

Primjena ergonomskih metoda u procesu razvoja proizvoda

Majić, Marijana

Master's thesis / Diplomski rad

2010

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:314555>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-29**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

DIPLOMSKI RAD

Marijana Majić

Zagreb, 2010.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

doc. dr. sc. Aleksandar Sušić

doc. dr. sc. Mario Štorga

Marijana Majić

Zagreb, 2010.

Zadatak

Sadržaj

Sažetak	V
Popis slika	VI
Popis tablica	VII
Popis oznaka i mjernih jedinica fizikalnih veličina	VIII
1. UVOD	1
2. RAZVOJ PROIZVODA – OSNOVNI POJMOVI	2
2.1. Razvoj proizvoda	2
2.2. Inkluzivno oblikovanje	4
3. ZNAČENJE ERGONOMIJE.....	6
3.1. Definicija	6
3.2. Značenje ergonomije u procesu konstruiranja	6
3.3. Područje primjene ergonomije.....	7
3.4. Djelovanje ergonomista	7
4. FIZIKALNE METODE.....	9
4.1. Opće metode	9
4.1.1. PLIBEL – metoda za utvrđivanje ergonomske rizika	9
4.1.2. Istraživanje mišićno-koštanih tegoba (NIOSH).....	11
4.1.3. DMQ – nizozemski mišićno-koštani upitnik.....	12
4.1.4. REBA – brza ergonomska procjena za cijelo tijelo.....	13
4.1.5. Analiza pokreta uporabom PDA tehnologije.....	15
4.1.6. Vrednovanje radnog iskustva – percipiranje napora i poteškoća	16
4.1.7. Procjena mišićnog umora – tehnika funkcionalne analize rada.....	18
4.2. Metode primjenjive na gornje udove, vrat i leđa.....	19
4.2.1. Lista za brzu procjenu rizika od mišićno-koštanih poremećaja, povezanih s radnim zadacima.....	19
4.2.2. RULA – brza procjena za gornje udove	20
4.2.3. Indeks naprezanja	22
4.2.4. OCRA metode – indeks i lista za provjeru	23
4.2.5. Psihofizikalne tablice – podizanje, spuštanje, vučenje i nošenje.....	25
4.2.6. Uređaj za praćenje pokreta leđa.....	26
4.3. Usporedba fizikalnih metoda	28
5. PSIHOFIZIOLOŠKE METODE.....	31
5.1. Elektrodermalno mjerenje.....	32
5.2. Elektromiografija (EMG)	33
5.3. Određivanje mentalnog napora mjerenjem broja otkucaja srca i njegove varijabilnosti.....	34
5.4. Ambulantni EEG i mjerenje pospanosti	35
5.5. MEG i fMR.....	36
5.6. Potencijal povezan s događajima (ERP) – procjena moždane funkcije.....	38
5.7. Mjerenje krvnog tlaka	38
5.8. Mjerenje budnosti	39
5.9. Mjerenje disanja.....	40

5.10. Usporedba psihofizioloških metoda.....	41
6. PONAŠAJNE I KOGNITIVNE METODE	44
6.1. Metode općenite analize	45
6.1.1. Promatranje.....	45
6.1.2. Intervju.....	46
6.1.3. Analiza verbalnog protokola.....	46
6.1.4. Mreža odabira za vrednovanje proizvoda.....	47
6.1.5. Fokus grupe	48
6.2. Metode analize kognitivnih zadataka	48
6.2.1. Hijerarhijska analiza zadataka (HTA)	48
6.2.2. Raspodjela funkcija	50
6.2.3. Metoda kritične odluke	50
6.2.4. Primijenjena kognitivna analiza rada.....	51
6.3. Metode analize pogrešaka.....	53
6.3.1. SHERPA – sustavni pristup predviđanju i smanjenju ljudske pogreške	53
6.3.2. Analiza zadataka radi prepoznavanja pogreške.....	53
6.4. Metode analize radnog opterećenja i situacije.....	54
6.4.1. Mentalno opterećenje.....	54
6.4.2. Model dijeljenja vremena na više izvora	54
6.4.3. Analiza kritičnog puta za multimodalnu aktivnost.....	55
6.4.4. Svjesnost situacije.....	56
6.5. Usporedba ponašajno-kognitivnih metoda	56
7. MAKROERGONOMSKE METODE	60
7.1. Sudionička ergonomija	60
7.2. <i>Kansei</i> inženjerstvo.....	61
7.3. Antropotehnologija	61
7.4. Alat za analizu sustava.....	62
7.5. Makroergonomska analiza i dizajn	62
7.6. Usporedba makroergonomskih metoda	62
8. PRIKLADNOST ERGONOMSKIH METODA ZA PRIMJENU U PROCESU RAZVOJA PROIZVODA	64
8.1. Uvod.....	64
8.2. Ergonomičnost konstrukcije bicikla	64
8.3. Analiza korisničkih potreba sa stajališta ergonomije	70
8.4. Analiza aktivnosti pri vožnji bicikla.....	71
8.5. Tehnička specifikacija bicikla obzirom na ergonomiju.....	74
8.6. Odabir metoda za ergonomsku procjenu	75
8.6.1. Fizikalne metode.....	75
8.6.2. Psihofiziološke metode	77
8.6.3. Ponašajne i kognitivne metode	78
8.6.4. Makroergonomske metode	80
8.7. Praktična primjena odabranih metoda	81
8.7.1. Primjena intervjua na procjenu ergonomske aktivnosti bicikla	81
8.7.1.1. Analiza upitnika	81

8.7.1.2. Analiza intervjua	83
8.7.1.3. Zaključak	86
8.7.2. Primjena metode procjene ergonometričnosti na bicikl.....	87
8.7.2.1. Opis metode.....	87
8.7.2.2. Primjena metode.....	88
8.7.2.3. Komentar	89
9. ZAKLJUČAK.....	91
10. POPIS PRILOGA	92
11. LITERATURA.....	93

Sažetak

U uvjetima globalnog rasta tržišta, kad konkurencija postaje sve izraženija i nemilosrdnija, konstruktori se nalaze u nezavidnoj situaciji – moraju kreirati proizvod koji će zadovoljiti sve potrebe korisnika, poštujući pritom svojstva materijala i mogućnost njihove obrade, zakonske propise i standarde te nametnuta vremenska i materijalna ograničenja. Pored toga, potrebno je brinuti o ergonomskim svojstvima jer se želi razviti proizvod koji će korisnici upotrebljavati s lakoćom i zadovoljstvom.

Cilj ovog rada jest napraviti pregled nekih najpoznatijih i najčešće upotrebljivanih metoda za ergonomsko vrednovanje proizvoda i rada, tako da se konstruktorima omogući što lakši i brži odabir ergonomskih parametara, uz minimalno poznavanje područja ergonomije.

Uvodni dio donosi upoznavanje s terminima *razvoj proizvoda* i *ergonomija*. Nadalje, slijedi kratki uvid u dostupne metode za ergonomsku procjenu te njihova usporedba unutar pojedinih skupina.

U praktičnom dijelu rada prikazana je primjenjivost analiziranih metoda u ranim fazama procesa razvoja proizvoda te je primjena jedne od metoda ilustrirana na primjeru konkretnog proizvoda – bicikla.

Popis slika

Slika 1. Faze procesa konstruiranja prema VDI-u [3]	3
Slika 2. Sociotehnički sustav [2].....	4
Slika 3. Telefon s velikim tipkama [6].....	5
Slika 4. PLIBEL upitnik [7].....	10
Slika 5. Podjela tijela na regije (NIOSH) [7]	11
Slika 6. Podloga za REBA-u [7]	14
Slika 7. Primjer dodjeljivanja bodova u REBA-i [7]	15
Slika 8. PDA uređaj [9].....	15
Slika 9. Primjer padajućeg izbornika u PDA uređaju [7]	16
Slika 10. Dio obrazaca za RULA procjenu [7]	21
Slika 11. Softver za računanje indeksa naprezanja [7]	22
Slika 12. Obrazac za računanje OCRA indeksa [7].....	24
Slika 13. Primjer psihofizikalne tablice (maksimalna sila nošenja) [7].....	25
Slika 14. Primjer statističke obrade podataka pri uporabi LMM-a [7]	27
Slika 15. Uređaj za praćenje pokreta leđa [10]	27
Slika 16. Shema uređaja za elektrodermalno mjerenje [7]	32
Slika 17. Shema EMG-a [7].....	33
Slika 18. EKG [11].....	34
Slika 19. Shema postavljanja elektroda za EEG (10/20) [12].....	35
Slika 20. Uređaj za magnetsku rezonancu [13].....	37
Slika 21. Magnetoencefalogram [14].....	37
Slika 22. Holter [15].....	38
Slika 23. Prikaz rada CoPilot-a [7]	39
Slika 24. LifeShirt [16]	40
Slika 25. Videosnimka analize verbalnog protokola [7].....	47
Slika 26. Primjer uporabe HTA metode [7].....	49
Slika 27. Primjer primijenjene kognitivne analize rada [7]	52
Slika 28. Stariji model bicikla (tzv. <i>holander</i>) [17]	65
Slika 29. Optimalan položaj korisnika pri vožnji bicikla [17].....	65
Slika 30. Položaj korisnika na različitim vrstama bicikla [17]	66
Slika 31. Usporedba željenog i ostvarenog položaja [17].....	66
Slika 32. Značenje kuta između ruku i kralješnice prilikom vožnje bicikla [17]	67
Slika 33. Prikaz dvaju pravilnih položaja prilikom vožnje bicikla [17]	67
Slika 34. Prikaz maksimalnog otklona zdjelice pri vožnji bicikla [17]	68
Slika 35. Preporučljiv i pogrešan položaj zdjelice prilikom vožnje [17].....	68
Slika 36. Ključne dimenzije bicikla [17]	69
Slika 37. Zastupljenost pojedine vrste bicikla među ispitanicima	82
Slika 38. Uporaba bicikla kod ispitanika	82
Slika 39. Zadovoljstvo ispitanika pojedinim značajkama bicikla.....	83
Slika 40. Bicikl na kojem su provjerene ergonomske značajke.....	84
Slika 41. Detalj bicikla – sjedalo	84
Slika 42. Detalj bicikla – upravljač	85
Slika 43. Prikaz uporabe kočnice	85
Slika 44. Različiti položaji ruku na upravljaču	86
Slika 45. Bicikl za usporedbu (model 2) [22]	88

Popis tablica

Tablica 1. Podjela ergonomskih metoda prema Wilsonu [7].....	8
Tablica 2. Rangiranje tegoba pema trajanju, učestalosti i intenzitetu (NIOSH) [7]	12
Tablica 3. Borgova RPE skala [7].....	17
Tablica 4. Borgova CR10 skala [7].....	17
Tablica 5. Usporedba fizikalnih metoda	29
Tablica 6. Vrste EEG signala [7]	36
Tablica 7. Usporedba psihofizioloških metoda.....	42
Tablica 8. Dvodimenzijska pojednostavljena matrica konflikata [7]	55
Tablica 9. Usporedba ponašajno-kognitivnih metoda.....	59
Tablica 10. Usporedba makroergonomskih metoda	63
Tablica 11. Korisničke potrebe	70
Tablica 12. Analiza aktivnosti pri vožnji bicikla	72
Tablica 13. Problemi pri vožnji bicikla.....	73
Tablica 14. Harmonijske dužine tjelesnih segmenata [19]	74
Tablica 15. Tehnička specifikacija bicikla sa stajališta ergonomije	74
Tablica 16. Sila stiska šake prema dobnim i spolnim skupinama.....	75
Tablica 17. Tumač oznaka za tablice 18, 19 i 20.....	75
Tablica 18. Primjenjivost fizikalnih metoda za ergonomsku procjenu.....	77
Tablica 19. Primjenjivost psihofizioloških metoda za ergonomsku procjenu	78
Tablica 20. Primjenjivost ponašajnih i kognitivnih metoda za ergonomsku procjenu	80
Tablica 21. Rezultati procjene	89

Popis oznaka i mjernih jedinica fizikalnih veličina

n – broj ponavljanih zadataka tijekom smjene

CF – konstanta frekvencije

Ff – faktor korekcije sile

Fp – faktor korekcije položaja

Fc – faktor korekcije ostalih elemenata (vibrirajući alati, skliske površine, udarci...)

Fr – faktor korekcije za "nedostatak vremena oporavka"

Fd – faktor korekcije dnevnog trajanja ponavljajućeg zadatka

D [min] – trajanje svakog zadatka koji se ponavlja

I – intenzitet podražaja [Weber]

ΔI – promjena u intenzitetu podražaja [Weber]

S – intenzitet podražaja [Fechner]

k – konstanta intenzitet podražaja [Weber]

m [kg] – masa

F [N] – sila

η_j – faktor ocjene ergonmičnosti

η_e – ocjena ergonmičnosti

k_{sj} – težinski faktor u metodi procjene ergonmičnosti

Izjavljujem da sam ovaj rad napravila samostalno, služeći se stečenim znanjem i navedenom literaturom.

Zahvaljujem svojim mentorima, doc. dr. sc. A. Sušiću i doc. dr. sc. M. Štorgi, na podršci, stručnom vodstvu i svim korisnim savjetima.

Zahvaljujem svojoj obitelji, posebno majci Marini i sestri Jasmini, te svim prijateljima na razumijevanju i podršci.

Posebno zahvaljujem bratiću Tomislavu na stručnim savjetima.

1. UVOD

U današnjim uvjetima globalizacije i širenja tržišta konkurencija postaje sve veća. Da bi se određeni proizvod nametnuo i istaknuo među stotinama ili tisućama sličnih, mora korisnicima ponuditi sve ono što traže, pa čak i više od toga. Zahtjevi korisnika vrlo su raznoliki i mnogobrojni – od samog načina uporabe proizvoda, preko trajnosti, materijala, cijene, sve do estetskog izgleda. Besmisleno je konstruirati proizvod koji nitko neće kupiti, stoga konstruktori redovito pronalaze naizgled neostvarive kompromise, kako bi što više smanjili jaz između želja i mogućnosti. Osim potreba korisnika, u razvoju proizvoda potrebno je razmotriti i mogućnosti proizvodnje, svojstva materijala, vremenska i financijska ograničenja te mnoge druge čimbenike. Ne čudi, stoga, da se konstruiranje često definira kao *iterativan proces materijalizacije ideja, u kojem je najvažniji kompromis* [1].

Kad se govori o ergonomskim kriterijima u konstruiranju proizvoda, zapravo se vrlo često radi o latentnim potrebama, odn. o potrebama koje korisnici neće eksplicitno naglasiti, ali će ih, vjerojatno nesvjesno, tražiti u proizvodu. Ponekad je već na prvi pogled ili kontakt jasno odgovara li proizvod korisniku – primjerice, je li rukovanje komplicirano, je li uopće moguće primijeniti potrebnu silu, uzrokuje li uređaj bilo kakvu nelagodu pri radu, i tako dalje. Ipak, nije uvijek sve odmah jasno te se ponekad tek nakon duže eksploatacije uočavaju manjkavosti uređaja ili sustava. Ponekad se javlja bol ili nelagoda. Stoga je izrazito važno analizirati ergonomske potrebe korisnika, kako bi se što više naučilo iz vlastitih i tuđih pogrešaka te poboljšalo proizvode, čineći korisnike zadovoljnijima.

2. RAZVOJ PROIZVODA – OSNOVNI POJMOVI

2.1. Razvoj proizvoda

Razvoj proizvoda naziv je za skup aktivnosti koji počinje prepoznavanjem mogućnosti tržišta, a završava proizvodnjom, prodajom i isporukom proizvoda. U tom procesu sudjeluju multidisciplinarni timovi koji pokrivaju konstrukciju, industrijski dizajn, proizvodnju, marketing, nabavu, upravljanje i sl. Uspješan razvoj proizvoda odlikuje profitabilnost, kvaliteta te odgovarajuća cijena [1].

Faze razvoja proizvoda su:

- planiranje
- koncipiranje
- projektiranje sustava
- konstruiranje
- ispitivanje i poboljšavanje
- lansiranje proizvodnje.

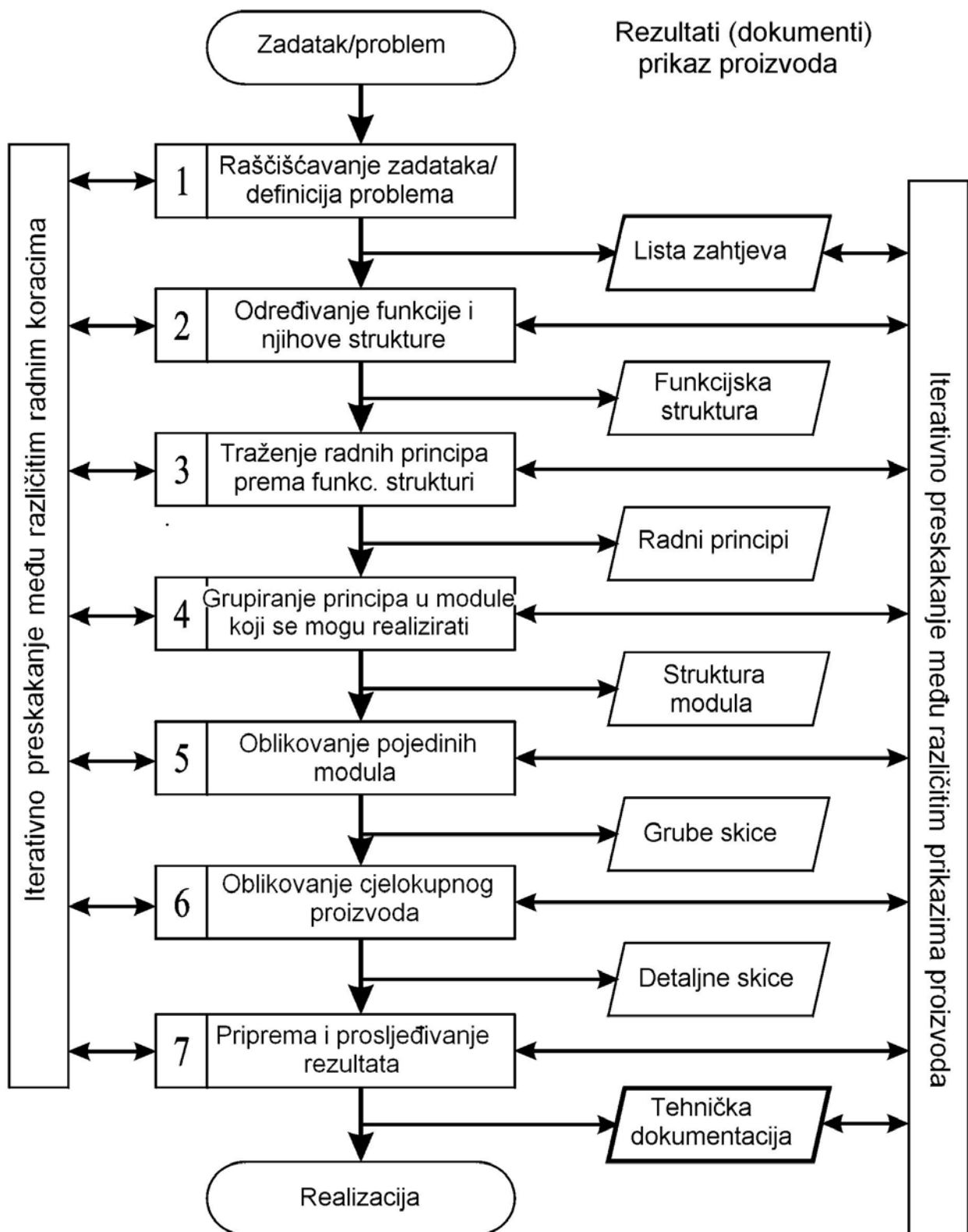
Konstruiranje (slika 1) iterativni je proces koji vodi ka konačnom oblikovanju proizvoda kroz sljedeće faze [2]:

- definiranje razmještaja komponenata i podsustava te oblikovanje njihove geometrije
- odabir materijala
- određivanje procesa proizvodnje i čimbenika kvalitete
- razmatranje različitih aspekata životnog ciklusa proizvoda

Osnovni postulati konstruiranja su *jasnoća, jednostavnost i sigurnost* [2].

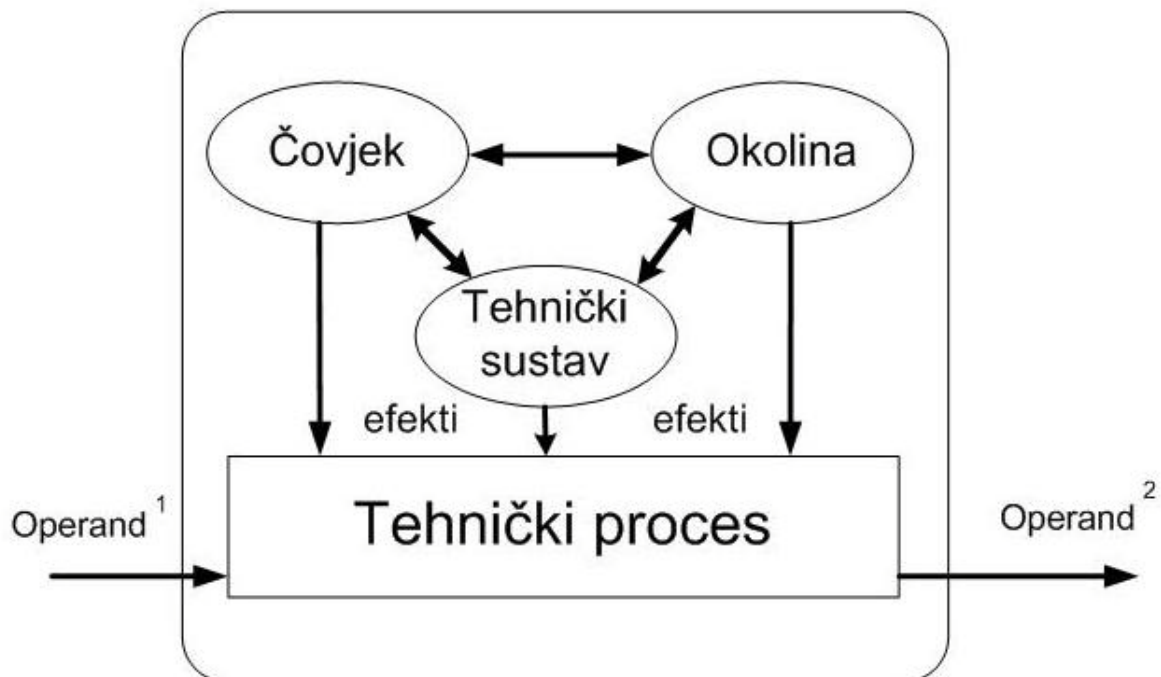
Principi metodičkog konstruiranja olakšavaju konstrukcijsku razradu. To su principi razmišljanja o *proizvodu kao sustavu*, "konkretiziranje" (*od apstraktnog prema konkretnom*) i "detaljiranje" (*od cjeline prema detaljima*) [2].

Promatranje proizvoda kao sociotehničkog sustava (slika 2), omogućuje bolje razumijevanje kompleksnih cjelina i odnosa među njihovim elementima, lakše uočavanje nelogičnosti, mogućnosti pojednostavljenja i sl. [2].



Slika 1. Faze procesa konstruiranja prema VDI-u [3]

Okolina



Slika 2. Sociotehnički sustav [2]

2.2. Inkluzivno oblikovanje

Većina populacije spada u neku od kritičnih skupina s psihičkim ili tjelesnim nedostacima. To su osobe s trajnom ili privremenom invalidnošću, djeca, trudnice, roditelji s malom djecom, osobe starije dobi, osobe povećane tjelesne mase i sl. [4].

U posljednje se vrijeme sve češće govori o *inkluzivnom oblikovanju*. Radi se o namjeri da se u ranoj fazi razvoja proizvoda ili sustava vodi računa o potrebama što šireg kruga korisnika, odn. da se svima podjednako omogući uporaba nekog proizvoda. Kako bi se olakšalo takvo oblikovanje, formirana su *Načela univerzalnog dizajna* [4]. Njihova je primjena vrlo široka – od vrednovanja postojećih proizvoda, do edukacije konstruktora i kupaca.

Načela inkluzivnog oblikovanja [5]:

1. Nepristrana mogućnost uporabe

Potrebno je omogućiti jednak način korištenja svima te izbjeći svako stigmatiziranje. Treba jednako brinuti o privatnosti, sigurnosti i zaštiti svih korisnika.

2. Fleksibilnost uporabe

Proizvodi trebaju biti prilagodljivi širokom spektru mogućnosti korisnika i sposobnosti pravilne uporabe

3. Jednostavna i intuitivna uporaba

Pri konstruiranju je potrebno ukloniti nepotrebnu složenost. Uporaba mora biti lako razumljiva, bez obzira na korisnikovo iskustvo, znanje, vladanje jezikom ili trenutnu razinu koncentracije.

4. Uočljivost informacija

Korisnik mora uvijek dobivati potrebne informacije, bez obzira na stanje osjetila ili uvjete okoliša. Važne informacije moraju uvijek biti uočljive i čitljive.

5. Toleriranje pogreške

Opasnosti se moraju svesti na najnižu mjeru, a štetne posljedice nepravilnog rukovanja onemogućiti. Opasne je dijelove potrebno izolirati i korisnika upozoriti na opasnosti.

6. Mali fizički napor

Napor za izvršenje radnje treba svesti na razumnu mjeru, a ponavljanja i trajni tjelesni napor minimizirati.

7. Mjere i prostor za pristup i uporabu

Potrebno je osigurati prostor za pristup potrebnim elementima, bez obzira na građu i mobilnost korisnika.



Slika 3. Telefon s velikim tipkama [6]

Na slici 3, kao primjer inkluzivnog oblikovanja, prikazan je telefon s velikim tipkama, kojeg uspješno upotrebljavaju i osobe starije životne dobi, osobe smanjene vještine rukovanja uređajem te slabovidne osobe [6].

3. ZNAČENJE ERGONOMIJE

3.1. Definicija

Ergonomija je interdisciplinarna grana znanosti koja, koristeći znanja fiziologije, psihologije, antropometrije i različitih tehničkih znanosti, nastoji utvrditi i poboljšati odnose između čovjeka i njegovog prirodnog i radnog okoliša, poštujući mogućnosti, vještine, potrebe i ograničenja pojedinca [7].

Jedna od novijih definicija [7] kaže da je ergonomija znanstvena disciplina koja *antagonizam čovjeka i stroja nastoji pretvoriti u sinergiju*. Ona ima moralnu obvezu poboljšati stanje ljudi, što može biti proturječno s drugim zahtjevima, kao što su učinkovitost i isplativost. Također se navodi da su ergonomisti odgovorni, kako pojedinačnom radniku, tako i poslodavcu, odn. organizaciji [7].

ISO je 1981. usvojio sljedeći princip: "Radna se okolina mora oblikovati i održavati tako da fizikalna, kemijska ili biološka stanja nemaju štetan utjecaj na čovjeka, nego su u funkciji očuvanja njegova zdravlja, sposobnosti i spremnosti na rad. Procjena treba biti izvršena objektivnim mjerenjem, gdje je to moguće, uz subjektivne procjene ostalih parametara" [7].

3.2. Značenje ergonomije u procesu konstruiranja

Ergonomija služi da bi se proizvodi i tehnički sustavi oblikovali tako da odgovaraju čovjeku, optimalno koristeći njegove sposobnosti, a istovremeno poštujući njegova prirodna ograničenja [8]. Ponekad ergonomija služi odabiru najboljeg pojedinca za određenu vrstu zadataka, što uključuje trening i izobrazbu. Zadatak kojeg čovjek obavlja mora biti izvediv i, dugoročno gledano, podnošljiv i nemonoton. Rad ne smije ni u kojem slučaju uzrokovati nelagodu ili ozljedu. Ponekad se tek nakon dugoročne uporabe nekog uređaja ili ponavljanja neke akcije može uočiti štetnost istog. O navedenom se vodi računa pri konstruiranju alata, kao i predmeta za svakodnevnu uporabu, sportskih rekvizita i tome slično [7].

Konstruktori često zanemaruju ergonomski aspekt pri oblikovanju novih proizvoda ili jednostavno ne uočavaju postojanje takvih potreba ili problema. Vrlo se često mora voditi računa o sigurnosnim propisima koji nisu eksplicitno navedeni. Također, postoje i parametri na koje konstruktori ne mogu izravno utjecati, a to su reakcije pojedinca u specifičnoj situaciji. Čovjek je tjelesno, misaono i duhovno biće te sam određuje svoje akcije i reakcije. Konstruktor bi trebao pretpostaviti probleme koji će se eventualno pojaviti, no vjerojatno neće razmišljati baš o svima.

Korisnik utječe na ispunjenje tehničke funkcije uređaja, proizvoda, ili sustava svojim rukovanjem, korekcijom i nadzorom. Da bi se unutar sociotehničkog sustava ispunile sve željene (pod)funkcije, potrebno je jasno i precizno definirati što spada u domenu čovjeka, a što stroja. Općenito govoreći, mehanizacija i automatizacija rasterećuju korisnika, ali samo ako je uzeto u obzir međudjelovanje čovjeka i stroja, zajedno s analizom isplativosti. Također je važno utvrditi kako sam stroj djeluje na pojedinog korisnika [7].

3.3. Područje primjene ergonomije

Razmatranje ergonomičnosti uključuje [7]:

- sposobnosti i ograničenja čovjeka
- interakcija čovjeka i stroja
- rad u skupinama
- konstruiranje alata, strojeva i materijala
- čimbenici okoliša
- planiranje posla
- izvedba, sigurnost i zadovoljstvo

Pri konstruiranju ergonomski prihvatljivog proizvoda, ključno je odgovoriti na sljedeća pitanja [7]:

- Koji su ciljevi promatranog posla / akcije?
- Što sve utječe na čovjeka (protok energije, materijala i informacija)?
- Koji su okolišni uvjeti povezani s radom (temperatura, svjetlo, buka)?
- Tko će obavljati zadatak (dob, spol, zdravlje, fizička sprema)?

3.4. Djelovanje ergonomista

Ergonomist kao znanstvenik

U svom znanstvenom radu ergonomist [7]:

- nadopunjuje rad drugih (npr. konstruktora)
- vrednuje zajedničku izvedbu čovjeka i stroja
- razvija nove hipoteze
- preispituje dosad poznate teorije
- koristi sofisticirane metode za prikupljanje i analizu podataka
- osigurava ponovljivost dobivenih rezultata
- analizira dobivene rezultate

Ergonomist kao praktičar

Rad ergonomista praktičara mogao bi se shvatiti kao rješavanje konkretnih, već otkrivenih problema. To obuhvaća sljedeće:

- definiranje stvarnih problema
- traženje kompromisa u često teškim situacijama

- razvijanje prototipova
- analiziranje i vrednovanje učinaka promjene
- predstavljanje otkrića zainteresiranim stranama

Većina ergonomista djeluje između ovih dviju krajnosti, kombinirajući znanstveni i praktični rad [7].

