivitet, arbeidskomfort og økt sikkerhet. Begrepene 'mental' og 'kognitiv' er begge betegnelser for det samme fenomenet, og refererer til bevisst intellektuell aktivitet (Merriam Webster Online Dictionary, 2010). Begrepene vil i denne oppgaven anvendes omvekslende. For å kunne bedre forstå hva mental arbeidsbelastning er og hvordan denne kan påvirke operatørens prestasjon, er man først nødt til å forstå de grunnlegendene elementene som inngår i menneskets informasjonsprosessering. Kun de mest sentrale elementene i modellen relatert til oppgavens problemstilling vil bli omtalt.

---

<sup>6</sup> En mer inngående begrepsforklaring vil bli gitt i seksjon 2.2.2 "Hva er mental arbeidsbelastning?".

**1.3.1 Oppmerksomhet og informasjonsprosessering.** Oppmerksomhet er en kognitiv prosess av selektiv fokusering på én eller flere aspekter i omgivelsene, samtidig hvor andre ignoreres. Forskning på oppmerksomhet har vært utført helt siden psykologiens første dager, men fikk en økende interesse under 2. verdenskrig. Økt krav til prestasjon i forbindelse med voksende anvendelse av teknologi anses for å være en av årsakene (Proctor & Read, 2001). Rundt på samme tid beveget fokuset seg fra atferds- til informasjonsprosesseringstilnæringer, hvilket har bidratt med å forsyne et mer deskriptivt språk om begrepet oppmerksomhet. Denne tilnærmingen har videre bidratt til de mange metaforene hvor mennesket sammenliknes med datamaskin (Proctor & Read, 2001; Matthews, Davies, Westerman & Stammers, 2008).

Informasjonsprosessering (IP) er en tilnærming anvendt for å beskrive hvordan menneskets kognitive prosesser opererer (Carswell & Stephens, 2001). IP kan forstås som en serie av stadier eller prosesser som informasjonen må passere, og starter med ”input” (stimulus) og avslutter med ”output” (respons). Mens informasjonen passerer gjennom disse stadiene eller prosessene, transformeres den av de grunnleggende kognitive operasjonene, eller utfører andre operasjoner på den innkommende informasjonen (Carswell & Stephens, 2001; Wickens & Hollands, 2000; Matthews, et al., 2008). Imidlertid er informasjonsprosesseringens beskrivelse av menneskets prestasjon langt mer kompleks, og innebærer flere stadier eller prosesser hvilket er antatt å ligge mellom ”input” og ”output” (Matthews, et al., 2008). Mange forskjellige modeller av menneskets IP er utviklet, hvor variasjonene er mange i de mellomliggende stadiene (mellom ”input” og ”output”). I denne oppgaven er det valgt å anvende Wickens (1992) modell av menneskets IP involvert i menneskets prestasjon (fig.1), hvilket anses mest relevant i forhold til oppgavens problemstilling.



Figur 1. Modell av menneskets informasjonsprosessering. Fritt avbildet og oversatt av forfatter fra engelsk i original "Introduction to Engineering Psychology and Human Performance", av Wickens, C.D., 1992, *Engineering Psychology and Human Performance*. Copyright 1992 av HarperCollins Publishers Inc.

Gjennom våre ulike sanseorganer som til eksempel øyne og ører, oppdages informasjonen som sansestimuli (sensory stimuli), som videre blir omdannet til neural "output", hvilket representerer for eksempel en bestemt farge eller lyd. Den konverterte informasjonen blir så videre lagret kortvarig i "short-term sensory stores" (STSS). Informasjonen blir videre bearbeidet av sentralnervesystemet, hvor stimulusen blir kategorisert og tolket eller gitt mening gjennom persepsjonsprosessene (Wickens, 1992). Det er persepsjonsstadiet eller prosessenes oppgave å avkode (decode) meningen fra råsensorisk data (raw sensory data). Stadiet har to viktige trekk. Det første er at prosessene i dette stadiet forgår automatisk og raskt, og krever dermed lite oppmerksomhetsressurser (Wickens, 2000). Det andre er at persepsjonsstadiet styres av både sensoriske "input", også kalt "bottom-up" prosessering, og av "inputs" fra langtidsminnet, kalt "top-down" prosessering (Wickens, 2000). Dette innebærer at tidligere erfaringer og kunnskap påvirker tolkningen av stimulusen. Informasjonen som anses relevant blir kodet før den lagres i arbeidsminnet, mens irrelevant informasjon blir raskt forkastet og når aldri bevisstheden (Wickens, 1992, 2000). I motsetning til persepsjonsprosesser er prosessene i arbeidsminnet bevisste aktiviteter som omformer eller holder tilbake ny informasjon inntil det anvendes (Wickens, 2000). Dette medfører at

arbeidsminnet ofte krever større mental innsats eller oppmerksomhetsressurser (Wickens, 2000), samtidig som at den er ressursbegrenset.

I toppen av figur 1 representerer oppmerksomhetsressurser<sup>7</sup> tilførsel av energi eller drivstoff, som fordeles på de ulike prosessene hvilket er nødvendig for informasjonsprosessering. Mange kognitive operasjoner utføres ikke automatisk på samme måte som perseptuelle prosesser, men krever selektiv tilførsel av de begrensede ressursene (Kahneman, 1973; Wickens, 1992). I denne konteksten forstås oppmerksomhet som et søkelys som velger informasjonskilde å prosessere, men også en ”vare” eller ressurs med begrenset tilgjengelighet (Wickens, 1992).

Relatert til mental arbeidsbelastning medfører denne begrensede tilgjengeligheten av ressurser negative konsekvenser for oppgaveutførelsen i komplekse omgivelser. Dersom en oppgave krever mye ressurser innebærer dette færre ressurser tilgjengelig for eventuelle andre samtidige oppgaver, og oppgaveutførelsen vil dermed svekkes. Videre medfører begrensningene i menneskets informasjonsprosesseringskapasitet, at individet kun kan følge med på et begrenset antall ”inputs” om gangen (Bridger, 2003; Eysenck & Keane, 2001). I følge Miller (1956) har menneskets informasjonsinntak i kortidsminnet et omfang på  $7 \pm 2$  informasjonsammenknytninger eller ”chunks”<sup>8</sup>, hvor varigheten er begrenset til ca. tretti sekunder (Wickens, 1992), hvilket betyr at mengde informasjon som et individ kan motta, prosessere og huske er begrenset. Som en konsekvens indikerer dette at menneskelig prestasjon kan påvirkes av både indre og ytre faktorer som begrenser informasjonsinntaket (indre) og antall samtidige oppgaver (ytre).

**1.3.4 Prestasjon.** Forklaringer på menneskets prestasjon i automatiserte systemer har strukket seg fra situasjonsbevissthet (Endsley & Kiris, 1995; Endsley, 1997), gjennom årvåkenhet (Molloy & Parasuraman, 1996; Parasuraman, Mouloua, Molloy & Hilburn, 1996) og tiltro (Lee & See, 2004; Parasuraman & Riley, 1997) til mental arbeidsbelastning (Young & Stanton, 1997, 2002a, b). En generell konsensus er at optimalisering av mental

---

<sup>7</sup> Oppmerksomhetsressurser, også kalt mentale ressurser, prosesseringsressurser eller bare ’ressurser’ kan forstås som en energi eller drivstoff som behøves for å prosessere informasjon (Kahneman, 1973; Wickens, 1984). En nærmere begrepsavklaring av ressurskonseptet vil bli gitt i seksjon 2.2.3 ”Hva er ressurser?”

<sup>8</sup> ”Chunks” eller informasjonssammenknytning defineres som ”assembly of several information storage units” (Bridger, 2003, s. 337).

arbeidsbelastning er viktig for opprettholdelsen av effektiv oppgaveutførelse (Wilson & Rajan, 1995).

Videre viser litteraturen at operatører som jobber i situasjoner som krever høy analytisk evne for å gjøre bedømmelser og ta beslutninger, vil være ekstra sårbar for stress. Stress er et begrep som omfatter mye, og kan påvirke både vår mentale og fysiske helse (Knardahl, 2000). Ifølge Salsas, Driskell og Hughs (1996) betegnes stress som *”a process by which certain work demands evoke an appraisal process in which perceived demands exceed resources and result in undesirable physiological, emotional, cognitive and social changes”*<sup>9</sup>(s. 2). Stress kan således forstås som et resultat av når krav som stilles overskrider ressursene som er tilgjengelige. Den tradisjonelle forskning på stress og prestasjon knytter stress til ’arousal’ eller på norsk ’aktivering’. Generelt referer begrepet til individets generelle tilstand eller aktivitetsnivå (Matthews, et al., 2008), og kan defineres som et kontinuum av ulike mentale aktivitetstilstander, hvilket går fra dyp søvn til søvnighet, rask våkning (alert wakefulness) og agitasjon (Matthews, 2001). Studier viser at aktivering er tilknyttet aktivitet i det autonome nervesystemet (ANS), hvor uspesifikke forandringer i kroppen, som forandringer i hjertefrekvens, blodtrykk, pust (Zajonc, 1998), hormonutsondring og hjerneaktivitet grunnet ytre stimulering (Kantowitz & Sorkin, 1983) er relatert til aktivering assosiert med ”fight-or-flight” reaksjonen og den sympatiske del av ANS (Matthews, 2001).

En felles grunnleggende antakelse om prestasjon (performance) i oppmerksomhetsressursteorier er at dersom oppgavekravene overskrider individets ressurskapasitet, vil prestasjonen svekkes. Kahneman (1973), én av pionerene innen oppmerksomhetsressursteorier hevdet at oppmerksomhetskapasitet var positivt assosiert med fysiologisk aktivering. I følge Kahneman (1973) øker fysiologiske aktiveringsmekanismer produksjonen av ressurstilførsel i takt med økning i oppgavekravene. Derimot er ikke denne økningen i ressurstilførselen tilstrekkelig nok til å tilsvare de økte ressurskravene fra de forhøyede oppgavekravene. Videre viser tidligere forskning at ressursstørrelsen også kan forandres med langvarige humørsvingninger eller alder (Humphreys & Revelle, 1984). En utbredt forståelse av prestasjon er at det eksisterer et kurvlineært forhold mellom aktivering og prestasjon (Yerkes & Dodson, 1908; Kahneman, 1973), hvor stress blant annet øker nivået av aktivering. ”Yerkes-Dodson law” hevder at både høye og lave nivåer av stress svekker utførelsen, mens

---

<sup>9</sup> ”en prosess der visse arbeidskrav fremkaller en vurderingsprosess der oppfattet krav overskrider ressurser og resultater i uønskede fysiologiske, emosjonelle, kognitive og sosiale forandringer” (norsk oversettelse av forfatter).

moderate nivåer av stress kan fremme effektive handling og optimal utførelse (Matthews, 2001; Kantowitz & Sorkin, 1983; Schaab, 1999). Dette indikerer at problemene utledet fra svekket utførelse kan være en konsekvens av både underaktiverte og overaktiverte operatører.

Stress kan påvirke operatøren og hans eller hennes utførelse på mange måter. Deriblant anses mental over- og underbelastning for å være to stressfaktorer som kan påvirke operatørens oppgaveutførelse. Ytterlighetene kan skape psykologisk belastning som årsak av feiltilpasning mellom oppgavekrav og individets evne (Byrne & Parasuraman, 1996; Young & Stanton, 2002a). Andre faktorer som er ansett for å påvirke prestasjon, relatert til mental arbeidsbelastning, er blant annet SB og årvåkenhet. En gjennomgang av litteraturen viser at SB og årvåkenhet er faktorer som er nært tilknyttet konseptet om mental arbeidsbelastning.

**Årvåkenhet.** Monotont og passivt arbeid, ofte etterfulgt av kjedsomhet og trøtthet er noen av faktorene som karakteriserer dagens arbeid i kontrollrom, ved stabil driftsstatus i prosessindustrien. Mental underbelastning kan dermed medføre vesentlige utfordringer for operatører under årvåkenhetsoppgaver, for eksempel i prosessovervåkingsarbeid. I tillegg kan underbelastende situasjoner føre til signifikante utfordringer for operatørens SB. Kontrollromsoperatører må være i stand til å legge merke til og respondere på enhver unormal forandring i systemindikatorene. Dette innebærer at operatørens årvåkenhet til enhver tid vil spille en viktig rolle for håndtering av situasjoner som avviker fra det normale. Dette aspektet av menneskelig utførelse er derfor av betydelig interesse innen human factors og ergonomi grunnet den viktige rollen i automatiserte menneske-maskin systemer (Warm & Hancock, 1996). Å opprettholde høy nivå av oppmerksomhet over en lengre tidsperiode, også referert som 'årvåkenhet', er essensielt for kontrollromsoperatører relatert til kognitiv prosessering av innkommende informasjon, og for optimal prestasjon<sup>10</sup>. Årvåkenhet refererer til evnen til å opprettholde vedvarende oppmerksomhetsfokus, og forbli våken for stimuli over lengre tidsperioder (Davies & Parasuraman, 1982; Warm, 1993). Det essensielle i årvåkenhetsforskningen er at detekteringsprestasjonen over tid svekkes, hvilket er blitt kjent som årvåkenhetsdegresjon (vigilance decrement). I følge det tradisjonelle aspektet på årvåkenhet er årvåkenhetsdegresjon ansett for å være forårsaket av nedgang i aktivering, i form av understimulering i årvåkenhetsoppgaver (Frankmann & Adams, 1962; Heilman, 1995; Welford, 1978; Davies & Parasuraman, 1982).

---

<sup>10</sup> Se utdypende begrepsavklaring i seksjon 2.1.4 Alarmhåndtering, s. 24.

Årvåkenhetsdegresjon blir forstått for å være en konsekvens av reduksjoner i generell våkenhet over tid (Frankman & Adams, 1962). Nyere eksperimentelle studier viser imidlertid at årvåkenhetsoppgaver, slik som overvåkning av prosessanlegg, ikke er understimulerende, men derimot svært ressurskrevende, og kan assosieres med høy arbeidsbelastning og stress (Davies & Parasuraman, 1982; Warm, Parasuraman & Matthews, 2008). Observasjoner av årvåkenhetsdegresjon er blitt registrert allerede etter 15 minutter etter at skiftet har startet, men under høye oppgavekrav kan årvåkenhetsdegresjon inntreffe allerede etter 5 minutter (Warm, et al., 2008; Helton, Dember, Warm & Matthews, 2000; Rose, Murphy, Byard & Zikzad, 2002; Temple, Warm, Dember, Jones, LaGrange & Matthews, 2000). Funnene ser dermed ut til å støtte en oppmerksomhet-ressurs modell, heller enn aktiveringsmodell.

**Situasjonsbevissthet.** Helt siden 1980-tallet har situasjonsbevissthet (SB) vært en stor forskningsområde innen human factors og ergonomi, og utgjør fortsatt i dag en viktig rolle i mange industrier. Mye av forskningen på SB har vært innen luftfart, som cockpit og flykontroll (air traffic control), men har først i senere tid blitt utvidet til å inkludere andre områder som medisin, kontrollrom, vedlikehold, landtransport, og utdanning (Endsley & Garland, 2000). Forhøyelse av operatørens situasjonsbevissthet har lenge vært et stort mål for dem som utvikler operatørbrukersnitt, automatikk-konsepter og treningsprogrammer i store varierte felt, som blant annet luftfart, kraftverk, og fabrikkindustri-systemer (Endsley, 2000).

Som en potensiell konsekvens av den økte automatisering har dette blant annet ført til lengre tidsperioder med svært lav arbeidsbelastning. Dette har vist å påvirke operatørens SB negativt gjennom "out of the loop performance" problemet. Situasjonsbevissthetsproblemer kan oppstå både ved overbelastede så vel som underbelastede situasjoner (grunnet årvåkenhetsproblemer), men tilfeller av situasjonsbevissthetsproblemer er også observert under moderate nivåer av arbeidsbelastning (Endsley, 2000). Med grunnlag i menneskets begrensede informasjonsprosesseringskapasitet, impliserer dette at graden av SB som operatøren oppnår styres av den kognitive kapasiteten. Oppnåelse av SB er en ressurskrevende prosess, hvilket innebærer at andre samtidige oppgaver eller ved høye oppgavekrav kan oppnåelsen av høyere SB være vanskeligere, da tilgjengeligheten av prosesseringsressurser er begrenset. Dette impliserer at når arbeidsbelastningskravene overskrider menneskets kognitive kapasitet, vil oppnåelse av høyere SB være utsatt og vanskeligere å oppnå. Konsekvensen av lav SB kan dermed føre til "out of the loop performance", hvor operatøren mister oversikt over situasjonen og hva som foregår i systemet. Videre kan dette medføre tap av årvåkenhet hos operatøren, og svekket evne til å



håndtere systemet manuelt dersom manuell kontroll kreves (Endsley, Bolté & Jones, 2003; Endsley & Kiris, 1995). Dette fenomenet er tilskrevet et mulig tap av kompetanse, og SB som følge av tiltro- og årvåkenhetsproblemer, skifte fra aktiv til passiv overvåkingsarbeid, og forandring i feedback gitt til operatøren (Endsley & Kiris, 1995). Forskning viser at operatører som har redusert SB har vanskeligheter med å oppdage problemer i tide, og behøver lengre tid til å omorientere seg selv til situasjonen (Endsley et al., 2003). Dette betyr at innen operatøren har oppdaget hva som er årsaken til problemet kan det allerede være for sent.

#### **1.4 Oppgavens Formål og Problemstilling**

Basert på litteraturen som foreligger om mental arbeidsbelastning har denne studien som hensikt å undersøke effektene av mental over- og underbelastning på operatørens oppgaveutførelse, spesifikt alarmhåndtering. I litteraturen er det en felles forståelse av at mental underbelastning har lik negativ påvirkning på operatørens oppgaveutførelse som mental overbelastning, som i større grad har vært et mer velforsket tema. Derimot er det fremdeles relativt lite forskning gjort på mental underbelastning. Mangelen på forskning på mental underbelastning har blant annet ført til vanskeligheter med å generere koherent forklaring på hvorfor det kan være skadelig for oppgaveutførelsen (performance). På bakgrunn av dette vil studiens hovedfokus ligge på mental underbelastning. I denne studien er det derfor av interesse å undersøke spesielt *hvordan mental underbelastning påvirker operatørens alarmhåndtering*. Faktorer som anses å være nært tilknyttet mental arbeidsbelastning, og som er ønskelig å se nærmere på i denne studien, er forholdet mellom lav mental arbeidsbelastning og årvåkenhet, situasjonsbevissthet, samt hvordan dette innvirker på operatørens alarmhåndtering. Hensikten med denne studien er å gi en oversikt over litteraturen om mental arbeidsbelastning, samtidig som å gi en beskrivelse av hvordan underbelastning kan påvirke operatørens oppgaveutførelse, gjennom nærliggende faktorer som berøres av operatørens mentale arbeidsbelastning. Oppgaven har også som formål å kartlegge om mer forskning på mental arbeidsbelastning er nødvendig, og i så fall hvilke spørsmål som søker svar.

## **1.5 Avgrensning av Oppgaven**

I denne studien vil det primært være fokus på kontrollrom i prosessindustrien, som blant annet petrokjemiske anlegg, offshore-anlegg og (kjerne-) kraftverk. Eksempler fra andre områder som luftfart og forsvaret vil også bli anvendt, da også disse områdene utgjør eksempler på dynamiske og komplekse systemer, hvor konsekvensene av menneskelig svikt, teknisk svikt eller en kombinasjon kan medføre store økonomiske, materielle og miljøskader, og ikke minst tap av menneskeliv. Videre har også visse forskningsområder preget bestemte domener mer enn andre, hvilket gjør at litteraturen av og til er mer begrenset til et spesifikt brukerområde.

Alarmsystemene som omtales i denne oppgaven er i all hovedsak systemer som presenterer informasjon til operatørene. En nærmere beskrivelse av alarmsystemet og dets funksjon vil komme i senere i oppgaven under seksjon 2.1.1.

## 2. Teori og Forskning

### 2.1 Operasjoner i Prosesskontrollrom

Et kontrollrom kan forstås som nervesenteret i et komplekst system, hvor ”ansamlinger av instrumenter, apparater og annet utstyr anvendes for å overvåke, styre, verne og kommunisere mellom ulike produksjonsanlegg i en produksjons- eller transportkjede” (Energi Link, 2008<sup>11</sup>). Det finnes mange forskjellige typer kontrollrom, men samtidig deler de generelle fellestrekk på tvers av ulike industrier (Stanton, 1996):

- Prosessen blir overvåket via et sentralt kontrollrom
- Store mengder informasjon blir presentert som operatørene må tilegne seg og prosessere
- Arbeidsbelastningen kan være svært variabel
- Operatørene må overvåke og samhandle med systemprosessene

**2.1.1 Alarmsystemet og dets oppgaver.** Et alarmsystem refererer til et operatørstøttesystem for varslinger og håndtering av unormale situasjoner (Det Norske Petroleumstilsyn, DNP, 2001), og er en viktig del av operatørens kontakt med prosessanlegget. Alarmsystemets funksjon er å bistå kontrollromsoperatørene med vesentlig støtte (DNP, 2001), ved å bevisstgjøre operatøren om driftsproblemer, og utgjør en viktig del av overvåkningen av det automatiserte systemet innen mange industrier. Eksempler på slike industrier er kjernekraftverk, olje- og gassproduksjon (petrokjemi), luftfart, forsvaret og jernbaneverket. Videre skal alarmsystemer gjennom varsling (alarm) styre operatørens oppmerksomhet mot en unormal situasjon, informere om problemer og driftstilstand og veilede operatøren slik at nødvendige forebyggende handlinger kan utføres. Avhengig av automatikknivået i alarmsystemet, er moderne systemer ofte utstyrt med beskyttende systemer som skal hindre farer for mennesker eller for å gjøre store skader (Bransby, 2001). Imidlertid er operatørens involvering i systemet og prosessene viktig for å være bevisst hva som foregår i systemene (være i ”loopen”), men også for å oppdage og korrigere mindre problemer før de eskalerer til store forstyrrelser, og for å unngå store uforutsette kombinasjoner av hendelser hvor usikret risikoer kan oppstå (Bransby, 2001).