Pregled metoda za ergonomsku procjenu

Prema [Wilsonu], ergonomske se metode dijele na:

- metode za prikupljanje podataka o ljudima, tj. njihovim psihičkim, fizičkim i fiziološkim sposobnostima
- metode za razvoj sustava
- metode za procjenu izvedbe sustava čovjek-stroj
- metoda za procjenu zahtjeva i učinaka na ljude
- metode za razvoj ergonomskih sustava upravljanja

U tablici 1 prikazana je podjela ergonomskih metoda prema fokusu istraživanja, s naznačenim područjima djelovanja [Wilson]. Crna polja znače da skupina metoda (lijevo) potpuno pokriva potrebu za dobivanjem određene informacije (gore), dok siva područja znače djelomičnu pokrivenost.

METODE	PODACI O ČOVJEKU	RAZVOJ SUSTAVA	IZVEDBA ČOVJEKA I STROJA	ZAHTJEVI I UČINCI NA ČOVJEKA	ERGONOMSKI MENADŽMENT
FIZIKALNE					
PSIHOFIZIOLOŠKE					
PONAŠAJNO-KOGNITIVNE					
TIMSKE					
OKOLIŠNE					
MAKROERGONOMSKE					

Tablica 1. Podjela ergonomskih metoda prema Wilsonu [7]

4. FIZIKALNE METODE

Fizikalne metode [7] donose ključne čimbenike za provjeru i kontrolu rizika od ozljede radnika. Mnoge ozljede mišićno-koštanog sustava započinju osjećajem nelagode. Ako se takav osjećaj zanemari, postupno se može pretvoriti u bol te uzrokovati ozljede i ozbiljnije probleme, kao što su tendonitis, sindrom karpalnog tunela i tome slično. *Nelagoda* je dovoljno rani pokazatelj da nešto nije u redu s načinom obavljanja zadatka i trebala bi biti prvi poticaj da se nešto smjesta promijeni. Ne samo što smeta korisniku, nelagoda uzrokuje i smanjenu radnu učinkovitost, pa njeno otklanjanje povoljno utječe i na ekonomski aspekt rada.

Većina ovih metoda analizira pokrete pa može ometati radnika. Kako su pokreti vizualna manifestacija rada mišićno-koštanog sustava, njihovim se promatranjem mogu uočiti potencijalni problemi i prije nego se osjećaj nelagode pojavi, stoga ove metode smatramo preventivnima. Često je vrlo korisno razgovarati s korisnikom jer je najvjerojatnije da će on prvi primijetiti ono što nije u redu. U ergonomske procjeni treba poticati pojedince da iznesu sve probleme vezane uz izvršavanje svojih zadataka, bez straha od otkaza, jer će jedino tako doprinijeti povećanju vlastite, a time i tvrtkine, produktivnosti te povoljno utjecati na svoje zdravlje.

Općenito, metode se dijele na alate koncentrirane na događaje i one fokusirane na vrijeme. Prvi nude visoku preciznost jer se fokusiraju na specifične parametre, dok su drugi općenito primjenjivi, uz manju osjetljivost.

Mjerenje tegoba često se koristi i za procjenu te vrednovanje promjena unesenih u sustav uslijed ergonomske intervencije.

4.1. Opće metode

Rabe se za općenitu ergonomske procjenu i najčešće uzimaju u obzir cijelo tijelo i / ili cjelokupni tehnički sustav.

4.1.1. PLIBEL – metoda za utvrđivanje ergonomske rizika

PLIBEL je jedna od najstarijih metoda razvijenih za procjenu tegoba mišićno-koštanog sustava. Sastoji se od liste potencijalnih ergonomske opasnosti, podijeljenih na pet tjelesnih regija. To je metoda za općenitu procjenu i često služi samo kao smjernica za daljnje provjere, kako bi se otkrio i uklonio uzrok pojave tegobe.

Primjena metode započinje intervjuiranjem radnika te preliminarnim promatranjem okoline i radnog zadatka. Kad se uoči ergonomske rizik povezan s pojedinom tjelesnom regijom, nastoji se odgovoriti na pitanja iz upitnika (slika 4), pri čemu se vodi računa o trajanju te okolišnim i organizacijskim faktorima. Problemi se rangiraju prema važnosti, a u konačnom se izvještaju donosi interpretacija ergonomske radnih uvjeta, počevši od onih pokreta i položaja koji najviše umaraju. Primjena PLIBEL-a relativno je jednostavna i jeftina – zahtijeva samo olovku i papir, tj. listu za provjeru, fotoaparati ili kameru i metar, no ispravna primjena zahtijeva prilično dobro poznavanje ergonomije i određeno iskustvo.

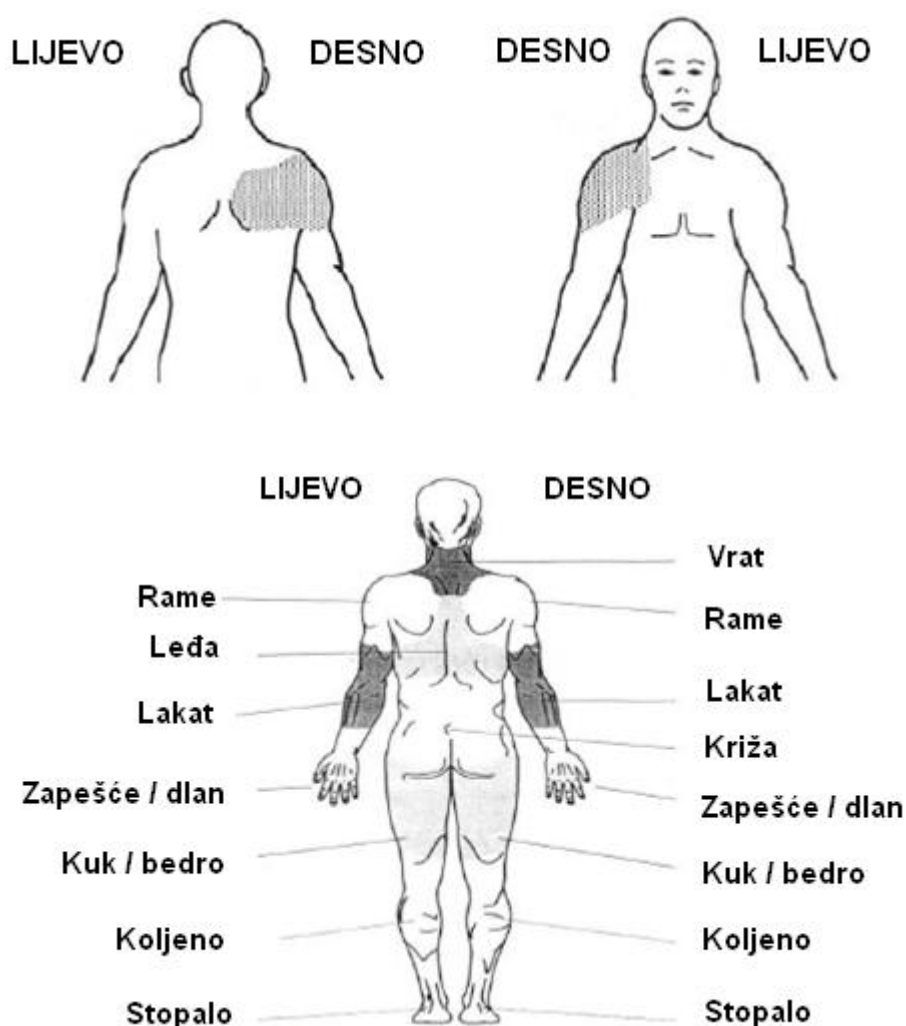
Kemmlert, K. and Kilbom, A. (1986) National Board of Occupational Safety and Health, Research Department, Work Physiology Unit, 17184 Solna, Sweden					
neck/shoulders, upper part of back	elbows, forearms, hands	feet	knees and hips	low back	
1. _____	1. _____	1. _____	1. _____	1. _____	1. Is the walking surface uneven, sloping, slippery, or nonresilient?
2. _____	2. _____	2. _____	2. _____	2. _____	2. Is the space too limited for work movements or work materials?
3. _____	3. _____	3. _____	3. _____	3. _____	3. Are tools and equipment unsuitably designed for the worker or the task?
4. _____	4. _____	4. _____	4. _____	4. _____	4. Is the working height incorrectly adjusted?
5. _____	5. _____	5. _____	5. _____	5. _____	5. Is the working chair poorly designed or incorrectly adjusted?
6. _____	6. _____	6. _____	6. _____	6. _____	6. (If the work is performed while standing) Is there no possibility to sit and rest?
7. _____	7. _____	7. _____	7. _____	7. _____	7. Is fatiguing foot-pedal work performed?
8. _____	8. _____	8. _____	8. _____	8. _____	8. Is fatiguing leg work performed, e.g.: a) repeated stepping up on stool, step, etc.? b) repeated jumps, prolonged squatting, or kneeling? c) one leg being used more often in supporting the body?
9. _____ a) _____ b) _____ c) _____ d) _____	9. _____ a) _____ b) _____ c) _____ d) _____	9. _____ a) _____ b) _____ c) _____ d) _____	9. _____ a) _____ b) _____ c) _____ d) _____	9. _____ a) _____ b) _____ c) _____ d) _____	9. Is repeated or sustained work performed when the back is: a) mildly flexed forward? b) severely flexed forward? c) bent sideways or mildly twisted? d) severely twisted?
10. _____ a) _____ b) _____ c) _____ d) _____	10. _____ a) _____ b) _____ c) _____ d) _____	10. _____ a) _____ b) _____ c) _____ d) _____	10. _____ a) _____ b) _____ c) _____ d) _____	10. _____ a) _____ b) _____ c) _____ d) _____	10. Is repeated or sustained work performed when the neck is: a) flexed forward? b) bent sideways or mildly twisted? c) severely twisted? d) extended backward?
11. _____ a) _____ e) _____ b) _____ f) _____ c) _____ g) _____ d) _____	11. _____ a) _____ e) _____ b) _____ f) _____ c) _____ g) _____ d) _____	11. _____ a) _____ e) _____ b) _____ f) _____ c) _____ g) _____ d) _____	11. _____ a) _____ e) _____ b) _____ f) _____ c) _____ g) _____ d) _____	11. _____ a) _____ e) _____ b) _____ f) _____ c) _____ g) _____ d) _____	11. Are loads lifted manually? Notice factors of importance as: a) periods of repetitive lifting e) handling beyond forearm length b) weight of load f) handling below knee height c) awkward grasping of load g) handling above shoulder height d) awkward location of load at onset or end of lifting
12. _____	12. _____	12. _____	12. _____	12. _____	12. Is repeated, sustained, or uncomfortable carrying, pushing, or pulling of loads performed?
13. _____	13. _____	13. _____	13. _____	13. _____	13. Is sustained work performed when one arm reaches forward or to the side without support?
14. _____ a) _____ b) _____	14. _____ a) _____ b) _____	14. _____ a) _____ b) _____	14. _____ a) _____ b) _____	14. _____ a) _____ b) _____	14. Is there repetition of: a) similar work movements? b) similar work movements beyond comfortable reaching distance?
15. _____ a) _____ b) _____	15. _____ a) _____ b) _____	15. _____ a) _____ b) _____	15. _____ a) _____ b) _____	15. _____ a) _____ b) _____	15. Is repeated or sustained manual work performed? Notice factors of importance as: a) weight of working materials or tools b) awkward grasping of working materials or tools
16. _____	16. _____	16. _____	16. _____	16. _____	16. Are there high demands on visual capacity?
17. _____ a) _____ c) _____ b) _____ d) _____	17. _____ a) _____ c) _____ b) _____ d) _____	17. _____ a) _____ c) _____ b) _____ d) _____	17. _____ a) _____ c) _____ b) _____ d) _____	17. _____ a) _____ c) _____ b) _____ d) _____	17. Is repeated work, with forearm and hand, performed with: a) twisting movements? b) forceful movements? c) uncomfortable hand positions? d) switches or keyboards?

Slika 4. PLIBEL upitnik [7]

4.1.2. Istraživanje mišićno-koštanih tegoba (NIOSH)

NIOSH (*The National Institute for Occupational Safety and Health*) razvio je upitnik za vrednovanje čimbenika rizika u raznim ergonomskim studijama diljem SAD-a. Uglavnom se koriste za procjenu tjelesnih faktora i vrednovanje oblikovanja samog zadatka, a u rjeđim su slučajevima uključivali i psihosocijalne aspekte rada.

NIOSH upitnici sadrže grafičke prikaze tijela podijeljenog u regije (slika 5), kako bi se olakšalo lociranje utvrđene tegobe ili poremećaja. Ti su se prikazi razlikovali u pojedinim istraživanjima. U općenitom je slučaju tijelo podijeljeno u stotinjak regija, pri čemu se razlikuju lijeva, desna, prednja i stražnja strana. Ako se, sukladno prirodi zadatka, može pretpostaviti uz koji će dio tijela biti povezan poremećaj, rabe se djelomični prikazi tijela.



Slika 5. Podjela tijela na regije (NIOSH) [7]

Nepravilnosti koje se pojavljuju kategoriziraju se kao *bol*, *tegoba*, *problem* ili *nelagoda*, a rangirani su prema stupnju ozbiljnosti (tablica 2). U upitniku se, za početak, nastoji utvrditi postojanje nekog od sljedećih simptoma: *bol*, *ukočenost*, *žarenje*, *obamrlost* ili *škakljanje*, kojima se zatim utvrđuje ozbiljnost prema *trajanju*, *učestalosti* i *intenzitetu*. Ova metoda nema preventivnu ulogu.

Kako je *tegoba* psihološka konstrukcija, teško ju je objektivno izmjeriti. Uglavnom se oslanja na procjenu pojedinca ili usporedbu s nekim drugim stanjima / poslovima.

trajanje tegobe	učestalost pojave tegobe	intenzitet tegobe
manje od jednog sata	gotovo nikad (svakih 6 mjeseci)	bez boli
1 do 24 sata	rijetko (svaka 2 do 3 mjeseca)	blaga bol
25 sati do jednog tjedna	ponekad (jednom mjesečno)	umjerena bol
1 do 2 tjedna	često (jednom tjedno)	ozbiljna bol
2 tjedna do jednog mjeseca	gotovo neprestano (svakog dana)	najgora moguća bol
1 do 2 mjeseca		
više od 3 mjeseca		

Tablica 2. Rangiranje tegoba prema trajanju, učestalosti i intenzitetu (NIOSH) [7]

4.1.3. DMQ – nizozemski mišićno-koštani upitnik

Nizozemski mišićno-koštani upitnik (*The Dutch Musculoskeletal Questionnaire*) nudi široki pregled s radom povezanih rizika od ozljede mišićno-koštanog sustava te služi za brzu, jednostavnu i relativno jeftinu procjenu ergonometričnosti. Može se upotrebljavati i za vrednovanje novih rješenja.

Opća verzija upitnika ima devet stranica, s prosječno 25 pitanja po stranici. Također postoji skraćena (četiri stranice) i produžena (četnaest stranica) verzija. Upitnik je kvalitativan (da / ne odgovori), a ispunjava ga sam radnik, odgovarajući pritom na pitanja vezana uz sljedeća područja:

- **osnovne informacije** – dob, spol, obrazovanje, radni staž, prijašnji poslovi, rad u smjenama
- **zadaci / dužnosti** – kompliciranost ili zahtjevnost izvedbe
- **tjelesno opterećenje** – položaji, pokreti, sile
- **opseg posla i psihosocijalni radni uvjeti** – zahtjevi, kontrola, samostalnost, organizacija rada, socijalna podrška, zadovoljstvo poslom
- **zdravlje** – uočavanje postojećih simptoma i njihove ozbiljnosti
- **životni stil** – bavljenje sportom, pušenje i sl.
- **uočeni nedostaci i ideje za poboljšanje** – samoinicijativni prijedlozi

Upitnik nastoji dovesti u vezu radne zadatke i simptome koje radnici osjećaju. Ipak, ne daje nikakve kvalitativne podatke. Uočeno je da se ozljede mišićno-koštanog sustava povezane s radom javljaju zbog velikih unutarnjih opterećenja, koja su rezultat neprikladnih položaja, pokreta ili primijenjene sile.

Pri provođenju analize, uz ispitivanu, postoji i kontrolna skupina, koju je ponekad vrlo teško formirati. Također, upitna je primjenjivost ove metode u manjim skupinama. Podaci se obrađuju u statističkim paketima. Ovaj korak može biti posebno složen kad se istraživanja provode na većim skupinama.

Kako ova metoda zahtijeva veći angažman korisnika, za njenu je primjenu ključna suradnja s upravom, odn. samom organizacijom.

Ispunjavanje upitnika relativno je brzo. Također se navodi da je za manje obrazovane najprikladnija skraćena verzija, što smatram diskriminirajućim i nekorektnim.

4.1.4. REBA – brza ergonomska procjena za cijelo tijelo

REBA (*Rapid Entire Body Assessment*) metoda je razvijena za ocjenu neuobičajenih pokreta koji se javljaju u uslužnim djelatnostima, primjerice, zdravstvu. Prvotno je zamišljena kao metoda za detaljniju procjenu (metoda koncentrirana na događaje), no razvitkom računalne verzije, postaje općenito primjenjiva, tj. daje generalni uvid u ergonomsku situaciju.

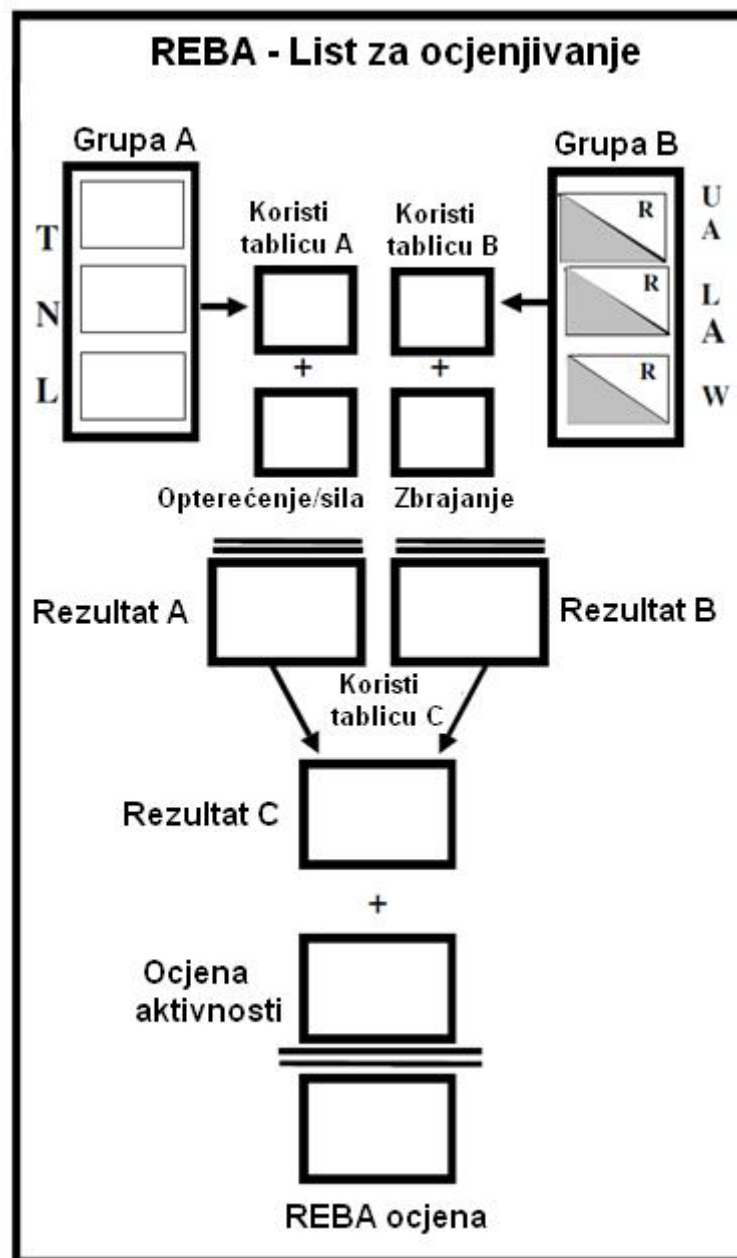
Pri procjeni izloženosti ozljedama, polazi se od biomehanički neutralnog položaja. Svaki se odmak od njega vrednuje prema priloženoj ljestvici te se računa ukupna ocjena rizika. Iako se na prvi pogled doima pomalo složenom i nejasnom, korisnici tvrde da se metoda brzo uči i jednostavno primjenjuje. Ima prilično dobro razrađenu listu provjere, s dovoljno jasnim i preciznim podjelama. Jedini problem može predstavljati određivanje kuteva, tj. odmaka od neutralnog položaja. Ako ih se bude mjerilo, zahtijevat će ometanje korisnika. Ukoliko se bude radilo samo o procjeni, to će zahtijevati određeno iskustvo i sigurnost osobe koja provodi ispitivanje. U nekim se točkama metoda prilično oslanja na subjektivnu procjenu, što može smanjiti njenu pouzdanost.

REBA ima široku primjenu – može se rabiti za procjenu svih vrsta položaja, s različitom učestalošću i opterećenjem, ako je u njihovu realizaciju uključeno cijelo tijelo. Obično se koristi kad ergonomska procjena radnog mjesta ukaže na potrebu za detaljnijom analizom. Prikladna je za evaluaciju provedenih modifikacija. Također se pokazala korisnom pri edukaciji radnika u zdravstvu.

Sastoji se od sljedećih koraka:

1. **promatranje zadatka** radi procjene općenitih ergonomskih uvjeta na radnom mjestu (utjecaj radnih uvjeta i okoliša, uporaba opreme, ponašanje zaposlenih...)
2. **odabir položaja za procjenu** – uglavnom se radi o položajima koji se najčešće ponavljaju, onima koji uključuju veću mišićnu aktivnost, čudnim ili nelagodnim položajima i sl.
3. **vrednovanje položaja** – odvojeno za lijevu i desnu stranu
4. **procesuiranje bodova (ocjena)**, uz uporabu za to predviđenih formulara
5. **računanje REBA ocjene** iz prethodno dobivenih rezultata
6. **utvrđivanje stupnja djelovanja**, obzirom na hitnost kontrolnih mjerenja

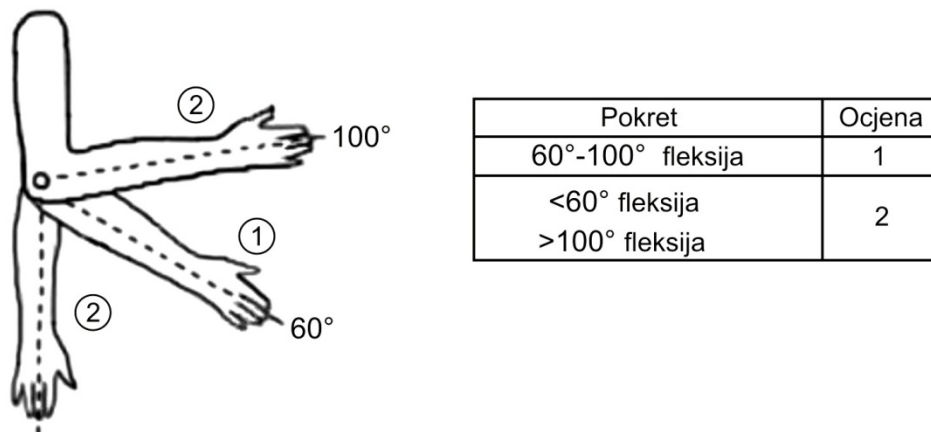
Kao i većina metoda iz ove skupine, REBA je relativno jeftina za uporabu – potrebni su olovka i papir, tj. podloge za procjenu (slika 6). U "A" dio pripadaju trup, vrat i noge, a u "B" ruke. Obrazac je preveden na hrvatski samo za potrebe ovog rada.



Slika 6. Podloga za REBA-u [7]

Uporaba kamere je opcionalna. Potrebno je samo nekoliko minuta da bi se ocijenio položaj, a uporabom dostupnog softvera, to se vrijeme još više skraćuje.

Na slici 7 prikazan je primjer dodjeljivanja bodova pri korištenju ove metode. Ukoliko je u pokret uključena fleksija podlaktice između 60 i 100°, dodjeljuje se jedan bod. Za sve ostale fleksije dodjeljuju se dva boda. Postupak je isti za ostale dijelove tijela. Usto, postoje i drugi faktori za koje se dodjeljuju dodatni bodovi, kao što su dugo zadržavanje položaja, opterećenje i sl.



Slika 7. Primjer dodjeljivanja bodova u REBA-i [7]

4.1.5. Analiza pokreta uporabom PDA tehnologije

Razvojem tehnologije postalo je posve uobičajeno da računala ulaze u gotovo svaki aspekt naših života i vremenom zamjenjuju predmete i metode kojima smo se svakodnevno služili. To je posebno uočljivo na primjeru olovke i papira, koji se spominju u opisu većine ovdje obrađenih metoda. Uz navedenu činjenicu da računala postaju sastavni dio života i rada, potrebno je spomenuti i trend zaštite okoliša, odn. tendenciju k smanjenju potrošnje papira i očuvanju šuma. Usto, u većini se metoda podaci s papira ionako prebacuju u razne računalne programe za obradu. Što je više prepisivanja podataka, to je veća vjerojatnost pojave pogreške. Osobno, smatram uporabu računala vrlo korisnom, no, zbog određene doze skeptičnosti, vjerujem da je bolje imati i papirnatu verziju svega što se radi.



Slika 8. PDA uređaj [9]

PDA uređaji (*Personal Digital Assistant*) zapravo su ručna prijenosna računala (*miniračunala*), veličine kalkulatora ili mobilnog telefona (slika 8). Vrlo su praktični zbog svoje portabilnosti te mogu biti od velike koristi pri ergonomskoj procjeni. Pretpostavljam da postoje okruženja u koja se ne smiju unositi jer bi mogla ometati rad drugih uređaja.



Slika 9. Primjer padajućeg izbornika u PDA uređaju [7]

Za procjenu ergonometričnosti radnog mjesta koristi se američka vojna lista za provjeru (ACWC – *Army Computer Workstation Checklist*). Sastoji se od padajućeg izbornika (slika 9) s jednostavnim pitanjima na koja se odgovara kvalitativno (da / ne). Svaki niječni odgovor predstavlja potencijalnu opasnost za koju se predlažu rješenja. Primjenjiva je uglavnom za ocjenu rada za računalom. Dostupan je besplatni softver u koji je moguće izravno unositi videozapise.

Budući da je rad na računalu postao uobičajena vještina, obuka za primjenu PDA tehnologije u ergonomske procjeni nije osobito teška ni dugotrajna. Svi uneseni podaci automatski se pohranjuju u bazama podataka.

4.1.6. Vrednovanje radnog iskustva – percipiranje napora i poteškoća

Ljudski se osjetilni sustav može upotrijebiti za valjanu procjenu opterećenja pri radu. Vlastita je percepcija rada od ključne važnosti, stoga su razvijene psihofizikalne metode, kako bi upotpunile postojeće fizikalne.

Razvijene su dvije metode za rangiranje – jedna za kliničku dijagnozu, a druga za vrednovanje svih vrsta percepcija i osjećaja.

Za mjerenje uloženog truda rabi se Borgova skala (tablica 3). Vrijednosti se odabiru prema rezultatima testa na ergometru, pri čemu se mjeri puls. Sugerirano je da bi bilo bolje kad bi se formirala skala za praćenje potrošnje kisika. Postoji nekoliko verzija Borgove skale, a najpoznatija je „CR10“ (tablica 4). Generalizirana je i omogućuje dvosmjernu komunikaciju na razini ispitanik – ispitivač.

6	bez napora
7	izrazito lagano
8	
9	vrlo lagano
10	
11	lagano
12	
13	donekle teško
14	
15	teško
16	
17	vrlo teško
18	
19	ekstremno teško
20	maksimalni napor

Tablica 3. Borgova RPE skala [7]

Da bi dobiveni rezultati bili upotrebljivi, test se mora dobro pripremiti i mora ga voditi primjereno obučeni stručnjak. Pitanja i varijable moraju biti jasni i nedvosmisleni. Ispitanik mora biti dobro upoznat s ciljem istraživanja i načinom vrednovanja, kako bi što točnije definirao sve poteškoće s kojima se susreće pri radu.

Ovu metodu preporučuju mnoge organizacije jer je prilično jednostavna, no ne smijemo zaboraviti da njena uporaba zahtijeva doista dobro poznavanje ergonomije.

0	ništa	
0,3		
0,5	izrazito slabo	jedva primjetljivo
0,7		
1	vrlo slabo	
1,5		
2	slabo	lagano
2,5		
3	umjereno	
4		
5	jako	teško
6	vrlo jako	
7		
8		
9		
10	ekstremno jako	maksimalno
11		
*	apsolutni maksimum	najviše moguće

Tablica 4. Borgova CR10 skala [7]

4.1.7. Procjena mišićnog umora – tehnika funkcionalne analize rada

Ova je metoda razvijena prvenstveno radi primjene na radnicima u automobilskoj industriji. Uočilo se da njihove pritužbe nemaju uvijek očigledan uzrok. Ponekad se radi o mišićnim tegobama do kojih dolazi uslijed dugotrajnog ponavljanja određenih obrazaca pokreta, tj. uslijed zamora mišića. Ova se metoda može primijeniti na sve mišićne grupe, ali samo kod procjene zamora. Pogodna je i za evaluaciju provedenih intervencija.

Za računanje količine nagomilanog umora stupanj, trajanje i učestalost napora reducirani su na tri kategorije svaki. Njihovim se kombiniranjem dolazi do ukupne ocjene razine umora, koja može biti *niska, umjerena, jaka* ili *vrlo jaka*. Na taj se način određuju prioriteti za intervenciju. Koristi se Borgova skala.

Metoda daje najbolje rezultate za zadatke u kojima ima manje od 12-15 ponavljanja u minuti. Prilično je jednostavna za primjenu, a omogućuje i otkrivanje interakcija među zadacima. Obuka i primjena prilično su brze. Metoda je osjetljiva, ali ne pretjerano precizna.

Kako je metoda dobra za prepoznavanje *dobrih* poslova, njenom se primjenom može odabrati adekvatni radni zadatak za zaposlenika koji se tek vratio s bolovanja. Na taj se način čuva produktivnost i profitabilnost, uz istovremeno smanjenje vjerojatnosti od ponavljanja ozljede. Idealna je za zajedničku procjenu zadatka jer potiče raspravu unutar skupine tijekom vrednovanja. Također, nudi i rješenja nekih problema.

Metoda nije primjenjiva za zadatke s velikim brojem ciklusa (>30/min), inicijalno teške zadatke te one kod kojih se određeni položaj zadržava duže od 30 sekunda. Fokusirana je na mišićne, a ne radne cikluse. Za primjenu su potrebni uobičajeni alati – olovka, papir, videokamera, računalo, štoperica i Borgova skala.

4.2. Metode primjenjive na gornje udove, vrat i leđa

Ove se metode najčešće primjenjuju pri procjeni sjedećih poslova (gornji udovi i vrat) te poslova koji uključuju nošenje, podizanje i saginjanje (leđa).

4.2.1. Lista za brzu procjenu rizika od mišićno-koštanih poremećaja, povezanih s radnim zadacima

Lista za brzu procjenu rizika (QEC – *Quick Exposure Checklist*) vrlo je osjetljiva i široko primjenjiva metoda te može utvrditi čak i međusobnu interakciju određenih faktora rizika. Sama je primjena prilično jednostavna i brza, uz potrebnu kratku obuku i nešto prakse. Doduše, primjena je ograničena na leđa, gornje udove i vrat.

QEC vrednuje radno mjesto i dizajn upotrebljavane opreme, ukazujući na nužne preinake istih.

Sastoji se od pet koraka:

1. **samoobuka** – potrebno je pročitati upute za uporabu, kako bi se upoznalo s terminologijom i načinom rada
2. **lista za provjeru (promatrač)** – ocjena stupnja izloženosti riziku, promatranjem izvedbe
3. **lista za provjeru (izvođač)** – korisnik sam odgovara na pitanja vezana uz svoj posao
4. **računanje stupnja izloženosti** – kombiniranje druge i treće točke, uz dodavanje vrijednosti iz ponuđene tablice, kako bi se procijenio ukupan stupanj izloženosti
5. **razmatranje intervencija** – kad se uoči ergonomske problem, nastoji se pronaći način za njegovo uklanjanje

Tablica, koja se rabi za dodjeljivanje brojevnih vrijednosti percipiranim pojavama, nije osobito primjereno napravljena i djeluje prilično zbunjujuće. Smatram da bi se mogao naći način za pojednostavljenje primjene.

Metoda je, kao i većina ostalih iz ove skupine, primjenjiva za vrednovanje promjena unesenih u zadatke, odn. sustav.

Sama je primjena jeftina jer promatraču trebaju samo olovka i papir, tj. upitnik, i računalo s pripadajućim softverom za obradu podataka.

4.2.2. RULA – brza procjena za gornje udove



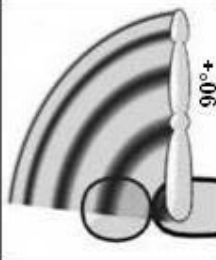

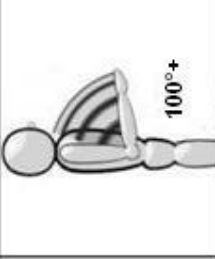

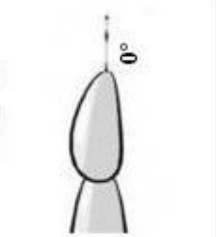
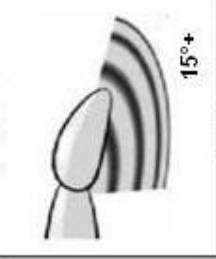

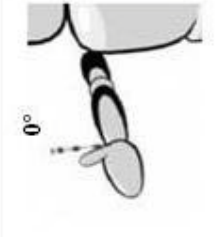

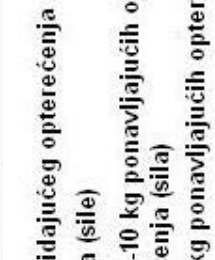
RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*) metoda je za procjenu ergonometričnosti zadataka pri kojima su opterećeni vrat i gornji udovi. Uglavnom služi za ocjenu položaja, pokreta i sila povezanih sa sjedećim zadacima, odn. poslovima.

Metoda se rabi za: mjerenje rizika od ozljede, usporedbu ergonomske situacije prije i poslije intervencije, procjenu produktivnosti i prikladnosti opreme, odn. alata, te edukaciju zaposlenih o opasnostima od ozljede. To se, prije svega, odnosi na promjenu loših navika vezanih uz obavljanje zadataka. Naime, čovjek je često vrlo nesklon mijenjanju vlastitih navika. Kad se uoči neka pogreška – primjerice, neadekvatan položaj – to se vizualno dokumentira, kako bi se pojedincu ukazalo na to i sugerirale potrebne promjene. Na taj je način lakše uvjeriti čovjeka da promjena može biti dobra.

Unatoč navedenim prednostima, metoda je prilično općenita i ne nudi detaljne informacije o položajima, stoga se često kombinira s drugima, kao dio šire ergonomske studije.

Pomoću priloženih tablica i dijagrama ocjenjuju se pojedine kretnje koje zatim dobivaju općenitu ocjenu prikladnosti.

RULA je relativno jednostavna i jeftina metoda – potrebni su samo olovka i papir, tj. obrasci (slika 10), ili računalo, uz upotrebu besplatnog softvera. Kao što je ranije spomenuto, kamera ili fotoaparati također mogu biti od koristi. Da bi primjena ove metode bila smisljena, treba obratiti pozornost i na nešto širi kontekst – informacije o proizvodima, zadacima, ranijim ozljedama, faktorima okoliša i sl. Obrazac na slici 10 preveden je na hrvatski za potrebe ovog rada.

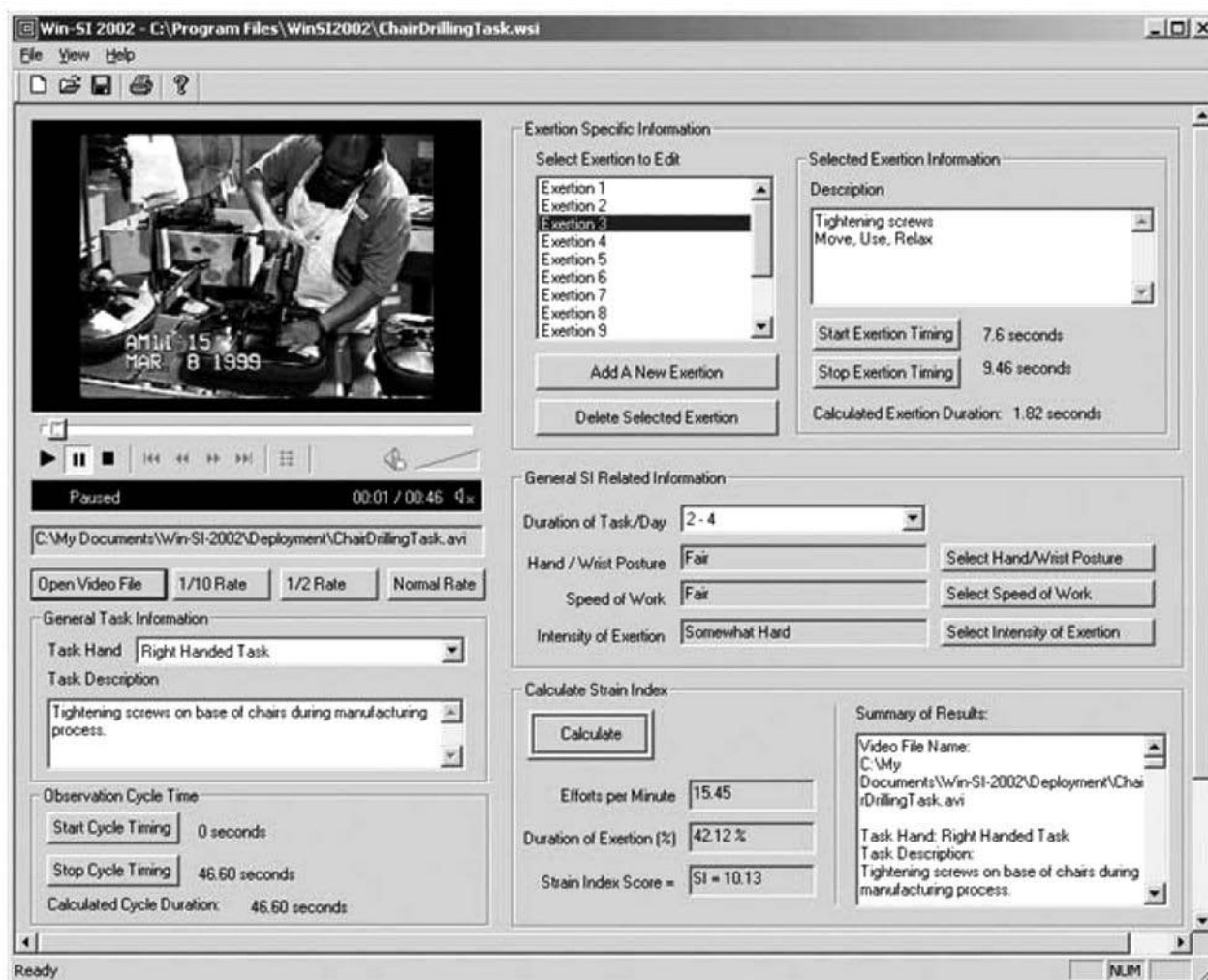
BRZA PROCJENA ZA GORNJE UDOVE (RULA)		Procjenitelj:	
Klijent:		Datum/vrijeme:	
Desna strana:			
nadlaktica			
podlaktica			
zapešće			
zakret zapešćem			
Uporaba mišića		<input type="checkbox"/> Rame je podignuto <input type="checkbox"/> Nadlaktica je otklonjena <input type="checkbox"/> Naslanjanje ili podrška ruke	
		<input type="checkbox"/> Zapešće je savinuto u odnosu na sredinju	
		<input type="checkbox"/> Zakretanje u odnosu na sredinju liniju trupa ili zakret na stranu	
		<input type="checkbox"/> Zapešće je savinuto u odnosu na sredinju liniju	
		Odbarbi ukoliko je zapešće odmaknuto u odnosu na sredinju liniju	
		IZABERITE SAMO JEDNU OPCIJU: <input type="checkbox"/> Bez otpora • manje od 2 kg prekidajućeg opterećenja <input type="checkbox"/> 2-10 kg prekidajućeg opterećenja (sile) <input type="checkbox"/> 2-10 kg statičkog opterećenja • 2-10 kg ponavljajućih opterećenja (sila) <input type="checkbox"/> 10 kg ili više prekidajućih opterećenja (sila) <input type="checkbox"/> 10 kg statičkog opterećenja • 10 kg ponavljajućih opterećenja (sila) • sile s brzim porastom	
		Sila & opterećenje za desnu stranu	
		<input type="checkbox"/> Položaj je uglavnom statički, tj. zadržava se duže od minute	

Slika 10. Dio obrazaca za RULA procjenu [7]

4.2.3. Indeks napreznaja

Indeks napreznaja (*the Strain Index*) metoda je razvijena za vrednovanje radnih zadataka, kako bi se utvrdilo pogoduju li razvoju mišićno-koštanih poremećaja na distalnim gornjim ekstremitetima. Uglavnom se radi o ciljanom otkrivanju najčešćih takvih poremećaja.

Temelji se na fiziološkim, biomehaničkim i epidemiološkim parametrima. S fiziološkog se aspekta promatra intenzitet i trajanje opterećenja te vrijeme oporavka. Biomehanika doprinosi razumijevanju djelovanja sila na mišićno-tetivnu jedinicu, dok epidemiološki faktor ukazuje na vezu između učestalosti ozljede s trajanjem i frekvencijom primijenjenih sila. Važno je napomenuti da se primijenjene vanjske sile mogu izmjeriti, no one nisu jednake unutrašnjim silama u mišićima i tetivama. U pravilu, veći otklon zgloba znači nepovoljnije djelovanje, odn. veću vjerojatnost od ozljede.



Slika 11. Softver za računanje indeksa napreznaja [7]

U ovom se pristupu naglasak stavlja na omjer vremena izvedbe i oporavka, a odnosi se na jedan ciklus, pri čemu se lijevi i desni ekstremitet analiziraju zasebno. Pri izračunu i opisu indeksa napreznaja koriste se sljedeće varijable: *intenzitet i trajanje napreznaja, broj ponavljanja u minuti, položaj dlana i zapešća, brzina i dnevno trajanje dotične izvedbe*. Pritom se djelomično oslanja na izravna mjerenja, a drugim dijelom na procjenu, što donekle dovodi objektivnost u pitanje. Ipak, razvojem posebnog besplatnog softvera (slika 11), koji omogućuje očitavanje trajanja pojedinih operacija s videozapisa te

izračunavanje ukupnog indeksa naprezanja, nastojalo se ljudski faktor svesti na minimum. Moguće je procjenu provesti i bez računala, uporabom štoperice, olovke i papira.

Zbog velikog broja varijabli i usredotočenosti na specifičan problem, ova metoda nudi preciznu i korisnu ergonomsku ocjenu. S druge pak strane, količina varijabli u određenoj mjeri usporava i otežava primjenu te zahtijeva prilično uvježbanog i iskusnog ispitivača. Upitna je pouzdanost metode kad se primjenjuje na osobu koja u svom radnom danu promijeni nekoliko zadataka. Smatram da bi bilo korisno pokušati proširiti indeks naprezanja, tako da bude upotrebljiv na cijelo tijelo i različite tipove zadataka.

4.2.4. OCRA metode – indeks i lista za provjeru

OCRA (*Occupational Repetitive Action*) metoda je za procjenu izloženosti gornjih udova rizicima od ozljede. Faktori koji se uzimaju u obzir su: ponavljanje, sila, nezgodni položaji i pokreti, vrijeme odmora te mehanički, okolišni, organizacijski i dr. faktori. Iako je metoda doista široko primjenjiva, procjena rada na računalu nije njome obuhvaćena.

OCRA indeks prva je takva metoda, a ujedno je najviše analitička i navodno najpouzdanija. OCRA lista za provjeru pojednostavljena je OCRA indeksa i služi za brzu, često inicijalnu, procjenu.

OCRA indeks rizika (slika 12) dobiven je kao omjer ukupnog broja tehničkih akcija (odn. faza rada) tijekom smjene s brojem preporučenih tehničkih akcija u smjeni. Potonji se računa prema danoj formuli (1). Upitnik je za potrebe ovog rada preveden na hrvatski jezik.

$$\text{preporučeni broj tehničkih akcija} = \sum_{x=1}^n [CF \cdot (Ff_i \cdot Fp_i \cdot Fc_i) \cdot D_i] \cdot Fr \cdot Fd \quad (1)$$

Značenje oznaka:

n – broj ponavljanih zadataka tijekom smjene

CF – konstanta frekvencije (30 izvedbi u minuti)

faktori korekcije (vrijednosti od 0 do 1):

Ff – faktor sile

Fp – faktor položaja

Fc – faktor ostalih elemenata (vibrirajući alati, skliske površine, udarci...)

Fr – faktor za "nedostatak vremena oporavka"

Fd – faktor dnevnog trajanja ponavljajućeg zadatka

D – trajanje svakog zadatka koji se ponavlja, u minutama

Ovi faktori zapravo zamjenjuju Borgovu skalu i pojednostavljuju njenu primjenu.

OCRA metoda procjene jest doista detaljna i precizna, zbog čega i oduzima dosta vremena. Nije teška za učenje i primjenu. Kao i većina ostalih metoda, zahtijeva uporabu olovke i papira, tj. ponuđene liste. Usto, potreban je kalkulator i računalo, s pripadajućim softverom. Videokamera je opcionalna.

- Konstanta frekvencije aktivnosti (aktivnost/min)
- Faktor sile (uočeni napor)

Desna ruka				Lijeva ruka				Zadaci
A	B	C	D	A	B	C	D	
30	30	30	30	30	30	30	30	CF

Borgov faktor	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	A	B	C	D	Zadaci
	1	0.85	0.75	0.65	0.55	0.45	0.35	0.2	0.1	0.01					Ff

- Faktor položaja

Vrijednost	0-3	4-7	8-11	12-15	16
Faktor	1	0.70	0.60	0.50	0.33

	A	B	C	D	A	B	C	D	Zadaci
Rame									(*) odabrati najmanji faktor između lakta, zapešća i dlana
Lakat									
Zapešće									
Dlan									
(*)									Fp

- Dodatni faktori

Vrijednost	0	4	8	12
Faktor	1	0.95	0.90	0.80

	A	B	C	D	A	B	C	D	Zadaci
									Fc

X

- Trajanje ponavljanja

	A	B	C	D	A	B	C	D	Zadaci

- Broj preporučenih aktivnosti za ponavljajuće zadatke i ukupan broj (pojedinačni rezultati, bez faktora oporavka)

										LLJEVA	DESNA
	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ		$(\alpha+\beta+\gamma+\delta)$	$(\alpha+\beta+\gamma+\delta)$

- Faktor koji se odnosi na nedostatak oporavka (broj sati bez adekvatnog oporavka)

Br. sati	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Fr
Faktor	1	0.00	0.80	0.70	0.60	0.45	0.25	0.10	0	

- Faktor koji se odnosi na ukupno trajanje ponovljenih zadataka

Minute	<120	120-239	240-480	>480	Fd	=	DESNA	LJEVA
Faktor	2	1.5	1	0.5			$\text{ARP} = \pi \times \text{FR} \times \text{FD}$	$\text{ARP} = \pi \times \text{FR} \times \text{FD}$

Ukupan broj aktivnosti promatran pri ponovljenim zadacima	=	$\frac{\text{ATA}}{\text{RTA}}$	=	DESNA	LJEVA	DESNA	LJEVA
Ukupan broj aktivnosti							

Slika 12. Obrazac za računanje OCRA indeksa [7]

4.2.5. Psihofizikalne tablice – podizanje, spuštanje, vučenje i nošenje

U oblikovanju radnih zadataka, alata i uređaja, važno je znati koje su mogućnosti čovjeka, tj. koliku masu može nositi, na koju visinu može nešto podići i sl. To je područje djelovanja psihofizike. Prema Weberovom zakonu (2) od prije 165 godina, da bi se percipirala promjena u intenzitetu opterećenja, ona mora iznositi otprilike 1/40 opterećenja, a omjer ostaje konstantan.

$$\frac{\Delta I}{I} = konst. \tag{2}$$

Fechner proširuje Weberov zakon, tvrdeći da je intenzitet osjećaja, odn. percepcije (S) u izravnoj vezi s intenzitetom podražaja, pri čemu je *k* konstanta definirana prema jedinici mjerenja (3). Fechnerov zakon daje dobre rezultate za područje srednjih vrijednosti, no ne i za ekstremne.

$$S = k \cdot \log I \tag{3}$$

Stevensonov zakon (4) primjenjiv je na podražajima svih intenziteta.

$$S = k \cdot I^n \tag{4}$$

Visina od poda do ruku (cm)	Postotak industrijske populacije	2.1-m nošenje						4.3-m nošenje						8.5-m nošenje								
		jedno nošenje svakih						jedno nošenje svakih						jedno nošenje svakih								
		6	12	1	2	5	30	8	10	16	1	2	5	30	8	18	24	1	2	5	30	8
		sec		min		hr	sec		min		hr	sec		min		hr						
Muškarci																						
111	90	10	14	17	17	19	21	25	9	11	15	15	17	19	22	10	11	13	13	15	17	20
	75	14	19	23	23	26	29	34	13	16	21	21	23	26	30	13	15	18	18	20	23	27
	50	19	25	30	30	33	38	44	17	20	27	27	30	34	39	17	19	23	24	26	29	35
	25	23	30	37	37	41	46	54	20	25	33	33	37	41	48	21	24	29	29	32	36	43
	10	27	35	43	43	48	54	63	24	29	38	39	43	48	57	24	28	34	34	38	42	50
79	90	13	17	21	21	23	26	31	11	14	18	19	21	23	27	13	15	17	18	20	22	26
	75	18	23	28	29	32	36	42	16	19	25	25	28	32	37	17	20	24	24	27	30	35
	50	23	30	37	37	41	46	54	20	25	32	33	36	41	48	22	26	31	31	35	39	46
	25	28	37	45	46	51	57	67	25	30	40	40	45	50	59	27	32	38	38	42	48	56
	10	33	43	53	53	59	66	78	29	35	47	47	52	59	69	32	38	44	45	50	56	65
Žene																						
105	90	11	12	13	13	13	13	18	9	10	13	13	13	18	10	11	12	12	12	12	16	
	75	13	14	15	15	16	16	21	11	12	15	15	16	21	12	13	14	14	14	14	19	
	50	15	16	18	18	18	18	25	12	13	18	18	18	24	14	15	16	16	16	16	22	
	25	17	18	20	20	21	21	28	14	15	20	20	21	28	15	17	18	18	19	19	25	
	10	19	20	22	22	23	23	31	16	17	22	22	23	31	17	19	20	20	21	21	28	
72	90	13	14	16	16	16	16	22	10	11	14	14	14	20	12	12	14	14	14	14	19	
	75	15	17	18	18	19	19	25	11	13	16	16	17	23	14	15	16	16	17	17	23	
	50	17	19	21	21	22	22	29	13	15	19	19	20	26	16	17	19	19	20	20	26	
	25	20	22	24	24	25	25	33	15	17	22	22	22	30	18	19	21	22	22	22	30	
	10	22	24	27	27	28	28	37	17	19	24	24	25	33	20	21	24	24	25	25	33	

Slika 13. Primjer psihofizikalne tablice (maksimalna sila nošenja) [7]

Nakon provođenja šireg ergonomskeg, tj. psihofizičkog, istraživanja, oblikovane su psihofizikalne tablice (slika 13). Razlikuju se za muškarce i žene, zbog razlika u tjelesnoj građi. One donose podatke o maksimalnoj težini podizanja, spuštanja i nošenja, te o maksimalnim silama vučenja i guranja.

Podaci su oblikovani za rukovanje manjim kutijama s ručkama. Ukoliko su kutije bez ručki, podatke iz tablice treba smanjiti za otprilike 15%. Važno je napomenuti da tablice nisu primjenjive ako se zadaci izvode kontinuirano kroz osam ili više sati. Za kombinirane zadatke treba napraviti analizu svih podzadataka, pri čemu se uzima njihova najniža vrijednost. Utvrđena je veza između ovih zadataka i ozljeda leđa, no tablice nisu osjetljive na saginjanje i okretanje, što je često najvažniji uzrok problema s leđima.

Metoda je vrlo jednostavna, jeftina i brza za uporabu. Vrlo se lako uči, a za primjenu je, osim tablica, potrebno imati mjerne uređaje (određivanje mase, sile, visine i sl.). Odgovara realnim radnim uvjetima i primjenjiva je za isprekidane zadatke i zadatke s velikom frekvencijom.

Smatram da bi se tablice mogle ponešto proširiti jer podjela možda nije dovoljno precizna. Za to bi trebalo provesti još barem jedno veliko istraživanje.

4.2.6. Uređaj za praćenje pokreta leđa

Istraživanja su pokazala da u svakom trenutku jedan od dvadeset američkih radnika boluje od križobolje. Ozljede lumbalnog dijela leđa čine oko 50% svih muskuloskeletalnih ozljeda u SAD-u, što uzrokuje godišnje gubitke od oko 60 milijardi dolara. Kako bi se utvrdilo koju ulogu u tome ima gibanje trupa, razvijen je uređaj za praćenje pokreta leđa (LMM – *Lumbar Motion Monitor*). To je značajan korak naprijed u odnosu na dosadašnje statičke modele. Uređaj je zapravo triaksijalni egzoskeletni elektrogoniometar. Pojednostavljeno rečeno, radi se o prsluku (slika 15), koji, preko pripadajućeg softvera (slika 14), omogućuje mjerenje brzina i ubrzanja pokreta tijekom samog rada, tj. daje potpunu trodimenzionalnu sliku kinematike trupa. LMM je dostupan u četiri veličine.

Pri mjerenju se fokusira na sljedeće čimbenike:

1. faktori vezani uz radno mjesto

- a. maksimalni vanjski moment na kralješnicu
- b. učestalost podizanja

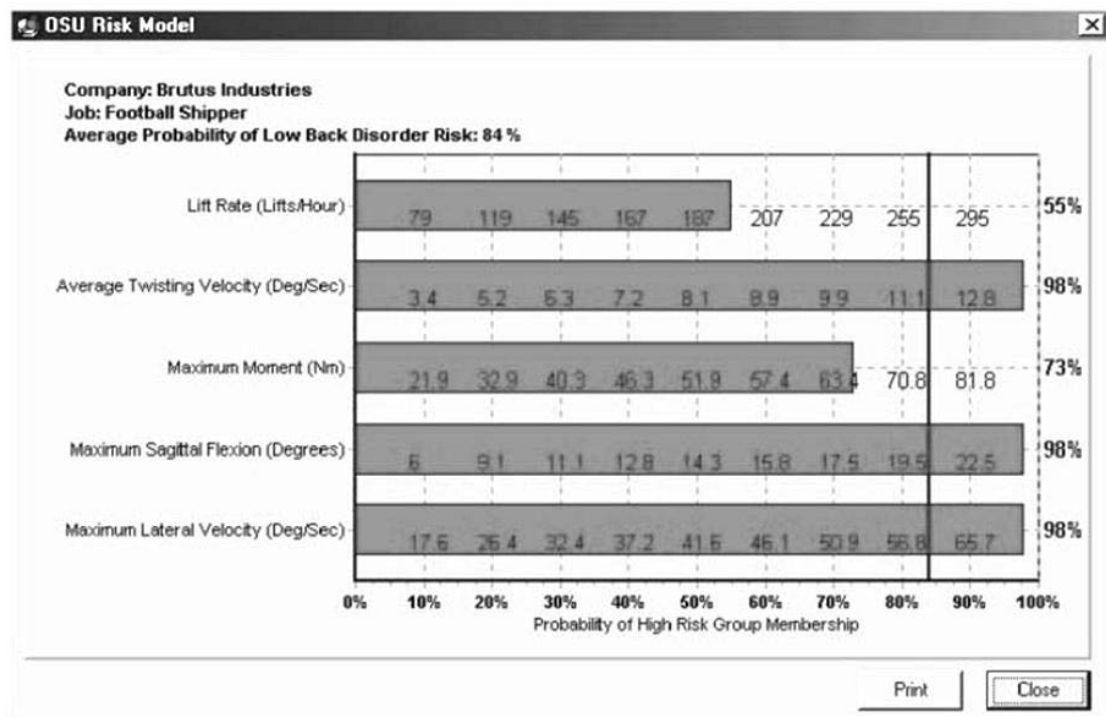
2. faktori vezani uz gibanje trupa

- a. maksimalna sagitalna fleksija
- b. maksimalna lateralna brzina
- c. prosječna brzina zakretanja

Softver bilježi i druge važne informacije, kao što su opis zadatka, ime radnika i sl. Što su podaci precizniji, jednostavnije je izvršiti kvalitetnu procjenu. Iz navedenog se može zaključiti da uporaba ove metode zahtijeva nešto bolju obuku ispitivača te potpunu suradnju s ispitanikom i organizacijom. Također, vremenski je nešto zahtjevnija.

Kombinirajući gore navedene faktore, softver računa vjerojatnost pojave tegoba u lumbalnom dijelu leđa. Omogućuje procjenu cijelog zadatka, nekog njegovog dijela ili specifične kretnje. Povezan je s bazom podataka te omogućuje brzu ocjenu utjecaja intervencija.

Važno je napomenuti da ipak postoje zadaci gdje se LMM ne može primijeniti jer bi smetao u obavljanju posla.



Slika 14. Primjer statističke obrade podataka pri uporabi LMM-a [7]



Slika 15. Uređaj za praćenje pokreta leđa [10]

4.3. Usporedba fizikalnih metoda

r.br.	METODA	FOKUS	NAČIN PRIMJENE	BRZINA	TROŠKOVI	SLOŽENOST	DODATNE NAPOMENE
1	PLIBEL	mišićno-koštano naprezanje; cijelo tijelo	dijagrami tjelesnih regija; lista za provjeru	prilično brzo	jeftino (uobičajeni alati ¹)	jednostavno	preventivno
2	NIOSH	lociranje uočene nelagode; cijelo tijelo	intervju; dijagrami tjelesnih regija; lista za provjeru	prilično brzo	jeftino (uobičajeni alati)	jednostavno	korektivno; subjektivna procjena nelagode
3	DMQ	utvrđivanje faktora rizika; cijelo tijelo	upitnik (da / ne)	relativno brzo	relativno jeftino; oduzima vrijeme radniku; formiranje kontrolne grupe	jednostavno	preventivno ili korektivno; široki pregled faktora rizika
4	REBA	cijelo tijelo	promatranje; bodovanje	prilično brzo	jeftino (uobičajeni alati)	brzo se uči (osobni dojam: komplicirano)	preventivna; subjektivnost
5	PDA	cijelo tijelo	lista za provjeru	prilično brzo	ručno računalo	jednostavno	zasad primjenjiva samo za ocjenu rada na računalu
6	percipiranje napora	vlastita percepcija rada	Borgova skala; formule	dugotrajno	obuka	jednostavno, uz dobro poznavanje ergonomije	mnoge preporuke

¹ pod „uobičajeni alati“ podrazumijeva se ono što je zajedničko gotovo svim metodama – olovka, papir, uređaj za snimanje (kamera / diktafon), razni mjerni uređaji (metar, štoperica i sl.)

7	funkcionalna analiza rada	cijelo tijelo; mišićni ciklusi; prepoznavanje dobrog rada	Borgova skala; tablice	dugotrajno	obuka	relativno jednostavno	korektivno
8	QEC	gornji udovi	lista za provjeru	prilično brzo	jeftino (uobičajeni alati); dodatna obuka	relativno jednostavno	preventivno ili korektivno
9	RULA	vrat i gornji udovi (sjedeci zadaci)	dijagrami tjelesnih regija; lista za provjeru	prilično brzo	jeftino (uobičajeni alati); potrebna edukacija	jednostavno	preventivno ili korektivno
10	indeks naprezanja	gornji udovi, bez ramena i torza	mjerjenje; besplatni softver	dugotrajno	obuka	složeno	smanjuje ljudski faktor
11	OCRA	gornji udovi	računanje vjerojatnosti; tablica umjesto Borgove skale	dugotrajno	obuka u ergonomiji i statistici	složeno	preporučuje pauze u radu
12	psihofizikalne tablice		promatranje; mjerjenje; očitanje	prilično brzo	jeftino	jednostavno	preventivno; subjektivnost
13	LMM	uloga trupa u ozljedama križa	koristi se tijekom rada; besplatni softver	dugotrajno	obučavanje i sudjelovanje korisnika; LMM prsluk	jednostavno	preventivno

Tablica 5. Usporedba fizikalnih metoda

Većina fizikalnih metoda (tablica 5) relativno je jeftina i brza za procjenu. Ipak, te su metode uglavnom orijentirane na vrednovanje rada, a ne proizvoda, pa nisu prikladne za primjenu u procesu razvoja proizvoda. Ako se fokusiramo samo na jednostavnost uporabe, najbolje metode su *PLIBEL* – metoda za utvrđivanje ergonomskih rizika (poglavlje 4.1.1.), *NIOSH* – istraživanje mišićno-koštanih tegoba (poglavlje 4.1.2.), *DMQ* – nizozemski mišićno-koštani upitnik (poglavlje 4.1.3.) te *QEC* - Lista za brzu procjenu rizika od mišićno-koštanih poremećaja, povezanih s radnim zadacima (poglavlje 4.2.1.). No, sve one zahtijevaju dobro poznavanje ergonomije ili barem razumijevanje biomehanike pokreta koje korisnik, tj. radnik, izvodi.