---

<sup>11</sup> <http://energilink.tu.no/leksikon/kontrollrom.aspx>

Alarmsystemets primære funksjon som å styre operatørens oppmerksomhet mot anleggets forhold, bygger på 3 prinsipper: 1) enhver alarm skal ha en definert respons<sup>12</sup>, som reflekterer driftstilstanden som operatøren må gjøre noe med (Bransby, 2001; Health and Safety Executive – HSE, 2000), 2) alarmsystemets brukergrensesnitt (interface) skal gjøre nye alarmer tydelige og gi en klar indikasjon på problemet, samt veilede operatøren for hvilken handling som behøves for å ordne problemet (Bransby, 2001), og 3) alarmsystemet skal være effektiv i å tiltrekke operatørens oppmerksomhet, samtidig som at systemet skal være designet slik at det ikke krever for mye av operatørens oppmerksomhet (Bransby, 2001).

Som en konsekvens av den økte automatiseringen av systemer og prosesser, har dette medført at operatører i krisesituasjoner eller andre avvikstilstander (f.eks. alarmras<sup>13</sup>, tripp<sup>14</sup>) blir stilt overfor overveldende mengde alarmer, samtidig som at risikoen for å miste situasjonsoversikten øker betydelig (Ingstad, 1987). Dette impliserer at en sikker situasjonshåndtering er avhengig av informasjonen som presenteres for operatørene, og at dette gjøres på en slik måte at operatøren kan raskt få innsikt i problemet og gripe inn i situasjonen (Ingstad, 1987). Dette kan blant annet oppnås gjennom alarmprioritering, hvilket er et hjelpemiddel for at operatøren skal raskere forstå problemene i prosessen og finne frem til kritiske alarmer. Ved alarmprioritering rangeres og kategoriseres alarmene basert på antatt viktighet for operatørens oppgaver (DNP, 2001).

En annen konsekvens av økt automatikk og systemkompleksitet er forekomst av situasjoner hvor alarmraten er svært lavt. I følge Engineering Equipment and Materials Users Association (EMMUA) (1999, som nevnt i HSE, 2000<sup>15</sup>) anses slike situasjoner som krevende, og vanskeligere for operatører å håndtere et alarmsystem som er varierende, i motsetning til et system hvor alarmraten<sup>16</sup> er konsekvent på et bestemt nivå.

---

<sup>12</sup> En respons refererer oftest til en fysisk handling, f.eks. åpne en ventil eller stoppe en pumpe, men kan også indikere et behov for økt oppmerksomhet uten en fysisk handling (Åsland, 2003).

<sup>13</sup> Forekomst av 10 eller flere alarmer innenfor en tidsperiode på 10 minutter (EMMUA, 1999 som nevnt i Åsland, 2003).

<sup>14</sup> Et varsel om at en høy, høy (HH) eller lav, lav (LL) alarmgrense er oversteget, og en automatisk nedstengning av utstyr eller delsystemer er igangsatt (Statoil Alarmfilosofi for Gullfaks, 2001 som nevnt i Åsland, 2003).

<sup>15</sup> <http://www.hse.gov.uk/pubns/chis6.pdf>

<sup>16</sup> Begrepet alarmrate betegner et mål på antall alarmer som presenteres for operatøren per tidsenhet (DNP, 2001).

**2.1.2 Alarmproblemet.** Prosesskontrollanlegg er blant de største og mest komplekse industrielle systemene som er konstruert av mennesket, og består av flere hundre tusen ulike komponenter (Moray, 2001). Som en konsekvens av økt automatikk og systemkompleksitet har dette ført til at alarmsystemets prinsipp om å varsle, informere og veilede operatøren ikke alltid har vært tilfredsstillende. Spesielt i situasjoner hvor operatøren trenger støtte som mest (Ingstad, 1987; Woods, 1995). Noen av problemene som alarmsystemer kan forårsake er forvirring, feiltolkning, uoppmerksomhet, tap av SB og økt mental arbeidsbelastning (Mouloua, Deaton & Hitt, 2001). I følge Lees (1983) er det blitt identifisert flere ulike faktorer i alarmsystemet som bidrar til vanskeligheter i alarmhåndteringen, og som er gitt betegnelsen alarmproblemet. Blant de identifiserte forholdene ved alarmsystemet er uønskede alarmer eller ”plagsomme alarmer” (nuisances), tvetydige eller underspesifiserte alarmmeldinger, alarminflasjon, og alarmer som indikerer driftstilstand fremfor anormaliteter (Woods, 1995).

**Underspesifiserte alarmer.** Relatert til underspesifiserte alarmer har alarmenes informasjonsgrad (informativens) lenge vært et problem. Alarmsignaler eller meldinger kan blant annet være underspesifiserte i situasjoner ved hyppig alarmfrekvens (f.eks. høy alarmrate av falske alarmer), som for operatøren fremstår velkjent og dermed overser tilfeller av avvik eller anormalitet (Woods, 1995). I følge Woods (1995) oppstår problemene når alarmmeldingen kun sier at noe er galt uten videre å indikere hva som er problemet. Som en konsekvens av dette må operatøren flytte sin oppmerksomhet fra gjeldende oppgaver, til å søke etter mer informasjon som tydeliggjør hva som er problemet, hvilken type av avvik det handler om, samt dets viktighet i den gjeldende konteksten. Et annet eksempel på underspesifiserte alarmer er når avvikstilstander indikeres med verdier, og komponentikoner som skifter farge (gult eller rødt), uten å gi videre tilleggsinformasjon om årsaken til avviket (Woods, 1995). Woods (1995) påpeker at til tross for at fargeskifte kan være en effektiv perseptuell signal som indikerer at en hendelse har skjedd, kan ikke fargeskiftet alene forsyne noen som helst indikasjon på de bakenforliggende problemene som forårsaket utløsningen av alarmen. I følge Oljedirektoratets tilsynsrapport<sup>17</sup> (2003) av alarmsystemer på norsk sokkel, viser den at til spørsmålet om forståelse av alarmmelding svarte 68 % av operatørene at de ’som oftest’<sup>18</sup> forstår hva de skal gjøre med hver alarm. Dette kan blant annet indikere at

---

<sup>17</sup> Rapporten består av samlede vurderinger av sikkerhetsmessige forhold tilknyttet utvalgte alarmsystemer på 7 ulike produksjonsinnretninger på norsk sokkel, i perioden fra august 2000 til september 2002 (Oljedirektoratet, 2003).

<sup>18</sup> 3-punktsskala fra: Alltid, Som oftest, Noen ganger.

alarmmeldningene ikke er tydelige eller spesifiserte nok til at operatøren vet hvilke tiltak som må gjøres. Mangelfulle alarmmeldinger eller enhetlige forkortelser kan dermed gjøre at det blir vanskelig å oppfatte budskapet i meldingene.

***Uønskede alarmer ("plagsomme alarmer").*** Uønskede eller "plagsomme" alarmer (nuisance alarm) er ansett for å være det som bidrar mest til alarmproblemet. Slike alarmer forstås å være konsekvent falskt signal om oppmerksomhetsskifte, hvor signalene forsøker å dirigere operatørens oppmerksomhet til en hendelse, som oftest ikke berettiger et skifte av oppmerksomhetsfokus hos operatøren (Woods, 1995). Det er derimot viktig å skille mellom alarmer som ikke berettiger et skifte av oppmerksomhetsfokus i et bestemt tilfelle, og en alarm som ikke berettiger oppmerksomhetsskifte konsekvent i en bestemt kontekst (Woods, 1995).

"Plagsomme" alarmer kan være forårsaket av mange årsaker, som til eksempel dårlig alarmsystemdesign, alarmsystem som er ute av stand til å håndtere ulike driftstilstander, og alarmsystem som presenterer for ofte ufullstendig informasjon (Bergquist, Ahnlund, Larsson & Spaanenburg, 2003). Uønskede alarmer kan påføre operatører en ekstra unødvendig belastning, hvilket forstyrrer de pågående oppgavene. Et alarmsystem med feilfunksjon kan forårsake situasjoner hvor operatøren ikke får nok tid til forebyggende overvåkning eller styring, hvilket medfører at operatøren kun reagerer til utløste alarmer (Bergquist, et al., 2003). Alarmer som konsekvent utløses ukorrekt (falsk alarm) kan føre til et punkt hvor operatøren ignorerer dem, hvilket videre medfører at operatøren overser potensielle farlige situasjoner. Spesielt utgjør repeterende alarmer en fare ved at operatørens oppmerksomhet overfor andre alarmer reduseres, og er et velkjent problem innen prosessindustrien og er betegnet som "ulv, ulv" fenomenet.

***Kontekstavhengige alarmer.*** I henhold til DNPs "Prinsipper for alarmsystem design" (2001) skal kontekstavhengige alarmer være relevante og skal ha operatørens oppmerksomhet i alle prosesstilstander og driftsforhold hvor de vises. Under visse situasjoner, som til eksempel prosessnedstengning, kan alarmraten øke drastisk som en konsekvens av at prosessen stenger ned, og gjør alarmhåndteringen vanskeligere. En og samme alarm kan, og i blant skal, fremkalle ulike operatørresponser i ulike sammenhenger (Woods, 1995). Betydningen av alarmen er avhengig av hvilke andre problemer som er tilstede i den overvåkede prosessen, som til eksempel hvor operatøren er i prosessen relatert til vurdering av og respons til avvikene (Woods, 1995). I følge prinsippene for alarmsystem design (DNP,

2001) skal alarmsystemet støtte de ulike oppgavene til operatøren i en driftsforstyrrelse. Alarmsystemene skal tilpasse seg varierende informasjonsbehov, og være anvendelige i alle prosessstilstander, som blant annet, oppstart, normal, stabil drift, mindre og større driftsforstyrrelser, nedstengning, brann- og gassvarsel og trykkavlastning. Under ulike prosessstilstander hvor alarmraten har lett for å øke, kan det ofte fremkomme irrelevante alarmer. Kontekstavhengighet kan dermed oppnås gjennom omfattende bruk av alarmundertrykking, og/eller dynamiske alarmgrenser (DNP, 2001).

Alarmundertrykking refererer til både en automatisk og manuell prosess som i spesielle prosessstilstander hindrer et irrelevant alarmsignal i å presenteres i hovedbilder for operatøren. Når det gjelder en manuell alarmundertrykking, hvilket er oftest styrt manuelt av operatøren, er dette imidlertid tenkt å fungere som "siste løsning" for å håndtere irrelevante problemalarmer som slipper gjennom til operatøren til tross for signalfiltrering og alarmundertrykking (DNP, 2001). Alarmprioritering som nevnt tidligere er også et viktig hjelpemiddel for operatøren, og bidrar til at operatøren raskere kan forstå problemene i prosessen og finne frem til de kritiske alarmene (Ingstad, 1987).

**2.1.3 Kontrollromsoperatørens rolle.** I mange industrier hvor systemet er fullstendig eller delvis automatisert, er systemfunksjonene fordelt mellom mennesket (operatør) og det automatiserte systemet. Fjernstyring (supervisory control) under normal, stabil drift, som er den vanligste situasjonen, er ofte preget av lav alarmfrekvens og ensformighet. Operatørens hovedfunksjon er å overvåke systemet, også kjent som prosesskontroll, ved å justere ulike input-parametere og variabler (Moary, 2001; Moray, Lee & Hiskes, 1994). Operatøren skal blant annet ivareta og sikre at temperaturer og trykk ikke overskrider verdier definert av systemdesignere og myndigheter, for å unngå svikt i komponenter og utslipp av farlige produkter i miljøet (Moray, 2001). Ved avvik fra normaldrift må operatøren skifte fra passiv overvåkning til raskt aktiv informasjonsprosessering og beslutningstaking, ved å gripe inn og ta manuell kontroll (Johansson, 1989). Dette gjelder spesielt ved oppstart (start-up) og nedstengning (shut-down), som krever forsiktige og spesialiserte arbeidsprosedyrer (Johansson, 1989). I prosesskontroll inngår operatøren og automatikken i et samspill, hvor operatøren overvåker ulike delsystemer som de kan kontrollere manuelt eller la systemet styre (Moray, et al., 1994).

**2.1.4 Alarmhåndtering.** I etterkant av ulykken i 1994 ved raffineriverket Texaco Milford Haven viser granskningene at det var for mange alarmer som var feilprioritert, skjermvisningene i kontrollrommet hjalp ikke operatøren til å forstå hva som foregikk, og operatørene manglet trening i å håndtere slike stressende og vedvarende driftsforstyrrelser (HSE, 2000). I følge det britiske Helse og Sikkerhetsmyndighetene (HSE, 2000) hevdes det at bedre alarmhåndtering er avhengig av bedre alarmsystemer, gjennom forbedring av feildiagnoser, tettere kvalitetskontroll og mer effektiv operatørledelse av anlegget. Alarmhåndtering blir dermed hovedsakelig ansett som et spørsmål om design. Den grunnleggende hensikten med alarmvarsling er å varsle operatøren om avvik i normal driftstilstand, hvor operatørens ytterste mål er å forhindre eller minimere konsekvensene gjennom operatørrespons. I de fleste automatiserte systemer kan svikt i systemet resultere i farefulle situasjoner for både mennesket og miljøet. Dermed vil operatørresponsen spille en vesentlig rolle i håndteringen av alarmer. I følge prinsippene for alarmsystemdesign anses de viktigste operatørresponsene å være effektiviteten i hurtighet og nøyaktighet med å identifisere alarmene som krever umiddelbar handling (DNP, 2001).

Ettersom litteraturen ikke definerer hva som legges i begrepet ”god” alarmhåndtering eller optimal prestasjon, er det her valgt å tolke dette på grunnlag i alarmsystemets hensikt. I denne studien forstås ”god” alarmhåndtering når operatøren demonstrerer høy situasjonsbevissthet, responderer på alarmer i en tidlig fase av alarmbarrieren, og utviser hurtighet og nøyaktighet i identifiseringen og tolkningen av alarmene.

**Signaldetektering.** I overvåkingsarbeid i prosessindustrien er det viktig at operatøren oppfatter signaler på et tidligst mulig tidspunkt. Signaldetektering er en vesentlig del av operatørens alarmhåndtering, hvilket vil bli nærmere beskrevet her. Forholdet mellom forekomsten av signaler (ytre stimuli) og sannsynligheten for at operatøren identifiserer disse på en korrekt måte, beskrives i henhold til signaldeteksjonsteorien. Forholdet kan illustreres i en firefeltstabell (tabell 2), hvor det på den ene siden har en mulighet for at det foreligger et signal eller stimulus, og på den andre siden gjør det ikke. På samme måte kan operatøren rapportere hvorvidt det foreligger et signal, eller ikke. Med kombinasjonen av to situasjonstilstander (signal foreligger/signal foreligger ikke) og to responskategorier (ja/nei), danner dette fire klasser av samlede hendelser (joint events), med betegnelsene korrekt identifisering (treff), falsk negativ/ikke oppdaget (miss), falsk positiv/falsk alarm (false alarm) og korrekt avvisning/treff.



Tabell 2.

*Signaldeteksjonsteori – operatørens oppfatning og realitetene i situasjonen.*

		Signal foreligger	Signal foreligger ikke
		<b>OPERATØRRESPONS</b>	<b>JA:</b> <b>Operatøren rapporterer signal</b>
	<b>NEI:</b> <b>Operatøren rapporterer "ikke-signal"</b>	2: Falsk negativ (ikke oppdaget/ "miss")	4. Korrekt avvisning (treff)

*Note.* Fritt avbildet fra "Perspesjon", av Eid, J., 2006, i Eid, J. & Johnsen, B.H., (red.) *Operativ Psykologi*, s. 91. Copyright 2005 av Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS.

I rute 1 forekommer det et signal som operatøren rapporterer korrekt, hvilket indikerer et korrekt treff mellom operatørens oppfatning av situasjonen og det som faktisk er. Tilsvarende i rute 4, korrekt avvisning av at det foreligger et signal i en situasjon hvor det faktisk ikke er signal. Det er tilsynelatende at perfekt prestasjon fremtrer når verken falsk negativ (misses) og falsk positiv (falske alarmer) oppstår (Wickens, 2000). Derimot kan uklare og svake signaler og menneskelig svikt medføre at situasjonen misoppfattes (Eid, 2006), og dermed resultere i ukorrekt alarmrespons. I rute 2 vises en situasjon hvor operatøren unnlater å rapportere et signal som faktisk foreligger, mens i rute 3 skjer det motsatte hvor operatøren feilaktig rapporterer om signal som ikke finner sted. For optimal alarmhåndtering kan det derfor være ideelt å redusere forekomsten av falske positive (misses) og falske negative (falske alarmer) (Eid, 2006).

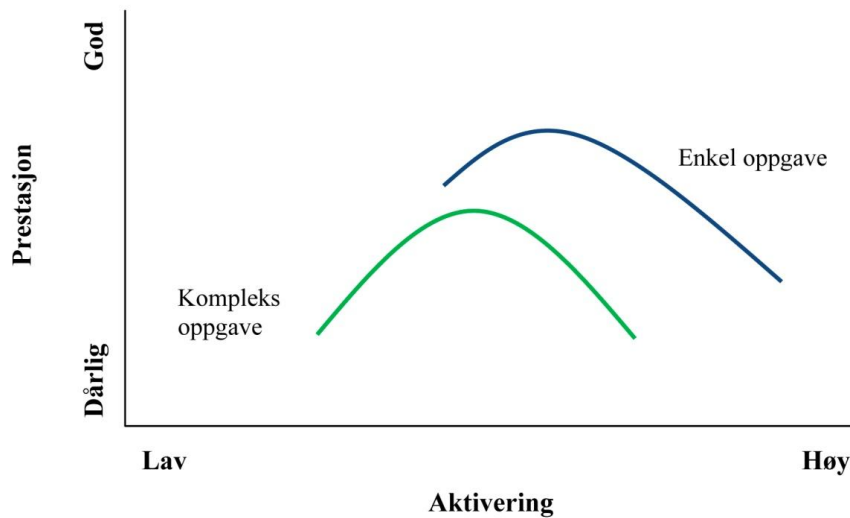
Forskning viser at operatørens effektivitet i å oppdage signaler påvirkes av individets årvåkenhetsnivå (Mackworth, 1948) og graden av operatørens involvering i systemet (Endsley, 1996; Endsley & Kiris, 1995). I tillegg kan også operatørens misoppfattelse av situasjonen påvirke alarmhåndteringen i form av ukorrekt respons (falsk positiv og falsk negativ) (Eid, 2006).

## 2.2 Teoretiske Tradisjoner

I flere tiår har interessen for menneskelig prestasjon opptatt forskere. Blant de første prestasjonsstudiene er Taylors studier av vitenskapelig arbeidsdeling (scientific management) (1919, som nevnt i Meister, 2001), og undersøkelsene på Hawthorne-avdelingen av Western Electric Company nær Chicago fra 1924 til 1933, hvor effektene av belysning på arbeidernes produktivitet ble studert (Meister, 2001). Utviklingen av prestasjonsforskning kan ses i tråd med historisk sammenheng, hvor blant annet to verdenskriger har bidratt til å øke interessen for forskning på menneskelig prestasjon. Prestasjonsforskning er rettet mot atferd i den virkelige verden, hvor prestasjonen påvirkes av både oppgaven og av stress (Matthews, et al., 2008). Historisk sett er interessen for stress avledet fra studier av forholdet mellom subjektiv emosjon og fysiologiske systemer, hvor begrepet aktivering (arousal) har vært en viktig forbindelse mellom fysiologi og prestasjon (Matthews, et al., 2008).

En av de første studiene av forholdet mellom aktivering og prestasjon ble ledet av R.M. Yerkes og J.D. Dodson (1908), som viste et kurvlineært forhold mellom prestasjon og aktivering, som senere er blitt kjent som "Yerkes-Dodson law" (fig.2). Loven hevder at det er en relasjon mellom aktivering og prestasjon, hvor det finnes et optimalt nivå for ytelse. Loven indikerer at prestasjonen øker med fysiologisk eller mental aktivering, men kun opp til et punkt. Når aktiveringsnivået blir for lavt eller for høyt kan dette påvirke prestasjonen negativt. Loven redegjør for to hovedprinsipper. Det første er at relasjonen mellom aktiveringsnivået og prestasjon kan uttrykkes som en invertert U-kurve. Det hevdes at hjernebarkfunksjonene er mest effektive ved moderate aktiveringsnivåer, hvilket innebærer at individet er våken og beredt, men ikke for agitert (Matthews, et al., 2008). Optimalt aktiveringsnivå er ansett for å gi maksimal prestasjon. Det andre prinsippet er at det optimale aktiveringsnivået for prestasjon er omvendt relatert til oppgavens vanskelighetsgrad. Dette innebærer at jo vanskeligere en oppgave er, desto lavere blir det ideelle aktiveringsnivået for prestasjon.

Blant mange forskere innen kognitiv psykologi ble derimot ikke teorien om aktivering ansett som det primære forklaringsgrunnlaget for stressfaktorenes påvirkning på prestasjon (Matthews, et al., 2008). Til tross for at interessen for kognitiv psykologi startet allerede under atferdspsykologiens dominans er den "kognitive revolusjonen" datert å ha startet opp fra 1950-tallet, hvor anerkjennelsen om atferdspsykologiens utilstrekkelige forklaringer på komplekse kognitive oppgaver økte (Hoffman, 1997 som nevnt i Matthews, et al., 2008). Samtidig startet tverrfaglig samarbeid som ga nye måter å beskrive menneskets kognitive atferd, som til eksempel gjennom forbindelse mellom psykologi og ingeniørvitenskap.



Figur 2. Forholdet mellom prestasjon og aktivering etter "Yerkes-Dodson law". Fritt avbildet og oversatt av forfatter fra engelsk i original "Human Factors: Understanding People-System Relationships" av Kantowitz, B.H. & Sorkin, R.D., 1983, s. 606. Copyright 1983 av John Wiley & Sons, Inc.

Året 1956 anses som viktig i utviklingen av kognitiv psykologi, hvor nøkkelpersoner som Chomsky (språketeori), Miller ("magic number seven" i korttidsminnet) og Newell og Simon (dataprogrammet "General Problem Solver") bidro til fremgangen av kognitiv psykologi (Eysenck & Keane, 2001). Like etter presenterte Broadbent (1958) den første informasjonprosesserings teorien, kjent som "Broadbent's theory of attention". Ved å anvende datamaskinen som en metafor og inspirasjon, hevder teorien at mye av menneskets kognisjon består av sekvensielle serier av prosesseringsstadier. I nyere tid er det derimot vært diskutert hvorvidt informasjonen prosesseres samtidig (parallelt) eller i sekvensielle serier, og har lenge vært av interesse blant forskere innen psykologi (Townsend & Fific, 2004). I dag anses teoriene innen kognitiv psykologi for å være de mest brukbare til å forklare hvordan oppgaveprestasjon (task performance) er avhengig av informasjonsprosessering (Matthews, et al., 2008).