Autori metoda uglavnom nude besplatni softver i / ili liste za provjeru. Neke od metoda zahtijevaju posjedovanje posebne opreme (primjerice, za *PDA* metodu potreban je dlanovnik, a za *LMM* je potrebno kupiti prsluk).

Metoda percipiranja napora dobila je najbolje ocjene i preporuke, no smatram je izrazito teškom za primjenu jer ocjenitelj mora prilično dobro poznavati ergonomiju.

5. PSIHOFIZIOLOŠKE METODE

Suvremeni trendovi ukazuju na sve manju zastupljenost tjelesnog aspekta rada. Računala i roboti (automati, manipulatori) preuzimaju sve veći dio (teškog) fizičkog rada, čime se u ljudskom radu naglasak stavlja na mentalni, odn. kognitivni rad [7].

Do nesreća uglavnom dolazi zbog ljudske pogreške nastale uslijed mentalnog preopterećenja. Iz navedenog se nameće zaključak da ljudske pogreške, ne samo što mogu dovesti do ozljede ili čak smrti, mogu biti i jako skupe te ih je potrebno predvidjeti i spriječiti.

Premalo mentalno opterećenje može biti jednako štetno kao i preveliko. Mentalno opterećenje povezano s radom izravno ovisi o naporu koji radnik mora uložiti u obavljanje zadatka. Općenito, taj se napor povezuje s trudom, odn. željom da se "da sve od sebe". Jaki se mentalni napor očituje promjenom pojedinih psihofizioloških parametara, kao što su moždana aktivnost, puls, znojenje i sl [7].

[Mulder] razlikuje dvije vrste mentalnog napora:

1. **računski (eng. *computational*)** – služi održavanju izvedbe na određenoj razini
2. **kompensacijski (eng. *compensatory*)** – primjenjuje se pri promjeni energije operatora, npr. pri umoru ili smanjenoj koncentraciji

Mentalni se napor javlja uvijek kad se složenost zadatka, a time i mentalno opterećenje, promijeni. Trud se očituje voljnom promjenom ponašanja.

U psihofiziološkim se metodama mjerenja vrše na tri razine [7]:

- **izvedba** – najčešće; izravno opažanje sposobnosti obavljanja zadatka na određenoj razini
- **subjektivna opažanja** ocjenitelja ili samog izvođača
- **fiziološka mjerenja** – najprirodniji način jer rad, prema svojoj definiciji, zahtijeva fiziološku aktivnost (utječe na puls, disanje, krvni tlak, galvanski odgovor kože...)

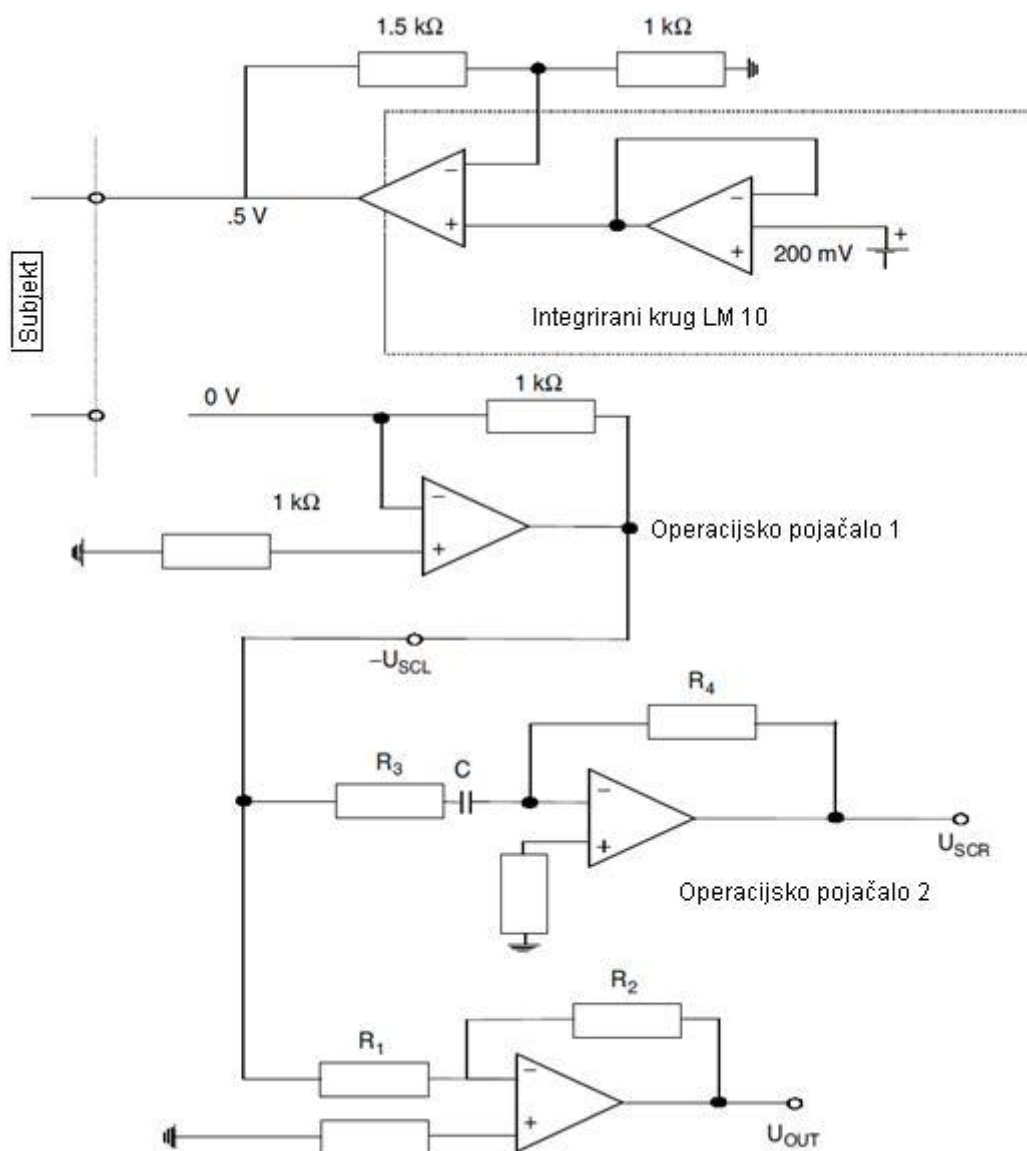
Ostala se mjerenja odnose na druge fenomene povezane s određenim događajima, primjerice, mjerenje moždane aktivnosti ili rada pojedinih mišića.

Sve su ove metode neinvazivne i dokazano djeluju, a bave se procjenom budnosti, ponašanjem, emocijama i aktivacijom, te njihovom međusobnom interakcijom.

5.1. Elektrodermalno mjerenje

Elektrodermalna aktivnost naziv je za svu električnu aktivnost zabilježenu na koži. To se odnosi na galvansku reakciju te potencijal kože i perifernih autonomnih površina. Laka je za mjerenje i interpretaciju. Javlja se kao posljedica uzbuđenja, odn. stresa, i emocionalnih odgovora na njega.

Elektrodermalna se aktivnost očituje znojenjem. Kako se najveći broj žlijezda znojnica nalazi na tabanima i dlanovima, to su najpogodnija mjesta za ispitivanje. Ukoliko je to nemoguće zbog prirode rada, elektrode se postavljaju drugdje. Nije potreban nikakav pripremni tretman za to. Kako se radi o snimanju električnih signala (slika 16), postoji mogućnost bilježenja suvišnih šumova, pa je sve dodatne utjecaje potrebno svesti na minimum. Uvjeti bi, stoga, trebali biti laboratorijski. Parametri koji se mjere su *vrijeme pobude*, *amplituda* i *vrijeme oporavka*.



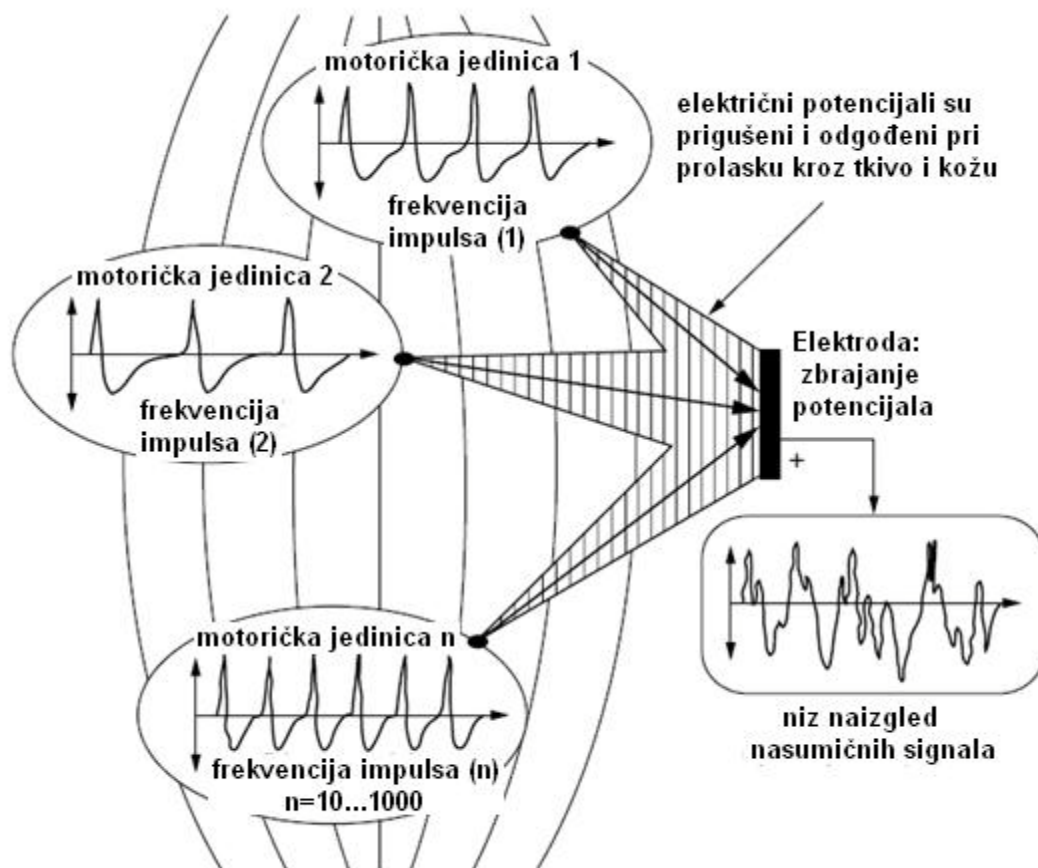
Slika 16. Shema uređaja za elektrodermalno mjerenje [7]

Kao i za sva ostala psihofiziološka mjerenja, potrebna je vrlo skupa oprema. Budući da se radi o medicinskom mjerenju, procedura je strogo definirana standardom.

5.2. Elektromiografija (EMG)

Elektromiografija proučava funkciju mišića kroz analizu električnih signala (slika 17) koji se emitiraju pri njihovoj kontrakciji. Razvojem opreme i metoda ispitivanja, u zadnjih nekoliko desetljeća, EMG postaje sve češći alat u različitim istraživanjima.

Mišićna sila ovisi o broju aktiviranih motoričkih jedinica. EMG signal čini niz kvazinasumičnih signala različitih amplituda i trajanja, bez nekog očitog reda. Intenzitet signala proporcionalan je kontrakciji. Što je elektroda veća i udaljenija od mišićnog vlakna, to više podataka bilježi, stoga je moguće mjeriti aktivnost samo onih mišića koji su blizu površine. Ne može se rabiti kod pretilih ljudi.



Slika 17. Shema EMG-a [7]

Za mjerenje se koriste uglavnom površinske elektrode. Važno je napomenuti da EMG mjeri samo napon. U ergonomiji se EMG rabi pri dizajnu radnog mjesta i alata, kao i za mjerenje mišićnog opterećenja, lokaliziranog umora uslijed preopterećenja, koordinacije i sl. Na temelju dobivenih rezultata, moguće je predvidjeti umor mišića. Važno je napomenuti da se EMG vrlo rijetko mjeri sam za sebe. Najčešće je to samo jedan segment istraživanja.

Kako bi uporaba EMG-a bila pravilna i korisna, uz skupu opremu, potrebno je posjedovati i prilično dobro znanje o anatomiji čovjeka. Umjeravanje, priprema ispitivanja i analiza podataka zahtijevaju stručnost i moraju se obavljati u skladu s propisima.

5.3. Određivanje mentalnog napora mjerenjem broja otkucaja srca i njegove varijabilnosti

Broj otkucaja srca uglavnom se očitava iz EKG-a (elektrokardiograma), koji bilježi električnu aktivnost srca (slika 18). Kao i kod ostalih mjerenja električne aktivnosti, i ovdje je važno iz mnoštva informacija razabrati one važne, stoga je, uz adekvatnu opremu, potrebna određena vještina i iskustvo za interpretaciju rezultata. Mjerenja su jako pouzdana u laboratorijskim uvjetima, a nešto manje u stvarnim situacijama.

Zapravo nije važan sam broj otkucaja, nego vrijeme koje prođe između dva otkucaja. Za procjenu rada važna je varijabilnost broja otkucaja, budući da može biti povezano s emocionalni odgovorom. No, broj otkucaja srca podložan je i drugim utjecajima, kao što su govor i disanje. Mjerenje je korisnije ako se provodi zajedno s nekim drugima, npr. ako se istovremeno prati i disanje. Za potrebe ergonomije, broj otkucaja srca dovoljno je mjeriti ručnim tlakomjerom.

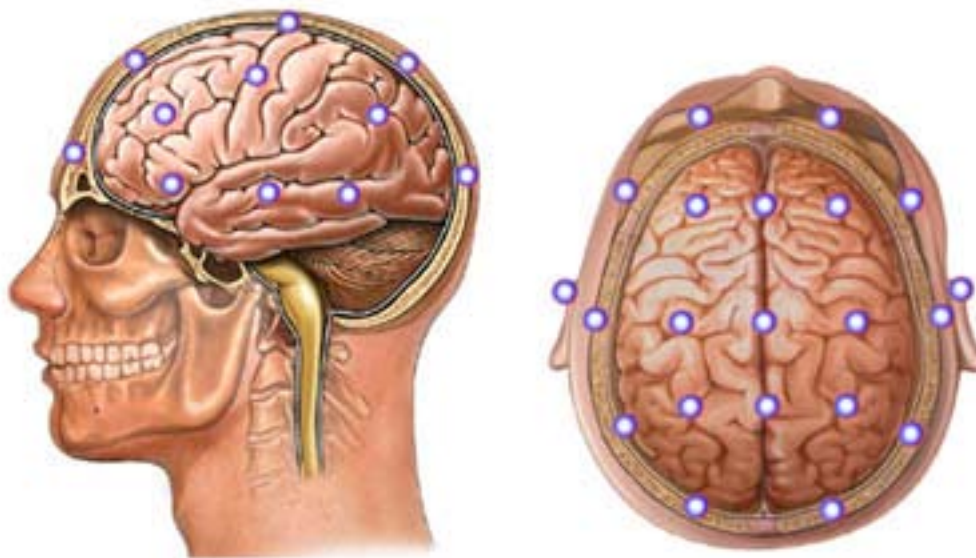


Slika 18. EKG [11]

5.4. Ambulantni EEG i mjerenje pospanosti

Pospanost je glavni uzrok nesreća u prometu i industriji. Osim subjektivnih, uključuje i bihevioralne te fiziološke komponente. Pospanost je uzrokovana nedostatkom sna, dugom budnošću, monotonijom i sl. Polisomnografske metode, kao što su EEG (elektroencefalografija), EOG (elektrookulografija) i EMG (elektromiografija) omogućuju konstantno praćenje pospanosti u realnom vremenu.

EEG bilježi električnu moždanu aktivnost. Djelomično se koristi standardni raspored elektroda 10/20 (slika 19). Promjena frekvencije moždanih valova ukazuje na promjenu stanja svijesti. Povećana aktivnost alfa valova znak je monotonije i nagovještaj padanja u san.



Slika 19. Shema postavljanja elektroda za EEG (10/20) [12]

Za provođenje ovog testa važna je oprema, kao i vještina za postavljanje elektroda, umjeravanje uređaja i interpretaciju podataka. Testiranje se može vršiti u laboratorijskim uvjetima, sa standardnom medicinskom opremom, ili u realnim uvjetima, pomoću prijenosnog uređaja. U tom je slučaju potrebno zapisati sve važne informacije u dnevnik, kako bi ispitivač imao uvid u cijelu situaciju, jer smetnje iz okoline također utječu na rezultate. Prijenosni uređaji za EEG mogu poslužiti i za druga elektrofiziološka mjerenja. Jedan od problema ove metode leži u činjenici da odsutnost pokazatelja pospanosti ne znači nužno i njenu odsutnost.

naziv signala (vala)	frekvencija (Hz)	amplituda (μV)	čovjekovo stanje
Alfa (α) valovi	8-13	20-60	opušten
Beta (β) valovi	14-30	2-20	uzbuđen
Gama (γ) valovi	>30		
Delta (δ) valovi	0,5-3,5	20-200	dubok san
Theta (θ)valovi	4-7	20-100	pospan
Mi (μ) valovi	9-11		

Tablica 6. Vrste EEG signala [7]

5.5. MEG i fMR

MEG (magnetoencefalograf) i fMR (funkcionalna magnetska rezonanca) komplementarne su metode za ispitivanje moždane aktivnosti. MEG (slika 21) ima odličnu vremensku rezoluciju i pogodniji je za bilježenje površinske aktivnosti, dok fMR (slika 20) ima odličnu prostornu rezoluciju. Zajedno omogućuju precizno snimanje strukture i funkcije mozga.

Pojačan metabolizam aktivnih neurona, uslijed izvršenja neke moždane aktivnosti, uzrokuje pojačani dotok krvi, što se može mjeriti fMR-om. MEG služi za mjerenje magnetskih polja koja se stvaraju uz moždane struje.

Ove metode mogu koristiti dobro obučeni i iskusni pojedinci isključivo u laboratorijskim uvjetima, pomoću vrlo skupe opreme. Neki ljudi ne smiju biti podvrgnuti ovim ispitivanjima, npr. ako imaju implantat od feromagnetičnog materijala ili su alergični na kontrastno sredstvo.

Ne postoji standard ili propis za uporabu obje metode, stoga je najbolje najprije napraviti fMR kao vodilju za MEG.



Slika 20. Uredaj za magnetsku rezonancu [13]



Slika 21. Magnetoencefalogram [14]

5.6. Potencijal povezan s događajima (ERP) – procjena moždane funkcije

ERP (*Event Related Potential*) čini niz oscilacija električnog napona u mozgu, koje su povezane s izvođenjem određenih zadataka. Uporaba je relativno ograničena zbog mnoštva smetnji koje se mogu pojaviti, stoga je ograničena na strogo laboratorijske uvjete i iskusnog ispitivača. U ergonomiji se koristi za određivanje budnosti, mentalnog opterećenja, umora i sl. Od EEG-a se razlikuje po tome što signale bilježi u vremenskoj, a ne frekventnoj domeni.

Oprema za ERP uključuje senzore (elektrode), pojačalo i računalo s odgovarajućim softverom.

5.7. Mjerenje krvnog tlaka

Hipertenzija je bolest povišenog krvnog tlaka koja može uzrokovati mnoštvo ozbiljnih kardiovaskularnih bolesti i oštećenja. Nastaje uglavnom zbog nezdravog načina života – nezdrave prehrane, stresa i pušenja – pa ne čudi njena sve veća učestalost.

Napredak u ambulantnim metodama omogućio je procjenu interakcije ponašanja, emocija i aktivacije s radnim opterećenjem u realnim radnim uvjetima. Na taj se način mogu otkriti kratkotrajne pojave, npr. umor i dosada, te dugotrajne, kao što su kardiovaskularne bolesti.

Promjene u krvnom tlaku izravno su povezane s emocionalnim odgovorom na stres. Cjelodnevno, automatsko i neinvazivno mjerenje krvnog tlaka pomoću prijenosnog uređaja, tzv. holtera (slika 22), omogućuje određivanje napora povezanog s radnim opterećenjem. Da bi zabilježenim podacima pridružili pravo značenje, potrebno je voditi dnevnik s detaljnim opisom aktivnosti. Holter može utjecati na svakodnevne radnje i poremetiti san.

Umjeravanje i postavljanje uređaja te interpretacija rezultata zahtijevaju vještinu i iskustvo.



Slika 22. Holter [15]

5.8. Mjerenje budnosti

Zbog mogućnosti svjesnog odlaganja potrebe za spavanjem, teško je objektivno mjeriti budnost, odn. pospanost.

Budući da je pospanost najčešći uzrok nesreća, a tehnologija napreduje nevjerojatnom brzinom, za očekivati je da će se u skoroj budućnosti razviti uređaji za njeno praćenje. Ona se, prije svega, očituje polaganim treptanjem. Suhi zrak također može uzrokovati usporeno treptanje, stoga treba razlikovati te dvije mogućnosti.

Sustav za praćenje budnosti vozača kamiona (*PERCLOS CoPilot*), trenutno je u fazi testiranja. Sastoji se od dvije kamere, smještene međusobno pod 90° , i djelatelja snopa. Prije uporabe se namješta poput retrovizora. Primjena se temelji na svojstvu mrežnice da reflektira različitu količinu infracrvene svjetlosti pri različitim valnim duljinama. Može se koristiti samo za statičke zadatke. Ne dolazi u doticaj s korisnikom, ali ga potiče na promjenu ponašanja kad detektira umor. Naravno, ukoliko ispitanik odluči ignorirati uređaj, ne može se ništa poduzeti.



Slika 23. Prikaz rada CoPilot-a [7]

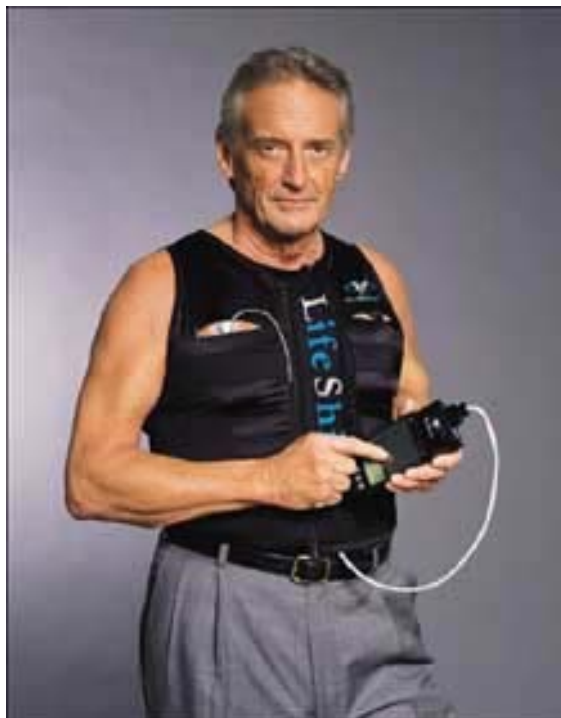
Na slici 23 prikazan je način rada CoPilota. Kamera snima čovjekovo lice, postupno izolirajući sve osim svjetlećih zjenica na koje se fokusira.

5.9. Mjerenje disanja

Disanje je usko povezano s emocijama, raspoloženjem i dr. psihološkim parametrima. Mjerenje disanja odvija se na dva načina. Prvi je povezan s dubinom i frekvencijom udisaja, a drugi s izmjenom plinova u krvi. Količina udahnutog zraka i krvni tlak rastu s pojavom stresa.

Volumen udahnutog zraka moguće je računati preko promjene opsega rebara i trbuha. Jedan od novijih uređaja, LifeShirt (slika 24), može mjeriti i bilježiti disanje, EKG, zasićenost kisikom i sl. Kad se razmatra dovoljno parametara, disanje može poslužiti za precizniju ocjenu ostalih manifestacija opterećenja, odn. napora. Naravno, to može otežati mjerenje i očitavanje podataka.

Regulacija disanja višedimenzijski je problem, stoga rezultate mora interpretirati stručna i iskusna osoba. Samo ispitivanje ne traje dugo.



Slika 24. LifeShirt [16]

5.10. Usporedba psihofizioloških metoda

r.br.	METODA	FOKUS	NAČIN PRIMJENE	BRZINA	TROŠKOVI	SLOŽENOST	DODATNE NAPOMENE
1	elektrodermalno mjerenje	opterećenje i emocionalni napor	mjerenje električne aktivnosti kože (simpatetička aktivnost) elektrodama	relativno brzo	skupa oprema; umjeravanje; strogo laboratorijski uvjeti; edukacija	jednostavno za mjerenje i tumačenje	osjetljiva na sve promjene
2	EMG	rad mišića – opterećenje, umor, koordinacija	mjerenje električne mišićne aktivnosti elektrodama; kontinuirani kvantitativni podaci	relativno brzo očitavanje; duža interpretacija	skupa oprema; umjeravanje; strogo laboratorijski uvjeti; edukacija (anatomija!)	složeno postavljanje elektroda; složena interpretacija podataka	preventivno i korektivno; samo za mišiće blizu površine i nedebele ljude
3	mjerenje pulsa	varijabilnost pulsa	očitanje podataka iz EKG-a	dugotrajna (traje 24 h + vrijeme očitavanja)	oprema za EKG; umjeravanje laboratorijski uvjeti; edukacija	složena interpretacija podataka	važnija varijabilnost od samog iznosa; osjetljivo na sve vanjske utjecaje
4	mjerenje pospanosti	električna aktivnost mozga; detektiranje pospanosti; frekventna domena	EEG, EOG ili EMG; vođenje dnevnika	dugotrajno testiranje i analiza	skupa oprema umjeravanje; edukacija	složeno (stručnost pri postavljanju elektroda i interpretaciji)	kontinuirano mjerenje; pouzdanost pozitivnih, ali ne i negativnih rezultata
5	ERP	oscilacije napona u mozgu; vremenska domena	mjerenje oscilacija električnog napona u mozgu	dugotrajna analiza	skupa oprema; umjeravanje; strogo laboratorijski uvjeti; edukacija	složeno (stručnost pri postavljanju elektroda i interpretaciji)	vrlo ograničena uporaba radi mnoštva smetnji

6	MEG i fMR	struktura i funkcija mozga; MEG – dobra vremenska rezolucija; fMR – dobra prostorna rezolucija	bilježenje moždane aktivnosti pomoću posebnih medicinskih uređaja	dugotrajno testiranje i analiza	skupa oprema; umjeravanje; strogo laboratorijski uvjeti; edukacija	složeno (stručnost pri mjerenju i interpretaciji rezultat)	nije primjenjivo na sve pacijente
7	mjerenje krvnog tlaka	promjena krvnog tlaka	holter; dnevnik	dugotrajno mjerenje (24h) i očitavanje	skupa oprema; umjeravanje; edukacija	složeno (stručnost pri postavljanju elektroda i interpretaciji)	konstantno praćenje; može ometati normalne aktivnosti i san
8	nadzor budnosti	nedostatak pažnje; objektivno beskontaktno mjerenje	kamere bilježe reakciju zjenice na svjetlost	kontinuirano	skupa oprema (u fazi testiranja)	relativno jednostavno	postoji potreba za razvojem ovakvih sustava; sugerira promjenu ponašanja
9	mjerenje disanja	utjecaj psiholoških parametara na disanje;	LifeShirt – mjerenje volumena izdisaja; minutni volumen; koncentracija CO ₂	dugotrajna interpretacija	skupa oprema; umjeravanje; edukacija	općenito jednostavno, ali manje pouzdano	što se više drugih parametara mjeri, to je pouzdanije, ali složenije za interpretaciju

Tablica 7. Usporedba psihofizioloških metoda

Iako psihofiziološke metode (tablica 7) daju dobar uvid u tjelesni, psihički i emocionalni odgovor korisnika, gotovo su apsolutno neprimjenjive u razvoju proizvoda. Radi se o medicinskim dijagnostičkim metodama, za koje je, prije svega, potrebno posjedovati vrlo skupu i sofisticiranu opremu, a zatim i adekvatno poznavanje medicine. Dobiveni rezultati vrlo su složeni i potrebna je određena vještina za njihovo tumačenje.

Svaka od ovih metoda daje uvid u drugi aspekt reakcija korisnika, tako da ih je besmisleno međusobno uspoređivati.

6. PONAŠAJNE I KOGNITIVNE METODE

Ponašajne i kognitivne metode [7] temeljene su na psihološkim znanstvenim disciplinama. Kroz analizu zadataka, grešaka, odluka, ciljeva, opterećenja i preferencija, ove metode daju informacije o percepciji, kognitivnim procesima i mogućim odgovorima pojedinca na određenu situaciju.

Najzastupljeniji modeli:

1. **Normanov model akcije** – definira ljudsko djelovanje kao uzrokovanje i ocjenjivanje promjena u svijetu (*izvršenje i vrednovanje*).

Djelovanje je povezano s ciljevima koji ga definiraju. Cilj prelazi u nakanu, a zatim u slijed akcija, koje dovode do izvršenja, tj. ostvarenja cilja. Osjetilni sustav daje povratne informacije o uspješnosti akcije.

2. **Wickensonov model višestrukih izvora u procesuiranju informacija** – temeljen je na standardnom modelu procesuiranja signala, prema kojem se informacija registrira putem osjetilnog sustava, zatim se upućuje u centar za donošenje odluka, a nakon toga slijedi (ne)izvršenje.

Verbalno procesuiranje sastoji se od tona i slike. Zahtjevi i resursi dolaze od zadataka, uređaja ili korisnika. Neravnoteža između zahtjeva i resursa vodi do premalog ili prevelikog opterećenja, a oboje utječe na izvedbu.

3. **Neisserov model perceptivnog ciklusa u ljudskoj ekologiji** – donosi mentalne modele kao temelj za ljudsko djelovanje.

Ljudske su misli u skladu s interakcijom sa svijetom. Mentalni modeli, odn. predodžbe, o svijetu izravno utječu na ponašanje čovjeka, tj. odabir njegovih akcija. Svaki pojedinac ima vlastitu kognitivnu shemu, odn. sliku o svijetu i odnosima u njemu. Nova saznanja nadograđuju i proširuju sheme. Moguće su pogreške u shemama – odabir pogrešne sheme zbog krive interpretacije situacije, aktiviranje pogrešne sheme zbog sličnosti između okidača te aktiviranje sheme u pogrešno vrijeme – koje služe kao temelj za metode predviđanja pogreške.

[Hancock i Dias] smatraju da je osnovna prepreka stvaranju jedinstvene ergonomske teorije općeniti zahtjev za predviđanje svih mogućih interakcija unutar sustava u najrazličitijim uvjetima.

Metode su međusobno različite, ali se dobro nadopunjuju. Razlikuju se prema fokusu i rezultatima koje donose.

6.1. Metode općenite analize

Temelje se na promatranju i razgovoru s vršiteljima zadataka. Glavni problemi koji se javljaju pri uporabi ovih metoda su utjecaj promatrača na ishod akcije te reprezentativnost ispitivanog uzroka. Da bi se te mogućnosti svele na minimum, potrebno je pažljivo planiranje ispitivanja, odn. odabir adekvatne metode, izbor ispitanika i zadatka, upoznavanje ispitanika s ispitivačem i svrhom promatranja te provjera reprezentativnosti dobivenih podataka. Promatranje može biti izravno, neizravno i sudjelovačko.

6.1.1. Promatranje

Promatranje korisnika pri izvođenju zadataka te u interakciji sa strojem i drugim korisnicima može dati korisne informacije o složenosti zadatka, mogućnostima pogreške i sl. U idealnom slučaju, ispitanici su krajnji korisnici uređaja. Promatranje daje objektivnu informaciju te omogućuje uočavanje individualnih razlika u radu s uređajem.

Izrazito je važno da se rad promatra u onim uvjetima u kojima se odvija te da ispitivač svede svoj utjecaj na minimum jer jedino prava upotreba može dati korisne informacije. Prisutnost promatrača uvijek utječe na ispitanika, često na nesvjesnoj razini. Kako bi se svaki takav utjecaj uklonio, mogu se postaviti skrivene kamere, no to povlači mnoga etička pitanja.

Promatranje je najjednostavnija ponašajno-kognitivna metoda. Promatrač bi trebao biti sposoban uočavati detalje. Sve što se uoči, potrebno je zabilježiti. Prije samog ispitivanja, potrebno je provesti dobru i detaljnu pripremu, kako bi se točno odredila svrha i način promatranja, reprezentativni uzorak te vrednovala vjerodostojnost dobivenih rezultata. Također je potrebno provesti neko vrijeme s ispitanikom prije samog početka promatranja, kako bi se upoznao s ispitivačem i naviknuo na njegovu prisutnost. Postavljanje pitanja tijekom promatranja daje širi uvid u situaciju, ali isto tako mijenja ponašanje.

Uz uporabu olovke i papira, korisno je posjedovati videokameru i računalo. Dostupni su softverski paketi za obradu podataka.

6.1.2. Intervju

Intervju je jedna od osnovnih metoda koja se koristi svugdje gdje se traže podaci o mišljenju ili percepciji. Metoda se može vrlo dobro dokumentirati. Može biti nestrukturirana, polustrukturirana ili strukturirana. Što je intervju više strukturiran, to je manja vještina potrebna za njegovu primjenu, no na taj se način ograničava dotok informacija. Ispitivač bi trebao imati listu tema ili pitanja koja treba pokriti, kako bi bio siguran da se svega dotaknuo. Korisno je napomenuti ispitaniku o kojoj će se temi razgovarati te najaviti svaku promjenu teme. Metoda je izrazito fleksibilna, no analiza je prilično zahtjevna i dugotrajna te može dovesti do pogrešnih zaključaka pa je pouzdanost pomalo diskutabilna.

Koristi se u raznim fazama konstruiranja (prije i poslije razvoja proizvoda), a najbolje ju je primijeniti na krajnje korisnike. Važno je napomenuti da su u fazi razvoja prototipa konstruktori krajnji korisnici.

Posve strukturiran intervju naziva se upitnik. On omogućuje brzo prikupljanje mnoštva informacija, no izrazito je nefleksibilan i ne nudi mogućnost pojašnjavanja odgovora.

Metoda se izrazito lako uči, a vrijeme primjene ovisi o složenosti problema kojem se pristupa, kao i vještini ispitivača. Za primjenu su potrebni samo olovka i papir, a korisno bi bilo imati i neki uređaj za snimanje, kako se neke informacije ne bi prečule.

6.1.3. Analiza verbalnog protokola

Svrha analize verbalnog protokola jest izvesti valjane zaključke iz govora. Obično se radi o obradi transkripta razmišljanja, kako bi se dobio uvid u kognitivni proces. Ideja je da radnik iskaže sve misli koje mu padaju na pamet dok obavlja svoj posao.

Procedura je dugotrajna i može promijeniti tijek zadatka, no nudi mnoštvo korisnih informacija. Važno je napomenuti da složeniji zadaci često smanjuju pričljivost, a time i količinu informacija. Također, obrada podataka može biti vrlo dugotrajna i zahtjevna.

Prije samog ispitivanja važno je utvrditi scenarij, odn. odrediti koje će točno zadatke ispitanik izvoditi. Važno ga je upoznati s procedurom i poticati na govor. Najbolje je načiniti video ili audiosnimku izvođenja operacije (slika 25).

Po završetku zadatka, ispitivač mora zabilježiti sve važne informacije i enkodirati ih prema postojećim uputama. Često se u tu svrhu služi računalnim programima. Važno je pribilježiti i sve ometajuće faktore.



Slika 25. Videosnimka analize verbalnog protokola [7]

6.1.4. Mreža odabira za vrednovanje proizvoda

Subjektivni su odgovori vrlo važni u ocjeni proizvoda. Postoje mnoge metode za prikupljanje takvih informacija, no često mogu biti sugestivne i ne pokazivati pravu sliku.

Ovom se metodom nastoji otkriti kako ljudi razmišljaju i koje predodžbe o proizvodima imaju. Metoda se temelji na *trijadama*. Ispitaniku se ponude tri proizvoda, od kojih on mora odabrati jedan i reći po čemu se razlikuje od ostalih. Prije toga treba mu objasniti po kojem su kriteriju predmeti grupirani. Potrebno je formirati različite trijade, kako bi se svaki predmet pojavio barem tri puta. Kako čovjeku pažnja popušta nakon desetog pokušaja, potrebno je pametno osmisliti trijade i ne treba iskoristiti sve mogućnosti. Ispitanik mora izabrati jedan predmet i, riječju ili kratkom frazom, obrazložiti svoj izbor.

Nakon toga potrebno je načiniti tablicu s proizvodima i zabilježenim opisima. Svakom se opisu doda njegova suprotnost te se koriste da bi se ocijenili svi proizvodi. Ispitivač dodjeljuje ocjene prema definiranim pravilima. Ispitanici imenuju faktore koje su spominjali i na kraju raspravljaju o njima.

Metoda je dobro strukturirana i ne zahtijeva kompliciranu statističku analizu, no samo ispitivanje može biti dugotrajno. Potrebni su olovka, papir i tablica za binomnu raspodjelu.

6.1.5. Fokus grupe

Razgovor s odabranom skupinom ljudi, tj. fokus grupom, uobičajena je ispitivačka tehnika u raznim istraživanjima. To je rasprava u pažljivo odabranoj skupini, s ciljem dobivanja informacija o percipiranju definiranog područja interesa. U raspravi obično sudjeluje osam do dvanaest ljudi, uz voditelja. Što je grupa homogenija, to je veća vjerojatnost uključivanja pojedinca u raspravu. Cilj je dobiti otvorenu diskusiju. Često se javlja problem u formiranju ovih grupa, kao i poticanje pojedinaca na izražavanje vlastitih mišljenja.

Često je ispitanicima jako teško zamisliti uporabu novih proizvoda. Ako ne vide nedostatke u postojećim proizvodima, teško će naći smisla u razvoju novih. Ispitanici su zamoljeni da smisle scenarij uporabe za proizvode slične onom koji će se vrednovati. Nakon toga identificiraju se ključne značajke proizvoda, uz komentiranje prednosti i nedostataka. Na kraju se ispitanike upoznaje s novim konceptima, koje trebaju uvesti u svoj scenarij i primijetiti promjene.

Analiza podataka može biti prilično dugotrajna. Osim pomagala za ispitanike, npr. papiri, olovke, bojice i sl., potrebno je posjedovati opremu za snimanje rasprave (videokamera ili diktafon).

6.2. Metode analize kognitivnih zadataka

Ove su metode razvijene kao odgovor na promjene u prirodi rada. Od šezdesetih godina prošlog stoljeća mijenja se priroda radnih zadataka te kognitivni procesi postaju sve zanimljiviji za proučavanje. Radnik u modernom automatiziranom sustavu radi fizički lakši posao, koji zahtijeva bolje kognitivne sposobnosti i znanje. Rad često uključuje praćenje, nadzor, procjenu situacije, planiranje, odlučivanje, predviđanje, odlučivanje o prioritetima...

Metode su uglavnom usredotočene na cjelokupni sustav, a ne samo na pojedinca.

6.2.1. Hijerarhijska analiza zadataka (HTA)

HTA (*Hierarchical Task Analysis*) razvijena je za analizu složenih zadataka. Vrlo je popularna jer može opisati svaki sustav. Zbog svoje dobre prilagodljivosti, upotrebljava se za najrazličitije ciljeve. Često služi kao temelj drugim metodama.

Ne razmatraju se akcije za sebe, već ciljevi i operacije. Zadaci se, stoga, razlažu u hijerarhiju operacija, kako bi se uočile one kritične. Operacije se pak mogu razložiti u suboperacije, koje se grupiraju zajedno i nazivaju planom.

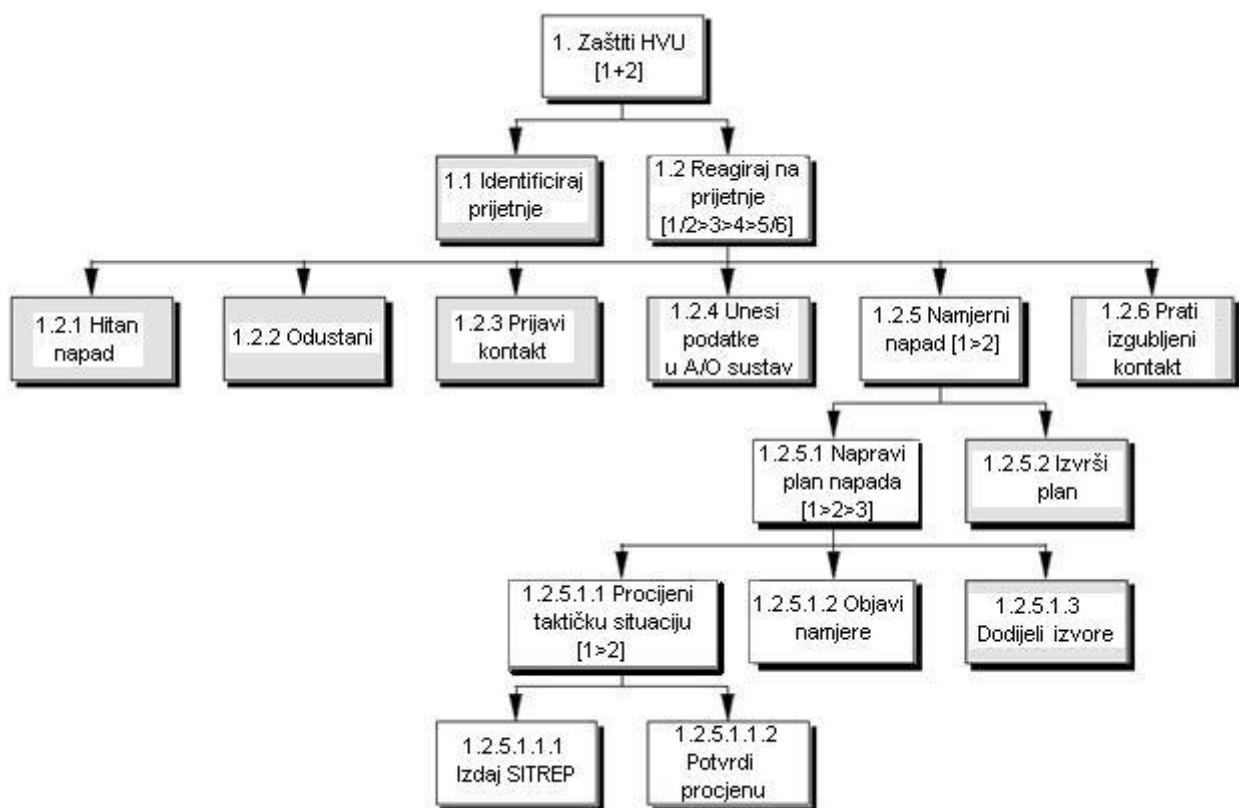
Plan može biti: jednostavan niz operacija, odn. *rutinska procedura*, *uvjetni niz*, koji uključuje donošenje odluka, zatim *simultane procedure*, koje se moraju izvesti istovremeno, te *neodređena procedura*, kod koje nije važan redoslijed obavljanja operacija.

Bit hijerarhijske analize zadatka jest prepoznati uzroke svih grešaka, stvarnih i pretpostavljenih, koje se mogu pojaviti u sustavu, te ponuditi rješenje za svaku od njih. Važno je da se postigne konsenzus oko ciljeva analize i rezultata koji se nastoje ostvariti.

Pri analizi se treba poslužiti svim dostupnim sredstvima, kao što su dokumentacija, razni izvještaji, mišljenje stručnjaka i sl. Najbolje je krenuti od glavnih ciljeva i razlagati ih na manje. Pritom treba razmišljati o tome što se treba dogoditi, što bi se moglo dogoditi i što bi moglo krenuti krivo. Kad se dobro primijeni, HTA nudi vrlo iscrpnu analizu problema. Zato je poželjno da je provodi iskusni stručnjak. Formalna obuka ne postoji.

Za primjenu je, osim olovke i papira, potrebna videokamera i računalo s odgovarajućim softverom. Suradnja s upravom je ključna za uspjeh.

Primjer primjene HTA metode prikazan je na slici 26.



Slika 26. Primjer uporabe HTA metode [7]

6.2.2. Raspodjela funkcija

Raspodjela funkcija naziv je za proces kojim se određuje hoće li određeni zadatak, posao ili odgovornost biti dodijeljeni čovjeku ili stroju. Pritom je važno uzeti u obzir tehnološke mogućnosti i izvedivost ljudskih zadataka.

Ova metoda uključuje tablice zavisnih sposobnosti, psihometrijski pristup, pomagala za računanje te hipotetsko-deduktivni model (HDM). Sve od navedenog ističe razlike u izvedbi čovjeka i stroja.

HDM se sastoji od: *specifikacije*, odn. definiranja zahtjeva, *identifikacije funkcija*, *hipotetizacije rješenja*, *testiranja* i *evaluacije* te *optimiranja dizajna* radi ispravljanja grešaka.

Prvi korak u raspodjeli funkcija jest hijerarhijska analiza zadataka (HTA). Nakon toga slijedi analiza sudionika. Svatko iskazuje u kojoj je mjeri zadovoljan s predloženim promjenama.

Metoda je vrlo strukturirana te uzima u obzir želje sudionika, stoga je suradnja s njima ključna. Analiza velikih sustava može biti prilično skupa. Analitičar mora biti stručan i upoznat s ergonomijom. Najbolji se rezultati postižu kad je tim sastavljen od tehničara, korisnika i ergonomista.

6.2.3. Metoda kritične odluke

Proučavanje stručnog odlučivanja zahtijeva temeljitu analizu složenih kognitivnih procesa. Metode analize kognitivnih zadataka (CTA – *Cognitive Task Analysis*) rabe se za analizu stručnosti potrebne za obavljanje složenih zadataka. Vrlo su fleksibilne jer se koriste na različitim projektima, a često i za otkrivanje dotad nepoznatih činjenica.

Poslužile su kao temelj za razvoj metode kritičnog odlučivanja (CMD – *Critical Decision Method*). To je polustrukturirana tehnika intervjuiranja za istraživanje fenomena temeljenih na suptilnim aluzijama, znanju, ciljevima, očekivanjima i stručnim strategijama.

Metoda kritičnog odlučivanja prilično je učinkovita. Provodi se na stvarnim događajima i omogućuje prepoznavanje utjecaja na donošenje složenih odluka. Temelji se na iterativnom pristupu.

Ispitivač mora biti vrlo dobro treniran, a sama je primjena prilično skupa.

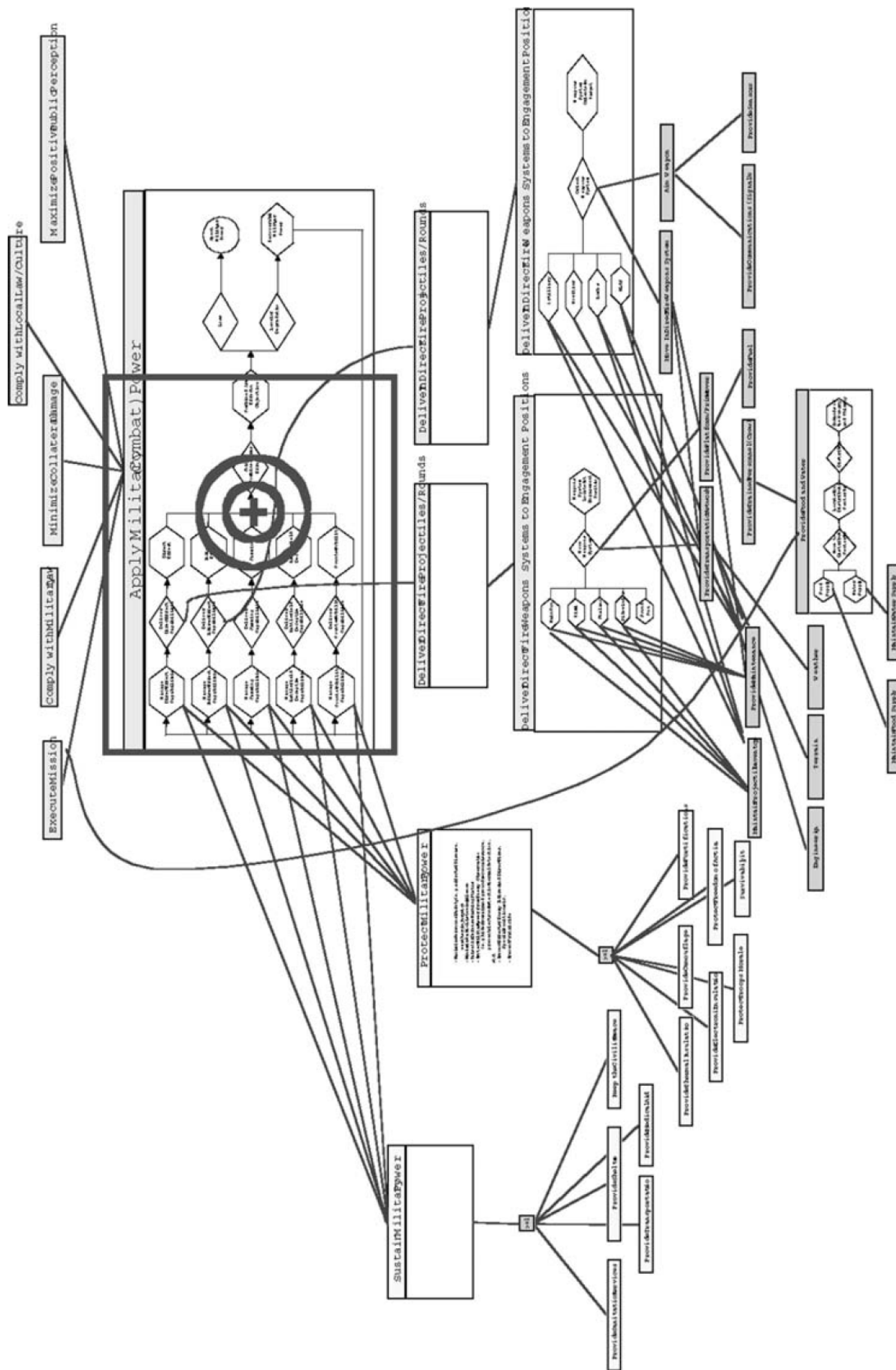
6.2.4. Primijenjena kognitivna analiza rada

CTA metode fokusiraju se na domenu zadatka, otkrivajući u njima sadržane zahtjeve, ili pak na domenu vršitelja, radi otkrivanja načina nošenja sa zahtjevima.

Kognitivna analiza rada (CWA – *Cognitive Work Analysis*) sukcesivnom iterativnom analizom ograničenja sustava i zadataka, razlaže sve zahtjeve koji se postavljaju pred radnika. Usredotočena je na prepoznavanje složenosti i ograničenja rada, što oblikuje i ograničava njeno djelovanje.

Iz CWA metode proizašla je primijenjena kognitivna analiza rada (ACWA - *Applied Cognitive Work Analysis*), koja nudi praktični postupni pristup za povezivanje zahtjeva i elemenata odlučivanja.

Metoda je relativno složena, a kao rezultat nudi strukturirano, ali prilično nepregledno (slika 27) mnoštvo podataka.



Slika 27. Primjer primijenjene kognitivne analize rada [7]

6.3. Metode analize pogrešaka

Metode analize pogrešaka temelje se na predviđanju ljudskih pogrešaka i njihovih posljedica. Ovdje donosimo dvije metode, koje se međusobno principijelno razlikuju.

6.3.1. SHERPA – sustavni pristup predviđanju i smanjenju ljudske pogreške

SHERPA (*Systematic Human Error Reduction and Prediction*), odn. metoda sustavnog pristupa predviđanju i smanjenju ljudske pogreške, razvijena je kao divergentna metoda predviđanja pogreške, koja ujedno analizira zadatke i određuje potencijalna rješenja problema. Postojeće tehnike zanemaruju kontekst i utjecaj analitičara i njegove procjene na ispitivanje.

SHERPA analiza temelji se na HTA-u, kao opisu ponašanja bez pojave pogreške. Nakon provedene hijerarhijske analize zadataka slijedi njihova klasifikacija. Dijelev se na: *akciju, pretragu, provjeru, izbor i razmjenu informacija*. Po završenoj klasifikaciji prelazi se na identificiranje mogućih ljudskih pogrešaka za svaku operaciju pojedinačno te analizu njihovih posljedica i eventualnih rješenja. Analizira se vjerojatnost pojave pogrešaka i stupanj kritičnosti svake. Konačno, predlažu se strategije za smanjenje pogrešaka. One se mogu odnositi na opremu, obuku, postupke ili samu organizaciju. Neke od intervencija mogu biti vrlo skupe pa se radi analiza isplativosti. Ona obuhvaća sljedeće kriterije: učinkovitost, isplativost, prihvaćenost i praktičnost.

Metoda je strukturirana i opsežna te relativno jeftina, u odnosu na ostale spomenute. Ukoliko prethodno nije napravljena HTA, procedura može biti vrlo dugotrajna. Obuka je vrlo kratka, a primjena jednostavna. Za analizu su dovoljni olovka i papir ili računalo.

6.3.2. Analiza zadataka radi prepoznavanja pogreške

TAFEI (*Task Analysis for Error Identification*), tj. analiza zadataka radi prepoznavanja pogreške, konvergentna je metoda analize pogreške, temeljena na općoj teoriji sustava. Omogućuje predviđanje pogrešaka tijekom uporabe nekog uređaja, tako da modelira njegovu interakciju s čovjekom. Granica između čovjeka i stroja mjesto je gdje se događaju pogreške. Čovjek aktivno procesuiru podražaje, kombinirajući prethodno znanje s informacijom podražaja.

Procedura je strukturirana, a metoda fleksibilna. Kako se temelji na HTA-u, i ova metoda može biti dugotrajna te zahtijeva dobro obučenog analitičara. Usto, koristi se i dijagram stanja i prostora u kojem se prikazuje ponašanje predmeta, uz bilježenje ljudskih akcija koje uzrokuju navedene promjene. Nakon toga, formira se matrica prijelaza u kojoj se definiraju sva moguća stanja kroz koja uređaj prolazi prilikom uporabe. Prijelazna se stanja definiraju kao nemoguća, nepoželjna ili poželjna. Cilj je, uvođenjem promjena u sustav, učiniti sve nepoželjne prijelaze nemogućima.

Za ovu metodu nije dostupan softver.

6.4. Metode analize radnog opterećenja i situacije

Kod suvremenog je zaposlenika važnije mjeriti kognitivne zahtjeve zadataka – mentalno opterećenje, vrijeme izvršenja zadataka i shvaćanje situacije. Sljedeće četiri metode bave se upravo tim područjem.

6.4.1. Mentalno opterećenje

Kao što je već spomenuto, aktualni trendovi smanjuju tjelesno, a povećavaju mentalno opterećenje.

Mentalno opterećenje predstavlja višedimenzijski koncept koji povezuje zahtjeve zadatka i izvedbe s vještinama i pozornošću korisnika. Sastoji se od dviju komponenata – stresa, odn. zahtjeva zadatka, i napora, tj. utjecaja zahtjeva na pojedinca. Općenito, mentalno opterećenje predstavlja udio resursa potrebnih za ispunjenje zahtjeva zadatka. Prema definiciji, mentalno opterećenje predstavlja količinu izvora pozornosti potrebnih za ispunjenje subjektivnih i objektivnih kriterija izvedbe, na koje mogu utjecati zahtjevi zadatka, vanjska podrška i stečena iskustva.

Osnovne kategorije mjerenja opterećenja su: *primarna i sekundarna mjerenja izvedbe, fiziološka mjerenja i subjektivna procjena*.

Za primjenu ove metode nije potrebna posebna obuka, budući da je svako mjerenje specifično. Za provođenje fizioloških mjerenja, potrebno je poznavati korištene metode i posjedovati potrebnu opremu. Također, potrebno je poznavati metode statističke analize, koja se najčešće provodi na računalu.

6.4.2. Model dijeljenja vremena na više izvora

Model dijeljenja vremena na više izvora predviđa stupanj međudjelovanja dvaju istovremeno izvođenih zadataka, predviđajući gubitke u kvaliteti izvedbe svakoga od njih.

Prema teoriji višestrukih izvora, sljedeći faktori utječu na učinkovitost istovremene izvedbe više zadataka:

1. **stupanj složenosti** svakog pojedinog zadatka
2. **raspodjela** resursa među zadacima
3. **stupanj preklapanja** resursa među zadacima

Što više resursa međusobno dijele, to je veća vjerojatnost da će zadaci utjecati jedan na drugi. Procesuiranje informacija registriranih različitim osjetilima međusobno se razlikuje.

Svakom se zadatku dodjeljuje tzv. vektor zahtjeva, koji sadrži informacije o prosječnoj razini zahtjeva i upotrijebljenim resursima. Nakon toga se računa ukupni rezultat zahtjeva i konflikata među

njima. Za to je dostupna matrica konflikata (tablica 8), pri čemu „P/K“ označava perceptivne ili kognitivne zahtjeve.

Metoda se temelji na poznatoj teoriji, fleksibilna je te jednostavna za primjenu i analizu. Potrebno je poznavanje kognitivnih metoda te određena praksa u primjeni matrice konflikata.

		zadatak A				
		P/K		odgovor		
		prostorno	verbalno	prostorni	verbalni	
zadatak B	P/K	prostorno	0,7	0,5	0,5	0,3
		verbalno	0,5	0,7	0,3	0,5
	odgovor	prostorni	0,3	0,3	0,8	0,6
		verbalni	0,3	0,5	0,6	1,0

Tablica 8. Dvodimenzijska pojednostavljena matrica konflikata [7]

6.4.3. Analiza kritičnog puta za multimodalnu aktivnost

Razvojem industrije početkom dvadesetog stoljeća, rad se počinje procjenjivati kroz uloženo, tj. utrošeno, vrijeme. Cilj je bio povećati produktivnost, odn. proizvodnju u jedinici vremena. Nastojalo se maksimalno pojednostaviti pojedine operacije, kako bi se skratilo vrijeme njihovog izvođenja, a time i ukupno vrijeme proizvodnje.

U današnje se vrijeme razvijaju sučelja za komunikaciju čovjeka i računala, kako bi se simulacijama testirala isplativost razvoja novih ideja.

Analiza kritičnog puta (CPA – *Critical Path Analysis*) alat je kojim se služe voditelji projekata, kako bi se izračunala kombinacija zadataka koja će najviše utjecati na vrijeme izvedbe.

Zadatak se najprije razloži u skupinu aktivnosti koje se moraju obaviti. Usto se definiraju osjetilne ulazne i izlazne informacije. Nakon toga se određuje redosljed međuovisnosti. Svakom se podzadatku dodjeljuje vrijeme potrebno za njegovo izvršenje te se računa vrijeme izvršenja cijelog zadatka. Vrijeme zadatka računa se i unatrag, sa svim mogućnostima te se određuje kritično vrijeme izvršenja.

Metoda je strukturirana i omogućuje uvrštavanje paralelnih zadataka u analizu, no može biti vrlo zahtjevna i dugotrajna, a ponekad i redukcionistička. Također, nije uvijek moguće sve zadatke opisati vremenom. Za uporabu su potrebni samo olovka i papir.

6.4.4. Svjesnost situacije

Svjesnost situacije može se definirati kao percepcija elemenata vremena i prostora, shvaćanje njihova značenja i projekcija njihova stanja u budućnosti. Obuhvaća sve aspekte percepcije, shvaćanja i projekcije na područje zadatka.

SAGAT ili tehnika opće procjene svjesnosti situacije (*Situation Awareness Global Assessment Technique*) metoda je za nepristranu procjenu svjesnosti situacije, izravnim ispitivanjem korisnika o njihovoj percepciji stanja okoline te usporedbom sa stvarnim stanjem.

Mjerenje je izravno i objektivno te osigurava prikupljanje korisnih informacija, no zahtijeva opsežnu pripremu.

6.5. Usporedba ponašajno-kognitivnih metoda

Ponašajne i kognitivne metode (tablica 9) najprikladnije su za primjenu u razvoju proizvoda. Naime, uporaba proizvoda najčešće zahtijeva i tjelesnu i kognitivnu angažiranost.

Ipak, ove metode uglavnom ne odgovaraju konstruktorima i nisu prikladne za brzu ergonomsku procjenu. Većina metoda zapravo je vrlo sofisticirana. Zahtijevaju primjenu određenih softvera ili detaljnu i dugotrajnu statističku analizu, a ponekad jako ovise o suradnji ispitanika. Primjerice, *intervju* (poglavlje 6.1.2.) jest općepoznata metoda, naizgled relativno jednostavna za primjenu. No, sama priprema zahtijeva jako puno truda i vremena, provođenje metode zahtijeva određenu vještinu, a analiza dobivenih rezultata može biti vrlo mukotrpana.