For å kunne forstå kompleksiteten rundt mental arbeidsbelastning og dets effekt på operatørens prestasjon, er man nødt til å se nærmere på de ulike teoretiske tradisjonene, disiplinene og teoriene som denne oppgavens tema og problemstilling omfatter. Følgende seksjon vil dermed gi en kort oversikt over det mest relevante for denne oppgaven.

**2.2.1 Human factors og ergonomi.** Human Factors og ergonomi omhandler interaksjonen mellom mennesket og systemer, produkter og miljøet (Rice & Stohl, 2006), og kan spores tilbake til slutten av 2.verdenskrig (Badham, 2001). Området kan defineres som *”the study of how humans accomplish work-related tasks in the context of human-machine system operation, and how behavioral and nonbehavioral variables affect that accomplishment”*<sup>19</sup> (Meister, 1989, s. 2). Det grunnleggende målet i denne tilnærmingen er å redusere feil, øke produktiviteten samt fremme sikkerhet og komfort når operatørene interagerer med systemene (Wickens & Hollands, 2000). Dette innebærer blant annet at maskinene designes for å tilpasse begrensningene hos mennesket. Fagområdet human factors omfatter metoder og kunnskap om menneskets begrensninger og muligheter, hvilket anvendes for å vurdere og forbedre samhandlingen mellom mennesket og teknologi (Det Norske Petroleumstilsyn, 2010<sup>20</sup>).

Begrepene human factors og ergonomi er ofte anvendt synonymt, mens enkelte hevder at det finnes spesifikke forskjeller mellom dem. Hovedforskjellen hevdes å være at ergonomi tradisjonelt sett er tilknyttet fysiske aspekter ved arbeidet, mens human factors er mer tilknyttet kognitiv involvering (Wogalter, Dempsey & Hancock, 2001). Det er her valgt å ikke gå nærmere inn på denne debatten, da dette ikke er sentralt for oppgaven eller dens innhold. Derimot er denne oppgaven mer relatert til human factors enn ergonomi, da oppgaven ikke fokuserer på fysiske aspekter ved arbeid, men på de kognitive aspektene ved menneske-maskin interaksjonen. Begrepet human factors vil dermed være det konseptet som anvendes i denne studien.

**2.2.2 Hva er mental arbeidsbelastning?** Begrepet mental arbeidsbelastning har vært av interesse i nærmere 40 år. Til tross for at det ikke finnes en universell akseptert definisjon av begrepet, foreslår den nye konsensusen at mental arbeidsbelastning danner et begrep om interaksjonen mellom en operatør og en tildelt oppgave (Gopher & Donchin, 1986; Tsang & Vidulich, 2006; Collet & Averty, 2003; Young & Stanton, 2002a). Mer konkret kan man si at mental arbeidsbelastning representerer andelen av mentale ressurser eller ”kostnader” som

---

<sup>19</sup> ”studie av hvordan mennesker utfører arbeidsrelaterte oppgaver i omgivelser med menneske-maskin systemdrift, og hvordan adferdsmessige og ikke-adferdsmessige variabler påvirker den gjennomføringen” (norsk oversettelse av forfatter).

<sup>20</sup> <http://www.ptil.no/mto-human-factors/category97.html>

kreves for å imøtekomme oppgavekravene (Welford, 1978). Grunnlaget for de aller fleste definisjonene av begrepet ligger i antakelsen om at all mental prosessering krever en viss mengde ressurser. Jo mer utfordrende en oppgave er, desto mer prosesseringsressurser kreves det for å opprettholde en tilfredsstillende utførelse. Dersom oppgavekravene overskrider operatørens tilgjengelige prosesseringsressurser eller kapasitet, kan prestasjonen svekkes (Young & Stanton, 2001; Tsang, 2001). Det finnes noen formelle definisjoner av begrepet, deriblant Gopher og Donchin (1986) som definerer mental arbeidsbelastning som *”the difference between the capacities of the information processing system that are required for task performance to satisfy expectations and the capacity available at any given time”*<sup>21</sup> (s. 41-3). Denne definisjonen innbefatter at mental arbeidsbelastning erfart av én person kan være ulikt fra det som erfares hos en annen (Johnson & Proctor, 2004). Graden av mental arbeidsbelastning er avhengig av forholdet mellom oppgavekrav og kapasitet, hvilket kan variere fra individ til individ. Ikke så ulikt overnevnt definisjon definerer Young og Stanton (2001) mental arbeidsbelastning slik: *”The mental workload of a task represents the level of attentional resources required to meet both objective and subjective performance criteria, which may be mediated by task demands, external support, and past experience”* (s. 507). I denne definisjonen er det antatt at oppmerksomhetsressursene har en begrenset kapasitet, hvor ytterligere økning i krav vil medføre prestasjonsforvitring. Prestasjonskriteriet kan pålegges av ytre autoriteter, men også reflektere indre målsettinger hos individet (Young & Stanton, 2001). Oppgavekrav kan være tidspress og kompleksitet, mens støtte referer til assistanse fra kollega eller teknologiske hjelpemidler. I motsetning til de fleste definisjonene av mental arbeidsbelastning inkorporerer Young og Stantons definisjon erfaring som en faktor, hvilket anses å kunne påvirke mental arbeidsbelastning gjennom forandringer i evne eller kunnskap.

Mental arbeidsbelastning kan sies å være en multidimensjonell konstruksjon, som er bestemt av oppgavekarakteristikker (krav, prestasjon, forventninger), eller operatørkarakteristikker (evne, oppmerksomhet, erfaring) (Young & Stanton, 2005, 2001; Hancock & Caird, 1993; Meister, 1986). Arbeidsbelastningen er en ansamling av mange ulike krav, og er dermed vanskelig å definere entydig. Den kan heller ikke observeres direkte, men kun gjennom å trekke konklusjon på grunnlag av observasjon av åpenbar atferd, eller psykologiske og fysiologiske mål (Casali & Wierwille, 1984). Mental arbeidsbelastning kan dermed karakteriseres som en mental konstruksjon, hvilket oppstår som en konsekvens av å utføre en

---

<sup>21</sup> ”forskjellen mellom kapasitetene i informasjonsprosesseringssystemet som kreves for oppgaveutførelse for å tilfredsstille forventninger og kapasiteten tilgjengelig til enhver tid” (norsk oversettelse av forfatter).

oppgave under bestemte miljømessige og driftsmessige forhold, samvirkende med operatørens evner til å respondere de kravene.

Mental arbeidsbelastning er nært tilknyttet mange store menneskelig kognisjonsteorier, som blant annet automatisk versus kontrollert prosessering, og oppmerksomhetsressurskonstruksjoner (Kahneman, 1973; Wickens, 1980). Begrepet anses for å ha tett sammenheng med litteraturen som fokuserer på oppmerksomhet. For å definere mental arbeidsbelastning i form av ressurskrav og ressursbegrensninger i informasjonsprosesseringsystemet, kreves det en definisjon av hva disse ressursene er. Videre utgjør de en sentral rolle i forståelsen av mental arbeidsbelastning, og det anses derfor som nødvendig å redegjøre for begrepet nærmere.

**2.2.3 Hva er ressurser?** En stor utfordring for ressursteoriene, uavhengig av hvorvidt den omhandler en enkel eller multiple ressursreservoarer, er å definere hva ressurser er. Konsekvent med mental arbeidsbelastning finnes det heller ikke her en universell definisjon av begrepet, men flere av definisjonene som er gjort har sitt fundament fra mange av de samme forestillingene. Mange av de tidligere ressursteoriene dannet seg en forestilling om ressurser som en sammenslutning av energi eller drivstoff, som anvendes for å prosessere informasjon ved utførelse av oppgaver (Norman & Bobrow, 1975; Wickens, 1984). Et annet perspektiv er den økonomiske modellen som beskriver ressurser gjennom betegnelsen av tilførsel og krav (supply and demand) av oppmerksomhetsressurser (Tsang & Vidulich, 2006; Wickens & Hollands, 2000; Navon & Gopher, 1979). I følge dette perspektivet reduseres prestasjonen på en eller flere oppgaver når kravet om ressurser overskrider tilgjengelig tilførsel av ressurser.

I henhold til kognitiv teori anses ressurser som en del av den funksjonelle ”arkitekturen” i menneskets kognitive system (Matthews, et al., 2008). Ressurskonseptet er betegnet som prosesseringsanstrengelse (processing effort), ulike former av lagringskapasitet, og kommunikasjonskanaler (Norman & Bobrow, 1975). I følge Hirst og Kalmar (1987) er drivstoff (eller energi), strukturer og prosesser ressurser, ved at de kan være en del av det kognitive apparatet som er tilgjengelig når det er behov for dem. Videre er det blant annet hevdet at oppmerksomhet er en evne (skill), hvilket er involvert i å skille to meldinger fra hverandre (Hirst & Kalmar, 1987). På grunnlag av dette hevder Hirst og Kalmar (1987) at evne også bør anses som en del av ressursbegrepet. Strukturer refererer til ”arkitektoniske”

komponenter og aspekter ved det kognitive systemet. Dette impliserer blant annet at kortidsminne, prosesseringskanaler, sentrale prosesseringsenheter, så vel som langtidsminne og semantisk minne anses alle som ressurser (Hirst & Kalmar, 1987). Imidlertid er enkelte strukturer kapasitetsbegrenset (f.eks. korttidsminne), mens andre strukturer som blant annet langtidsminnen ikke har en slik begrensning.

En gjennomgang av litteraturen viser flere tilfeller hvor begrepene 'ressurs' og 'kapasitet' anvendes uten tydelig redegjørelse for hva begrepene egentlig refererer til. Dette med et unntak av Wickens (1984), i følge ham representerer kapasitet den maksimale eller øvre grensen av prosesseringsevnen. Dette impliserer at strukturer med begrenset kapasitet kan prosessere kun en begrenset mengde informasjon om gangen (som nevnt i innledningen). Derfor vil to samtidige oppgaver forstyrre hverandre, dersom de plasserer simultant krav på én kognitiv struktur, slik at de overskrider dets kapasitet eller yteevne (Hirst & Kalmar, 1987). Derimot refererer ressurser til tilførsel av mental anstrengelse (effort) for å forbedre prosesseringseffekten (Wickens, 1992), og bør ikke forveksles med kapasitet. Videre skiller han mellom ressurser som noe tilgjengelig for å anvende (en "vare"), kontra ressurser som tydelige informasjonsprosesseringsstrukturer.

Mye av litteraturen om mental arbeidsbelastning har betonet metaforene energi, drivstoff og tilførsel og krav om ressurser. I denne oppgaven er det valgt i høyere grad å inkludere kognitive strukturer i forståelsen av ressurser. Til tross for mangel på konsensus i forståelsen av ressursfenomenet, anses perspektivene å komplettere hverandre gjennom at begge har tilknytning til informasjonsprosesseringsystemet og prosessering av informasjon. Ressurser kan dermed forstås å være både de kognitive strukturene som prosesserer informasjon, og energien eller drivstoffet og anstrengelsen (effort) som behøves for at informasjonen skal prosesseres i en bestemt kognitiv komponent.

**2.2.4 Mental arbeidsbelastning og oppmerksomhet.** I litteraturen anses mental arbeidsbelastning for å være nært tilknyttet informasjonsprosessering og oppmerksomhet, ved at mental arbeidsbelastning betraktes for å være en funksjon av krav og tilførsel av oppmerksomhetsressurser (Tsang & Vidulich, 2006; Wickens & Hollands, 2000). Graden av mental arbeidsbelastning er avhengig av oppmerksomhetskrav som erfares under utførelse av kognitive oppgaver, og hvor mye oppmerksomhetsressurser som er tilgjengelig for informasjonsprosessering. Mange av teoriene om mental arbeidsbelastning er basert på

informasjonsprosesseringsmodeller, hvor mennesket betraktes å være sammenliknbar med en datamaskin. Blant de teoriene er ”kognitiv energetikk” hvilket hevder at oppmerksomhetsressurser er nødvendig for oppgaveutførelse, men tilførselen av disse ressursene er derimot begrenset (Tsang & Vidulich, 2006). I likhet med datamaskiner, som har kapasitetsbegrenset minne, har mennesket kapasitetsbegrensninger i informasjonsprosesseringsystem. Denne kapasitetsbegrensningen kan best forstås ut i fra et oppmerksomhet-ressursteoretisk perspektiv, hvor mental arbeidsbelastning i all hovedsak representerer andelen av ressurser som kreves for imøtekomme oppgavekravene (Welford, 1978). Dersom oppgavekravene overskrider kapasiteten, kan dette medføre at prestasjonen svekkes. Oppmerksomhet-ressursmodeller former et nyttig grunnlag for å forklare og beskrive mental arbeidsbelastning.

**2.2.5 Oppmerksomhetsmodeller og ressursteorier.** Blant de første formelle teoriene som definerte oppmerksomhet var ressursteorier, i tillegg til bottleneck-teoriene på 1950-tallet (Proctor & Read, 2001). Den velkjente og velomtalte oppmerksomhet-ressursteorien ”Unitary resource models” ble fremsatt som et alternativ til bottleneck og filterteoriene (Kahneman, 1973; Proctor & Read, 2001). Ressursteorien fremsatte en singel ressursperspektiv på oppmerksomhet, hvilket betraktet oppmerksomhet som én hel sammenslutning eller et reservoar av ressurser (Matthews, et al., 2008; Young & Stanton, 2002a). Denne sammenslutningen av ressurser er derimot begrenset, og prestasjonen er avhengig av graden av kapasitet eller ressurser som tilføres til oppgaven(e). Dette ressursreservoaret kan distribueres i ulike mengder til forskjellige oppgaver, avhengig av oppgavekrav og frivillige tildelingsstrategier (Proctor & Read, 2001). Videre anses ressursteorien for å ha vært drivkraften bak ”dual-task” metodelære og analyse av mental arbeidsbelastning, som ofte er blitt anvendt i disiplinen Human factors. I følge Kahnemans (1973) ”Unitary resource models” hevder denne at vanskeligheten ved å utføre to oppgaver simultant, bør være den viktigste prestasjonsavgjørende faktoren. Imidlertid viser ulike forskninger (Wickens, 1984; Kahneman, 1973) at to oppgaver er enklere å utføre samtidig dersom stimuli eller respons modalitetene er forskjellige enn om de ikke er det. Dette innebærer at prestasjonen er antatt å være bedre dersom én av oppgavene krever for eksempel, verbale koder, mens den andre oppgaven krever visuell-spatial koder, enn om begge oppgavene krever samme type koder. Disse spesifikke modalitetsmønstrene for forstyrrelse (interference) danner dermed grunnlaget



for Wickens (1984) ”Multippel ressurssteori” (Multiple resource theory of attention), hvilket er en velreferert modell i Human factors (Proctor & Read, 2001).

Perspektivet på hvorvidt det finnes ett enkeltstående ressursreservoar, eller flere distinkte ressursreservoarer for ulike sensorisk-motor modaliteter, og kodingsdomener er fortsatt under debatt. Til tross for at det fortsatt mangler konsensus i denne debatten, viser derimot nyere forskninger å ha anvendt Wickens multiple ressurstilnærming for å forstå blant annet mental arbeidsbelastning og årvåkenhetsprestasjon (Warm, et al., 2008). På bakgrunn av dette er det i denne sammenhengen også valgt å ta utgangspunkt i blant annet Wickens multiple ressurssteori.

***Multippel ressurssteori (MRT).*** I motsetning til tidligere ressurssteorier fremholder Wickens MRT at det finnes forskjellige sammenslutninger eller reservoarer av oppmerksomhetsressurser som kan tappes samtidig (Proctor & Read, 2001; Young & Stanton, 2002a; Wickens, 2008). Multiple ressurser er mentale instanser som tillater prosessering av informasjon i mer enn én kanal samtidig (Boles, 2001). Multippel ressurssteori fremsetter hypotesen om at menneskets oppmerksomhetskapasitet bør oppfattes som en multippel ressursreservoar, hvor ”dual-task” forstyrrelse er størst når oppgavene konkurrerer om de samme prosesseringsressursene, og minst når de tar fra ulike ressursreservoarer (Matthews, et al., 2008; Wickens, 2005). Teorien predikerer dermed graden av forstyrrelse mellom to samtidige (time-shared) oppgaver, hvilket innebærer tap av prestasjon i én eller begge oppgavene som utføres samtidig (Wickens, 2005, 2002; Matthews, et al., 2008). Forholdet mellom mengden av delte ressurser og det kombinerte kravet for ressurser er bestemmende for den totale forstyrrelsen mellom oppgavene (Wickens, 2005).

Multippel ressursmodell er bestående av tre komponenter, hvilket er relatert til krav, ressursoverlapp og tildelingsprinsippet (allocation policy) (Wickens, 2008). Mental arbeidsbelastning, som er et beslektet konsept, er mest tilknyttet krav-komponentet hvilket er betegnet av krav pålagt av oppgaver på menneskets begrensede mentale ressurser, uavhengig av om det er betraktet som singel eller multippel (Moray, 1979). Modellen inkorporerer tre ortogonale dimensjoner; 1) prosesseringsstadium (koding/sentral prosessering og responsstadium), 2) modalitet (visuell og auditiv på enden av kodingen av prosesseringen, og manuell og vokal på respons enden), og 3) prosessere kode (verbal og spatial) (Boles, 2001). I følge Wickens (2005) har hver og en av cellene i modellen tilegnet ressurser, hvilket tillater forholdsmessige prediksjoner av forstyrrelser mellom oppgavepar ved å undersøke

overlappende karakteristikker. For eksempel, det var predikert lite forstyrrelse dersom to oppgaver benyttet fullstendig ulike celler, ved at den ene oppgaven krever visuell, spatial og manuell prosessering mens den andre oppgaven krever auditiv, verbal og vokalprosessering (Wickens & Hollands, 2000; Boles, 2001; Wickens, 1980, 1992). Støtte for modellen er funnet i eksperimentelle testresultater av ”dual-task” forstyrrelse, hvilket viser at forstyrrelsen økte når overlapping av ressursene steg (Boles, 2001).

**2.2.6 Automatikk og mental arbeidsbelastning.** Historisk sett har den teknologiske revolusjonen ført gradvis til at mange av operatørens handlinger har blitt avløst av mengder av datamaskiner og mikroprosessorer. I stedet for at operatørene aktivt kontrollerer systemet, har operatøren i et automatisert system blitt passiv overvåker (Young & Stanton, 2002a; Donald, 2001; Cox & Cox, 1996; Sandén, 1990). Tilsynelatende burde dette innebære enklere oppgaver for operatørene, som videre vil fasilitere forbedring av oppgaveutførelse. Dette har derimot ikke vært tilfellet. Paradoksalt har automatiserte systemer vist både å redusere og øke mental arbeidsbelastning. Blant annet kan det samme systemet øke arbeidsbelastningen ved at systemet presenterer store mengder informasjon samtidig for operatøren, hvilket også kan være motstridende og som kan føre til forvirring (Hilburn, 1997). Under forhold av normal eller stabil drift, kan høyt automatiserte systemer medføre mental underbelastning, men også mental overbelastning under mer kritiske situasjoner som alarmras og tripp (Parasuraman, Mouloua, Molloy & Hilburn, 1996). Denne omfordelingen av arbeidsbelastningen er ofte blitt betegnet som ”clumsy automation” (Wiener, 1989; Kantowitz & Campbell, 1996; Woods, 1996), hvor fenomenet øker mulighetene for operatørsvikt fremfor å redusere den. Moray (1988) påpeker blant annet at det vil være mer hensiktsmessig å optimalisere den mentale arbeidsbelastningsfordelingen, fremfor å øke automatikken i systemet, for så å redusere menneskelig svikt, forbedre systemsikkerheten og øke forbrukertilfredsheten.

Komplekse industrielle omgivelser innebærer tett interaksjon mellom operatør og automatikk. I tillegg til at automatikksystemet kan fremkalle både over- og underbelastning, kan aspekter ved det automatiserte systemet også påvirke operatørens atferd relatert til alarmhåndtering. Aspekter som falske alarmer og uteblitte alarmer kan under ulike nivå av mental arbeidsbelastning medføre forskjellige konsekvenser for operatørens alarmhåndtering (fig. 3). Ved lav arbeidsbelastning kan operatørprestasjon bli påvirket svært negativt av uteblitte alarmer (missed alarms), ettersom operatørens nivå av årvåkenhet er lavere og dermed øker

sannsynligheten for å overse problemer, som de burde ha respondert på (Endsley, et al., 2003). Under normale forhold med moderate nivåer av arbeidsbelastning kan forekomsten av falske alarmer være et problem. Disse alarmene betegnes som brysomme eller irriterende og kan føre til økt arbeidsbelastning for operatøren som er nødt til å respondere. Imidlertid hender det ofte at under slike forhold at operatøren fører alarmen til stillhet eller tilsidesetter dem (Endsley, et al., 2003). Ved overbelastende situasjoner kan operatøren skifte handlingsstrategi, ved å blant annet stole mer på automatikken og dermed kun betjene problemene som er varslet om av systemet (Endsley, et al., 2003). Problemet hevdes derimot for å være uteblitte alarmer (missed alarms) som kan medføre alvorlige prestasjonssvikt, ettersom sannsynligheten for at operatøren vil fange opp problemene på egenhånd med en slik strategi anses for å være liten (Endsley, et al., 2003).

Tabell 3.

*Innvirkning av uteblitte alarmer (missed alarms) og falske alarmer på prestasjonen under forskjellige arbeidsbelastningsnivåer.*

The diagram consists of a horizontal arrow at the top labeled 'Arbeidsbelastning' (Workload) pointing to the right. Below the arrow is a table with three columns: 'Underbelastning' (Underload), 'Normal', and 'Overbelastning' (Overload). To the left of the table is a vertical box labeled 'Prestasjon' (Performance). The table has two rows: 'Uteblitte alarmer' (Missed alarms) and 'Falske alarmer' (False alarms).

		Arbeidsbelastning		
		Underbelastning	Normal	Overbelastning
Prestasjon	Uteblitte alarmer	Veldig farlig	Ikke så farlig	Veldig farlig
	Falske alarmer	Kan øke årvåkenhet og prestasjon	Kan øke "plagsomme alarmer" og arbeidsbelastning	Ikke så farlig

*Note.* Fritt avbildet og oversatt av forfatter fra engelsk i original "Alarms, Diagnosis, and SA", av Endsley, M.R., Bolté, B. & Jones, D.G., 2003, *Designing for situation awareness: an approach to user-centered design*. Copyright 2003 av Endsley, M.R., Bolté, B. & Jones, D.G.

Økt automatikksvikt forårsaket av automatikkfeil medfører at operatørens opplevde trygghet (reliance) til automatikken reduseres. Som en konsekvens av redusert systempålitelighet

skaper disse hendelsene farlige situasjoner, da operatøren er nødt til å tilføre mer oppmerksomhet til å overvåke rådataene som ligger bak automatikken, for å kunne fange opp mulige automatikksvikt (Dixon, Wickens & McCarley, 2007). Dette impliserer at mer oppmerksomhetsressurser kreves, hvilket må deles mellom andre samtidige oppgaver og kan dermed forårsake nedgang i oppgaveutførelsen.

Mental overbelastning forekommer når oppgavekravene overskrider operatørens begrensede oppmerksomhetskapasitet. Videre kan situasjonen forverres dersom operatøren opplever (ytterligere) stress, ettersom stress i seg selv er ressurskrevende og kan dermed forårsake kognitiv forstyrrelse (Matthews & Desmond, 1995). Et eksempel på en overbelastende situasjon er når systemet avviker fra normaldrift (f.eks. tripp), som ofte preges av at flere alarmer utløses samtidig. Ved store hendelser i et kjernekraftverk kan det være mellom 50 til 300 alarmer per minutt som varsler samtidig (Stanton, Harrison, Tylor-Burge & Porter, 2000). Effekten av mental overbelastning anses å redusere operatørens ytelse, spesielt i oppgaver hvor det kreves valg og iverksettelse av handlinger (Kantowitz & Sorkin, 1983). I perioder når signalene er sjeldne eller kun forekommer periodevis, kan dette medføre mentalt underbelastning hos operatøren. Underbelastning er ofte assosiert med passivitet og monotont arbeid (Young & Stanton, 2002a, b; Donald, 2001; Cox & Cox, 1996; Kantowitz & Sorkin, 1983; Sandén, 1990), hvilket kan over en forlenget tidsperiode fremkalle kjedsomhet og øke vanskeligheten med å opprettholde oppmerksomheten, som en konsekvens av mangel på stimuli (Donald, 2001). Konsekvensene av mental underbelastning er ofte ikke blitt gitt den overveielser den fortjener, til tross for at det er ansett for å være like alvorlig som mental overbelastning (Hancock & Parasuraman, 1992). Riktignok anses underbelastning for å være av større viktighet da den er vanskeligere å oppdage enn overbelastning (Desmond & Hoyes, 1996). I ulike studier viser resultatene en sammenheng mellom feilhandlinger og mental arbeidsbelastning, og er tilknyttet en U-formet funksjon (Desmond & Hoyes, 1996).

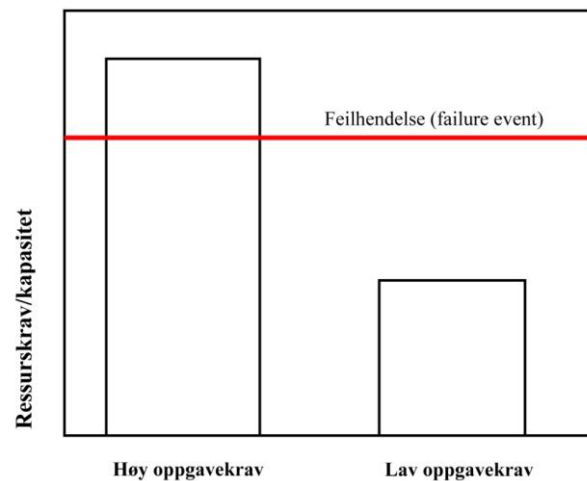
**2.2.7 Mental arbeidsbelastning og prestasjon.** Til tross for at implementeringen av automatikk hadde som hensikt å redusere arbeidsbelastning og dermed forbedre operatørprestasjonen, viser studier at overdrevne lave mentale krav er svekkende på prestasjonen. I stedet for å være en konsekvens av "out of the loop performance" hevder enkelte at mental underbelastning i seg selv er årsaken til prestasjonsdegresjon (Hancock & Caird, 1993). Ytterlighetene i mental arbeidsbelastning kan skape situasjoner med overbelastning og underbelastning (Young & Stanton, 2002a, b; Wilson & Rajan, 1995),

hvilket kan fremkalle stress hos operatøren. Dette skjer ved at ytterlighetene kan skape psykologisk belastning, forårsaket av en feiltilpasning mellom oppgavekrav og operatørens evne (Byrne & Parasuraman, 1996; Young & Stanton, 2002a). Mental under- og overbelastning befinner seg i hver sin ende av spektret, mens det optimale nivået for mental arbeidsbelastning og prestasjon befinner seg på et mellomnivå av under- og overbelastning. Både høy og lav mental arbeidsbelastning kan dermed påvirke prestasjonen negativt.

Fra et ressursteoretisk perspektiv er det en felles antakelse om prestasjon, at dersom oppgavekravene overskrider individets ressurskapasitet vil prestasjonen svekkes (Young & Stanton, 2002a, b). Dette impliserer at jo vanskeligere en oppgave er, desto mer prosesseringsressurser kreves det for å opprettholde en tilfredsstillende prestasjon (prestasjon på et bestemt nivå). Dersom oppgavekravene overskrider operatørens tilgjengelige prosesseringsressurser eller kapasitet, kan prestasjonen svekkes.

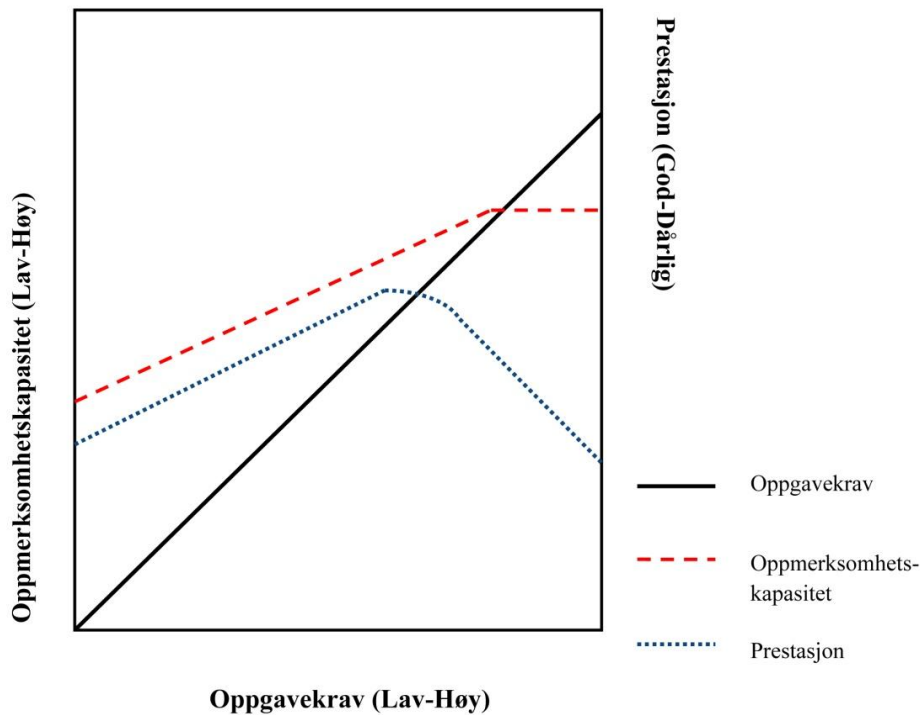
I likhet med den inverterte U-forholdet mellom aktivering og prestasjon, hevdes det at liknende forhold eksisterer mellom mental arbeidsbelastning og prestasjon. Til tross for mangelen på litteratur om mental underbelastning forsøker Young og Stanton's (2002a, b) "Malleable attentional resource theory" å gi en mulig forklaring på hvorfor og hvordan underbelastning kan svekke prestasjonen.

***"Malleable attentional resource theory" (MART).*** I motsetning til tidligere teorier innen oppmerksomhet-ressursteorier, hvilke hevder at individet innehar en fast (fixed) oppmerksomhetskapasitet (Navon & Gopher, 1979; Wickens, 1984), fremholder Young og Stantons "Malleable attentional resources theory" at oppmerksomhetskapasiteten er variabel, dog relativt kortsiktig, og avhengig av forholdene oppgavene skal utføres under (Young & Stanton, 2002a). Modellen fremsetter at størrelsen på ressursreservoarene varierer positivt med mental arbeidsbelastning opptil en endelig grense, hvilket impliserer at overdreven reduksjon i den mentale arbeidsbelastningen også resulterer i minskning av individets kognitive kapasitet. Med andre ord hevder teorien at mental arbeidsbelastning og oppmerksomhetskapasitet er direkte relatert (Young & Stanton, 2002b). I henhold til Young og Stantons (2002a) måling av ressurskapasitet viser resultatene en direkte korrelasjon mellom oppmerksomhetskapasitet og mental arbeidsbelastning, gjennom sammenligning av øyebevegelser til responser på en tilleggsoppgave.



Figur 3. Relasjonen mellom oppgavekrav og prestasjon under "Malleable attentional resource modell". Fritt avbildet og oversatt av forfatter fra engelsk i original "Attention and automation: new perspective on mental underload and performance", av Young, M.S. & Stanton, N.A., 2002, *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, vol. 3, 2, 178-194. Copyright 2002 av Taylor & Francis Ltd.

MART tar utgangspunkt i tidligere oppmerksomhet-ressursteorier, og er hittil den eneste modellen som gir en mulig forklaring på hvorfor mental underbelastning kan føre til nedsatt oppmerksomhet og prestasjon. Essensen i MART ligger i hypotesen om at mental underbelastning kan føre til degradert oppmerksomhet og prestasjon, forårsaket av forminskning i oppmerksomhetsressursene, for å tilpasse enhver reduksjon i oppgavekrav (Young & Stanton, 2002a). I situasjoner som vesentlig reduserer mental arbeidsbelastning er det også behov for mindre ressurser (lave krav for ressurser), hvilket igjen, ifølge MART, hevder at størrelsen til det aktuelle ressursreservoaret vil midlertidig forminskes, så å si det ikke er behov for maksimum kapasitet (Young & Stanton, 2002a). Dette kan resultere i svakere prestasjon ved enhver tilleggsoppgave, eller problemer dersom operatøren plutselig møtes med økende krav (fig. 3), som til eksempel ved alarmras i et kontrollrom.



Figur 4. Billedlig fremstilling av prestasjonsforskjeller under ”Malleable attentional resource” hypotese. Fritt avbildet og oversatt av forfatter fra engelsk i original ”Attention and automation: new perspective on mental underload and performance”, av Young, M.S. & Stanton, N.A., 2002, *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, vol. 3, 2, 178-194. Copyright 2002 av Taylor & Francis Ltd.

Ideen om at nivået av oppgavekrav kan påvirke den kognitive prosesseringen er blitt hevdet i tidligere forskninger. ”Par-hypotesen” hevder at mennesker overvåker egen prestasjon og modifierer den som et resultat av hva de observerer. Dette innebærer at idet kravene varierer, øker eller minsker operatøren mengde anstrengelse investert i en oppgave for å opprettholde prestasjonen på et bestemt nivå (Lehto & Buck, 2008). Andre forskninger viser derimot at svekket prestasjon ved lave nivåer av oppgavekrav kan attribueres til svikt i mobilisering av passende anstrengelse for å utføre oppgaven (Hoyes & Desmond, 1996).

I likhet med Yerkes-Dodson lovens omvendte U-kurve foreslår MART-perspektivet at mental arbeidsbelastning kan ha samme innflytelse på prestasjonen, ved å påvirke oppmerksomhetskapasiteten, men at mental arbeidsbelastning ikke nødvendigvis korrelerer med aktivering direkte (Young & Stanton, 2002a, b). I situasjoner med lave nivåer av krav, reduseres oppmerksomhetskapasiteten, og begrenser kunstig den øvre grensen for prestasjon (Young & Stanton, 2002a, b). Dette impliserer at dersom kravene overskrider operatørens maksimale kapasitet, kan prestasjonen svekkes (fig.4). Derimot vises det at i situasjoner med

middels nivåer av krav er ressurstilgjengeligheten på det optimale, hvilket indikerer optimalisert prestasjon.

MART predikerer at gradvis økning i krav kan fasilitere prestasjon, og hevder at operatører som har jobbet under høye krav, og dermed fått økt oppmerksomhetskapasiteten, vil kunne håndtere nødssituasjoner bedre enn underbelastede operatører (Young & Stanton, 2002a, b). Dersom ressursene har minsket i respons til redusert oppgavekrav, vil en uventet økning i krav ikke tåles, selv om kravene er innenfor normal kapasitet.

**2.2.8 Årvåkenhet.** Begrepet årvåkenhet refererer til “*a capacity for sustained effective attention when monitoring a situation or display for critical signals, conditions or events to which the observer must respond*”<sup>22</sup> (Grier, Warm, Dember, Matthews, Galinsky, Szalma & Parasuraman, 2003, s. 349). I tillegg innlemmes også evnen til å identifisere, gjenkjenne og tolke informasjonen som blir overvåket, i årvåkenhetsperspektivet (Donald, 2001). Under årvåkenhetsoppgaver som prosessovervåking, kreves det at operatøren detekterer signaler over en lengre tidsperiode (et skift), hvor frekvensen av signalene kan være uforutsigbare, periodevis og sjeldne. Det finnes to generelle konklusjoner som har oppstått i ulike analyser av operatørers prestasjon i en årvåkenhetssituasjon. Den første er årvåkenhetsnivået, også kalt stabil tilstand av årvåkenhetsprestasjon, viser analysene at operatører oftere viser lavere nivå av årvåkenhet enn ønskelig (Wickens & Hollands, 2000). Det andre er at årvåkenhetsnivået i noen tilfeller reduseres voldsomt i løpet av den første halvtimen av skiftet (Helton, et al., 2000; Teichner, 1974; Rose, et al., 2002; Temple, et al., 2000).

I henhold til Mackwoths ”clock test”<sup>23</sup> viser studiene at effektiviteten i vedvarende oppmerksomhet er sårbar, og avtar raskt over tid. Studiene viser at innledende målingsnivå av signaldeteksjon var høyt, hvor signaler ble oppdaget 85 % av tiden. Imidlertid reduserte effektiviteten i deteksjonsprestasjonen med 10 % etter kun 30 minutter etter at eksperimentet hadde startet, og fortsatte å synke gradvis resten av sesjonen (Warm & Hancock, 1996). Studiene viser dermed at nedsatt årvåkenhet påvirker effektiviteten til å oppdage kritiske

---

<sup>22</sup> ”en kapasitet for vedvarende effektiv oppmerksomhet under overvåking av en situasjon eller skjermvisning av kritiske signaler, forhold eller hendelser som observatøren må respondere på” (norsk oversettelse av forfatter).

<sup>23</sup> Eksperimentell forskning av årvåkenhet over lengre tidsperiode, og effekten av dette på operatørens signaldeteksjon ved bruk av simulert radar display.



signaler. Konsekvensene av dette kan derfor være svært alvorlige dersom operatøren overser kritiske signaler og/eller ikke klarer å fange opp signalene i tide.

**Årvåkenhet og mental arbeidsbelastning.** Tradisjonelt sett er årvåkenhetsoppgaver blitt karakterisert som langtekkelig og understimulerende ved at det stilles for små informasjonsprosesseringskrav på operatøren. Dette perspektivet har vært grunnlaget for den tradisjonelle forklaringsteorien på årvåkenhetsdegresjon som aktiveringsteori (Heilman, 1995; Kinomura, Larsson, Gulyás & Roland, 1996; Grier, et al., 2003). Videre viser studier at vedvarende passivitet eller høyt repeterende oppgaver med lav mental arbeidsbelastning, kan resultere i kjedsomhet, stress og operatørsvikt (Cox & Cox, 1996; Williams, 1982; Seminara, Gonzalez & Parsons, 1977).

I følge Donald (2001) kan mental underbelastning produsere mangel på stimuli og kjedsomhet, som videre kan resultere i feilplassering av oppmerksomhet og nedsatt årvåkenhet. Dette kan ha betydelige konsekvenser for operatørens prestasjon (alarmhåndtering). Videre rapporterer andre studier om betydelige prosesseringsbelastning under årvåkenhetsoppgaver, hvilket indikerer at årvåkenhetsoppgaver ikke er kun kjedelige, men at de også er mentalt krevende (Warm & Dember, 1998; Warm, et al., 2008; Grier, et al., 2003). Andre studier på årvåkenhet viser at årvåkenhetsoppgaver er svært ressurskrevende og er assosiert med høy mental arbeidsbelastning og stress (Warm, Dember & Hancock, 1996).

Flere studier som har anvendt selvrapporeringsmål viser at overvåkere vurderte seg selv betydelig mindre oppmerksom, og mer søvning, uinteressert, anstrengt, frustrert og utmattet etter overvåkning enn før dets start (Warm, et al., 2008). Forskninger viser at årvåkenhetsoppgaver krever konstant mentalt arbeid for å opprettholde oppmerksomhetsfokus, hvilket over tid kan medføre reduksjon av ressurser (Warm, et al., 2008). En potensiell årsak til dette anses å ligge i økende mental arbeidsbelastning, gjennom stigende oppgavekrav under utførelse av årvåkenhetsoppgaver. Studier som har anvendt subjektive målinger av mental arbeidsbelastning, som til eksempel "NASA Task Load Index"<sup>24</sup>, viser at nedsatt årvåkenhetsprestasjon over tid er assosiert med økning i generell

---

<sup>24</sup> NASA-TLX er et subjektivt måleinstrument som vurderer den mentale arbeidsbelastningen hos operatører som jobber med ulike menneske-maskin systemer. Måleinstrumentet er en multidimensjonell vurderingsmetode, som utleder en generell arbeidsbelastningsverdi eller skåre basert på vektet gjennomsnitt fra 6 underskalaer. Disse underskalaene har som hensikt å måle mentale krav (mental demands), fysiske krav (physical demands), tidsmessige krav (temporal demands), egen prestasjon (own performance), og innsats og frustrasjon (effort and frustration) (Hart, S.G. & Staveland, L.E., 1988).

arbeidsbelastning, gjennom økt mentale og tidsmessige oppgavekrav (Warm, Dember & Hancock, 1996; Stollery, 2006).

Videre viser studiene at generell arbeidsbelastning er nært tilknyttet psykofysiologiske krav ved årvåkenhetsoppgaver. Det er observert økninger som at kritiske signaler blir mindre fremtredende, økning i spatial usikkerhet ved signallokalisering og økning i hendelsesrate (Warm, et al., 2008). Dette indikerer at arbeidsbelastningen øker under utførelse av årvåkenhetsoppgaver, uavhengig av oppgavens kompleksitet, som videre kan forårsake utfordringer relatert til operatørens årvåkenhetsnivå og prestasjon. Tidligere studier av hendelsesrater<sup>25</sup> viser at den generelle signaldeteksjonsraten synker når hendelsesraten øker (Nachreiner, Obliers & Rutenfranz, 1976 som nevnt i Nachreiner & Hänecke, 1992). Videre er det funnet at økende hendelsesrate medfører bråere årvåkenhetsdegresjon, hvilket er blitt observert hos overbelastede operatører (Davies & Parasuraman, 1982). Dette indikerer at økt arbeidsbelastning under årvåkenhetsoppgaver kan medføre bråere nedsatt årvåkenhetsprestasjon.

I studie av effektene av operatørers årvåkenhet og kontrollovervåkningsprestasjon i menneske-maskin interaksjon, indikerer resultatene fra forskningen at forlengede perioder med lav arbeidsbelastning kan indusere kortvarige tilstander av lav våkenhet. Dette kan dermed svekke operatørens evne til å håndtere tilfredsstillende selv veltrente oppgaver (Murray, 1997). Samtidig viser andre studier at operatørens våkenhetsnivå før oppgaveutførelse kan påvirke oppgaveprestasjonen (Murray & Caldwell, 1999). Studien viser at operatørens våkenhetstilstand før oppgaveutførelse kan over tid overføres, gjennom påfølgende oppgave og påvirke prestasjonen under utførelsen (Murray & Caldwell, 1999). Forskningen viser dermed at forlenget oppmerksomhets snevering, som er antydning å være en konsekvens av reduksjon av kognitive ressurser, kan oppstå som en funksjon av nedsatt våkenhetsnivå før oppgaveutførelse (Murray & Caldwell, 1999). Fra et ressursteoretisk perspektiv reflekterer årvåkenhetsdegresjon reduksjon av informasjonsprosesseringsressurser, som ikke kan etterfylles innen tilgjengelig tid mens overvåkningsarbeidet pågår (Warm, et al., 2008; Szalma, Warm, Matthews, Dember, Weiler, Meier & Eggemeier, 2004).

---

<sup>25</sup> Summen av kritiske og ikke-kritiske signaler (Nachreiner & Hänecke, 1992).

**Ressursteori.** Fra et ressursteoretisk perspektiv forklares årvåkenhetsdegresjon som en konsekvens av vedvarende oppmerksomhetsfokus, hvilket anses for å være ressursskrevende og anstrengende. Dette kan videre redusere oppmerksomhetsressursene (Helton & Warm, 2008; MacLean, Aichele, Bridwell, Mangun, Wojciulik & Saron, 2009; Matthews, et al., 2008), hvilket vil få konsekvenser for operatørens nivå av årvåkenhet og oppgaveutførelse. I følge forskning fra et ressursteoretisk perspektiv av årvåkenhetsprestasjon, viser studien en nedgang i subjektiv våkenhet, spesielt under omstendigheter med høye oppgavekrav (Smit, Eling & Coenen, 2004a). Resultatet viser seg å være i tråd med ressursperspektivet, hvor mentalt krevende oppgaver trenger mer tilførsel av ressurser. Vedvarende prosessovervåkning kan dermed redusere operatørens kognitive ressurser, som videre kan forårsake reduksjon i årvåkenhet når ressurskravet overskrider tilførselen av tilgjengelige ressurser.

Ressursteorienenes forestilling om ressursbegrensning er i stor utstrekning anvendt til å forklare ulike funn i årvåkenhetsoppgaver. Ettersom den ressursteoretiske tilnærmingen allerede er presentert i en tidligere seksjon, vil teksten nedenfor gå over til en alternativ forklaringsteori på årvåkenhetsdegresjon, hvilket er å finne i den mer tradisjonelle tilnærmingen om aktivering.