HTA – Hijerarhijska analiza zadataka (poglavlje 6.2.1.) predstavlja jako dobar temelj za mnoge druge metode, no njena primjena nije još dovoljno pojednostavljena i standardizirana, da bi se mogla uspješno i brzo primjenjivati.

r.br.	METODA	FOKUS	NAČIN PRIMJENE	BRZINA	TROŠKOVI	SLOŽENOST	DODATNE NAPOMENE
1	promatranje	objektivne informacije o razlikama u individualnoj izvedbi; krajnji korisnici	promatranje pojedinca u obavljanju posla	ovisi o vrsti zadatka i uzorku	kratka obuka paketi za statističku analizu	relativno jednostavno	moguć utjecaj na ispitanika; ne nudi kognitivne informacije
2	intervju	krajnji korisnici (prije ili poslije faze razvoja)	više ili manje strukturirani razgovor	relativno brzo	oprema za snimanje razgovora; kratka obuka ispitivača	relativno jednostavno; fleksibilno; zahtjevna analiza	mnoštvo podataka; može dovesti do pogrešnih zaključaka (vještina ispitivača)
3	analiza verbalnog protokola	uvid u kognitivni proces	transkript razmišljanja (radnik opisuje što radi); enkodiranje podataka; tablice za očitavanje; softverska analiza	ovisi o zadatku; dugotrajna analiza	uređaj za snimanje; softver za analizu; dugotrajna analiza	lako učenje	zahtjevni zadaci smanjuju priçljivost, a time i dotok informacija
4	vrednovanje proizvoda	subjektivni doživljaj proizvoda	odabir proizvoda iz trijade; definiranje atributa; rasprava	dugotrajno ispitivanje i analiza	oduzima puno vremena; olovka, papir; kalkulator; tablica binomne raspodjele	relativno jednostavno; lagana statistička obrada	vrlo strukturirano; poželjna vještina i nepristranost ispitivača
5	fokus grupe	8-12 krajnjih korisnika	zamišljanje uporabe proizvoda; rasprava u skupini; vrednovanje koncepata	ovisi o složenosti proizvoda i želji za suradnjom	olovka, papir; videokamera	relativno jednostavno	problem u formiranju grupa i poticanju na diskusiju; teško je zamisliti uporabu novih proizvoda

6	HTA	analiza ciljeva	razlaganje složenih zadataka u hijerarhiju operacija; pretpostavljanje mogućih pogrešaka i popravaka	relativno sporo	vrijeme i edukacija (vrlo iscrpna analiza)	relativno složeno	vrlo strukturirana; vrlo široka primjena; temelj ostalim metodama
7	raspodjela funkcija	odluka o dodjeli zadatka i odgovornosti čovjeku ili stroju	definiranje zahtjeva, identifikacija funkcija, hipotetizacija rješenja, testiranje, evaluacija, optimiranje	dugotrajno	skupo za veće sustave; edukacija; suradnja s upravom	relativno složeno	strukturirano; temelji se na HTA
8	metoda kritične odluke	stručno odlučivanje	intervju	dugotrajno	skupa primjena; edukacija	relativno složeno	temeljeno na CTA (kognitivna analiza zadataka); nedovoljno pouzdano
9	primijenjena kognitivna analiza rada	stavovi radnika o izvedbi	razgovor	dugotrajno		relativno složeno	nepregledno; apstraktna hijerarhija
10	SHERPA	predviđanje pogrešaka	analiza zadataka i potencijalnih rješenja	sporo (zbog HTA)	jeftinije od ostalih u skupini	relativno složeno	strukturirano; temelji se na HTA; divergentna metoda

11	TAFEI	predviđanje pogrešaka	analitički prototyping; state-space dijagram	sporo (zbog HTA)		relativno složeno	temeljeno na HTA i općoj teoriji sustava; konvergentna metoda
12	mentalno opterećenje	stres; napor; udio resursa potrebnih za zadovoljenje zahtjeva	fiziološka mjerenja	dugotrajno	fiziološka mjerenja; statistička analiza	složena statistička analiza	zahtijeva određeno medicinsko znanje
13	model dijeljenja vremena na više izvora	konflikti među zadacima koji dijele resurse	empirijski podaci	dugotrajno	edukacija	jednostavno	fleksibilno
14	analiza kritičnog puta za multimodalnu aktivnost	skraćivanje vremena izvođenja operacije	računanje kombinacije koja najviše utječe na vrijeme	sporo	vrijeme analize	zahtjevno	strukturirano; previše redukcionistički; vrijeme ne opisuje svaki zadatak
15	svjesnost situacije	percepcija vremena i prostora	direktno objektivno mjerenje	sporo	vrijeme analize	opsežno prikupljanje podataka; iscrpna priprema	slično HTA; zahtijeva mogućnost ponovnog pokretanja

Tablica 9. Usporedba ponašajno-kognitivnih metoda

7. MAKROERGONOMSKE METODE

Makroergonomske metode [7] bave se oblikovanjem kompletnih radnih sustava. Tek od osamdesetih godina prošlog stoljeća pri ergonomskoj se analizi počelo voditi računa o faktorima organizacije i upravljanja.

1980. održana je konferencija za raspravu o budućnosti ergonomije i ljudskih faktora. Analizirani su svi utjecaji za koje se predviđalo da će se pojaviti u sljedećih dvadeset godina:

1. Doći će do napretka u tehnologiji, što će iz temelja promijeniti prirodu posla. Poseban se napredak očekivao u automatizaciji, primjeni mikroelektronike i razvoju stolnih računala.
2. Poboľjšat će se obrazovna struktura radne snage.
3. Novi naraštaji radnika žele sudjelovati u odlučivanju, imati važnu ulogu u poslu i zadovoljavajuće društvene odnose.
4. Mikroergonomske metode ne mogu smanjiti ukupan broj nesreća, niti srezati troškove.
5. Povećat će se broj tužbi povezanih radnim mjestima i proizvodima, ukoliko se zanemari ergonomski sigurnosni aspekt.

Kako bi tvrtke ostale konkurentne, radni sustavi i procesi moraju biti učinkoviti i isplativi. Ergonomija će se razvijati i uvažavati kao disciplina ako bude odgovarala potrebama industrije.

7.1. Sudionička ergonomija

Sudionička ergonomija jedna je od prilagodbi ponašajnih metoda istraživanja za makroergonomsku primjenu. Temelji se na uključivanju radnika u ergonomsku analizu i dizajn. Dakle, radi se o sudjelovanju radnika u planiranju i kontroli velikog dijela vlastitog rada, s dovoljno znanja i moći da ostvare željene ciljeve. Sudionička ergonomija može se odnositi na filozofiju, pristup, strategiju, program ili skup tehnika i alata. Radi se o složenom konceptu koji se često nalazi kao sastavnica nekih drugih metoda. Primjena je moguća praktički svugdje.

Prema sociotehničkoj teoriji sustava nijedan dio organizacije ne smije se mijenjati, bez analize utjecaja promjene na sustav. Osnovni elementi sustava koji moraju skladno djelovati su: ljudi, proces informiranja, tehnologija, sustav nagrađivanja i organizacijska struktura.

Osnovni načini sudjelovanja:

1. **umiješanost paralelnom sugestijom** (savjetodavno sudjelovanje)
2. **umiješanost u rad** (zamjenjivanje)
3. **visoka umiješanost**

Svaki od tih pristupa odlikuje se određenom razinom umiješanosti u funkcioniranje organizacije. Umiješanost se očituje u informacijama o znanju radnika, sustavu nagrađivanja, izvedbi organizacije te moći u donošenju odluka. Bit umiješanosti je spustiti moć, znanje, nagrađivanje i informiranje na nižu razinu.

Kod savjetodavnog sudjelovanja, radnici predlažu promjene, no nemaju nikakvu moć za realizaciju svojih ideja, niti su izravno nagrađeni za uloženi trud. Smatra se da radnici nisu dovoljno stručni da bi ostvarili potrebne promjene. Smatram takvo razmišljanje podcjenjivačkim.

U drugoj se navedenoj varijanti radnici uključuju u oblikovanje zadataka, što dovodi do njihovog većeg zadovoljstva, bolje motivacije i razumijevanja zadatka.

U sudioničkoj ergonomiji najveće umiješanosti svi radnici dobivaju osjećaj sudjelovanja. Znanje, moć, informacije i nagrađivanje premještaju se na najnižu razinu. U tom slučaju radnici doista brinu o organizaciji i izvedbi, no sama implementacija ovog načina rada zahtijeva konstantne promjene u gotovo svim organizacijskim aspektima. Potrebno je organizirati nekoliko razina upravljanja, uz jaku kontrolu.

Ergonomist u primjeni ove metode može pomagati u uvođenju promjena ili samo obučavati ljude za timski rad i međuljudske odnose.

Implementacija ovakve metode zahtijeva prilično detaljno planiranje i analiziranje postojećeg stanja, ciljeva, resursa i sl., a vrijeme primjene ovisi o složenosti zadatka.

7.2. *Kansei* inženjerstvo

Japanski termin *kansei* označava osjećaje, tj. emocionalni odgovor kupca. *Kansei* inženjerstvo predstavlja pretakanje psihičkih doživljaja korisnika u specifikaciju proizvoda. Cilj je implementirati *kansei* u proizvod, kako bi zadovoljstvo kupca bilo maksimalno. Da bi se to ostvarilo, potrebno je kvantificirati njegove kvalitativne odgovore, što je ponekad vrlo teško.

Općenito, razlikujemo filozofiju orijentiranu proizvodu (*product-in*), gdje se proizvođači okreću vlastitim idejama, od one orijentirane tržištu (*market-in*), gdje se okreće željama i potrebama kupca, odn. korisnika.

U *kansei* inženjerstvu razgovara se s kupcem, a mogu se provesti i psihofiziološka mjerenja, ukoliko je to potrebno. Za analizu podataka rabi se računalo s odgovarajućim softverom. Jedan od dostupnih naziva se KES (*Kansei Engineering System*). Usto, potreban je i softver za statističku analizu.

Vrijeme obuke nije dugo, no zahtijeva određeno znanje i iskustvo u ergonomiji. Vrijeme primjene ovisi o vrsti zadatka.

7.3. Antropotehnologija

Antropotehnologija je naziv za sintezu antropologije i tehnologije. Pri konstruiranju radnih mjesta i uređaja, treba voditi računa o antropologiji, odn. treba uzeti u obzir tjelesne, kulturološke i kognitivne specifičnosti ljudi u određenoj regiji ili zemlji. Ovakva se istraživanja uvijek obavljaju u realnim situacijama. Antropotehnolog mora cjelovito sagledati radni sustav, a pri pokušaju mijenjanja treba

poznavati i povijesnu pozadinu. Cijeli je proces prilično dugotrajan i skup te često uključuje kombiniranje lokalnih i globalnih mogućnosti i zahtjeva. Potrebno je razmišljati „izvan okvira“. Unesene promjene će najvjerojatnije biti vrlo uspješne jer se promatra širi kontekst.

Antropotehnolog je najčešće školovani ergonomist, s dobrim poznavanjem antropologije.

Za analizu su potrebna različita sredstva – kamera, diktafon i sl., ovisno o specifičnostima zadatka.

7.4. Alat za analizu sustava

Alat za analizu sustava ili SAT (*Systems Analysis Tool*) integrira analizu sustava i makroergonomske metode. Nudi alternativna rješenja uočenih problema, uz analizu troškova. Njegova je najveća prednost sustavno vrednovanje izmjena, uz odabir najbolje alternative.

Najprije se definiraju problemi i ciljevi, a zatim se oblikuju, vrednuju i odabiru alternative. Na kraju se radi plan implementacije i njegovo vrednovanje.

Vrijeme primjene i odabir alata ovise o prirodi zadatka. Primjena računala je neophodna.

7.5. Makroergonomska analiza i dizajn

Makroergonomska analiza i dizajn (MEAD – *Macroergonomic Analysis and Design*) integrira teoriju sociotehničkih sustava s ergonomijom.

Za početak je potrebno analizirati sam sustav – radnu okolinu, stanje u poduzeću, društveno okruženje i sl. Prema Sinku i Tuttleu, djelovanje organizacije procjenjuje se prema isplativosti, učinkovitosti, produktivnosti, kvaliteti, sigurnosti radnika, inovacijama i profitabilnosti. Pri analizi mogu poslužiti dijagrami toka informacija, materije, rada i sl.

Integrira analizu organizacije s ergonomskom analizom. Sistematična je i ima dobar teoretski temelj. Prilično je dugotrajna, a može se provoditi ručno ili na računalu.

7.6. Usporedba makroergonomskih metoda

Makroergonomske metode (tablica 10) razlikuju se od svih dosad spomenutih, jer su orijentirane na cijeli sustav, iz čega se nameće zaključak da su vrlo spore i dugotrajne. Dakako, nisu prikladne za primjenu u procesu razvoja proizvoda.

Svaka od odabranih makroergonomskih metoda fokusirana je na drugačiji aspekt djelovanja organizacije pa nema smisla međusobno ih uspoređivati.

r.br.	METODA	FOKUS	NAČIN PRIMJENE	BRZINA	TROŠKOVI	SLOŽENOST	DODATNE NAPOMENE
1	sudionička ergonomija	uključivanje radnika u ergonomsku analizu i dizajn	analiza utjecaja svake promjene na sustav	ovisi o zadatku	detaljna analiza; višerazinsko upravljanje; jaka kontrola	ovisi o veličini organizacije i količini unesenih promjena	cilj je premjestiti moć, znanje, informacije i sustav nagrađivanja na nižu razinu
2	<i>kansei</i> inženjerstvo	emocionalni odgovor kupca na proizvod	razgovor s kupcem; psihofiziološka mjerenja; kvantifikacija kvalitativnih podataka	relativno brzo; duža statistička analiza	računalo s odgovarajućim softverima (npr. KES + statistički paketi); edukacija u ergonomiji	složena kvantifikacija podataka, inače jednostavno	market-in filozofija orijentirana željama i potrebama kupca
3	antropotehnologija	konstruiranje proizvoda i radnih mjesta uz uvažavanje antropoloških faktora	promatranje radnog mjesta ili sustava u širem kontekstu	vrlo sporo	vrlo skupo (dugotrajno; različita oprema); edukacija u ergonomiji i antropologiji	vrlo kompleksno	sinteza antropologije i tehnologije; potrebno razmišljati "izvan okvira"
4	SAT	rješavanje problema nuđenjem alternative	definiranje problema i ciljeva; vrednovanje alternativa	ovisi o zadatku	ovise o zadatku; računalo	ovisi o zadatku	integracija analize sustava i makroergonomije
5	MEAD	analiza sustava i njegovih sastavnica	analiza sustava; dijagrami toka	ovisi o zadatku	ovise o zadatku	ovisi o zadatku	integracija teorije sociotehničkih sustava i makroergonomije, tj. analize organizacije s ergonomijom

Tablica 10. Usporedba makroergonomskih metoda

8. PRIKLADNOST ERGONOMSKIH METODA ZA PRIMJENU U PROCESU RAZVOJA PROIZVODA

8.1. Uvod

Kao što je već spomenuto u teoretskom dijelu ovog rada, potrebno je obratiti veliku pozornost na ergonomske aspekte prilikom razvoja proizvoda. Da bi njihovo značenje bilo lakše shvatljivo osobama koje inače nisu u doticaju s ergonomijom, možemo se poslužiti primjerom bicikla. Naime, to je proizvod koju je velika većina ljudi barem jednom u životu upotrijebila. Kako se bicikl pokreće isključivo vlastitom snagom i mišićnim radom, moguće je već nakon vrlo kratkog vremena uporabe shvatiti odgovara li nam konkretan primjerak, tj. je li nam bicikl *ergonomski prihvatljiv* i primjeren potrebi.

U današnje vrijeme, kad je ekologija izrazito prisutna u svim medijima te smo naprosto bombardirani informacijama što je *eko*, a što nije, često se može čuti da je vožnja biciklom najzdraviji oblik transporta. S ekološkog stajališta, ova je konstatacija sasvim točna, no što je sa zdravstvenim aspektom? Vožnja bicikla uistinu je zdrav način rekreacije i može izrazito povoljno djelovati na mišiće, posebice donjih ekstremiteta. Ipak, ukoliko bicikl ergonomski ne odgovara pojedincu, od vožnje može biti više štete nego koristi. Ukoliko dimenzije bicikla ne odgovaraju korisniku, odn. ako sjedalo, upravljač i pogonski dio nisu međusobno postavljeni na odgovarajući način, korisnik prilikom vožnje neće sjediti u pravilnom položaju. U tom slučaju može doći do preopterećenja pojedinih dijelova tijela, npr. vrata, ramena, križa, koljena, zapešća itd. Dugotrajna vožnja ergonomski neodgovarajućeg bicikla može dovesti do ozbiljnih oštećenja zglobova, hrskavica i ligamenata. Upravo se zbog toga izrazito puno pažnje pridaje ergonomske aspektima prilikom konstruiranja bicikla, pogotovo kad se radi o skupim sportskim modelima, gdje važnu ulogu igraju i učinkovitost i mogućnosti konstrukcije.

8.2. Ergonomičnost konstrukcije bicikla

Prvi bicikl bio je zapravo „mehanički konj“, konstruiran s ciljem da vožnja zamijeni jahanje. Takvi modeli odgovaraju svima jer korisnik sjedi uspravno, baš kao na konju (slika 28). Kralješnica uspjeva zadržati svoj prirodni oblik, dok mišići cijelih leđa održavaju trup uspravnim. Kako su se bicikli razvijali, ponešto im se mijenjao oblik, no nije baš svaka inovacija bila ergonomski bolja za korisnika.

Danas je osnovni cilj ergonomske intervencije u konstruiranju bicikla spriječiti ozljede te povećati korisnost same vožnje. Prilikom razmatranja ergonomije bicikla, potrebno je obratiti pozornost na sljedeće: opterećenje ruku i ramena, položaj donjeg dijela leđa te položaj nogu pri pedaliranju. Na slici 29 prikazan je pravilan položaj korisnika prilikom vožnje bicikla [17]. Strelice označavaju raspodjelu mišićnih sila u tijelu.

Na slici 30 prikazan je položaj korisnika prilikom vožnje na različitim modelima bicikla. Leđni su mišići tako građeni da dobro podupiru kralješnicu kad ona zadržava svoj prirodni oblik („dvostruki S“). Suradnja mišića i kralješnice omogućuje fiksiranje zdjelice, čime se donjim ekstremitetima daje sloboda gibanja. Naime, fiksirana zdjelica omogućuje zakretanje u zglobu kuka, što omogućuje pravilno pedaliranje [17].

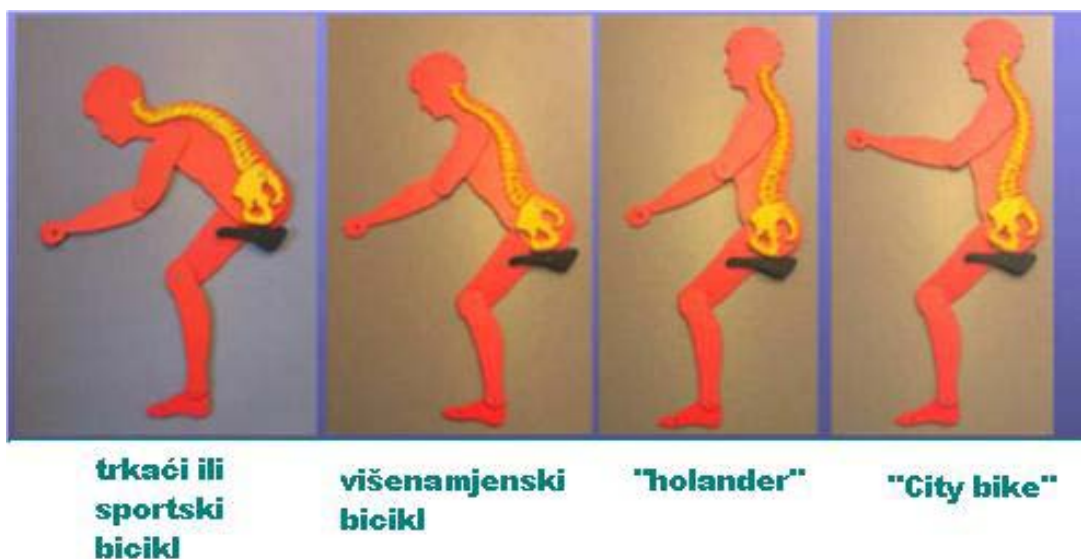


Slika 28. Stariji model bicikla (tzv. *holander*) [17]



Slika 29. Optimalan položaj korisnika pri vožnji bicikla [17]

Ukoliko kralješnica izgubi svoj prirodni oblik, neki leđni mišići postaju preopterećeni, dok se neki uopće ne opterećuju. Na taj način kralješnica gubi svoju elastičnost, što može dovesti do pojave boli i ozljede.



Slika 30. Položaj korisnika na različitim vrstama bicikla [17]

Na modernom gradskom biciklu (eng. *city bike*) javlja se problem prevelike opuštenosti mišića. Ovakvi su bicikli prilično slični starim *holanderima* (slika 28), s jednom važnom razlikom – upravljač je postavljen na višu razinu, što je, zapravo, posve kontraproduktivno (slika 31). Prema [17], ukoliko je vertikalna razlika upravljača i sjedala veća od 100 mm, leđni se mišići opuste i prestanu podupirati kralješnicu jer ruke preuzimaju preveliki dio opterećenja. Ukoliko se opterećenje raspoređuje na veću skupinu mišića, tada se svaki pojedini mišić, razumljivo, manje opterećuje. Ako se prilikom vožnje bicikla pojavi bol u zapešćima, to zapravo ukazuje na premalu mišićnu aktivaciju leđa [17]. Optimalan položaj, i za sjedenje na biciklu i za guranje istog, jest onaj u kojem nema vertikalne razlike između sjedala i upravljača [17].



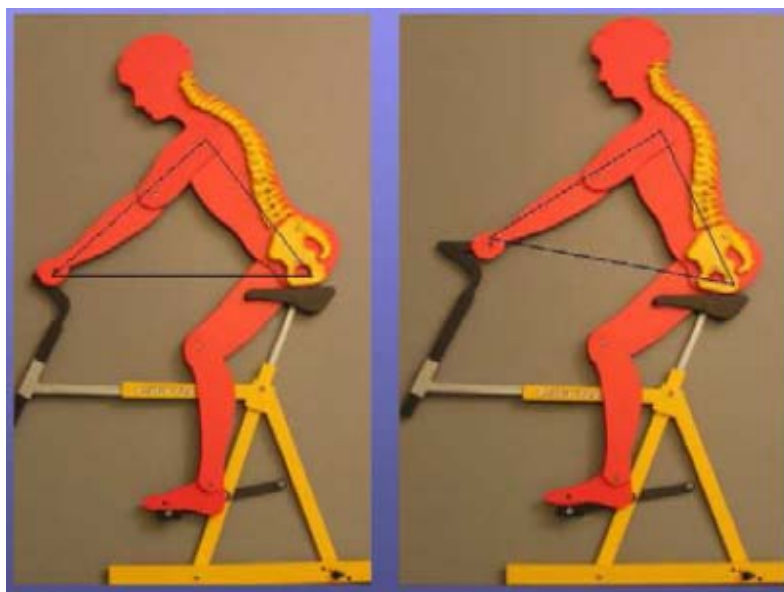
Slika 31. Usporedba željenog i ostvarenog položaja [17]

Prilikom vožnje bicikla važno je da kut između ruku i kralješnice iznosi 90° jer ljudsko tijelo prirodno zauzima takav položaj [17]. Ukoliko je taj kut manji, primjerice, zbog premalog razmaka između sjedala i upravljača, naša će se leđa sama od sebe zgrbiti da bi korigirala spomenuti kut, no tada

kralješnica gubi svoj prirodni položaj, a leđni mišići više nisu opterećeni na optimalan način (slika 32). Općenito, pogrbljena leđa su prirodni odgovor na raznovrsne ergonomske probleme s kojima se korisnik susreće prilikom vožnje bicikla, čak i neudobno sjedalo. Uzevši u obzir dosad spomenute faktore, može se reći da bi šake, ramena i zdjelica trebali činiti pravokutni trokut, kako je to prikazano na slici 33. Položaj upravljača može se pomicati samo ako se pritom ne naruše odnosi unutar trokuta. Taj odnos ne vrijedi za holandere – kad su leđa uspravna, ona prenose cijelo opterećenje te kut od 90° ne mora biti ostvaren [17].

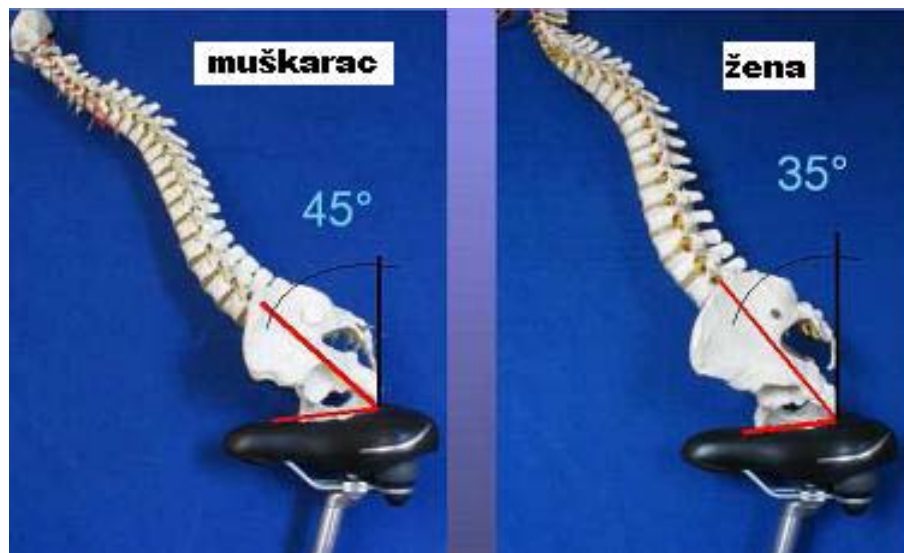


Slika 32. Značenje kuta između ruku i kralješnice prilikom vožnje bicikla [17]



Slika 33. Prikaz dvaju pravilnih položaja prilikom vožnje bicikla [17]

Većina korisnika ima tendenciju sjediti prenisko na svojim biciklima te dugotrajnom vožnjom mogu ozbiljno oštetiti svoja koljena. U gornjoj mrtvoj točki, kut između natkoljenice i potkoljenice ne smije biti manji od 90° , a to se korigira duljinom pogonske poluge [17]. Naime, ukoliko je taj kut oštar, dolazi do prevelikog istezanja ligamenata koljena, što može rezultirati njihovim oštećenjem. Osim toga, pedaliranje u ovakvom položaju zahtijeva puno više energije, zbog jače mišićne aktivacije. Prilikom vožnje, u donjoj mrtvoj točki, noga mora biti gotovo potpuno ravna, što se korigira promjenom visine sjedala. Također je bitno napomenuti da se mišićna sila na pedale treba prenositi isključivo preko nožnih prstiju. Na taj način skočni zglob nije fiksiran te se omogućuje normalno gibanje koljena, što nije slučaj ukoliko se korisnik oslanja na pete [17].



Slika 34. Prikaz maksimalnog otklona zdjelice pri vožnji bicikla [17]

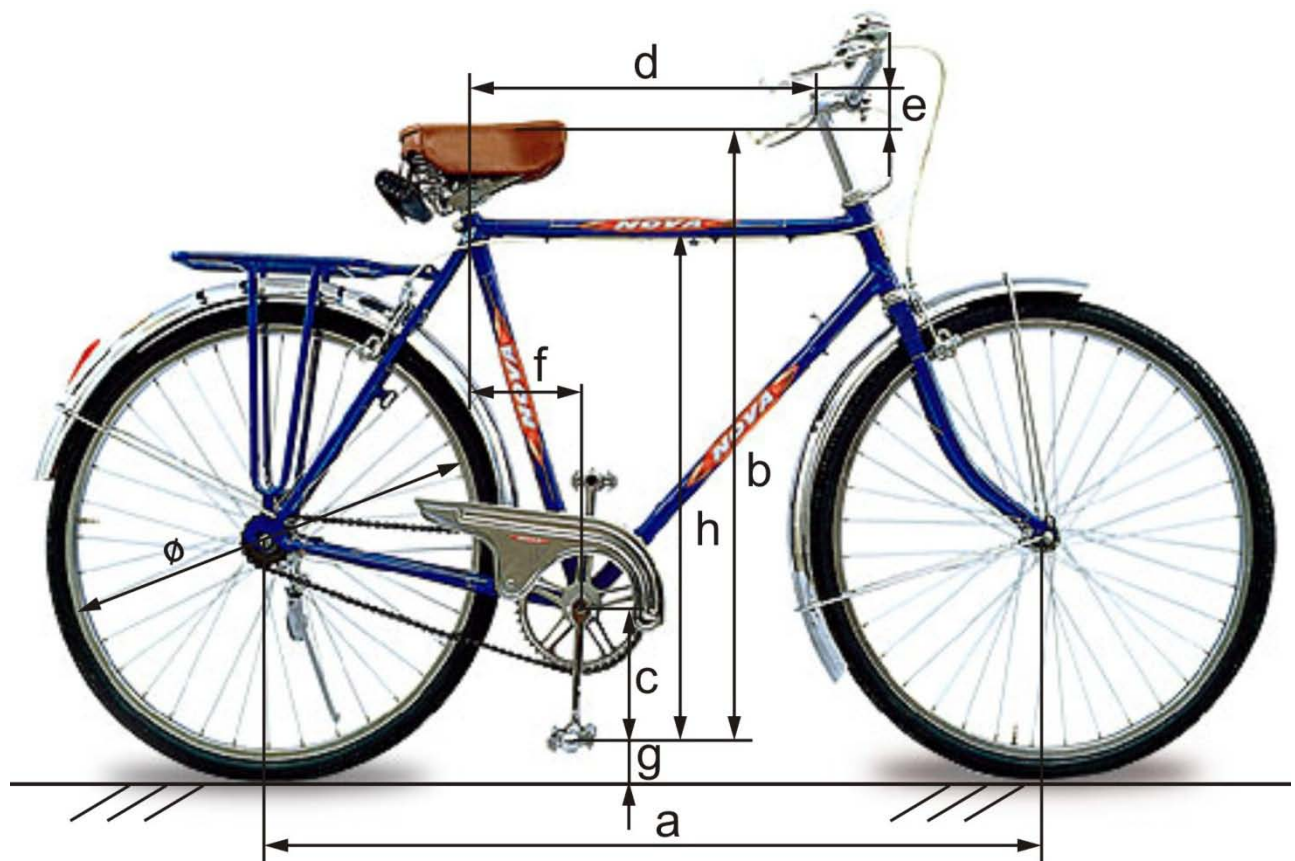
Muškarci i žene imaju vrlo različit oblik zdjelice (slika 34), stoga im ne odgovaraju jednaka sjedala. Zdjelica muškaraca je uža i ravna, dok je kod žena šira i konkavna. Također, muškarci se mogu više nagnuti naprijed dok voze bicikl. Ukoliko žene sjede na preravnom sjedalu, zdjelica se neće moći fiksirati, već će se stalno „kotrljati“. Većina je sjedala napravljena tako da je oslonac na stražnjoj strani zdjelice, no to nije preporučljivo jer takav položaj vrlo brzo uzrokuje bol zbog premale površine pritiska (slika 35). Poželjno je, stoga, oslonac pomaknuti naprijed [17].



Slika 35. Preporučljiv i pogrešan položaj zdjelice prilikom vožnje [17]

Iz navedenog se može zaključiti da, općenito, postoji nekoliko dimenzija na konstrukciji bicikla na koje treba obratiti posebnu pozornost prilikom prilagodbe bicikla pojedinom korisniku (slika 36). To su:

- međuosovinski razmak (a)
- vertikalna udaljenost pedale u donjoj mrtvoj točki od sjedala (b)
- duljina poluge (c)
- horizontalna udaljenost sjedala od upravljača (d)
- vertikalna udaljenost sjedala od upravljača (e)
- horizontalna udaljenost pogonske osovine od sjedala (f)
- vertikalna udaljenost pedale u donjoj mrtvoj točki od tla (g)
- vertikalna udaljenost prečke od pedale u donjoj mrtvoj točki (h)
- širina upravljača (i)
- promjer kotača (ϕ)



Slika 36. Ključne dimenzije bicikla [17]

8.3. Analiza korisničkih potreba sa stajališta ergonomije

Analizom korisničkih potreba pri razvoju bicikla, može se zaključiti da su u značajnoj mjeri povezane s ergonomijom, više ili manje izravno (tablica 11).

r.br.	POTREBA	NAČIN OSTVARENJA (primjer)
1	bicikl je prilagodljiv pojedinom korisniku	mogućnost prilagodbe visine sjedala i upravljača te njihove međusobne horizontalne udaljenosti
2	konstrukcija omogućuje nezahtjevno sjedanje na bicikl i silazak s njega	pedala nosi cijelu težinu korisnika
3	konstrukcija bicikla omogućuje udobnu vožnju	sjedalo je odgovarajuće tvrdoće i oblika
		materijal / konstrukcija bicikla prigušuje vibracije
4	konstrukcija bicikla omogućuje sigurnu vožnju	kočnice se lako aktiviraju
		zaustavljanje bicikla nije trenutačno
		u slučaju potrebe za naglim stajanjem, korisnik može brzo i sigurno sići s bicikla
5	bicikl se jednostavno pokreće	materijal okvira dovoljno je lagan
		duljina pogonske poluge odgovara korisniku
6	biciklom se jednostavno upravlja	upravljač je jednostavno zakretati
		zakretanje upravljača omogućuje skretanje, odn. kretanje po željenoj putanji
		mjenjač brzina je lako dostupan i jednostavan za uporabu te omogućuje brzo, precizno i sigurno mijenjanje stupnja prijenosa
		kočnice je lako aktivirati
7	bicikl je moguće sigurno zaustaviti	kočnice je lako aktivirati
		gume dobro prijanjaju uz podlogu
8	bicikl je moguće lagano gurati (po potrebi)	bicikl je dovoljno lagan i stabilan da se može pridržavati samo za upravljač
		materijal okvira dovoljno je lagan da ga korisnik može gurati
9	bicikl je vizualno dopadljiv	estetski prihvatljiv, moderan dizajn
		moderne boje i detalji
		mogućnost izražavanja stava ili osobnosti

Tablica 11. Korisničke potrebe

8.4. Analiza aktivnosti pri vožnji bicikla

Uporabu bicikla moguće je načelno podijeliti u tri faze – pripremne radnje, vožnja te završne radnje. U tablici 12 prikazana je analiza aktivnosti, uz naznaku bioloških faktora vezanih uz njihovo izvršavanje. Vožnja bicikla jest, općenito, složena radnja za vrijeme koje je potrebna koncentracija te mentalna i tjelesna angažiranost. Kognitivni napor, u ovom slučaju, općenito označava odluke koje korisnik donosi – odluka o vožnji, o ubrzavanju, kočenju, izbjegavanju prepreke, zaustavljanju i sl.

FAZA	AKTIVNOST	NAČIN OSTVARENJA AKTIVNOSTI
PRIPREMNE RADNJE	korisnik provjerava tehničku ispravnost bicikla	- kognitivni napor - vizualna percepcija - osjetilo dodira
	korisnik provjerava tlak u gumama	- sila mišića ruke - osjetilo dodira - kognitivni napor
	korisnik si prilagođava položaj sjedala, upravljača i ručica (po potrebi)	- vizualna percepcija - sila mišića ruke - kognitivni napor
	korisnik pali svjetlo (po potrebi)	- vizualna percepcija - sila mišića ruke - kognitivni napor
VOŽNJA	korisnik prihvaća bicikl	- vizualna percepcija - sila mišića ruke - kognitivni napor
	korisnik sjeda na bicikl	- vizualna percepcija - mišićna sila - kognitivni napor - propriocepcija i ravnoteža (srednje uho)
	korisnik pokreće bicikl	- mišićna sila - kognitivni napor - ravnoteža (srednje uho)
	korisnik usmjerava bicikl, izbjegavajući prepreke	- mišićna sila - kognitivni napor - ravnoteža (srednje uho) - vizualna i auditivna percepcija prometa
	korisnik ostvaruje željeni stupanj prijenosa snage	- sila mišića ruke - kognitivni napor - kinestetički osjet (osjećaj „težine“ izvedbe)
	korisnik prilagođava brzinu vožnje trenutnim željama i uvjetima na cesti	- mišićna sila - kognitivni napor - ravnoteža (srednje uho) - vizualna i auditivna percepcija prometa

ZAVRŠNE RADNJE	korisnik zaustavlja bicikl	- mišićna sila - kognitivni napor - ravnoteža (srednje uho)
	korisnik silazi s bicikla	- mišićna sila - kognitivni napor - ravnoteža (srednje uho)
	korisnik odlaže bicikl	- vizualna percepcija - mišićna sila - kognitivni napor

Tablica 12. Analiza aktivnosti pri vožnji bicikla

U tablici 13 prikazani su problemi vezani uz određene dijelove konstrukcije bicikla, koji se mogu pojaviti prilikom eksploatacije.

ELEMENT KONSTRUKCIJE	ATRIBUT	PROBLEM	PREPORUKA ZA RJEŠENJE
OKVIR	oblik	korisnik ne može ostvariti povoljan položaj	odabrati okvir u skladu s načinom korištenja
	dimenzije	veličina nije prilagođena korisniku	odabrati okvir u skladu s antropomjerama pojedinca
	materijal	prevelika masa	
loše prigušenje vibracija			staviti amortizer, barem za prednji kotač
SJEDALO	oblik	neadekvatan oblik uzrokuje nelagodu, bolove, pa čak i zdravstvene probleme	ženama treba šire, konkavno sjedalo, a muškarcima uže, ravno
	dimenzije	preširoko / preusko	oslonac je na sjednim kostima, malo više naprijed
	položaj	neodgovarajući položaj u odnosu na upravljač uzrokuje nepravilno držanje, bolove ili čak ozljede leđa, vrata i zapešća	sjedalo je u takvom položaju u odnosu na upravljač da ruke i leđa tvore pravi kut
		neodgovarajući položaj u odnosu na pogonski dio uzrokuje bolove ili ozljede koljena	kad je pedala u donjoj mrtvoj točki, noga je gotovo posve ravna (malo savinuta u koljenu)
	materijal	neodgovarajuća tvrdoća uzrokuje bolove	sjedalo je udobno za vožnju, bilo kratkotrajnu, bilo dugotrajnu
uzrokuje preveliko znojenje		materijal „diše“, tj. propušta zrak	
UPRAVLJAČ + RUČICE KOČNICA I MJENJAČA	oblik	neodgovarajuća širina upravljača uzrokuje bolove u rukama	raspon između šaka nešto je širi nego razmak ramena
		nepovoljno mjesto dodira uzrokuje bolove u šakama i zapešćima	oslonac je na unutarnjoj strani dlana (palčana kost)

UPRAVLJAČ + RUČICE KOČNICA I MJENJAČA	položaj	ručice mjenjača i kočnica su teško dohvatljive, što utječe na sigurnost vožnje	ručice je moguće aktivirati u svakoj situaciji, brzo i jednostavno – položaj ručica prati liniju podlaktice
		kočnica se teško aktivira – može uzrokovati ozljedu zapešća te utječe na sigurnost	kočnicu je moguće aktivirati u svakoj situaciji; kočenje je brzo, ali ne trenutačno
	površina prihvata	neadekvatna površina prihvata utječe na udobnost i sigurnost vožnje – preskliska / pregruba / pretvrda / premekana / nefiksirana / uzrokuje znojenje...	držke su udobne i ugodne za vožnju; načinjene od materijala koji omogućuje siguran i čvrst prihvat, a ne uzrokuje znojenje
KOTAČI S POGONOM	dimenzije	promjer kotača ne odgovara korisniku	prilagoditi promjer kotača visini korisnika
		širina kotača ne odgovara načinu i uvjetima vožnje	prilagoditi širinu kotača podlozi i načinu vožnje
	stanje gume	neadekvatan tlak u gumama može otežavati vožnju	adekvatan tlak povećava iskoristivost
		izlizane gume mogu smanjiti sigurnost	gume su uvijek dovoljno očuvane da bi vožnja bila sigurna
		vrsta gume ne odgovara površini	prilagoditi gumu vrsti podloge (za zemljani teren više, a za asfalt manje profilirane)
	stanje lanca	nedovoljno podmazan	podmazani lanac olakšava vožnju i povećava iskoristivost
		prljav lanac smanjuje učinkovitost vožnje	lanac treba održavati čistim
	oblik pedala	neadekvatan oblik smanjuje učinkovitost vožnje (npr. premale pedale znače premalu površinu pritiska, dok se prevelike ili preteške pedale teško okreću)	osigurati dovoljno veliku kontaktnu površinu, tako da se sila može prenijeti preko nožnih prstiju
pedale imaju oštre kuteve na koje se korisnik može ozlijediti		pedale su oblikovane tako da ne postoji mogućnost ozljede (primjerice, pri slučajnom skliznuću noge)	

Tablica 13. Problemi pri vožnji bicikla

8.5. Tehnička specifikacija bicikla obzirom na ergonomiju

Specifikacija bicikla obično se radi prema ciljanoj skupini, a ne općoj populaciji. Ovdje donosimo nekoliko stvari na koje treba obratiti pozornost.

Dimenzije bicikla potrebno je prilagoditi antropomjerama ciljane skupine korisnika. Pritom se može poslužiti ovakvom tablicom [19]:

dužina ruke = $\frac{25}{64}$ stojeće visine	dužina noge = $\frac{17}{32}$ stojeće visine
dužina nadlaktice = $\frac{5}{64}$ stojeće visine	dužina natkoljenice = $\frac{9}{32}$ stojeće visine
dužina podlaktice = $\frac{17}{32}$ stojeće visine	dužina potkoljenice = $\frac{7}{32}$ stojeće visine
dužina šake = $\frac{9}{64}$ stojeće visine	dužina stopala = $\frac{1}{8}$ stojeće visine

Tablica 14. Harmonijske dužine tjelesnih segmenata [19]

Odnosi navedeni u tablici 14, uz potrebno predznanje iz poglavlja 8.2., mogu poslužiti pri odabiru dimenzija bicikla (slika 36). U tablici tehničke specifikacije bicikla (tablica 15) ne navodim konkretan iznos pojedine dimenzije jer, kako sam već navela, specifikacija bicikla obično se formira prema ciljanoj skupini, a ne općoj populaciji.

FIZIKALNA VELIČINA	JEDINICA
masa	kg
udaljenost <i>a</i>	mm
udaljenost <i>b</i>	mm
udaljenost <i>c</i>	mm
udaljenost <i>d</i>	mm
udaljenost <i>e</i>	mm
udaljenost <i>f</i>	mm
udaljenost <i>g</i>	mm
udaljenost <i>h</i>	mm
udaljenost <i>i</i>	mm
promjer kotača	mm

Tablica 15. Tehnička specifikacija bicikla sa stajališta ergonomije

Pri konstruiranju ručnih kočnica, važno je voditi računa o sili koju korisnik može generirati stiskanjem šake. U tablici 16 prikazan je pregled sila stiska ruke prema dobi i spolu.

DOB	MUŠKARCI		ŽENE	
	dominantna ruka	nedominantna ruka	dominantna ruka	nedominantna ruka
20	360 N	350 N	215 N	190 N
25	390 N	360 N	220 N	200 N
30	402,5 N	360 N	210 N	190 N
35	390 N	355 N	195 N	187,5 N
40	375 N	340 N	185 N	177,5 N
45	357,5 N	325 N	175 N	167,5 N
50	330 N	302,5 N	175 N	165 N

Tablica 16. Sila stiska šake prema dobnim i spolnim skupinama

8.6. Odabir metoda za ergonomsku procjenu

8.6.1. Fizikalne metode

Fizikalne metode za ergonomsku procjenu uglavnom se upotrebljavaju za vrednovanje samog rada, pojedinih zadataka ili uređaja koji se pritom koriste. U pravilu nisu prikladne za ergonomske vrednovanje bilo kakvih proizvoda, osim alata i uređaja koje korisnik rabi tijekom cjelodnevnog rada.

Većina ovih metoda nema preventivnu ulogu te se pomoću njih ne bi mogla utvrditi ergonomska adekvatnost proizvoda prije nego se pojave određene tegobe, što ukazuje na neprikladnost za primjenu u procesu razvoja proizvoda.

U tablici 18 pregledno su prikazane spomenute metode (vidi poglavlje 4) te njihova primjenjivost tijekom procesa razvoja proizvoda, kao i za ergonomske procjene bicikla, uz kratko objašnjenje. Vidljivo je da su neke metode općenito primjenjive u razvoju proizvoda, ali za ergonomske procjene bicikla ne daju korisne informacije. Tumač oznaka prikazan je u tablici 17.

oznaka	tumač
+	metoda je apsolutno prikladna
+/-	metoda je primjenjiva uz neke prilagodbe
-	metoda je apsolutno neprikladna
RP	primjenjivost u procesu razvoja proizvoda
B	primjenjivost za ergonomske procjene bicikla

Tablica 17. Tumač oznaka za tablice 18, 19 i 20

METODA		OBJAŠNENJE	
PLIBEL	RP	+/-	Uporaba moguća s upitnikom prilagođenim specifičnostima zadatka. Pogodnija za procjenu radnih sustava, strojeva i sl., nego za pojedinačne proizvode.
	B	+/-	Uporaba moguća uz prilagodbu upitnika.
NIOSH	RP	+/-	Prikladnija za oblikovanje radnih zadataka, nego za vrednovanje proizvoda. Služi za klasifikaciju već uočenih tegoba.
	B	+	Služi samo za klasifikaciju uočenih tegoba.
DMQ	RP	+/-	Uključuje i sociopsihološke aspekte rada – relevantni samo pri razvoju proizvoda za dugotrajni rad. Nužno postojanje kontrolne skupine.
	B	+/-	Upitna relevantnost sociopsiholoških aspekata rada za ovaj primjer.
REBA	RP	+/-	Uporaba kreće od biomehanički neutralnog položaja pa se postavlja pitanje kako isti odrediti. Zahtijeva određeno ergonomsko predznanje. Prikladnija za procjenu rada nego proizvoda.
	B	+/-	Upitno određivanje biomehanički neutralnog položaja.
PDA	RP	+	Rabi se za vrednovanje rada na računaru i sličnih zadataka pa je prikladna za razvoj takvih proizvoda.
	B	-	Ne odgovara specifičnostima zadatka.
percipiranje napora	RP	+	Metoda prikladna samo za vrednovanje uloženog napora. Zahtijeva dobro poznavanje ergonomije. Vrlo komplicirana za uporabu.
	B	+	Adekvatna samo za procjenu uloženog truda, odn. napora.
funkcionalna analiza rada	RP	+/-	Primjenjiva za razvoj proizvoda kojima će se rukovati u ciklusima (<12-15 ponavljanja u minuti), a da zadaci nisu inicijalno teški.
	B	-	Neprikladna za zadatke s velikim brojem ciklusa, a vožnju bicikla karakterizira upravo to.
QEC	RP	+	Primjenjiva za vrednovanje rada i dizajna upotrebljavane opreme, ali samo kod pojave opterećenja leđa, gornjih udova i vrata.
	B	+/-	Primjenjiva na leđa, gornje udove i vrat, ali ne i noge.
RULA	RP	+	Primjenjiva za vrednovanje rada i dizajna upotrebljavane opreme kod sjedećih statičnih zadataka.
	B	-	Ograničena je na sjedeće statične zadatke.
indeks naprezanja	RP	+/-	Rabi se za procjenu napora i prikladna za dugotrajne zadatke koji se obavljaju u ciklusima.
	B	-	Nije primjenjiva jer se vrijeme naprezanja dijeli s vremenom oporavka, osim ako trenutke kad korisnik ne pedalira smatramo vremenom oporavka.

OCRA	RP	+/-	Primjenjiva za procjenu izloženosti gornjih ekstremiteta rizicima od ozljede.
	B	+/-	Primjenjiva isključivo na radne zadatke pri kojima se opterećuju gornji udovi.
psihofizikalne tablice	RP	+	Donose podatke o maksimalnoj težini podizanja, spuštanja i nošenja te sili guranja i vučenja.
	B	+/-	Neprikladna za samu vožnju, ali se može upotrijebiti za analiziranje podizanja i/ili guranja bicikla.
LMM	RP	+	Primjenjiva za analizu opterećenja leđa. Neprikladna u razvoju proizvoda čija uporaba ni na kakav način ne utječe na leđa.
	B	+	Ukoliko prsluk ne bi smetao korisniku prilikom same vožnje, mogao bi dati vrlo korisne podatke o položaju leđa.

Tablica 18. Primjenjivost fizikalnih metoda za ergonomsku procjenu

8.6.2. Psihofiziološke metode

Psihofiziološke metode uglavnom nisu primjenjive za ergonomsko vrednovanje proizvoda od strane inženjera. U ovoj se skupini u pravilu radi o medicinskim testovima i procedurama, sa skupom opremom i pretežno laboratorijskim uvjetima.

U tablici 19 pregledno su prikazane spomenute metode (vidi poglavlje 5) te njihova primjenjivost za ergonomsku procjenu bicikla, kao i na općeniti proces razvoja proizvoda, uz kratko objašnjenje. Tumač oznaka prikazan je u tablici 17.

METODA		OBJAŠNENJE	
elektrodermalno mjerenje	RP	+/-	Metoda je teoretski primjenjiva, ali zahtijeva skupu opremu i određeno medicinsko znanje. Upitno značenje dobivenih rezultata.
	B	+/-	Upitna korisnost dobivenih rezultata.
EMG	RP	+/-	Metoda je teoretski primjenjiva, ali zahtijeva skupu opremu i određeno medicinsko znanje. Upitno značenje dobivenih rezultata.
	B	+/-	Upitna korisnost dobivenih rezultata.
mjerenje pulsa	RP	+/-	Metoda je teoretski primjenjiva, no nudi informacije samo o naporu i stresu. Upitna primjenjivost dobivenih rezultata.
	B	+/-	Metoda je teoretski primjenjiva, no nudi informacije samo o naporu, ali ne o udobnosti i sl.

mjerenje pospanosti	RP	–	Metoda nema praktično značenje za razvoj proizvoda.
	B	–	Nema praktično značenje za razvoj proizvoda.
ERP	RP	–	Metoda neprimjenjiva zbog laboratorijskih uvjeta i opreme na kojoj se mjerenje obavlja. Zahtijeva određeno medicinsko znanje.
	B	–	Metoda neprimjenjiva zbog laboratorijskih uvjeta i opreme na kojoj se mjerenje obavlja.
MEG i fMR	RP	–	Metoda neprimjenjiva zbog laboratorijskih uvjeta i opreme na kojoj se mjerenje obavlja. Zahtijeva određeno medicinsko znanje.
	B	–	Metoda neprimjenjiva zbog laboratorijskih uvjeta i opreme na kojoj se mjerenje obavlja.
mjerenje krvnog tlaka	RP	+/-	Metoda je teoretski primjenjiva, no krvni se tlak mjeri isključivo kao pokazatelj stresa – upitna prikladnost za razvoj proizvoda.
	B	+/-	Metoda je teoretski primjenjiva, no krvni se tlak mjeri isključivo kao pokazatelj stresa, što u ovom slučaju nije potrebno.
nadzor budnosti	RP	–	Metoda upotrebljiva samo kod vozača kamiona.
	B	–	Metoda upotrebljiva samo kod vozača kamiona.
mjerenje disanja	RP	+/-	Metoda je primjenjiva, ali nudi informacije samo o naporu, odn. težini izvedbe. Nije primjenjiva na razvoj proizvoda čija je uporaba nezahtjevna.
	B	+/-	Metoda je primjenjiva, ukoliko LifeShirt ne bi smetao izvedbi. Nudi informacije samo o naporu, ali ne o udobnosti i sl.

Tablica 19. Primjenjivost psihofizioloških metoda za ergonomsku procjenu

8.6.3. Ponašajne i kognitivne metode

U procesu razvoja proizvoda najviše se mogu primijeniti ponašajno-kognitivne metode jer su više orijentirane na proizvod, nego na rad, kao što je bio slučaj kod fizikalnih.

Budući da je rukovanje mnogim suvremenim proizvodima, pa tako i vožnja bicikla, složen zadatak koji zahtijeva tjelesni i kognitivni napor, jasno je zašto ova skupina ergonomske metode nudi najviše mogućnosti primjene.

U tablici 20 pregledno su prikazane spomenute metode (vidi poglavlje 6) te njihova primjenjivost za ergonomsku procjenu bicikla, kao i na općeniti proces razvoja proizvoda, uz kratko objašnjenje. Tumač oznaka prikazan je u tablici 17.

METODA		OBJAŠNENJE	
promatranje	RP	+	Metoda primjenjiva u različitim fazama razvoja proizvoda. Daje mogućnost uočavanja prostora za poboljšanje proizvoda.
	B	+/-	Primjena metode dala bi korisne podatke o pravilnosti uporabe bicikla. Upitna izvedivost – upotreba sobnog bicikla daje ograničene informacije, kao i vožnja paralelno s korisnikom ili analiza snimke.
intervju	RP	+	Metoda primjenjiva u različitim fazama razvoja proizvoda. Stavlja naglasak na subjektivni doživljaj, odn. eksplicitne korisničke potrebe.
	B	+	Metoda donosi podatke o subjektivnom doživljaju bicikla (vizualna dopadljivost, udobnost, poteškoće koje se pojavljuju pri vožnji...).
analiza verbalnog protokola	RP	+	Mogućnost primjene u različitim fazama razvoja proizvoda. Nudi uvid u kognitivne procese korisnika (kako reagira i zašto čini određene akcije).
	B	+/-	Primjena je moguća, ali ne u izvornoj formi jer bi govor poremetio disanje i smanjio izvedbu, osim ako se radi o fizički manje zahtjevnoj vožnji.
vrednovanje proizvoda	RP	+	Primjenjiva u različitim fazama razvoja proizvoda.
	B	+	Metoda je primjenjiva, no trebala bi se ograničiti samo na bicikle, bez drugih predmeta. Primjerice, moguće je sastavljati trijade od pojedinih dijelova bicikla, što bi u konačnici rezultiralo proizvodom apsolutno prilagođenim korisniku.
fokus grupe	RP	+	Metoda primjenjiva u različitim fazama razvoja proizvoda.
	B	+	Metoda primjenjiva u različitim fazama razvoja proizvoda.
HTA	RP	+/-	Metoda je teoretski primjenjiva u razvoju proizvoda, ali se uglavnom odnosi na sustav i izrazito je kompleksna i skupa – upitna isplativost.
	B	+/-	Upitna isplativost metode.
raspodjela funkcija	RP	+/-	Odnosi se na radni sustav i odluke o tome koji će radni zadatak biti dodijeljen čovjeku, a koji stroju. Više je primjenjiva na raspodjelu zadataka, a u razvoju proizvoda korisna je samo u početnoj fazi.
	B	+/-	Primjenjiva samo u početnoj fazi razvoja.
metoda kritične odluke	RP	+	Primjenjiva pri razvoju kompleksnijih proizvoda jer analizira složenost kognitivnih procesa
	B	-	Kognitivni procesi pri vožnji biciklom nisu osobito složeni.
primijenjena kognitivna analiza rada	RP	+/-	Teoretski primjenjiva, no prekompleksna je i prilično nepregledna za inženjersku primjenu.
	B	-	Prekompleksna i nerazumljiva primjena.
SHERPA	RP	+/-	Metoda je sama po sebi vrlo korisna – predviđa moguće pogreške i traži rješenja za iste, no temelji se na HTA-u, koji je prilično kompleksan.
	B	+/-	Prekompleksna za ovakvu primjenu.

TAFEI	RP	+	Metoda je temeljena na općoj teoriji sustava, te daje dobar uvid u pogreške koje se javljaju na sučeljima između čovjeka i sustava.
	B	+/-	Primjenjiva je, ali možda prekompleksna za ovakav proizvod.
mentalno opterećenje	RP	+/-	Teoretski primjenjiva metoda, izrazito složene primjene. Prikladnija za analizu zadataka, nego samih proizvoda.
	B	+/-	Teoretski primjenjiva metoda, izrazito složene primjene.
model dijeljenja vremena na više izvora	RP	+/-	Teoretski primjenjiva metoda, izrazito složene primjene. Prikladnija za analizu zadataka, nego samih proizvoda.
	B	-	Nema potrebe, ni smisla za primjenom ove metode jer se vožnja bicikla ne obavlja zajedno s drugim aktivnostima.
analiza kritičnog puta za multimodalnu aktivnost	RP	+/-	Metoda je primjenjiva na analizu zadataka, kako bi se utvrdio najbrži način obavljanja istog. Nije prikladna za analizu pojedinih proizvoda.
	B	-	Primjena metode nema smisla jer se pojedini podzadaci obavljaju simultano.
svjesnost situacije	RP	-	Upotrebljava se za sustave.
	B	-	Upotrebljava se za sustave.

Tablica 20. Primjenjivost ponašajnih i kognitivnih metoda za ergonomsku procjenu

8.6.4. Makroergonomske metode

Ova se skupina metoda (vidi poglavlje 7) isključivo upotrebljava za analizu cijelih organizacija pa je besmislena njena primjena za ergonomsku procjenu pojedinih proizvoda, osim ako se procjenjuje utjecaj pojedinog proizvoda na promjene u sustavu.

Iznimka je samo metoda *kansei* inženjerstva, koja je usmjerena isključivo na kupca i na njegov emocionalni odgovor na proizvod.

8.7. Praktična primjena odabranih metoda

Podrobnijom analizom spomenutih ergonomskih metoda, nameće se zaključak da uglavnom nisu prikladne za inženjersku primjenu u razvoju proizvoda. Većina njih zahtijeva posjedovanje određene dodatne opreme, čime se poskupljuje cijeli proces razvoja, a time i sam proizvod. Usto zahtijevaju i vrlo dobro poznavanje ergonomije, a često su vrlo složene i dugotrajne za primjenu.

Za praktični dio rada, odnosno primjer primjene ergonomskih metoda, odabran je *intervju* (poglavlje 6.1.2.) te *metoda procjene ergonometričnosti* [20].

8.7.1. Primjena intervjuja na procjenu ergonometričnosti bicikla

Intervju je već dobro poznata metoda kojom se služe mnogi konstruktori. Ipak, u ovom je slučaju intervju poslužio isključivo kao metoda procjene ergonomske prikladnosti.

Kao priprema za sam intervju poslužio je upitnik (prilog 1), kojim smo nastojali saznati koja su uopće, ergonomski gledano, kritična mjesta konstrukcije bicikla. U sljedećem poglavlju iznosim kratku analizu spomenutog upitnika.

8.7.1.1. Analiza upitnika

Upitnik je ispunilo 58 osoba, uglavnom mlađe dobi (između 20 i 30 godina), od čega 23 ženskog spola.

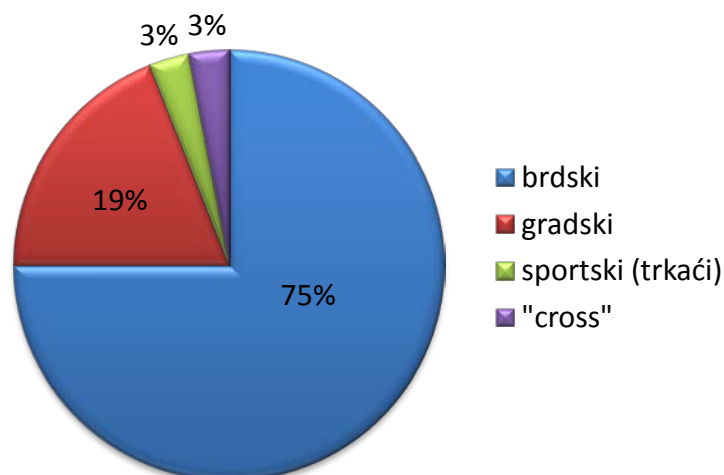
Većina ispitanika, gotovo 70%, bicikl vozi rijetko i smatra se rekreativnim korisnicima. Prema rezultatima ispitivanja, dalo bi se zaključiti da većina takvih korisnika ne vozi ergonomski odgovarajući bicikl. Budući da ionako ne voze često, smatraju da biciklu ne trebaju posvetiti posebnu pažnju.

Prilikom odabira bicikla, 55% ispitanika rukovodi se cijenom, a gotovo trećini važna je vizualna dopadljivost. Čak 53% ispitanika tvrdi da odabire bicikl u skladu s namjenom, a isto toliko ih isproba bicikl prije kupnje, da vide odgovara li im geometrija i mogu li se provesti potrebne prilagodbe. Nekolicina ispitanika izjavila je i da pazi na kvalitetu komponenata, dostupnost i mogućnost zamjene rezervnih dijelova, masu, amortizaciju, tehničku opremljenost te veličinu i geometriju okvira.

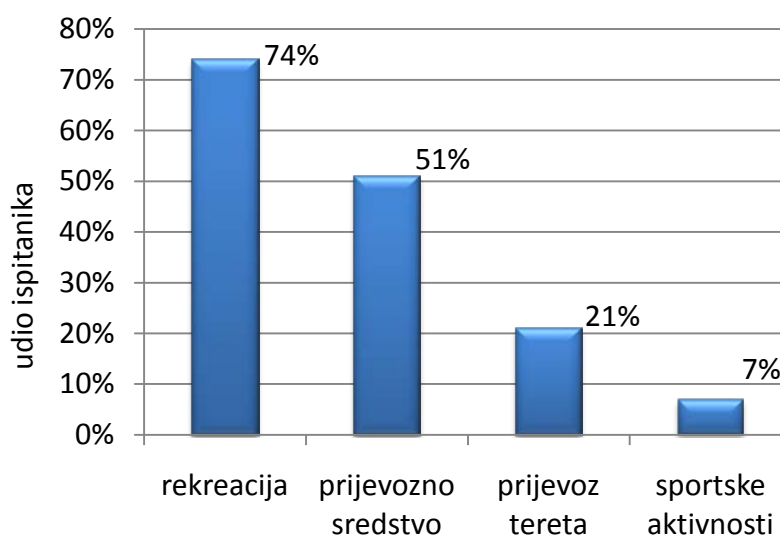
Prije same vožnje, najveći dio ispitanika, gotovo 59%, provjerava stanje guma, dok na sve ostalo (visinu i položaj sjedala i sl.) obraćaju malo pozornosti.