**Aktiveringsteori.** Tilnærmingen hevder at forlenget oppgaveutførelse fører til nedsatt aktivering i sentralnervesystemet, hvilket videre kan resultere i nivåsenking i utførelsen (Matthews, et al., 2008; Frankmann & Adams, 1962). Årvåkenhetsdegresjon forstås å være forårsaket av nedgang i aktivering, som følge av den understimulerende naturen ved årvåkenhetsoppgaver, hvilket er tilfellet i mange kontrollromssituasjoner. I følge denne forestillingen demper de gjentakende, og monotone aspektene ved årvåkenhetsoppgaver aktiviteten i hjernesystemene, og dermed forårsaker redusert våkenhet og signaldeteksjon (Heilman, 1995; Frankmann & Adams, 1962). Dette illustrerer paradokset i automatikken. Til tross for at intensjonen bak økt automatikk er å redusere operatørens mentale arbeidsbelastning, kan den samtidig plassere dem i en ufordelaktig funksjon ved understimulering. I følge Macworth (1948) forårsaker ensformig presentasjon av stimuli tilvenning (habituation), som videre har vist å føre til nedsatt aktivering og prestasjonsdegresjon. Videre hevder aktiveringsteorien at økt kompleksitet i stimulussituasjonen medfører mindre reduksjon i prestasjon (Smit, Eling & Coenen, 2004a).

Forestillingen om årvåkenhetsdegresjon som en konsekvens av reduksjon i generell våkenhet over tid anses å være plausibel, gjennom ulike forskningsfunn som viser psykofysiologiske

tegn på nedsatt aktivering under utførelse av årvåkenhetsoppgaver (Davies & Parasuraman, 1982; Parasuraman, Warm & See, 1998). Andre funn som er rapportert er følelse av kjedsomhet (Patty, Neyt, Henderickx & Soetens, 2008), utmattelse (Galinsky, Rosa, Warm & Dember, 1993) og økt rastløshet. Årvåkenhet utgjør en viktig rolle i operatørens situasjonsbevissthet, hvor blant annet høy grad av våkenhet er avgjørende for oppnåelsen av høyere nivåer av SB.

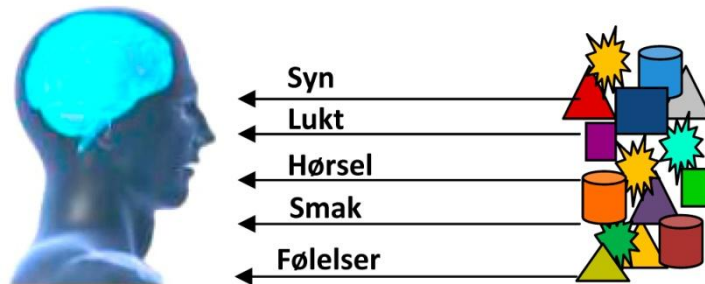
**2.2.9 Situasjonsbevissthet.** I likhet med andre psykologiske konsepter er situasjonsbevissthet (SB) vanskelig å definere konkret. Mange definisjoner av begrepet er utviklet, hvor enkelte har svært tett tilknytning til luftfartsfeltet mens andre er mer generelle. Ut ifra litteraturen om SB tyder mye på at Endsleys (1988) definisjon er vel akseptert, og er derfor valgt å anvende den i denne oppgaven. Videre gir definisjonen en mer generell beskrivelse av begrepet, og anses dermed for å være mer anvendbar på tvers av ulike domener. SB er *“the perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning, and the projection of their status in the near future”*<sup>26</sup> (Endsley, 1988, s. 97). Fundamentalt er SB et kognitivt konsept, hvor det kritiske problemet anses å ligge i operatørens nøyaktighet av pågående forståelse av situasjonen (Wickens, 2001). Dette kan forstås bedre gjennom Endsleys situasjonsbevissthetsmodell (fig. 8).

I Endsleys (1995) modell av SB forstås konseptet for å være bestående av tre nivåer; 1) persepsjon av elementer i omgivelsene, 2) forståelse av gjeldende situasjon, og 3) projeksjon av fremtidig status. Disse tre nivåene beskriver SB i dynamiske omgivelser. Det første steget for å oppnå SB er å persipere elementene i omgivelsen i henhold til relevant informasjon for en bestemt oppgave, for eksempel å håndtere alarmer som utløses i et kontrollrom. Persepsjon av informasjon kan forekomme gjennom visuell, auditiv, taktil, smak eller luktesans eller kombinasjoner (fig. 5). Verbal og ikke-verbal kommunikasjon med andre danner en ytterligere informasjonskilde, hvilket også bidrar til nivå 1 SB (Endsley, Bolté & Jones, 2003). Hver og en av informasjonskildene er forbundet med forskjellige reliabilitetsnivåer. Informasjonens reliabilitet, og tiltro til informasjonen som mottas, utgjør kritisk del av det første nivået av SB. Videre kan det i svært komplekse systemer, slik som i prosessindustrien,

---

<sup>26</sup> ”persepsjonen av elementene i omgivelsen innenfor et volum av tid og rom, forståelsen av deres betydning, og projeksjonen av deres status i nær fremtid” (norsk oversettelse av forfatter).

oppstå konkurrerende informasjon, hvilket medfører en utfordring ved persepsjon av nødvendig informasjon (Endsley, et al., 2003).



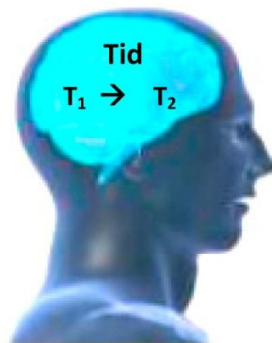
Figur 5. Nivå 1 i situasjonsbevissthet. Persepsjon av nødvendig data. Avbildet fritt fra "What is Situation Awareness?", av Endsley, M.R., Bolté, B. & Jones, D.G. (2003). *Designing for situation awareness: an approach to user-centered design*, s. 13-30. Copyright 2003 av Endsley, M.R., Bolté, B. & Jones, D.G.

Neste nivå i SB innebærer å oppfatte meningen bak signalene (cues) og dataene som operatøren mottar (fig. 6). Når alarmer utløses i et kontrollrom må operatøren forstå hva de ulike alarmene og signalene som fremkommer indikerer før vedkommende kan håndtere dem. Forståelse av situasjonen baseres på en syntese av usammenhengende elementer fra nivå 1, og basert på kunnskap fra elementene som ble persipert former disse et holistisk bilde av omgivelsen (Endsely, 1995). Dette innebærer integrering av biter av data (elementer) for å skape informasjon, som videre gir operatøren en forståelse av hendelsene og formålet. Skillet mellom eksperter og noviser på nivå én SB anses for å være svært liten, men noviser kan komme til kort i nivå to i SB når det gjelder å integrere ulike dataelementer, for å danne en forståelse av situasjonen (Endsley, 1995; Endsley, et al., 2003).



Figur 6. Nivå 2 i situasjonsbevissthet. Forståelse av informasjon. Avbildet fritt fra "What is Situation Awareness?", av Endsley, M.R., Bolté, B. & Jones, D.G. (2003). *Designing for situation awareness: an approach to user-centered design*, s. 13-30. Copyright 2003 av Endsley, M.R., Bolté, B. & Jones, D.G.

Det tredje og høyeste nivået av SB handler om å projisere eller forutse (projection) fremtidig status, som for eksempel å forutse at en handling vil med tiden føre til en bestemt konsekvens eller reaksjon (fig. 7). Det er derimot kun snakk om kortvarig prediksjon av fremtidig hendelser. Evnen til å projisere fremtidige handlinger oppnås gjennom kunnskap om status og dynamikken av elementene, samt forståelse av situasjonen (Endsley, 1995). Manglende evne til å projisere nøyaktig fra nivå to i SB kan være forårsaket av mangelfulle mentale ressurser eller utilstrekkelig kunnskap om domenet (Endsley, et al., 2003).



Figur 7. Nivå 3 i situasjonsbevissthet. Prosjeksjon av fremtidig status. Avbildet fritt fra "What is Situation Awareness?", av Endsley, M.R., Bolté, B. & Jones, D.G. (2003). *Designing for situation awareness: an approach to user-centered design*, s. 13-30. Copyright 2003 av Endsley, M.R., Bolté, B. & Jones, D.G.

Basert på Endsleys (1995) situasjonsbevissthetsmodell (fig. 8) kan SB forstås som et produkt av en kognitiv prosess. Det anses her nødvendig å gi en nærmere beskrivelse av de kognitive mekanismene som er involvert i utviklingen av SB, samt utfordringene og begrensningene på den prosessen for å få en bedre forståelse av fenomenet. Mange av de kognitive mekanismene

som er nødvendige for utviklingen av SB, som blant annet oppmerksomhet, persepsjon, kortids- og langtidsminne og arbeidsminne vil nå bli undersøkt nærmere.

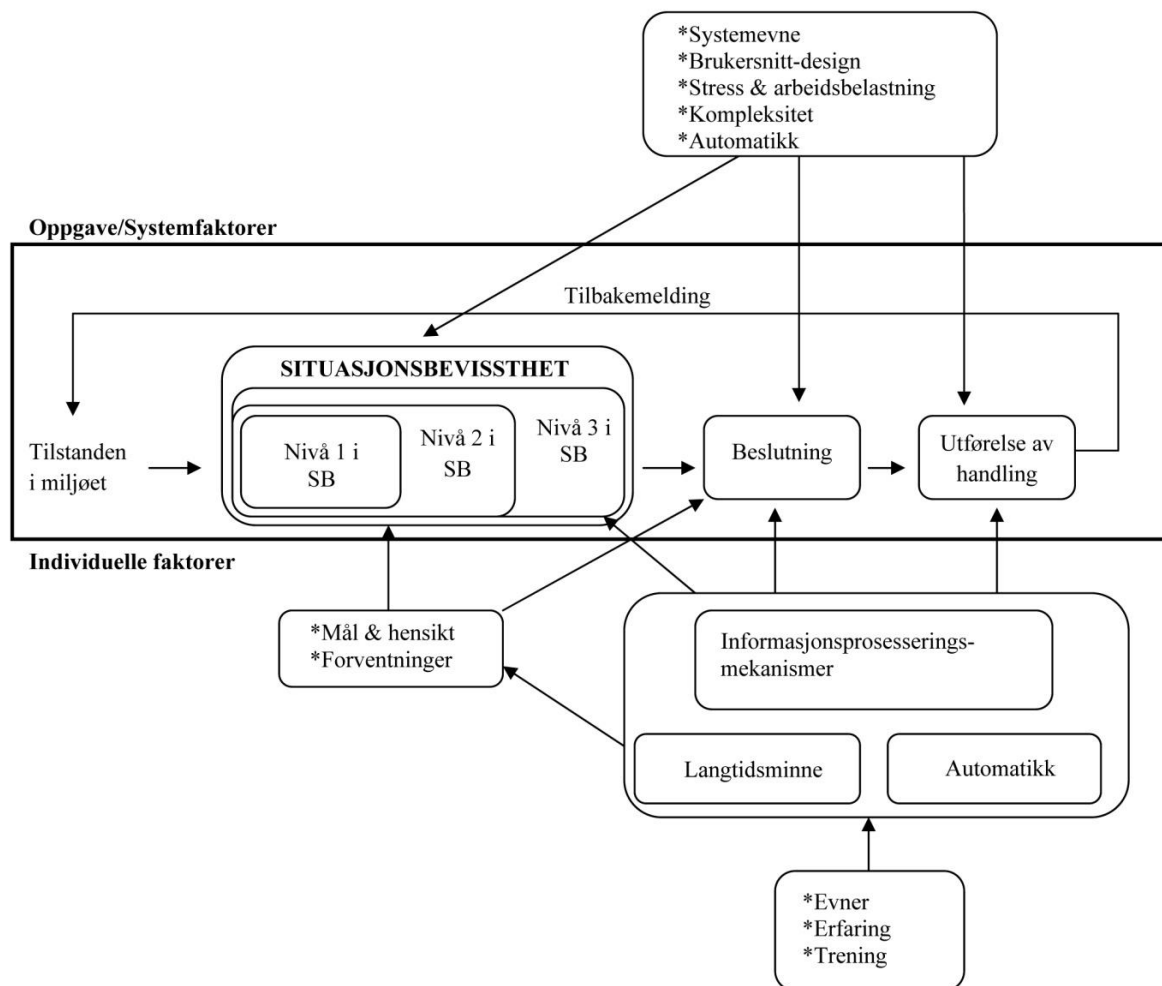
***SB og kognitive prosesser.*** Begrensningene i vårt arbeidsminne og oppmerksomhet innebærer at en persons evne til å oppfatte multiple elementer simultant i en kompleks omgivelse også begrenses (Endsley, 2000). Dette impliserer blant annet at hvor mye SB et individ kan oppnå styres av den kognitive kapasiteten. Basert på Wickens (1984) multiple ressursmodell kan ikke all informasjon prosesseres samtidig, hvilket er avhengig av hvorvidt informasjonen henter fra de samme ressursene, eller krever de samme responsmekanismene som til eksempel å skrive eller snakke. Dette begrenser dermed antall elementer et individ kan være oppmerksom på samtidig, noe som vil påvirke hvor mye informasjon en person kan prosessere. Denne prosessen anses for å danne en sentral innsnevring (bottleneck) for SB (Endsley, et al., 2003).

Arbeidsminne og langtidsminne utgjør begge viktige roller i oppnåelsen av SB, men er derimot begrenset for hvor mye informasjon uten forbindelse som kan lagres (Endsley, et al., 2003). I arbeidsminnet kombineres nye persiperte informasjoner med eksisterende kunnskap, for å skape nye eller oppdatere det mentale bildet av en forandrende situasjon (Endsley, et al., 2003). Den samme persiperte informasjonen anvendes også for å danne projeksjoner for hva som kan hende i den nærmeste fremtid. Som et resultat bidrar projeksjonen til å hjelpe et individ med å beslutte hvilke handlinger som må gjøres. Denne prosessen bidrar til å skape nivå to og tre i SB, hvilket foregår i arbeidsminnet. Informasjonsprosessering for å oppnå høyere SB og beslutninger om fremtidige handlinger (projeksjon) kan være en påkjenning for arbeidsminnet, og former dermed situasjonsbevissthetens andre innsnevring (bottleneck) (Fracker, 1987 som nevnt i Endsley, et al., 2003).

Til tross for begrensningene av SB i arbeidsminnet kan derimot langtidsminnet bidra til å forbedre et individs SB gjennom strukturer som skjema og mentale modeller. Selv om langtidsminnet ikke er direkte tilknyttet SB, utgjør den en viktig rolle ettersom kunnskap og erfaring assosiert med kompetanseutvikling lagres i langtidsminnet (Tsang & Vidulich, 2006). Disse kognitive modellene hjelper operatøren med å determinere hvilken informasjon som er av betydelse å være oppmerksom på. Mentale modeller (jfr. heuristikk) gjør det også mulig å oppnå høyere nivåer av SB (nivå to og tre) uten å belaste arbeidsminnets kapasitet (Endsley, et al., 2003). Uten mentale modeller er det antatt at forståelsen for hva som skjer i omgivelsen, og hva som mest sannsynlig vil komme til å skje i nærmeste fremtid vil være

svak. Mentale modeller spiller derfor en viktig rolle i oppnåelsen av høyere nivåer av SB, altså forståelse (nivå to) og projeksjon (nivå tre). Skjema er prototypiske tilstander av den mentale modellen som forsyner videre prosesseringseffektivitet, hvilket gjør det mulig for mennesket å klassifisere og forstå informasjonen som mottas (Endsley, et al., 2003). For hurtig oppnåelse av høyere nivåer av SB vil disse mekanismene spille en viktig rolle, spesielt når man står overfor store informasjonsmengder.

SB kan variere fra individ til individ, til tross for gitt lik informasjon og forhold. Dette indikerer at de kognitive forskjellene som forskjellig kompetanse, erfaring, forventning, mentale modeller og skjemaer bidrar til ulik oppnåelse av SB. Dette kan nok blant annet forklare forskjellene i SB mellom eksperter og novise.



Figur 8. Endsleys modell av situasjonsbevissthet. Fritt avbildet og oversatt og forfatter fra engelsk i original "Toward a theory of situation awareness in dynamic systems", av Endsley, M.R., 1995, *Human Factors vol. 37, 1*, 32-64. Copyright 1995 av Human Factors and Ergonomics Society.



***SB og mental arbeidsbelastning.*** Begrepet SB er i likhet med mental arbeidsbelastning relater til oppgavekravenes ulike påvirkninger på operatøren, og på utførelsen. Konseptene er på mange måter nært tilknyttet i relasjon til kognisjon og prestasjon, når individer samhandler med komplekse systemer. I litteraturen er det klar konsensus om at mental arbeidsbelastning og SB er to konsepter som er tydelig atskilt, samtidig som at de i tillegg også er nært beslektet (Endsley, 1993; Hendy, 1995; Wickens, 1995; Vidulich, 2000). Mental arbeidsbelastning og SB forstås for å være deler av menneskets informasjonsprosessering (Endsley, 2000), hvilket kan forklare den nære forbindelsen mellom dem. I følge Endsleys (1993) hypotese er konseptene beslektet samtidig som at de også er to uavhengige konstruksjoner. Endsleys (1993) forskning viser at en generell analyse av mental arbeidsbelastning og SB data ikke viser et forhold mellom dem. Derimot viser analysen på individnivå at subjektene demonstrerte et forhold mellom variablene, hvilket indikerte lavere SB ved høyere nivåer av mental arbeidsbelastning. Mens overnevnt forskning vektlegger den uavhengige delen av forholdet mellom konseptene, fremhever andre forskere muligheten for at konseptene er innbyrdes forbundet. I følge Hendy (1995) forklares det nære slektskapet mellom konseptene gjennom informasjonsprosesseringsmodellen, hvor både SB og mental arbeidsbelastning påvirkes direkte av tilgjengelighet av prosesseringsressurser og rådighet av tid.

Tilknytningen mellom SB og mental arbeidsbelastning forstås her av å være forbundet med krav til mentale ressurser. Å opprettholde en høy og nøyaktig nivå av SB er ansett for å være en ressursintensiv kognitiv prosess (Wickens, 2001). Kognitive ressurser er derfor nødvendig for å oppnå SB, hvilket kan føre til at konseptet må konkurrere med andre samtidige kognitive oppgaver om de samme begrensede ressursene. Dette impliserer at til den grad mental arbeidsbelastning er forårsaket, og SB er støttet av de samme kognitive prosessene, er de satt i stand av og utsatt for begrensninger av mange av de samme prosessene (Tsang & Vidulich, 2006). Høy mental arbeidsbelastning i form av høye oppgavekrav og økt situasjonskompleksitet, krever mer oppmerksomhetsressurser for å utføre oppgaven(e). Dette kan dermed resultere i mindre ressurser til overs til å holde oversikt over situasjonen, og dermed føre til lavt situasjonsbevissthetsnivå. Samtidig kan høyere nivåer av mental arbeidsbelastning bidra til å forbedre nivået av SB, ved at operatøren er nødt til å arbeide hardere gjennom hyppigere sampling og oppdatering av informasjon (Tsang & Vidulich, 2006). Dette impliserer at høyere nivå av mental arbeidsbelastning kan assosieres med både lavt og høyt nivå av SB (Endsley, 1993). I følge Endsley (2000, 1995) reduseres SB bare når

operatøren utøver anstrengelse for å oppnå SB, og når oppgavekravene overskrider operatørens begrensede kognitive kapasitet. Dette innebærer at omstendigheter med høye nivåer av mental arbeidsbelastning, så vel som lavere nivåer av arbeidsbelastning kan forårsake situasjonsbevissthetsproblemer. Under lav arbeidsbelastning kan dette forårsake redusert SB gjennom årvåkenhetsproblemer (Endsley, 2000, 1995).

**Automatikk og SB.** Automatikk er essensielt for sikre og effektive operasjoner i prosessindustrien. En generell trend blant de fleste industrier er å øke automatiseringen ytterligere. Dette impliserer blant annet at operatørens rolle forandres, og er dermed ikke lenger like aktivt involvert i driften av systemet. Forskning på dette feltet har oppnådd betydelige funn som viser at økt automatikk og redusert involvering av operatører i driften, reduserer operatørens evne til å opprettholde bevissthet (forståelse) om systemet og dets driftsstatus (Strauch, 2002). Endsley og Kabers (1999) forskning viser at blant ulike nivåer av automatikk, presterte individene best når de var aktivt involvert i driften (system operation). I tillegg viser senere forskning at lave nivåer av automatikk produserte overlegen prestasjon, mens mellomliggende nivåer av automatikk fasiliterer høyere SB (Endsley & Kaber, 2004). Operatørens rolle som overvåker av automatiserte systemer, viser at operatører ofte tenderer til å reagere saktere på å oppdage problemer som oppstår, og som krever operatørens innblanding (Endsley, 1996). Redusert involvering av operatør i driftsystemet i høyt automatiserte systemer har fått betegnelsen ”out of the loop performance problem” (Endsley & Kiris, 1995), og er en konsekvens av mulig tap av kompetanse og SB forårsaket av årvåkenhets- og selvtilfredshetsproblemer (Endsley & Kiris, 1995).

”Out of the loop performance” er tilknyttet to viktige problemer hvilket er assosiert med implementeringen av automatikk. Det første er tap av manuell kompetanse (manual skills), og den andre er tap av SB, mer konkret tap av bevissthet (forståelse) om driftstilstanden og prosessene i systemet. ”Out of the loop performance” problemet anses for å være en stor potensiell konsekvens av automatikk, hvilket kan medføre at operatørens evne til å ta over manuelle operasjoner i høyt automatiserte systemer hemmes i hendelse av automasjonssvikt (Endsley & Kiris, 1995). Tidligere forskning viser at kontrollromsoperatører som opererte under automatikk i en simulert prosesstyringsoppgave, var tregere og mer ineffektiv i å få systemet under kontroll, til tross for tidligere manuell trening, sammenliknet med operatører som kun opererte under manuell modus (Shiff, 1983, som nevnt i Endsley & Kiris, 1995). Økt automatikk utgjør dermed en trussel mot operatørens kompetanse til å håndtere prosesssystemet manuelt. Den store bekymringen ved økt automatikk anes å være at

kompetansen i manuell styring vil svekkes, med mangel på og anvendelse av manuelle operasjoner, og dermed yte svakere når manuell håndtering kreves. En annen bekymring relatert til dette temaet er at nødvendig kompetanse ikke utvikles, dersom operatørene opplæres til å operere med automatiserte systemer i starten, uten fordel av omfattende manuell erfaring (Endsley, 1995). I følge Endsley (1995) er ikke denne kompetansen bare av betydelse for manuell oppgaveutførelse, men også for å gjenkjenne eller oppdage behovet for slik manuell utførelse.