Gradski bicikl (eng. *city bike*), vozi 19% ispitanika; sportski, odn. trkaći bicikl 3%, kao i tzv. cross, dok preostali dio ispitanika (75%) vozi brdski bicikl (eng. *mountain bike*; slika 37).

Za sportske aktivnosti bicikl upotrebljava gotovo 7% ispitanika, a za rekreaciju 74%. Čak 51% ispitanika biciklom se služi kao prijevoznim sredstvom, a gotovo 21% na njemu ponekad prevozi teret. Ispitanici su mogli odabrati više odgovora (grafički prikaz na slici 38).



Slika 37. Zastupljenost pojedine vrste bicikla među ispitanicima

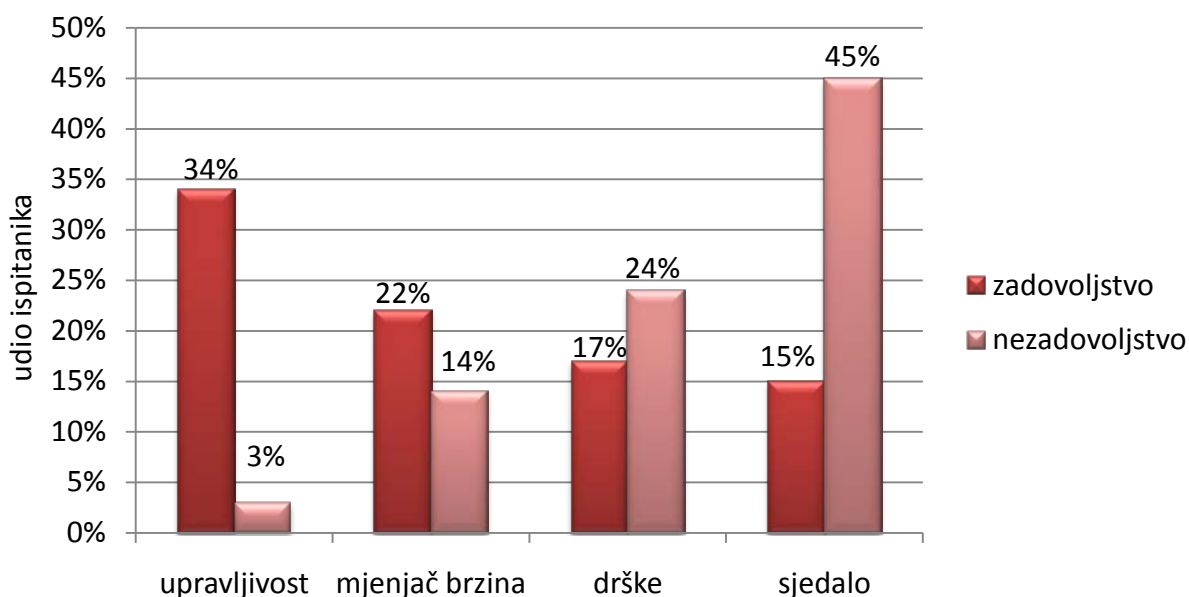


Slika 38. Uporaba bicikla kod ispitanika

Čak 26 ispitanika, odn. gotovo 45%, izrazilo je nezadovoljstvo sjedalom na svom biciklu, dok je samo 8 ispitanika (14%) u potpunosti zadovoljno njime. Kad uzmemo u obzir da korisnik najveći dio svoje mase upravo preko sjedala prenosi na bicikl jer sjedi tijekom cijele vožnje, jasno je da loš izbor sjedala itekako može uništiti volju za vožnjom. Važno je naglasiti da su muški ispitanici uglavnom bili manje zadovoljni sjedalima, osim onih koji se smatraju profesionalcima i puno su pažnje posvetili izboru pojedinih komponenata.

14 ispitanika (24%) ima izrazito neudobne drške na svojim biciklima, dok samo njih 10 (17%) tvrdi da su im drške jako udobne. 22% ispitanika iskazalo je zadovoljstvo, a 14% nezadovoljstvo mjenjačem brzina. Pojedinci su istaknuli problem lošeg prijenosnog omjera – stupnjevi prijenosa nisu dovoljno dobro definirani, odnosno ne postoji osobita razlika među njima, tako da niži stupanj prijenosa nema funkciju rasterećenja pri vožnji uzbrdo. Nekolicina ispitanika spomenula je problem padanja lanca prilikom mijenjanja brzina. Čak 12% ispitanika iskazalo je nezadovoljstvo kočnicama, bilo da nisu dobro smještene, bilo da se prebrzo olabave i gube svoju funkciju. Čak je 34% ispitanika jako zadovoljno upravljiivošću svog bicikla, dok samo 3% ima problema s tim.

Zadovoljstvo ispitanika pojedinim značajkama vlastitog bicikla prikazana je grafički (slika 39), radi preglednosti.



Slika 39. Zadovoljstvo ispitanika pojedinim značajkama bicikla

Gotovo 26% ispitanika (njih 15) izjavilo je da ima problema s prijevozom stvari na biciklu. Neki od njih dodali bi košaricu, bisage ili torbicu za nužni alat.

Oko 14% ispitanika tvrdi da je njihov bicikl pretežak. 5% izjavilo je da im veličina bicikla ne odgovara ili da im je vrlo teško prilagoditi visinu upravljača i sjedala.

Među prijedlozima za poboljšanje našla se konzola na koju bi se mogla postaviti autokarta, motor na solarne ćelije, mogućnost akumuliranja energije kočnja, dodatak radija, zamjena klasičnih kočnica onima s diskom i sl.

8.7.1.2. Analiza intervjua

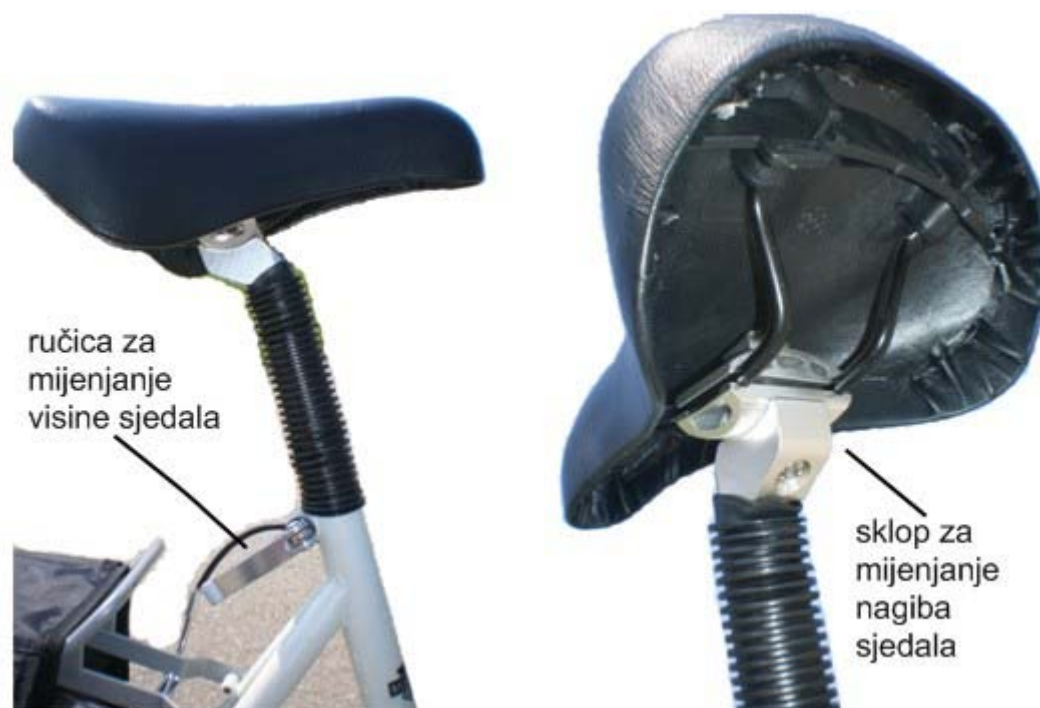
Nakon provedene ankete i njene analize, detaljnije ispitivanje provedeno je na jednom gradskom biciklu (slika 40). Za vožnju je odabrano deset ispitanika oba spola, od 16 do 49 godina.

Vizualni izgled ovog bicikla svakako plijeni pažnju, uglavnom pozitivnu – samo jedan ispitanik ocijenio je bicikl ružnim, jednom se nije svidjela boja, dok je jedna osoba izjavila da bicikl ima previše opreme.

Budući da je okvir čelični, bicikl je, po mišljenju sedam ispitanika, jako težak. Generalno, ispitanici smatraju bicikl stabilnim i lako upravljivim. Prednji amortizer ponešto ublažava neravnine na cesti. Visina sjedala vrlo se lako regulira, što je odgovaralo svim korisnicima, osim jedne osobe kojoj je cijeli okvir bio prevelik. Horizontalni položaj i nagib sjedala mogu se mijenjati samo pomoću alata (slika 41).



Slika 40. Bicikl na kojem su provjerene ergonomijske značajke



Slika 41. Detalj bicikla – sjedalo

Upravljač (slika 42) izazvao je najviše reakcija zbog svoje neobičnosti. Svi su se složili da je jako udoban i praktičan, no dva ispitanika misle da je ružan te isto toliko njih tvrdi da nema potrebe za različitim položajima ruku tijekom vožnje. Jednoj osobi upravljač je bio preuzak. Mjenjač se svidio svim osobama koje ga inače koriste, zbog svoje praktičnosti i lakoće mijenjanja stupnjeva prijenosa. Ipak, pomalo je neprecizan, a oznake stupnjeva prijenosa su presitne i nejasne. Dvije ispitanice u četrdesetima izjavile su da im mjenjač ne treba i da ga ne bi rabile ni da ga bicikl ima. Kočnice su za većinu ispitanika sasvim dobro smještene, no mora se naglasiti da su njihove poluge doista nešto kraće i dohvatljive samo ako se ruke postave na prednju stranu upravljača, bliže sredini (slika 43). Na slici 44 prikazana su tri moguća položaja ruku na upravljaču.



Slika 42. Detalj bicikla – upravljač



Slika 43. Prikaz uporabe kočnice



Slika 44. Različiti položaji ruku na upravljaču

Važnost dobrog odabira sjedala već je ranije istaknuta. Zanimljivo je da je pri analizi ovog bicikla šest ispitanika izjavilo da je sjedalo jako tvrdo i neudobno, dok njih četvero (tri ženske osobe i jedan tinejdžer) smatraju da je sjedalo jako udobno.

Većina ispitanika složila se da je dovoljna jedna bočica za vodu i da su one dobro postavljene, dok su dvije osobe imale problema s penjanjem na bicikl jer su im one smetale (slika 40). Bisage su se svima svidjele, ali su tri osobe istaknule da bi radije imale košaricu. Većini ispitanika to nije osobito važno pri odabiru bicikla. Četiri osobe smatraju da bi bicikl trebao imati zvonice, a njih pet tvrdi da bi lanac trebao imati bolju zaštitu.

8.7.1.3. Zaključak

Iz svega navedenog, može se zaključiti da je, ergonomski gledano, upravljač najbolja komponenta ovog bicikla. Mekan je i stoga pogodan za duže vožnje, a usto pruža mogućnost postavljanja ruku na različite načine. Materijal ne uzrokuje previše znojenja. Za podešavanje visine upravljača potreban je određeni alat, kao i za položaj kočnica. One se baš ne mogu pohvaliti multifunkcionalnošću, poput ostatka ove cjeline. Mogu se brzo aktivirati samo iz jednog od mogućih položaja ruku. Također, za osobe s većim šakama pristup kočnicama ponešto je otežan. Budući da je bicikl ionako namijenjen ženama, koje generalno imaju manje šake, preko ovog bismo nedostatka mogli prijeći. Mjenjač je lako aktivirati, ali podjele su zaista neprecizne i nejasne, a oznake jako sitne.

Općenito gledajući, bicikl je pretežak. Malo je vjerojatno da korisnik baš nikad neće morati podignuti bicikl i prenijeti ga preko nečega, ili čak nositi uza stube. Za ženu prosječne tjelesne građe to bi bilo izrazito naporno. Zbog mase bicikla i smještaja bočica, i samo penjanje je otežano i teško izvedivo nekim korisnicima. Ipak, pokazao se stabilnim i lako upravljivim.

Ako se podsjetimo izgleda zdjelice (slika 34), možemo zaključiti da sjedalo svojim oblikom uopće nije prilagođeno ženskoj populaciji (slika 41), a usto je i jako tvrdo. Njegova se visina vrlo lako mijenja, ali za promjenu nagiba potreban je alat. Visina sjedala pokriva dosta širok spektar visina korisnika. Sjedalo se može vrlo malo pomicati naprijed, pa se može reći da u tom pogledu nije osobito antropometrijski osjetljivo.

Kako je već naglašeno, bicikl je namijenjen ženama, stoga je duljina pogonske poluge relativno kratka, što je bilo zamijećeno od dijela muških ispitanika. Također, pedale su relativno sitne pa ne odgovaraju korisnicima s velikim stopalima. Lanac nije dovoljno dobro zaštićen, zbog čega može oštetiti ili uprljati nogavice hlača.

8.7.2. Primjena metode procjene ergonometričnosti na bicikl

8.7.2.1. Opis metode

S obzirom da se ranije navedene metode nisu pokazale osobito prikladnima za procjenu, upotrijebljena je metoda posebno razvijena za brzu ergonomsku procjenu u ranim fazama razvoja proizvoda. *Metoda procjene ergonometričnosti* [20] pokazala se kao najprihvatljivija za primjenu u fazi koncipiranja, no njena je primjena moguća i u svim ostalim fazama životnog vijeka proizvoda [21]. Umjesto konkretnog scenarija primjene ove metode, ponuđene su skupine svojstava koje treba uključiti u ergonomsku procjenu u ranim fazama razvoja proizvoda.

Skupine svojstava su:

1. vrednovanje stavljanja u funkciju (eng. *setup assessment*) – odnosi se na implicitna svojstva objekta: pozicioniranje, instaliranje, priprema, umjeravanje, održavanje i sl.
 - primjer: broj i složenost potrebnih operacija te vrijeme potrebno za njihovo obavljanje i sl.
2. vrednovanje prilagodbi (eng. *settings assessment*) – obuhvaća sva implicitna svojstva objekta određena sudjelovanjem čovjeka: sve potrebne prilagodbe, regulacije, poravnavanja, korekcije i slično.
 - primjer: broj i složenost potrebnih operacija stavljanja u funkciju te vrijeme potrebno za njihovo obavljanje, tj. što sve korisnik treba napraviti da bi mogao rabiti određeni proizvod
3. vrednovanje doživljaja korisnika (eng. *subject experience assessment*) – uključuje sva implicitna svojstva subjekta: fiziološki odgovori, psihofizikalni napor, zahtijevani stupanj vještine, složenost radnji, udobnost...
 - primjer: kako korisnik subjektivno doživljava određeni proizvod, jesu li za uporabu potrebna posebna znanja i vještine i sl.
4. vrednovanje antropometrijske prikladnosti i osjetljivosti (eng. *anthropometrical appropriateness / adequateness / sensitivity assessment*) – odnosi se na sve aspekte implicitnih svojstava objekta određenih prikladnošću korisniku: prilagodljivost, doseg, veličina...
 - primjer: koliko je proizvod prikladan korisnicima različitih dobnih skupina / visina / tjelesne građe...
5. vrednovanje korisničkog znanja (eng. *exploitation knowledge assessment*) – pokriva sva implicitna svojstva korisnika, određena njegovim iskustvom: znanje i upoznatost s proizvodom i njegovom uporabom, razumijevanje uputa, potrebno predznanje...
6. vrednovanje ograničenja (eng. *restriction assessment*) – obuhvaća sve aspekte implicitnih svojstava objekta ili njegovih dijelova u određenom okruženju: mogućnosti upravljanja i transporta, mogućnosti dopuštenja ili zabrane upotrebe
 - primjer: širina ulaza ili prolaza / hodnika, može li lanac bicikla zahvatiti hlače i sl.
7. vrednovanje samostalnosti uporabe – (eng. *usage autonomy assessment*) – uključuje sve aspekte i stanja uporabe objekta, koji ukazuju na samostalnost korisnika: je li mu potrebna dodatna pomoć, te tko bi je, kad i na koji način trebao pružiti

- primjer: uporaba invalidskih kolica

Za ergonomsku procjenu pojedinog proizvoda ili sustava, preporučuje se upotrijebiti one skupine svojstava koje direktno utječu na konačnu funkcionalnost, a to bi konstruktor trebao biti u mogućnosti prepoznati.

8.7.2.2. Primjena metode

Za prikaz praktične primjene ove metode, odabrano je nekoliko najzanimljivijih skupina svojstava. Uspoređeni su bicikli sa slike 40 (*model 1*) te onaj sa slike 45 (*model 2*). Dodijeljeni bodovi prikazani su u tablici 21.



Slika 45. Bicikl za usporedbu (model 2) [22]

Pri ocjenjivanju pojedinog svojstva dodijeljene su sljedeće ocjene:

- 0,90 – vrlo prikladno
- 0,75 – prikladno
- 0,50 – gotovo prikladno
- 0,25 – slabo prikladno
- 0,10 – neprikladno

Budući da nije svako svojstvo jednako važno, dodijeljeni su im sljedeći težinski faktori (k_s):

- 9 – najveći utjecaj
- 5 – umjereni utjecaj
- 3 – slabi utjecaj
- 1 – osnovni parametar

GRUPA SVOJSTAVA	SVOJSTVO	η_j	k_{sj}	OCJENA MODELA 1	OCJENA MODELA 2
priprema / održavanje	pumpanje guma	η_1	5	0,90	0,50
	zamjena prednje gume	η_2	3	0,75	0,75
	zamjena stražnje gume	η_3	3	0,25	0,50
	podmazivanje lanca	η_4	3	0,90	0,90
mogućnost prilagodbe	visina sjedala	η_5	9	0,90	0,90
	nagib sjedala	η_6	5	0,50	0,50
	nagib upravljača	η_7	3	0,50	0,25
	visina upravljača	η_8	5	0,50	0,50
	položaj kočnica	η_9	5	0,25	0,90
	prilagodba stupnja prijenosa	η_{10}	3	0,75	0,75
doživljaj korisnika	mišićni napor	η_{11}	5	0,75	0,75
	vizualni izgled	η_{12}	5	0,90	0,90
	položaj	η_{13}	5	0,75	0,50
	zauzimanje položaja	η_{14}	9	0,75	0,25
antropometrijska prikladnost	visina sjedala	η_{15}	9	0,90	0,90
	širina upravljača	η_{16}	5	0,75	0,75
	visina upravljača	η_{17}	9	0,50	0,50
	nagib upravljača	η_{18}	5	0,90	0,50
	duljina poluge	η_{19}	9	0,25	0,25
	veličina pedale	η_{20}	3	0,50	0,75
	veličina poluge kočnice	η_{21}	3	0,50	0,90
korisničko znanje	održavanje ravnoteže	η_{22}	9	0,90	0,90
	upravljanje	η_{23}	9	0,90	0,90
ograničenja	zaštita lanca	η_{24}	5	0,10	0,10
	zaštita od ozljede prilikom kočenja	η_{25}	5	0,50	0,50
	zaštita od pada	η_{26}	9	0,10	0,10
η_e				0,63	0,59

Tablica 21. Rezultati procjene

Ukupan rezultat procjene dobiven je prema izrazu (5):

$$\eta_e = \frac{\sum_{j=1}^n \eta_j k_{sj}}{\sum_{j=1}^n k_{sj}} \quad (5)$$

8.7.2.3. Komentar

Iz pokazanog primjera može se vidjeti da je primjena ove metode zaista jednostavna. Potrebno je upoznati konstruktora s navedenim načinom vrednovanja, kako bi se mogao odlučiti za one skupine svojstava koje su mu potrebne za provedbu analize. Sve skupine neće biti zastupljene kod svake analize. Na konstruktoru je da procijeni koje su ključne za pojedini proizvod. Metoda se može upotrijebiti u svim fazama razvoja proizvoda, pa tako i na gotovom proizvodu, što je ovdje prikazano.

Primjena metode ilustrirana je usporedbom dva posve različita bicikla – tzv. *ženskog* gradskog te *muškog* brdskog bicikla. Usporedbom i ocjenjivanjem odabranih svojstava, model 1 (*ženski* bicikl) dobio je veću ukupnu ocjenu, što znači da je ergonomski prikladniji.

Ovakav rezultat ne iznenađuje, zbog nekoliko razloga:

- Model 1 omogućuje lakše zauzimanje položaja, tj. penjanje i silazak s bicikla.
- Visina sjedala modela 1 pokriva veću skupinu korisnika.
- Upravljač modela 1 omogućuje prihvat na različitim mjestima, pri čemu se može mijenjati i nagib samog upravljača (slika 42). Na taj je način korisniku omogućeno prilagoditi upravljač svom stilu vožnje. Model 2 ne dopušta nikakve prilagodbe upravljača, osim visine.

Model 1 ergonomski je prihvatljiviji jednostavno zato što je prikladniji većoj populaciji. Ergonomska bi ocjena vjerojatno bila pouzdanija ukoliko bi se radilo o biciklima iste vrste.

9. ZAKLJUČAK

Nakon detaljnije analize odabranih metoda objavljenih u [7], nameće se zaključak da većina njih ipak nije prikladna za konstruktore u ranim fazama razvoja proizvoda. Naime, kad inženjer nastoji razviti ili poboljšati neki proizvod, vrlo je često u utrci s vremenom i treba mu *alat za brzu procjenu*, koji ne zahtijeva dodatnu opremu i resurse. Niti jedna od analiziranih metoda to ne omogućuje.

Fizikalne metode uglavnom se odnose na analizu samog rada, odn. sustava, a manje na uporabu konkretnih proizvoda ili alata.

Psihofiziološke metode nalažu uporabu skupe medicinske opreme te adekvatno znanje za tumačenje dobivenih rezultata, za što osoba mora biti medicinski obrazovana.

Ponašajno-kognitivne metode pogodnije su za analizu sustava. Djelomično su upotrebljive za vrednovanje proizvoda, no tada zahtijevaju uporabu određenih alata ili su naprosto dugotrajne. Smatram da bi se većina ovih metoda mogla pojednostaviti i prilagoditi inženjerskoj uporabi. Za ilustraciju primjene metoda iz ove skupine odabran je intervju. Pokazano je da razgovor s krajnjim korisnicima može ukazati na nedostatke koje je konstruktor jednostavno previdio. Pažljiva priprema intervjua zahtijeva veliki utrošak vremena, isto kao i analiza dobivenih rezultata. Metoda nije prikladna za brzu procjenu, osim ako bi konstruktor htio ispitati samo jedno svojstvo proizvoda ili ako se radi o jednostavnom proizvodu.

Makroergonomske metode prikladne su samo za velike sustave, odnosno za dobivanje šire ergonomske slike.

Metoda procjene ergonometričnosti [21] jedina se pokazala kao prikladna za inženjersku primjenu – prilično je jednostavna i brza, a upotrebljiva je u svim fazama razvoja proizvoda. Potrebno je razlučiti koje su skupine svojstava ključne za procjenu ergonomske prikladnosti pojedinog proizvoda, odrediti težinske, odn. utjecajne faktore pojedinog svojstva te vrednovati njegovu izvedbu na pojedinom konceptu ili gotovom proizvodu. Nakon dodijeljenih bodova, ukupan rezultat procjene računa se vrlo jednostavno (5) te je moguće u kratkom vremenu usporediti više proizvoda prema istim kriterijima. U ovom su primjeru uspoređena dva bicikla – jedan gradski i jedan brdski. Rezultati ocjene pokazali su da je gradski bicikl ergonomski prihvatljiviji.

Smatram da je *metodu procjene ergonometričnosti* potrebno standardizirati, kako bi se smanjio utjecaj subjektivne procjene. To je moguće ostvariti pomoću vrlo jednostavnog softvera koji bi još više olakšao i ubrzao primjenu. Vjerujem da je moguće, s vremenom, definirati koje su skupine svojstava ključne pri analizi određenog proizvoda ili skupine proizvoda. Na taj se način može oblikovati svojevrsna baza podataka, dostupna inženjerima koji se bave razvojem proizvoda.

10. POPIS PRILOGA

1. Upitnik upotrijebljen za pripremu intervjua

11. LITERATURA

- [1] Štorga, M.: *Razvoj proizvoda – podloge za predavanje*, FSB, Zagreb, 2008.
- [2] Štorga, M.: *Teorija konstruiranja – podloge za predavanje*, FSB, Zagreb, 2008.
- [3] <http://www.ub.ruhr-uni-bochum.de>, ožujak 2010.
- [4] Počuč, M.: *Univerzalni dizajn i dizajn za sve*, Novi Sad (<http://www.inkluzija.org/biblioteka/rscprezentacijazaLITseminar-Miki.pdf>, svibanj 2009.)
- [5] <http://uik.hr/dizajn-invalidi>, travanj 2009.
- [6] <http://news.bbc.co.uk>, ožujak 2010.
- [7] Stanton, N., Hedge, A., Brookhuis, K., Salas, E. and Hendrick, H.: *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*, CRC Press LLC, US, ISBN 0-415-28700-6, 2005.
- [8] Skupina autora: *VDI Richtlinien*, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 1986.
- [9] <http://www.nec.com.tw>, travanj 2010.
- [10] <https://www.ru.ac.za>, travanj, 2010.
- [11] <http://www.milnerhealthcentre.com>, travanj 2010.
- [12] <http://www.beliefnet.com>, travanj 2010.
- [13] <http://darwen.us>, travanj, 2010.
- [14] <http://www.elekta.com>, listopad 2009.
- [15] <http://www.mykentuckyheart.com>, listopad 2009.
- [16] <https://www.ru.ac.za>, travanj 2010.
- [17] Neuss, J.: *Bike Ergonomics for All People*, Reykjavik, 2007.
- [18] <http://www.bombayharbor.com>, travanj 2010.
- [19] Muftić, O.: *Biomehanička ergonomija*, FSB, Zagreb
- [20] Sušić, A.: *Antropodinamička analiza pristupa za automatizirani ultrazvučni pregled*, doktorski rad, FSB, Zagreb, 2006.
- [21] Sušić, A., Štorga, M., Majić, M.: *Ergonomic assessment in conceptual and embodiment design*, „Proceedings of the 11th International Design Conference – Design 2010“, ed. Marjanović, Štorga, Pavković, Bojčetić, FSB i The Design Society, 2010. (stranice 473 – 480)
- [22] www.corratede.de, svibanj 2010.

PRILOG

UPITNIK

Ovaj je upitnik načinjen isključivo kako bi pomogao u prikupljanju informacija za izradu diplomskog rada pod nazivom Primjena ergonomskih metoda u procesu razvoja proizvoda. Namijenjen je isključivo osobama koje voze bicikl, stoga su sva pitanja formirana s tom pretpostavkom. Također, molim da se Vaši odgovori na pitanja odnose na jedan bicikl koji upotrebljavate.

spol: M Ž

godina rođenja: _____

zanimanje: _____

Prilikom odgovaranja na sljedeća pitanja, moguće je odabrati više odgovora, osim kad je naglašeno drugačije.

1. Što Vam je najvažnije prilikom odabira (kupnje) bicikla?

- a) Cijena.
- b) Dizajn, odn. koliko mi se bicikl sviđa.
- c) Odabirem bicikl koji odgovara namjeni za koju ga mislim upotrebljavati.
- d) Uvijek isprobam bicikl jer mi je važno kako se osjećam na njemu – je li mi sjedalo udobno, odgovara li mi upravljač, mogu li si prilagoditi visinu sjedala i upravljača...
- e) ostalo (što?) _____

2. Koliko često vozite bicikl? (odaberite jedan odgovor)

- a) svaki dan
- b) nekoliko puta tjedno
- c) nekoliko puta mjesečno
- d) vrlo rijetko

3. Koliko prosječno prijeđete biciklom tijekom mjesec dana? (odaberite jedan odgovor)

- a) do 100 km
- b) 100 do 500 km
- c) preko 500 km

4. Kakav bicikl vozite? (odaberite jedan odgovor)
- a) gradski bicikl (*city bike*)
 - b) brdski bicikl (*mountain bike*)
 - c) sportski (trkaći) bicikl
 - d) „pony“
 - e) neki drugi (koji?): _____
5. Kako biste ocijenili svoju fizičku spremu za vožnju bicikla? (odaberite jedan odgovor)
- a) Uopće nisam u kondiciji.
 - b) U dobroj sam kondiciji.
 - c) U izuzetnoj sam kondiciji.
6. Kako biste ocijenili svoju vještinu vožnje bicikla? (odaberite jedan odgovor)
- a) Znam doći do odredišta.
 - b) Vješt sam vozač.
 - c) Mogu na natjecanje.
7. Opišite način upotrebe svog bicikla.
- a) Upotrebljavam bicikl za sportske aktivnosti. Moglo bi se reći da sam profesionalni korisnik.
 - b) Vozim bicikl uglavnom rekreativno.
 - c) Upotrebljavam ga kao prijevozno sredstvo (npr. za vožnju u školu, na posao...)
 - d) Ponekad na njemu prevozim teret, npr. vrećice iz kupovine.
 - e) Služi mi kao statusni simbol. Zato jako pazim na njegovo stanje i izgled.
 - f) nešto drugo (što?): _____
8. Prije nego počnete voziti svoj bicikl, obavezno...
- a) Provjerim visinu sjedala i upravljača te stanje kočnica, guma i svjetala.
 - b) Budući da je bicikl isključivo moj, već mi je prilagođen pa samo pogledam stanje guma.
 - c) Nikamo ne idem dok se ne uvjerim da mi kočnice valjaju.
 - d) Obavezno provjerim visinu sjedala jer dijelim bicikl s drugim ljudima.
 - e) Ponekad nešto od navedenog pogledam. Ako se sjetim.
 - f) nešto drugo (što?): _____

g) Nikad ništa ne provjeravam.

9. Možete li opisati svoj doživljaj dok vozite vlastiti bicikl?

- a) Osjećam se odlično! Bicikl mi je lagan i imam osjećaj da vozi sam.
- b) U redu je. Ništa posebno.
- c) Užasno! Osjećam se kao da vozim tenk!

Molim Vas da kod sljedećih pitanja detaljnije objasnite svoj odgovor.

10. Što volite na svom biciklu?

- a) Lagano ga je voziti.
- b) Sjedalo je jako udobno.
- c) Mjenjač brzina se lako aktivira.
- d) Drške su vrlo udobne.
- e) Lako se upravlja.
- f) Mogu jednostavno mijenjati visinu sjedala i upravljača, tako da bicikl mogu prilagoditi svojoj visini.
- g) nešto drugo (što?): _____

11. Što ne volite na svom biciklu?

- a) Pedaliranje mi je užasno naporno.
- b) Sjedalo je jako neudobno.
- c) Mjenjač brzina se teško aktivira.
- d) Kočnice su pretvrde i / ili pomalo nepristupačne.
- e) Drške su vrlo neudobne i dlanovi mi se znoje dok vozim.