Tap av SB er et annet problem som også er tilknyttet "out of the loop performance", og kan forstås å være årsaken til store deler av "out of the loop" problematikken. Operatører som har mistet SB har vist å være tregere i å oppdage problemer, og krever ekstra tid til å omorientere seg selv til situasjonen, slik at vedkommende forstår problemets årsak og hva som behøves å gjøre (Endsley, et al., 2003). Tap av SB kan forstås å være forårsaket av tre primære mekanismer: 1) forandringer i årvåkenhet og selvtilfredshet (complacency) assosiert med overvåkning, 2) antagelse av en passiv rolle i motsetning til en aktiv rolle i å prosessere informasjon for å kontrollere systemet, og 3) forandringer i kvaliteten eller formen av "feedback" gitt til operatøren (Endsley, et al., 2003). Som tidligere nevnt (se seksjonen om årvåkenhet) viser ulike forskningsresultater at operatører i høyt automatiserte systemer tenderer til å bli mindre årvåken og beredt på signalene som overvåkes etter en tidsperiode så kort som 30 minutter. Årvåkenhet er en viktig faktor som er ansett for å påvirke operatørens SB, ved at nedsatt årvåkenhet leder til vanskeligheter med å danne SB. Selvtilfredshet er en annen faktor som anses å være nært relatert til mangelen på årvåkenhet i overvåkningsarbeid under automatikk. Problemene assosiert med operatørens selvtilfredshet (complacency) anses å være relatert til kontrollromsoperatørens tendens til å legge for mye tiltro (trust) til automatiserte systemer (Parasuraman, Molloy & Singh, 1993). Forskning viser at risikoen for selvtilfredshet (complacency) er en funksjon av individets tiltro (trust) til, opplevd trygghet til (reliance), og selvsikkerhet (confidence) til automatikk (Singh, Molloy & Parasuraman, 1993). Det er ansett at ved å plassere for mye tiltro (trust) til automatikk vil oppmerksomhetsfokuset endres og rettes mot andre oppgaver, og dermed forårsake ineffektiv overvåkning (Parasuraman, Molloy & Singh, 1993; Parasuraman, Mouloua & Molloy, 1994), og dermed resultere i lavere SB om de automatiserte systemene og parameterne.

En annen faktor som underligger "out of the loop" fenomenet er at operatører inntar rollen som passive overvåkere av automatiserte systemer, i stedet for å være aktivt involvert i

systemprosessene. Dette kan dermed lede til utfordringer med å oppdage problemer, og forstå fullstendig hva som foregår. Forskning viser at subjekters SB var lavere under full automatikk og semi-automatiserte forhold, sammenlignet med manuell utførelse i en navigeringsoppgave i bil (Endsley & Kiris, 1995). ”Out of the loop” problematikken er dermed ikke kun en konsekvens av selvtilfredshet eller for høy tiltro (overreliance) til automatikk, men en grunnleggende vanskelighet tilknyttet det å ha fullstendig forståelse av hva systemet gjør under passiv overvåkning. Automatikk fortsetter dermed å utgjøre en utfordring for operatørens SB selv når de er årvåkne.

Forandring i typen av systemtilbakemelding (system feedback) eller total fravær av tilbakemelding har også blitt referert som et problem forbundet med automatikk. I følge Norman (1989) hevdes det at *”without appropriate feedback people are indeed out-of-the-loop. They may not know if their requests have been received, if the actions are being performed properly, or if problems are occurring”*<sup>27</sup> (s. 6). En stor utfordring blant systemdesignere er dermed å utvikle nye systemer, samtidig som at systemtilbakemeldingenes kvalitet ivaretas. Forandring i typen av systemtilbakemelding som til eksempel vibrasjon eller lyd, kan føre til forvirring eller misforståelse hos operatøren dersom disse tidligere kritiske holdepunktene (cues) endres. I utviklingen av elektronisk ”fly-by-wire flight controls” i F-16 fly skapte i begynnelsen problemer for pilotene i å fastslå lufthastigheten, og å opprettholde riktig flykontroll. Viktige holdepunkter (cues) som vibrasjon, hvilket normalt ble følt i ”the flight stick”, var ikke lenger tilgjengelig gjennom berøringssansene. I stedet ble nødvendig informasjon gitt via visuelle skjermvisninger (Kuipers, Kappers, van Holten, van Bergen & Oosterveld, 1990 som nevnt i Endsley, et al., 2003). Denne endringen i systemtilbakemeldingen medførte vanskeligheter for pilotene da de var nødt til å innhente informasjon fra skjermvisningen samtidig under landing. I andre tilfeller har systemdesignere med hensikt fjernet eller skjult informasjon om systemenes status som automatikken skal ta hånd om, i tro på at operatørene ikke lenger behøvde denne informasjonen (Endsley, et al., 2003). I følge Billings (1991) har automatikken i visse situasjoner sviktet med å varsle til pilotene om når motorene stopper. Fravær av systemtilbakemelding medfører dermed at pilotenes SB fratras, hvilket kan medføre alvorlige konsekvenser, da SB er nødvendig for å unngå ulykker.

---

<sup>27</sup> ”uten passende tilbakemelding er mennesker sant og si ”out of the loop”. De kan ikke vite om deres anmodninger er mottatt, om handlingene er utført på riktig måte, eller om problemer oppstår” (norsk oversettelse av forfatter).

## 3 Diskusjon

Foretatt litteraturgjennomgang av mental arbeidsbelastning indikerer at mental underbelastning påvirker operatørens prestasjon i høyt automatiserte systemer. Videre fremkommer det i litteraturen at mental arbeidsbelastning er relatert til både årvåkenhet og situasjonsbevissthet, samtidig som at de to sistnevnte konseptene også er forbundet med hverandre. Funn i litteraturen indikerer at begrensningene i menneskets kognitive kapasitet, og utilstrekkelig tilførsel av oppmerksomhetsressurser utgjør en sentral rolle i årsaken til nedsatt prestasjonsevne, når operatøren er enten under- eller overbelastet. Imidlertid finnes det svakheter og mangler i litteraturen som reiser spørsmål ved vesentlige problemer i forskningen om mental arbeidsbelastning og dets effekt på operatørers prestasjon.

### 3.1 Optimal Prestasjon

I litteraturen fremkommer det at relasjonen mellom arbeidsbelastning og prestasjon er kurvlineært, hvilket er fremstilt i en omvendt U-kurve, hvor det optimale prestasjonsnivået ligger på et mellomnivå av underbelastning og overbelastning. Prestasjon beskrives i henhold til betegnelsene 'dårlig', 'optimal' og 'god'. En utfordring er imidlertid at begrepet optimal prestasjon ofte er anvendt i litteraturen uten å redegjøre for meningen som legges i begrepet. Hva er optimal prestasjon? Hvilke faktorer kan bidra til optimalt prestasjonsnivå?

Faktorer som må vurderes er først og fremst individuelle forskjeller gjennom blant annet forskjeller i erfaring, trening, kompetanse, kognitive begrensninger (f.eks. antall kognitive "chunks") og ulik egnethet til å jobbe på forskjellige tider av døgnet (dag/natt).

Hovedforskjellen mellom ekspert og novise ligger i ulik grad av erfaring, trening og kompetanse, hvilket innebærer at det optimale prestasjonsnivået naturlig nok også vil variere, avhengig av hvilken gruppe en tilhører. Forskjellen i prestasjonen kan være at eksperter klarer å opprettholde det optimale prestasjonsnivået over en lengre tidsperiode, samt håndtere høyere arbeidsbelastning, mens noviser kan holde optimal prestasjonsnivå kun en kort tidsperiode om gangen, i tillegg til å håndtere mindre arbeidsbelastning.

Videre kan mer erfaring, trening og kompetanse utvikle flere skjemaer og mentale modeller (jfr. heuristikk) i langtidsminnet, hvilket bidrar til forbedring av optimal prestasjonsnivå. Optimal prestasjon vil dermed være avhengig av situasjonen, og variasjonene mellom mennesker (grupper og individ), som bidrar til at nivået for optimum varierer. Dette gjør det

dermed vanskelig å snakke om et felles optimalt prestasjonsnivå som fremstilles i litteraturen, da et slikt nivå vil være unikt for hvert individ, dersom ikke alle har de samme forutsetningene. Dette vil også være en utfordring for systemdesignere i når det gjelder utviklingen av alarmsystemenes brukergrensesnitt.

### **3.2 ”Malleable Attentional Resource Theory”**

Som den første og den eneste teorien om mental underbelastning forsyner teorien ”Malleable attentional resource theory” en potensiell forklaring på hvorfor prestasjonen reduseres i underbelastede situasjoner. Funnene indikerer at oppgaveprestasjonen synker i underbelastede situasjoner som en konsekvens av forminskede oppmerksomhetskapasitet. Imidlertid reiser teorien nye spørsmål som fortsatt står ubesvart. Videre er teorien fortsatt nokså ny og krever dermed mer forskning og uttesting, slik at en eventuell støtte for MART kan påvises i flere domener enn i kun bilkjøring (bilsimulator).

**3.2.1 Fleksible ressursreservoarer og kapasitetsgrense.** I følge MART vil underbelastede operatører ikke kunne håndtere like godt brå økning i oppgavekrav, sammenlignet med operatører som jobber under høyere arbeidsbelastning. Videre fremholder teorien at gradvis økning i arbeidsbelastning fasiliterer prestasjonen. Et spørsmål som derimot reiser seg er relatert til tidsaspektet mellom økt ressurskrav (som en konsekvens av stigende arbeidsbelastning), og økning av ressurskapasiteten eller størrelsen på ressursreservoarene. Med andre ord, hvor lang tid vil det ta for de minskede ressursreservoarene å øke eller få tilbake ”normal” ressurskapasitet, for å motsvare økningen i ressurskravet? Dette spørsmålet blir imidlertid ikke besvart i litteraturen, og anses å være essensielt i forhold til å få mer kunnskap om hvor omfattende effekten av underbelastning kan være på operatørprestasjonen, ved nødssituasjoner eller andre kritiske situasjoner som krever umiddelbar operatørhandling.

Andre spørsmål relatert til ressursreservoarenes størrelse er hvorvidt de er faste (fixed), eller fleksible slik MART fremholder. Fra at debatten tidligere handlet om hvorvidt menneskets kognitive system består av én enkel eller multiple ressursreservoarer, har debatten i dag utviklet seg til også å omfatte ressursreservoarenes størrelse. Dersom nok støtte for MART kan påvises vil dette ha omfattende implikasjoner for både tidligere og nåværende forskning på mental arbeidsbelastning. I tidligere ressursteoretiske modeller, som blant annet ”Multiple

resource theory” og andre studier som baseres på den, har ukritisk antatt at størrelsen på ressursreservoarene er konstante på tvers av oppgavene (Young & Stanton, 2002a).

I henhold til Young og Stanton (2002a) er konklusjonene om fast ressursreservoarstørrelse ofte avhengige av antakelsen, om at det totale kravet fra første (primary task), og andre oppgave (secondary task) er konstant. Til eksempel er det funnet en tendens i samtidige (timesharing) eller fleroppgaveeksperiment (multitasking), å konkludere med at prestasjonsdegresjon er simpelthen antydning om at de maksimale kapasitetsgrensene er overskredet (Young & Stanton, 2002a). I følge Young og Stanton (2002a) tar ikke disse forstyrrelsene (interferences) til betraktning muligheten for at kapasitetsgrensen justeres etter krav. Dette impliserer at mange av studiene som har anvendt todelt (dual), eller multiple oppgaveteknikker til å vurdere mental arbeidsbelastning og prestasjon, kan være nødt til å bli revurdert (Young & Stanton, 2002a).

Til tross for funn som indikerer at menneskets ressursreservoarer varierer positivt med mental arbeidsbelastning (opptil en endelig grense), finnes det derimot ikke nok forskning til å kunne avslutte debatten om hvorvidt det eksisterer én eller multiple ressursreservoarer, og om ressursreservoarenes størrelse er fast eller fleksibel. Imidlertid viser studier som fremholder at ressursreservoarene er variable interessante indikasjoner, hvilket har bidratt til en potensiell forklaring på mental underbelastning. Selv om forskningen av forholdet mellom mental arbeidsbelastning og ressursreservoarenes størrelse anses å være nokså nytt, er liknende ideer imidlertid blitt påpekt tidligere i forbindelse med fysiologisk aktivering (Young & Stanton, 2002a). I henhold til Young og Stanton, (2002a) hevdes det at fra da begrepsoppfatningen av oppmerksomhet-ressursmodellen ble gjort, ble det blindt antatt at ressursene var faste, til tross for Kahnemans (1973) begrepsoppfattelse, og anerkjennelse av dynamisk variasjon i ressursene. Dette har ifølge forskerne bidratt til å forhindre teoretisk progresjon.

Til tross for at det ikke eksisterer nok støtte for MART, viser derimot teorien interessante indikasjoner som kan, med mer forskning, forsyne mer kunnskap om mental underbelastning og effekten på menneskets prestasjonsevne.

### 3.3 Oppmerksomhetsressurser og Ressursteori.

Ressursteori har bidratt til å forklare ulike funn innen forskning på mental arbeidsbelastning og årvåkenhet, hvor tidligere forklaringsmodeller ikke har vært tilstrekkelige. Men konseptet er også blitt kritisert. Et sentralt problem med ressursteori som er blitt påpekt i litteraturen, er at ressurskonseptet er en hypotetisk konstruksjon, og ikke observerbare enheter. Dette betyr at konseptet om ressurser er foreløpig kun teoretisk, og mangler fortsatt i dag nok empirisk bevis for å støtte teorien.

En kritikk av ressursteori har vært mangelen på spesifisering av prosesskomponentene som begrenser oppmerksomheten (Matthews & Davies, 2001; Boles, 2001), samtidig som at det er uklart hvordan reduksjonen i oppmerksomhetsressurser fungerer (Matthews, et al., 2008). Redegjørelsen for ressursutladningen som fremkommer i ressursteorien hevder at jo mer krevende en oppgave er, desto mer sensitiv er man overfor ressurstap. Imidlertid er det uklart hvorvidt høyere arbeidsbelastning fører til raskere ressursutladning over tid. Videre rår det usikkerhet i forhold til hvorvidt det er snakk om generell ressurstap eller om operatøren helt enkelt blir mindre tilbøyelig til å lokalisere ressursene som behøves til oppgaven, hvilket er en mulighet foreslått gjennom motivasjonseffekt på årvåkenhet (Matthews, et al., 2008).

En annen kritikk er at ressurser ofte er dedusert fra prestasjonsmålinger i stedet for direkte målinger av fenomenet. Som følge forklares prestasjonsforandringene i betegnelsen av ressurser, og representerer dermed sirkulær resonnering (Warm et al., 2008). For å imøtegå kritikken kan ressursene undersøkes uavhengig av prestasjon, blant annet gjennom nevroavbildningsmålinger (neuroimaging measures), mens operatøren utfører en oppgave. Eksempler på slike måleteknikker er positronemisjonstomografi (PET)<sup>28</sup>, funksjonell magnetresonanstomografi (fMRI)<sup>29</sup>, og transkranie Doppler sonografi (TCD)<sup>30</sup>. Innen årvåkenhetsforskning er anvendelsen av disse målemetodene benyttet i enkelte studier.

Nyere studier som har anvendt målemetoden TCD i årvåkenhetsstudier viser sterk støtte for at ressursforandringer er tilknyttet prestasjonsdegresjon i årvåkenhetsoppgaver (Warm, et al., 2008). I motsetning til PET og fMRI er TCD ansett for å være mindre kostbar og restriktiv

---

<sup>28</sup> PET er en teknikk som produserer en tredimensjonal avbildning av funksjonelle prosesser i kroppen (Wikipedia, 2010a).

<sup>29</sup> fMRI en funksjonell hjerneavbildningsteknikk som kan identifisere endringer i aktivitet i områder i hjernen til mennesker eller dyr. Metoden hevdes for å kunne gi god informasjon om sammenhengen mellom kognitiv aktivitet og funksjonenes lokalisering i hjernen (Wikipedia, 2010b).

<sup>30</sup> (TCD) er en teknikk som måler hastigheten på blodgjennomstrømningen i hjernens blodkarer (Wikipedia, 2010c).



avbildningssystem. Ulempene med PET og fMRI er blant annet utfordringene tilknyttet bruken av målemetodene. Disse krever at instrumentene må anvendes i svært restriktive omgivelser, hvilket forhindrer all bevegelse hos subjektet. Dette vil dermed være et problem for blant annet den økologiske validiteten i et eksperiment som simulerer en reell arbeidssituasjon.

En ytterligere implikasjon er tilknyttet ressurskonseptet. I litteraturen anvendes konseptet ofte uten entydig definisjon av hva begrepet refererer til. Litteraturgjennomgangen viser at ressurser kan forstås som kognitive strukturer (Kahneman, 1973; Wickens, 1984), energi eller drivstoff (Kahneman, 1973; Norman & Bobrow, 1975; Wickens, 1984; Navon & Gopher, 1979), og prosesseringsfasiliteter (ressurser) som styres ifølge økonomisk modell etter tilførsel og krav (Navon & Gopher, 1979). I tillegg er ressurskonseptet i ulike litteraturer anvendt synonymt med begrepene kapasitet, anstrengelse og oppmerksomhet. Det anses i denne oppgaven at mangelen på entydig definisjon og inkonsekvent bruk av ressursbegrepet medfører begrepsforvirring, og usikkerhet om hvorvidt definisjonene beskriver samme fenomen. Dette kan også skape utfordringer relatert til måling av ressurser, hvilket vil være avhengig av hvordan konseptet er operasjonalisert i et gitt måleinstrument.

I følge litteraturgjennomgangen anses forestillingen om ressurser som den mest fremtredende forklaringen på mange av funnene innen årvåkenhetsforskning og mental arbeidsbelastning, som ikke er blitt kunnet forklares ut ifra andre eksisterende teorier. Likevel indikerer uklarhetene i ressursteorien et behov for mer forskning på fenomenet, som mer inngående forklarer svakhetene og manglene i teorien som er blitt påpekt.

### **3.4 Reliabilitet og Validitet**

**3.4.1 Eksperimenter i laboratorium, med og uten simulator.** Resultatene i foretatt litteraturgjennomgang om mental arbeidsbelastning, årvåkenhet og situasjonsbevissthet er ofte laboratoriumseksperimenter utført med simulator. Forskjellen på laboratoriumseksperimenter med og uten simulator er graden av etterlikning av reell arbeidssituasjon. Mens eksperimenter utført i laboratorium generelt gir mer kontroll over omgivelsene sammenliknet med feltstudier, er den økologiske validiteten lavere i slike studier. Imidlertid kan eksperimenter i simulator ha høyere økologisk validitet, da reelle arbeidssituasjoner og omgivelser etterliknes, enn i laboratoriumseksperimenter uten simulator. Fordelene med eksperimenter i simulator er at de skaper en større opplevelse av tilstedeværelse i en gitt setting, og kan dermed bidra til å

øke nøyaktige estimater av operasjonell prestasjon, før eventuelle målinger i reelle omgivelser forsøkes (Cain, 2007). Videre er det enklere å ha kontroll over variablene, og lettere å manipulere, enn eksperimenter i reelle kontrollrom. I tillegg kan simulatorer erstatte eksperimenter som potensielt kan være farlige å utføre i reelle omgivelser, som er umulige å utføre, eller som ikke er i tråd med etiske retningslinjer.

En del forskning på mental arbeidsbelastning er utført i bilsimulatorer, hvor den mentale arbeidsbelastningen kontrolleres og reguleres ved bruk av tilleggsoppgave (secondary task) og graden av automatisering. I forholdt til materialets generaliserbarhet til andre domener, som prosessindustrien, medfører dette begrensninger i validiteten. Blant annet reflekterer ikke eksperimenter i bilsimulator den samme kompleksiteten som man finner i prosessindustrien med tette koblinger, høyt automatiserte systemer og hvor mange ulike prosesser driftes samtidig.

I forhold til funnene i årvåkenhetseksperimentene anses disse å være svært troverdige, hvor støtte for fenomenet årvåkenhetsdegresjon er blitt påvist i flere ulike eksperimenter helt siden Macworths (1948) "Clock test". Eksperimentene har simulert ulike overvåkningssituasjoner, samt gjenspeilet ensformigheten i overvåkningssituasjonene ved å presentere subjektene for repeterende stimuli. Subjektenes reaksjonstid på gitt respons på ulike stimuli viser at reaksjonstiden reduseres under eksperimentet.

Årvåkenhetsdegresjon anses for å være den mest utbredte funnet i årvåkenhetseksperimenter (Warm, Dember & Hancock, 1996). Tidligere ble det hevdet at årvåkenhetsdegresjon var et kunstig laboratoriumsfenomen, og at prestasjonsdegresjonen var sjelden å finne i driftsmessige omgivelser (operational settings) (Mackie, 1984, som nevnt i Warm, et al., 1996). Derimot påpeker senere forskninger at potensielle alvorlige prestasjonsdegresjon er funnet hos både erfarne og uerfarne overvåkere (f.eks. Mackworths eksperimenter). Videre er prestasjonsdegresjon blitt funnet i reelle driftsmessige omgivelser, og i settinger som etterlikner nøyaktig reelle omgivelser (Warm, et al., 1996). Til tross for at funnene i årvåkenhetslitteraturen indikerer høy pålitelighet, er validiteten imidlertid begrenset for prosessindustrien, da mesteparten av årvåkenhetseksperimentene har simulert overvåkningssituasjoner innen sivil luftfart (flykontrollsenters) og luftforsvaret (årvåkenhet blant radaroperatører). For å kunne påvise årvåkenhetsdegresjon og hvorvidt liknende effekt er å bli funnet i prosessindustrien, så vel som i sivil luftfart og luftforsvaret, er det derimot behov for årvåkenhetseksperimenter i prosessindustrien eller som simulerer slike omgivelser.

I likhet med enkelte studier av mental arbeidsbelastning og årvåkenhet er mye av forskningen på situasjonsbevissthet eksperimenter i simulator. Ikke så ulikt årvåkenhetsstudiene preges også forskningen på situasjonsbevissthet av luftfartsdomenet. Enkelte eksperimenter er også utført i bilsimulator. Dette viser igjen mangelen på og behovet for mer forskning på mental arbeidsbelastning, årvåkenhet og situasjonsbevissthet i prosessindustrien. Imidlertid er det viktig å påpeke at forskning i laboratorium som simulerer arbeid i kontrollrom i kjernekraftverk eksisterer, men tilgangen på disse studiene har vært svært begrenset og nærmest ikke-eksisterende.

**3.4.2 Forskningsutvalget.** En annen faktor som kan påvirke funnenes validitet og reliabilitet er forsøkspersonene som er anvendt i de ulike studiene. Majoriteten av studiene om mental arbeidsbelastning, årvåkenhet og situasjonsbevissthet er studenter på lavere grad oftest blitt anvendt. Særsilt innen årvåkenhetsforskning er valget av et utvalg bestående av studenter svært fremtredende. Bruken av et utvalg bestående av fagfolk forekommer i enkelte studier, men forekomsten av dette er begrenset i forhold til valget av et utvalg bestående av studenter. Problemet med bruk av et utvalg bestående av studenter er at det begrenser validiteten, ettersom utvalget ikke anses å være representativt for gruppen mennesker som jobber i et kontrollrom i prosessindustrien. Fokuset bør derfor være på et relevant utvalg som er i samsvar med et gitt domene, hvor utvalgets kompetanse, trening og erfaring tas i betraktning. I motsetning til å anvende et utvalg bestående av studenter, hvilket reflekterer mest befolkningen generelt og ikke operatører i komplekse systemer, bør interessen være å finne ut hvordan mental underbelastning, årvåkenhetsdegresjon og graden av SB påvirker en kompetent operatørs prestasjon, fremfor en vilkårlig person fra befolkningen som ikke jobber i slike omgivelser.

Foretatt litteraturgjennomgang viser at svært få eksperimenter har anvendt relevante fagpersoner i utvalget, med unntak av enkelte studier av SB og årvåkenhet i sivil luftfart og i luftforsvaret, hvor utvalget har bestått av både eksperter og novise. Også her er det viktig å påpeke at av eksperimenter som simulerer kontrollromssituasjon i kjernekraftverk anvendes fagfolk (eksperter og novise). Derimot indikerer litteraturgjennomgangen at det er mangel på studier som anvender et utvalg bestående av fagfolk, men det er uvisst hvorvidt mangelen skyldes begrenset tilgjengelighet til forskning i prosessindustrien hvor dette allerede er gjort, eller om begrensningen rett og slett reflekterer et behov for mer slik forskning.

**3.4.3 Mål av mental arbeidsbelastning.** Å finne pålitelige mål av mental arbeidsbelastning kan være en utfordring, hvilket er blant annet avhengig av måleteknikkene samt konteksten eksperimentet utføres i. I tillegg er de ulike måleinstrumentene sensitive til forskjellige aspekter ved mental arbeidsbelastning, hvilket indikerer at ikke alle måleinstrumentene undersøker de samme tingene (Cain, 2007). Delvis kan dette forklares på bakgrunn av mangelen på en akseptert definisjon av mental arbeidsbelastning, og tendensen til å anvende begrepet til å referere til enten kravene pålagt individet, eller anstrengelsen individet utøver for å tilfredsstille kravene, og konsekvensene av å prøve å imøtekomme kravene (Huey & Wickens, 1993).

Av de mest pålitelige måleinstrumentene av mental arbeidsbelastning er NASA-TLX, hvilket er ansett for å være blant de mest vanligste målemetodene som anvendes i forskningen om mental arbeidsbelastning. Imidlertid er måleinstrumentet i hovedsak en subjektiv skala, hvilket innebærer en viss grad av usikkerhet om hvorvidt selvrapporteringer nøyaktig reflekterer respondentens virkelige perseptuelle erfaringer (Natsoulas, 1967). Blant annet kan operatørbias være en effekt som kan bidra til å påvirke resultatene. En mulig løsning for å oppnå mer pålitelige målinger av mental arbeidsbelastning er å inkludere flere ulike måleteknikker. Andre måleteknikker som kan forsyne relevant informasjon om individets mentale arbeidsbelastning er prestasjonsmålinger av arbeidsbelastning (primæroppgave og tilleggsoppgave), og psykofysiologiske målinger av øyebevegelse (Young & Stanton, 2002b), hjerneaktivitet (Åkerstedt, 2005; Smit, Eling & Coenen, 2004b), hjertefrekvens (Meshkati, 1988), og respirasjon (Wientjes & Grossman, 2005). Ved å anvende flere ulike måleteknikker kan dermed flere aspekter av mental arbeidsbelastning dekkes. Derimot indikerer en gjennomgang av litteraturen at det oftest anvendes kun én målemetode.

### **3.5 Videre Forskning**

Foretatt litteraturgjennomgang viser at det finnes mange utfordringer innen forskning på mental arbeidsbelastning, årvåkenhet og situasjonsbevissthet som det bør rettes mer oppmerksomhet til. Spesielt fremkommer det i litteraturgjennomgangen at det er gjort lite forskning på mental underbelastning, hvilket er ansett for å være et fenomen som i økende grad skaper problemer med operatørprestasjonen i høyt automatiserte omgivelser.

På grunnlag av litteraturgjennomgangen bør fremtidig forskning ta sikte på å belyse mental underbelastning og problemer relatert til dette, som blant annet operatørens årvåkenhet,

situasjonsbevissthet, beslutningstaking og oppgaveutførelse (prestasjon). Mer kunnskap om underbelastning kan forsyne økt forståelse for fenomenet og effekten det har på andre nærliggende faktorer. Andre forhold som også anses å være av viktighet er forholdet mellom mental arbeidsbelastning og tiltro til automatikksystemet, og hvorvidt eller i hvilken grad brå skifte i arbeidsbelastning (fra overbelastning til underbelastning, og omvendt) påvirker operatørprestasjonen.

Fremtidig forskningene bør også kunne gjenspeile i høyere grad reelle arbeidssituasjoner, deriblant underbelastningssituasjoner, ved å anvende i større utstrekning simulator eller feltstudier hvis mulig. I tillegg bør fremtidige studier forsøke å anvende i større omfang et utvalg som gjenspeiler fagfeltet som forskes på, og minimere bruken av studenter (uten tilknytning til fagfeltet) i slike eksperimenter.

## 4. Oppsummering og Konklusjon

I denne oppgaven er det sett på *hvordan operatørens mentale underbelastning* kan påvirke operatørens prestasjon (alarmhåndtering) gjennom nærliggende faktorer som situasjonsbevissthet og årvåkenhet, i konteksten av overvåkning av komplekse og automatiserte systemer. Videre hadde oppgaven som formål å gi en oversikt over litteraturen om mental arbeidsbelastning, for så å kartlegge hvorvidt mer forskning på mental arbeidsbelastning er nødvendig og hva det savnes *mer* kunnskap om.

Foretatt litteraturgjennomgang indikerer i hovedsak at det finnes altfor få studier gjort om mental underbelastning for å kunne dra slutninger, stort sett innenfor alle domener, men særskilt innen prosessindustrien. Den tilsynelatende mangelen på forskning på mental underbelastning tilsier at man i dag vet for lite om effektene av underbelastning på operatør, og prestasjon i høyt automatiserte omgivelser. Til tross for begrensningen i litteraturen finnes det interessante indikasjoner, som viser at underbelastede situasjoner kan gjennom nærliggende faktorer svekke operatørprestasjonen.

### 4.1 Mental Arbeidsbelastning.

- Litteraturen indikerer at mental underbelastning er blitt et økende problem i industrier med høyt automatiserte systemer. Dette anses å være en konsekvens av økt automatisering. Videre forskning bør derfor ta sikte på å rette mer oppmerksomhet til underbelastningsproblemer som blant annet årvåkenhetsdegresjon og ”out of the loop performance”.
- Foretatt litteraturgjennomgang viser at mental arbeidsbelastning er nært relatert konseptene SB og årvåkenhet, men litteraturen viser seg å være begrenset når det gjelder forskning på effekten av underbelastede situasjoner på SB og årvåkenhet.
- Funn i litteraturen indikerer at mental arbeidsbelastning og oppmerksomhetskapasitet er positivt relatert, slik at variasjonene i arbeidsbelastningen medfører lik variasjon i oppmerksomhetskapasiteten. Imidlertid savnes det mer empiri til å kunne støtte denne teorien. Fremtidig forskning bør derfor undersøke nærmere hvorvidt

oppmerksomhetskapasiteten er variabel eller fast, samt hvor lang tid det tar før minsket oppmerksomhetskapasitet gjenopptar ”normal” ressurskapasitet.

#### **4.2 Oppmerksomhetskapasitet og Ressurser**

- Ressursteori har bidratt til å forsyne potensielle forklaringer i forholdet mellom mental arbeidsbelastning, årvåkenhet, situasjonsbevissthet og prestasjon, gjennom konseptet om ressursbegrensning og oppmerksomhetskapasitet. Imidlertid er ressurskonseptet kun en hypotetisk konstruksjon og ikke observerbar enhet. Mer forskning på ressurser og oppmerksomhetskapasitet vil da være nødvendig, spesielt med fokus på å identifisere hvilke komponenter som er involvert i å begrense oppmerksomheten, og hvordan reduksjonen i oppmerksomhetskapasiteten foregår.
- Litteraturgjennomgangen viser at ressurskonseptet anvendes uten entydig definisjon, og er ofte anvendt synonymt med kapasitetsbegrepet, som er en relatert konsept men ikke det samme. For å kunne komme videre med forskningen vil det være viktig å holde begrepene adskilt, samtidig som at ressursbegrepet forklares tydeligere.
- I litteraturen fremkommer det at forklaring på prestasjonsdegresjon i betegnelsen av ressurser er dedusert fra prestasjonsmålinger, og ikke direkte målinger av fenomenet (ressurser). Kritikken har derfor vært at ressursteoriens årsaksforklaring på prestasjonsdegresjon er sirkulær resonnering. Videre forskning bør derfor ta sikte på å rette oppmerksomheten mot å utvikle nye, eller anvende i større utstrekning eksisterende måleteknikker av oppmerksomhetsressurser under oppgaveutførelse, for å kartlegge ressursforandringene under ulike situasjoner.

#### **4.3 Prestasjon**

- Tradisjonelt sett har nedsatt prestasjon blitt forklart ut i fra et perspektiv om aktivering, hvor både høye og lave aktiveringsnivåer medfører nedgang i prestasjonen. Litteraturgjennomgangen indikerer derimot at forklaringen på prestasjonsdegresjonen kan ligge i ressursteorien, hvilket har fått økende støtte i nyere forskning.

- Funn i litteraturen viser at det ikke finnes noen lineære relasjoner mellom mental arbeidsbelastning, årvåkenhet, situasjonsbevissthet og prestasjon, hvilket gjør både utviklingen av teoretiske modeller og testing av dem ekstra komplisert.
- Litteraturen viser at operatørens prestasjon (alarmhåndtering) påvirkes av mange ulike faktorer. Deriblant fremkommer det at systempålitelighet og nivå av automatikk påvirker operatørens grad av arbeidsbelastning, som videre har vist å influere prosessovervåkingen og håndtering av systemet. Dette indikerer at økt automatikk ikke nødvendigvis er løsningen for sikrere drift, økt effektivitet eller bedre operatørkomfort. Tvert imot viser litteraturen at det er mange problemer forbundet med økt automatikk, deriblant årvåkenhetsproblemer og situasjonsbevissthetsproblemer i form av ”out of the loop performance”.

#### 4.4 Mental Underbelastning og Alarmhåndtering

- Litteraturgjennomgangen viser at mental arbeidsbelastning, oppmerksomhetskapasitet og prestasjon er tilknyttet hverandre. Ved underbelastede situasjoner er det blitt observert at lav oppgavekrav reduserer eller forminsker oppmerksomhetskapasiteten, hvilket medfører at prestasjonstaket (øvre grense for optimal prestasjon) begrenses ytterligere, og dermed former den klassiske omvendt U-kurven. Når arbeidsbelastningen brått øker i underbelastede situasjoner overskrider oppgavekravene kapasitetsgrensen, som videre resulterer i nedsatt prestasjon da begrensningen av tilgjengelige ressurser ikke kan imøtekomme kravene. Prestasjonsdegresjon under lav arbeidsbelastning kan dermed forstås å være en årsak av feiltilpasning mellom oppgavekrav og oppmerksomhetskapasitet, grunnet forminskning av oppmerksomhetskapasiteten.
- Indikasjoner fra litteraturgjennomgangen viser at lav arbeidsbelastning kan fremkalle tilstand av lav våkenhet hos operatøren, som videre resulterer i redusert signaldetektering. Videre viser *litteraturen* at lav arbeidsbelastning kan redusere SB gjennom årvåkenhetsproblemer, som medfører ”out of the loop performance”, hvor mer tid må brukes til å omorientere seg om situasjonen og for å finne problemet.



- Til tross for likhetene mellom domener med høy systemkompleksitet og automatikk, savnes det derimot mer kunnskap om hvordan mental underbelastning kan påvirke operatørens alarmhåndtering, i et simulert eller reelt prosesskontrollrom. Indikasjonene bør derfor testes ut i kontrollromssetting for å se om man får like resultater sammenliknet med andre domener hvor dette allerede foreligger.
- I foretatt litteraturgjennomgang er det tydelig at forskning på mental underbelastning i prosessindustrien er svært begrenset, hvilket medfører usikkerhet relatert til konsekvensene av underbelastning på operatørens alarmhåndtering.

Denne oppgaven har vist at indikasjonene fra litteraturen er i tråd med forventningene om at underbelastede situasjoner svekker operatørprestasjonen, og at nærliggende faktorer som årvåkenhet og SB også er involvert i degresjonsprosessen av prestasjonen. Videre viser indikasjonene at det er behov for mer kunnskap om mental underbelastning i høyt automatiserte og komplekse omgivelser, da underbelastning er ansett for å ha blitt en situasjon som oftere forekommer under kontrollromsarbeid. Litteraturgjennomgangen viser også at mange av de utfordringene som kontrollromsoperatører står overfor i dag er en konsekvens av økt automatisering, hvor kontrollromsoperatøren inntar en passiv rolle som overvåker.

I lyset av litteraturgjennomgangen og de mange fatale ulykkene og nesten-ulykkene som har oppstått i prosessindustrien gjennom flere tiår, (særsilt Tsjernobylulykken, men også nylig ulykken i Mexicogolfen på oljeriggen Deepwater Horizon), finnes det ingen tvil om at økt kunnskap om menneskets prestasjonsevne i underbelastede situasjoner så vel som overbelastede, spiller en sentral og essensiell rolle i dagens arbeid med å øke sikkerheten, arbeidskomforten og produktiviteten i prosessindustrien.

## Referanser

- Badham, R.J. (2001). Human Factors, Politics and Power. I Karowoski, W., *International Encyclopedia of Human Factors*, vol. 1 (s. 94-96). Taylor & Francis.
- Bergquist, T., Ahnlund, J., Larsson, J.E. & Spaanenburg, L. (2003). Signal Processing and Alarm Handling in Process Control. *Proceedings of the 16th European Conference on Circuit Theory and Design, ECCTD'03*, Cracow, Poland (s. III-369-III-372), 1-4 Sept.
- Billings, C.E. (1991). *Human-centered aircraft automation: a concept and guidelines*, NASA technical memorandum 103885 (s. 66-80). NASA Ames Research Center, Moffet Field.
- Boles, D.B. (2001). Multiple Resources. I Karowski, W. (Ed.), *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*, vol. 1 (s. 271-275). Taylor & Francis.
- Bransby, M. (2001). Design of alarm systems. I Noyes, J. & Bransby, M., *People in Control. Human Factors in control room design* (s. 207-222). IEE Control Engineering Series 60, The Institution of Electrical Engineers.
- Bridger, R.S. (2003). *Introduction to Ergonomics* (s. 321-346). McGraw-Hill, Inc.
- Broadbent, D.E. (1958). *Perception and Communication* (s. 108-139, 210-243). Elmsford, NY, US: Pergamont Press.
- Byrne, E.A. & Parasuraman, R. (1996). Psychophysiology and adaptive automation, *Biological Psychology*, vol. 42, 249-268.
- Cain, B. (2007). *A review of the mental workload literature* (RTO-TR-HFM-121-Part-II). Toronto, Ontario, Canada: Nato Otan.
- Carswell, C.M. & Stephens, E.C. (2001). Information Processing. I Karowski, W. (Ed.), *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*, vol. 1 (s. 256-259). Taylor & Francis.
- Casali, J.G. & Wierwille, W.W. (1984). On the measurement of pilot perceptual workload: a comparison of assessment techniques addressing sensitivity and intrusion issues, *Ergonomics*, vol. 27, 10, 1033-1050.
- Collet, C. & Averty, P. (2003). Subjective Aspects of Mental Workload in Air-Traffic Control. I Hockey, R., Gaillard, A.W.K. & Burov, O. (Eds.), *Operator Functional State. The Assessment and Prediction of Human Performance Degradation in Complex Tasks* (s. 291-301). IOS Press.
- Cox, T. & Cox, S. (1996). Work-related stress and control-room operations. I Stanton, N., *Human Factors in Nuclear safety* (s. 251-274). London: Taylor & Francis.

- Davies, D.R. & Parasuraman, R. (1982). *The psychology of vigilance* (s. 1-24, 25-59, 80-99). Academic Press.
- Desmond, P.A. & Hoyes, T.W. (1996). Workload variation, intrinsic risk and utility in a simulated air traffic control task: evidence for compensatory effects. *Safety Science*, vol. 22, 87-101.
- Det Norske Petroleumstilsyn (DNP) (2001). *Principles for alarm system design*, YA-711. Hentet fra [http://www.ptil.no/getfile.php/Regelverket/Alarm\\_system\\_design\\_e.pdf](http://www.ptil.no/getfile.php/Regelverket/Alarm_system_design_e.pdf)
- Det Norske Petroleumstilsyn (2010). MTO - Human Factors. Hentet fra <http://www.ptil.no/mto-human-factors/category97.html>
- Dixon, S.R. & Wickens, C.D. (2006). How do automation false alarms and misses affect operator compliance and reliance? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 50<sup>th</sup> Annual Meeting – 2006*, 25-29.
- Dixon, S.R., Wickens, C.D. & McCarley, J.S. (2007). On the Independence of Compliance and Reliance: Are Automation False Alarms Worse Than Misses? *Human Factors*, vol. 49, 4, 564-572.
- Donald, C. (2001). Vigilance. I Noyes, J. & Bransby, M., *People in control. Human Factors in Control room design* (s. 35-50). UK: IET.
- Eid, J. (2006). Persepsjon. I Eid, J., & Johnsen, B.H. (red.), *Operativ Psykologi*, 2.utg., (s. 81-97). Fagbokforlaget.
- Endsley, M.R. (1988). Designing and evaluation for situation awareness enhancement. I *Proceedings of the Human Factors Society 32<sup>nd</sup> Annual Meeting*. (s. 97-101). Santa Monica, CA: Human Factors Society.
- Endsley, M.R. (1993). Situation awareness and workload: Flip sides of the same coin. I *Proceedings of the seventh International Symposium on Aviation Psychology*, vol. 2, (s. 906-911). Ohio State University: Columbus.
- Endsley, M.R. (1995). Towards a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors*, vol. 37, 1, 32-64. Human Factors and Ergonomics Society.
- Endsley, M.R. & Kiris, E.O. (1995). The Out-of-the-Loop Performance Problem and Level of Control in Automation. *Human Factors*, vol. 37, 2, 381-394. Human Factors and Ergonomics Society.

- Endsley, M.R. (1996). Automation and Situation Awareness. I Parasuraman, R. & Mouloua, M., *Automation and Human Performance. Theory and Applications* (s. 163-181). Lawrence Erlbaum, Publishers.
- Endsley, M.R. (1997). Situation Awareness, Automation & Free Flight. *Presented at the FAA/Eurocontrol Air Traffic Management R&D Seminar. Saclay, France – June, 1997*. Hentet fra <http://www.satechnologies.com/Papers/pdf/Saclay1997-SA-ATC.pdf>
- Endsley, M.R. & Kaber, D.B. (1999). Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Ergonomics*, vol. 42, 3, 462-492.
- Endsley, M.R. (2000). Theoretical Underpinnings of Situation Awareness: A Critical Review. I Endsley, M. R. & Garland, D.J., *Situation Awareness Analysis and Measurement* (s. 3-32). Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Endsley, M.R. & Garland, D.J. (2000). *Situation Awareness Analysis and Measurement* (s. xi-xv). Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Endsley, M.R., Bolte, B. & Jones, D.G. (2003). "Alarms, Diagnosis, and SA", *Designing for situation awareness: an approach to user-centered design*. (s. 149-171). Taylor & Francis.
- Endsley, M.R. & Kaber, D.B. (2004). The effects of level of automation and adaptive automation on human performance, situation awareness and workload in dynamic control task. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, vol. 5, 2, 113-153.
- EnergiLink (2008). Kontrollrom. Hentet 24.05.2009 fra <http://energilink.tu.no/leksikon/kontrollrom.aspx> Teknisk Ukeblad Media AS.
- Eyseneck, M.W. & Keane, M.T. (2001). *Cognitive Psychology. A Student's Handbook*, 4<sup>th</sup> ed. (s. 1-23, 151-183). Psychology Press: Taylor & Francis Group.
- Fitts, P.M. (1951). Engineering Psychology and Equipment Design. I Stevens, S.S., *Handbook of Experimental Psychology*. (s. 1287-1340). John Wiley & Sons, Inc.
- Frankmann, J.P. & Adams, J.A. (1962). Theories of Vigilance. *Psychological Bulletin*, vol. 59, 257-272.
- Galinsky, T.L, Rosa, R.R., Warm, J.S. & Dember, W.N. (1993). Psychophysical determinants of stress in sustained attention. *Human Factors*, vol. 35, 4, 603-614.

- Gopher, D. & Donchin, E. (1986). Workload- An examination of the concept. I Boff, K.R., Kaufman, L. & Thomas, J.P., *Handbook of perception and human performance*, vol. 2, (s. 41-1—41-49). John Wiley and sons.
- Grier, R.A., Warm, J.S., Dember, W.N., Matthews, G., Galinsky, T.L., Szalma, J.L. & Parasuraman, R. (2003). The Vigilance Decrement Reflects Limitations in Effortful Attention, Not Mindlessness. *Human Factors*, vol. 45, 3, 342-359.
- Hancock, P.A. & Parasuraman, R. (1992). Human factors and safety in the design of Intelligent Vehicle-Highway Systems (IVHS), *Journal of Safety Research*, vol. 23, 181-198.
- Hancock, P.A. & Caird, J.K. (1993). Experimental Evaluation of a Model of Mental Workload, *Human Factors*, vol. 35, 3, 413-429.
- Hart, S.G. & Staveland, L.E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): results of empirical and theoretical research. I Hancock, P.A. & Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload* (s. 139-183). Amsterdam: North-Holland.
- Health and Safety Executive (2000). *Better alarm handling* (Chemicals Sheet No 6). Hentet 20.04.2010 fra <http://www.hse.gov.uk/pubns/chis6.pdf>
- Heilman, K.M. (1995). Attentional asymmetries. I Davidson, R.J. & Hugdahl, K. (Eds.), *Brain asymmetry* (s. 217-234). Cambridge, MA: MIT Press.
- Helton, W.S., Dember, W.N., Warm, J.S. & Matthews, G. (2000). Optimism, pessimism, and false failure feedback: Effects on vigilance performance. *Current Psychology*, 18, 311-325.
- Helton, W.S & Warm, J.S. (2008). Signal salience and the mindlessness theory of vigilance. *Acta Psychologica*, vol. 129, 1, 18-25.
- Hendy, K.C. (1995). Situation awareness and workload: Birds of a feather? I *AGARD Conferendce Proceedings 575 - Situation Awareness: Limitations and Enhancement in the Aviation Environment* (s. 21-1—21-7). Neuilly-Sur-Seine: AGARD.
- Hilburn, B. (1997). Dynamic decision aiding: the impact of adaptive automation on mental workload. I Harris, D.(ed.), *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics* (s. 193-200). Aldershot: Ashgate.
- Hirst, W. & Kalmar, D. (1987). Characterizing Attentional Resources. *Journal of Experimental Psychology*, vol. 116, 1, 68-81. The American Association, Inc.
- Hollnagel, E. & Bye, A. (2000). Principles for modelling function allocation. *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 52, 2, 253-265.
- Humphreys, M.S. & Revelle, W. (1984). Personality, motivation, and performance: A theory of the relationship between individual differences and information processing. *Psychological Review*, 91, 2, 153-184.

- Huey, F.M. & Wickens, C.D. (1993). *Workload Transition: Implications for Individual and Team Performance* (s. s. 54-93). National Research Council.
- Ingstad, O. (1987). *Krisehåndtering fra skjermbasert kontrollcenter. Foredrag ved NIF-kurs* (SINTEF rapport no. STF75 A87037). Trondheim: SINTEF.
- Johansson, G. (1989). Stress, Autonomy, and the Maintenance of Skill in Supervisory Control of Automated Systems. *Applied Psychology: An International Review*, vol. 38, 1, 45-55. International Association of Applied Psychology.
- Johnson, A. & Proctor, R.W. (2004). *Attention: Theory and Practice* (s. 29-56). SAGE Publications.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and Effort* (s. 1-12, 13-27, 28-49, 136-155). Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Kantowitz, B.H. & Campbell, J.L. (1996). Pilot workload and flight deck automation. I Parasuraman, R. & Mouloua, M (Eds.), *Automation and Human Performance: Theory and Applications* (s. 117-136). Lawrence Erlbaum Associates.
- Kantowitz, B. H. & Sorkin, R.D. (1983). *Human factors: understanding people-system relationships* (s. 601-628). Wiley and Sons, Inc.
- Kinomura, S., Larsson, J., Gulyás, B. & Roland, P.E. (1996). Activation by Attention of the human reticular formation and thalamic intralaminar nuclei. *Science*, vol. 271, 512-515.
- Kirlik, A. (1993). Modeling strategic behavior in human-automation interaction: Why "aid" can (and should) go unused. *Human Factors*, vol. 35, 2, 221-242.
- Knardahl, S. (2000). Arbeid, Stress og helse. I Einarsen, S. & Skogstad, A. (red.), *Det gode arbeidsmiljø Krav og utfordringer* (s. 263-286). Fagbokforlaget.
- Lee, J. D. & See, K. A. (2004). Trust in automation: Designing for Appropriate Reliance. *Human Factors*, vol. 46, 1, 50-80
- Lees, F.P. (1983). Process computer alarm and disturbance analysis, review of the state of the art. *Computer and Chemical Engineering*, vol. 7, 6, 669-694.
- Lehto, M.R. & Buck, J.R. (2008). *Introduction to human factors and ergonomics for engineers* (s. 2-40). Lawrence Erlbaum Associates.
- Mackworth N.H. (1948). The breakdown of vigilance during prolonged visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, vol. 1, 1, 6-21.
- MacLean, K.A., Aichele, S.R., Bridwell, D.A., Mangun, G.R., Wojciulik, E. & Saron, C.D. (2009). Interaction between endogenous and exogenous attention during vigilance. *Attention, Perception & Psychophysics*, 71, 5, 1042-1058.

- Matthews, G. & Desmond, P.A. (1995). Review/Synthèse Stress as a factor in the design of in-car driving enhancement systems. Hentet fra <http://www.drivermetrics.co.uk/publications/Matthews%20&%20Desmond-95.pdf>
- Matthews, G. (2001). Arousal States and Human Performance. I Karwowski, W., *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*, vol.1 (s. 370-373). Taylor & Francis.
- Matthews, G. & Davies, D.R. (2001). Individual differences in energetic arousal and sustained attention: a dual-task study. *Personality and Individual Differences*, vol. 31, 575-589.
- Matthews, G., Davies, D.R., Westerman, S.J & Stammers, R.B. (2008). *Human Performance. Cognition, stress and individual differences* (s. 21-66, 87-106, 107-124, 161-176). Psychology Press.
- Meister, D. (1986). *Human Factors Testing and Evaluation* (s. 249-3209. Elsevier.
- Meister, D. (1989). *Conceptual aspects of human factors* (s. 1-33). Baltimore, MD: John Hopkins University Press.
- Meister, D. (2001). Fundamental Concepts of Human Factors. I Karowoski, W., *International Encyclopedia of Human Factors*, vol. 1 (s. 68-70). Taylor & Francis.
- Meshkati, N. (1988). Heart rate variability and mental workload assessment. I Hancock, P.A. & Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload* (s. 101-115). Amsterdam: North-Holland.
- Merriam Webster Online Dictionary (2010). Mental. Hentet 21.04.2010 fra <http://www.merriam-webster.com/dictionary/mental>
- Miller, G.A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *The Psychological Review*, vol. 63, 2, 81-97.
- Molloy, R., Parasuraman, R. (1996). Monitoring an Automated System for a Single Failure: Vigilance and Task Complexity Effects. *Human Factors* vol. 38, 2, 311-322.
- Moray, N. (1979). Models and measurement of mental workload. I Moray, N., *Mental workload: Its theory and measurement* (s. 13-21). Plenum.
- Moray, N. (1988). Mental workload since 1979. *International Review of Ergonomics*, vol. 2, 123-150.
- Moray, N., Lee, J.D. & Hiskes, D. (1994). Why do people intervene in the control of automated systems? I Mouloua, M. & Parasuraman, R. (Eds.), *Human Performance in automated systems: Current research and trends*. Hillsdale, Erlbaum, s. 15-21.

- Moray, N., Inagaki, T. & Itoh, M. (2000). Adaptive automation, trust, and self-confidence in fault management of time-critical tasks. *Journal of Experimental Psychology Applied* vol. 6, 1, 44-58.
- Moary, N. (2001). Process Control. I Karwowski, W., *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*, vol. 2 (s. 1148-1150). Taylor & Francis.
- Mouloua, M., Deaton, J. & Hitt, J.M., II. (2001). Automation and Workload in Aviation Systems. I Hancock, P.A. & Desmond, P.A. (eds.), *Stress, Workload, and Fatigue* (s.334-350). Lawrence Erlbaum Associates, Publisher.
- Murray, S.A. (1997). *Effects of operator alertness on human-machine interaction and supervisory control performance* (Unpublished doctoral dissertation). University of Wisconsin-Madison, Wisconsin.
- Murray, S.A. & Caldwell, B.S. (1999). Operator Alertness and Human-Machine System Performance During Supervisory Control Tasks. I Scerbo, M.W. & Mouloua, M., *Automation technology & Human Performance. Current research and trends* (s. 208-212). Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Nachreiner, F. & Hänecke, K. (1992). "Vigilance", i Smith, A.P. & Jones, D.M. (Eds.), *Handbook of Human Performance*, vol. 3 (s. 261-288). State & Trait.
- Natsoulas, T. (1967). What are perceptual reports all about? *Psychological Bulletin*, vol. 67, 4, 249-272.
- Navon, D. & Gopher, D. (1979). On the economy of the human information processing system. *Psychological Review*, vol. 86, 3, 214-255.
- Norman, D.A. & Bobrow, D.G. (1975). On Data-Limited and Resource-Limited Processes. *Cognitive Psychology*, vol. 7, 44-65.
- Norman, D.A. (1989). The problem of automation: Inappropriate feedback and interaction not over-automation. I Broadbent, D.A., Baddeley, A. & Reason, J.T. (Eds.), *Human factors in hazardous situations* (s. 585-593). Oxford: Oxford University Press.
- Oljedirektoratet (2003). *Oppsummering etter gjennomført tilsyn med alarmsystemer på produksjonsinnretninger på norsk sokkel i perioden august 2000 til september 2002*. Hentet fra <http://www.ptil.no/getfile.php/z%20Konvertert/Health,%20safety%20and%20environment/Supervision/Dokumenter/alarmsluttrapport.pdf>
- Parasuraman, R., Molloy, R. & Singh, I.L. (1993). Performance consequences of automation-induced complacency. *International Journal of Aviation Psychology*, vol. 3, 1-23.
- Parasuraman, R., Mouloua, M. & Molloy, R. (1994). Effects of adaptive task allocation on monitoring of automated systems. *Human Factors*, 38, 4, 665-679.



- Parasuraman, Mouloua, Molloy & Hilburn (1996). Monitoring of automated systems. I Parasuraman, R. & Mouloua, M. (eds), *Automation and Human Performance: Theory and Applications* (s. 91-115). Lawrence and Erlbaum Associates.
- Parasuraman, R. & Riley, V. (1997). Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse. *Human Factors*, vol. 39, 2, 230-253.
- Parasuraman, R., Warm, J.S. & See, J.E. (1998). Brain systems of vigilance. I Parasuraman, R. (Ed.), *The attentive brain* (s. 221-256). MIT Press.
- Parasuraman, R., Sheridan, T.B. & Wickens, C.D. (2000). A Model for Types and Levels of Human Interaction with Automation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part A: Systems and Humans*, vol. 30, 3, 286-297.
- Pattyn, N., Neyt, X., Henderickx, D. & Soetens, E. (2008). Psychophysiological investigation of vigilance decrement: Boredom or cognitive fatigue? *Physiology & behavior*, vol. 93, 369-378.
- Proctor, R.W & Read, L.E (2001). Models of Attention. I Karwowski, W. (ed), *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*, vol. 1 (s. 266-270). Taylor & Francis.
- Rose, C.L., Murphy, L.B., Byard, L. & Zikzad, K. (2002). The role of the big five personality factors in vigilance performance and workload. *European Journal of Personality*, vol. 16, 185-200.
- Salas, E., Driskell, J. E. & Hughes, S. (1996). Introduction: The Study of Stress and Human Performance. I Driskell, J.E. & Salas, E., *Stress and Human Performance* (s. 1-45). Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Sandén, P.O. (1990). *Work in the control room: Studies of sociotechnical systems, job satisfaction, mental load and stress reactions* (Doctoral Dissertation). Department of Psychology, Stockholm University. Hentet fra BIBSYS. (Gunnerus, B, 96480).
- Sarter, N.B., Woods, D.D. & Billings, C.E. (1997). Automation Surprises. I Salvendy, G., *Handbook of Human Factors & Ergonomics*, 2<sup>nd</sup> ed., (s. 1926-1943). New York: Wiley.
- Schaab, B. (1999). The Influence of Ascending and Descending Levels of Workload on Performance. I Scerbo, M.W. & Mouloua, M., *Automation technology and human performance: current research and trends* (s. 218-220). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Seminara, J., Gonzalez, W. & Parsons, S. (1977). *Human factors review of nuclear power plant control room design* (EPRI NP-309). Palo Alto: Electric Power Research Institute.

- Shoenfeld, V.S. & Scerbo, M.W. (1999). The Effects of Search Differences for the Presence and Absence of Features on Vigilance Performance and Mental Workload. I Scerbo, M.W. & Mouloua, M., *Automation technology & Human Performance. Current research and trends* (s. 177-182). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Singh, I.L., Molloy, R. & Parasuraman, R. (1993). Automation-induced complacency: Development of the complacency-potential rating scale. *International Journal of Aviation Psychology*, vol. 3, 2, 111-122.
- Smit, A.S., Eling, P.A.T.M. & Coenen, A.M.L. (2004a). Mental effort causes vigilance decrease due to resource depletion. *Acta Psychologica*, vol. 115, 35-42.
- Smit, A.S., Eling, P.A.T.M. & Coenen, A.M.L. (2004b). Mental effort affects vigilance enduringly: after-effects in EEG and behavior. *International Journal of Psychophysiology*, vol. 53, 239-243.
- Stanton, N. (1996). Operator reactions to alarms: fundamental similarities and situational Differences. I *Human Factors in Nuclear Safety* (s. 79-98). Stanton, N. Taylor & Francis.
- Stanton, N.A., Harrison, D.J., Taylor-Burge, K.L. & Porter, L.J. (2000). Sorting the wheat from the chaff: A study of the detection of alarms. *Cognition, Technology and Work*, vol. 2, 3, 134-141.
- Stollery, B.T. (2006). Vigilance. I Karwowski, W. *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*, vol. 1, 2<sup>nd</sup> Ed., (s. 965-971). Taylor & Francis.
- Strauch, B. (2002). *Investigating Human Error: Incidents, Accidents, and Complex Systems* (s. s. 217-232). Ashgate.
- Szalma, J.L., Warm, J.S., Matthews, G., Dember, W.N., Weiler, E.M., Meier, A. & Eggemeier, F.T. (2004). Effects of Sensory Modality and Task Duration on Performance, Workload, and Stress in Sustained Attention. *Human Factors*, 46, 2, 219-233.
- Teichner, W.H. (1974). The detection of a simple visual signal as a function of time on watch. *Human Factors*, 16, 4, 339-353.
- Temple, J.G., Warm, J.S., Dember, W.N., Jones, K.S., LaGrange, C.M. & Matthews, G. (2000). The effects of signal salience and caffeine on performance, workload, and stress in an abbreviated vigilance task. *Human Factors*, 42, 2, 183-194.

- Townsend, J.T. & Fific, M. (2004). Parallel versus serial processing and individual differences in high-speed search in human memory. *Perception and Psychophysics*, vol. 66, 6, 953-962.
- Tsang, P.S & Vidulich, M.A (2006). Mental workload and situation awareness. I Salvendy, G (Ed.), *Handbook of human factors and ergonomics*. 3<sup>rd</sup> Ed., (s. 243-268). John Wiley & Sons Inc.
- Tsang, P.S. (2001). Mental Workload. I Karowoski, W., *International Encyclopedia of Human Factors*, vol. 1 (s. 500-503). Taylor & Francis.
- Vidulich, M.A. (2000). The relationship between mental workload and situation awareness. I *Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 Congress*, vol. 3 (s. 460-463). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Warm, J. S. (1993). Vigilance and target detection. I Wickens, C.D. & Huey, B.M. (Eds.), *Workload transition: Implications for individual and team performance* (s.139-170). Washington, DC: National Research Council.
- Warm, J.S., Dember, W.N. & Hancock, P.A. (1996). Vigilance and workload in automated systems. I Parasuraman, R. & Mouloua, M. (Eds.), *Automation and human performance: Theory and applications* (s. 183-200). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Warm, J.S. & Dember, W.N. (1998). Tests of a Vigilance taxonomy. I Hoffman, R.R., Sherrick, M.F. & Warm, J.S. (Eds.), *Viewing psychology as a whole: The integrative science of William N. Dember* (s. 87-112). Washington, DC: American Psychological Association.
- Warm, J.S., Parasuraman, R. & Matthews, G. (2008). Vigilance Requires Hard Mental Work and is Stressful. *Human Factors*, vol. 50, 3, 433-441.
- Welford, A.T. (1978). Mental work-load as a function of demand, capacity, strategy and skill. *Ergonomics*, vol. 21, 151-167.
- Wickens, C.D. (1980). The structure of attentional resources. I Nickerson, R. & Pew, R. (Eds.), *Attention and Performance VIII* (s. 239-257). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Wickens, C.D. (1984). Processing resources in attention. I Parasuraman, R. & Davies, D.R. (Eds.), *Varieties of attention* (s. 63-102). New York, NY: Academic Press.
- Wickens, C.D. (1992). *Engineering Psychology and Human Performance*, 2<sup>nd</sup> Ed, (s. 439-479). HarperCollins.
- Wickens, C.D. (1995). Situation awareness: Impact of automation and display technology. I *AGARD Conferendce Proceedings 575 - Situation Awareness: Limitations and Enhancement in the Aviation Environment*. Neuilly-Sur-Seine: AGARD, 2-1 – 2-13.
- Wickens, C.D. & Hollands, J.G. (2000). *Engineering Psychology and Human Performance*, 3<sup>rd</sup> Ed., (s. 1-16, 17-68, 439-479). Prentice-Hall.

- Wickens, C.D (2001). Workload and Situation Awareness. I Hancock, P.A. & Desmond, P.A., *Stress, Workload, and Fatigue* (s. 443-450). Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Wickens, C.D. (2002). Multiple resources and performance predictions, *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, vol. 3, 2, 159-177. Taylor & Francis.
- Wickens, C.D. (2005). Multiple Resources Time Sharing Models. I Stanton, N., Hedge, A., Brookhuis, K., Salas, E. & Hendrick, H., *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods* (s. 40-1—40-6). CRC Press.
- Wickens, C.D. (2008). Multiple Resources and Mental Workload, *Human Factors*, vol. 50, 3, 449-455.
- Wiener, E.L. (1989). *Human Factors of advanced technology ("glass cockpit") transport aircraft* (NASA Technical Report 117528). Moffett Field California: NASA-Ames Research Center.
- Wientjes, C. & Grossman, P. (2005). Measurement of Respiration in Applied Human Factors and Ergonomics Research. I Stanton, N.A., Hedge, A., Brookhuis, K., Salas, E. & Hendrick, H., *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods* (s. 26-1 – 26-9). Boca Raton: CRC Press.
- Wikipedia (2010a). Positron emission tomography. Hentet 31.05.2010 fra [http://en.wikipedia.org/wiki/Positron\\_emission\\_tomography](http://en.wikipedia.org/wiki/Positron_emission_tomography)
- Wikipedia (2010b). Funksjonell magnetresonanstomografi. Hentet 31.05.2010 fra [http://no.wikipedia.org/wiki/Funksjonell\\_magnetresonanstomografi](http://no.wikipedia.org/wiki/Funksjonell_magnetresonanstomografi)
- Wikipedia (2010c). Transcranial Doppler. Hentet 31.05.2010 fra [http://en.wikipedia.org/wiki/Transcranial\\_doppler](http://en.wikipedia.org/wiki/Transcranial_doppler)
- Williams, L.J. (1982). Cognitive load and functional field of view, *Human Factors*, 27, 221-227.
- Wilson, J.R. & Rajan, J.A. (1995). Human-machine interfaces for systems control. I Wilson, J.R. & Corlett, E.N. (eds), *Evaluation of Human Work. A Practical Ergonomics Methodology* (s. 357-405). Taylor & Francis.
- Wogalter, M.S., Dempsey, P.G. & Hancock, P.A. (2001). Defining Ergonomics/Human Factors. I Karowoski, W., *International Encyclopedia of Human Factors*, vol. 1 (s. 35-37). Taylor & Francis.
- Woods, D.D. (1995). The alarm problem and directed attention in dynamic fault management. *Ergonomics*, vol. 38, 11, 2371-2393.
- Woods, D.D. (1996). Decomposing automation: Apparent simplicity, real complexity. I Parasuraman, R. & Mouloua, M. (Eds.), *Automation and Human Performance: Theory and Applications* (s. 3-17). Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.

- Yerkes, R.M. & Dodson, J.D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit formation, *Journal of Comparative Neurological Psychology*, vol. 18, 459-482.
- Young, M.S. & Stanton, N.A. (1997). Automotive Automation: Investigating the Impact on Drivers' Mental Workload. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, vol. 1, 4, 325-336. Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Young, M.S. & Stanton, N.A. (2001). "Mental Workload: Theory, Measurements and Application", i Karwowski, W. *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*, vol.1, Taylor & Francis, s. 507-512.
- Young, M.S. & Stanton, N.A. (2002a). Attention and automation: new perspectives on mental underload and performance. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, vol. 3, 2, 178-194. Taylor & Francis.
- Young, M.S. & Stanton, N.A. (2002b). Malleable Attentional Resources Theory: A New Explanation for the Effects of Mental Underload on Performance. *Human Factors*, vol. 44, 3, 365-375. Human Factors and Ergonomics Society.
- Young, M.S. & Stanton, N.A. (2005). Mental Workload. I Stanton, N.A., Hedge, A., Brookhuis, K., Salas, E. & Hendrick, H., *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods* (s. 39-1 – 39-9). Boca Raton: CRC Press.
- Zajonc, R. B. (1998). Emotions. I Daniel T. Gilbert, Susan T. Fiske and Gardner Lindzey *Handbook of Social Psychology*, vol. 1, 4<sup>th</sup> ed., (s. 591-630). Boston, Massachusetts: McGraw Hill.
- Åkerstedt, T. (2005). Ambulatory EEG Methods and Sleepiness. I Stanton, N.A., Hedge, A., Brookhuis, K., Salas, E. & Hendrick, H., *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods* (s. 21-1 – 21-7). Boca Raton: CRC Press.
- Åsland, J.E. (2003). *Alarmsystem I kontrollrom på norsk sokkel – en case studie* (Masteroppgave). Tilgjengelig fra Universitetsbiblioteket i Stavanger (MAG S5551).