

Jure Jug, študent medicine

in

**prof. dr. Marjan Bilban, dr. med.,
spec. medicine dela, prometa
in športa**

ZVD Zavod za varstvo pri delu d.d.
Chengdujska cesta 25
1260 Ljubljana Polje

ERGONOMIJA VIDNIH OBREMENITEV PRI DELU Z ZASLONI LCD

POVZETEK

Pravilna postavitev zaslona, ureditev svetlobnih razmer v prostoru in tip zaslona imajo pomemben vpliv na vidno zmogljivost, utrujenost in udobje pri delu, dolgoročno pa tudi na zdravje uporabnikov. Večina raziskav na zaslonih LCD ugotavlja pozitiven vpliv zaradi neutripanja slike in boljšega kontrasta, ne upošteva pa anizotropije (spreminjanje svetlosti opazovanega predmeta na zaslonu ob spremembi zornega kota), ki je pogost problem v realnih situacijah. Še več anizotropije novejša raziskave opažajo pri zaslonih LCD na prenosnikih in drugih mobilnih napravah, ki so dandanes vse pogostejše v rabi. Raziskave ugotavljajo, da LCD-ji v prenosnikih niso najboljša rešitev s stališča ergonomije vidnih obremenitev, kar pa bistveno ne omejuje njihove uporabnosti, saj je njihova glavna prednost mobilnost.

Gljučne besede: LCD, ergonomija, anizotropija, vidna zmogljivost

VISUAL ERGONOMIC ISSUES OF WORKING WITH LCD DISPLAYS

ABSTRACT

Right monitor placement, lighting conditions and screen type have great impact on visual performance, fatigue and comfort at workplace. It impacts on health of workers on the long term. Most of researchers on LCD screens find out their positive impact due to flicker-free image and better contrast. New researchers expose problem of anisotropy (luminance of screen changes depend on viewing angle) of LCD screens in real situations (off-axis position). Anisotropy is more pronounced on LCD screens of notebooks and other more and more popular mobile devices. They are not best solution in terms of visual ergonomics, but mobility remains their main advantage.

Key words: LCD, ergonomics, anisotropy, visual performance

Ergonomija vidnih obremenitev pri delu z zasloni LCD

Uvod

V prispevku bomo v začetku predstavili osnove ergonomije pri delu z računalnikom, pri čemer se bomo osredotočili na ergonomijo vidnih obremenitev. V nadaljevanju bomo podrobneje predstavili, kako različne vrste računalniških zaslonov vplivajo na vidno zmogljivost (hitrost in natančnost vidne zaznave) in se podrobneje dotaknili problema anizotropije pri zaslonih LCD. Anizotropija pomeni spreminjanje svetlosti prikazane slike in znakov na zaslonu, če jo gledamo pod različnimi zornimi koti. Najverjetneje je vsak uporabnik zaslona LCD opazil, da se slika zelo poslabša, če na zaslon gleda od strani.

Potrebe po čim hitrejši in točni zaznavi vidnih informacij v elektronski obliki se pojavljajo pri odgovornih poklicih, na primer pri nadzornikih letenja, pilotih, monitoringu pacienta, preiskavah v zdravstvu ...

Še pred desetletjem je bil skoraj vsak računalniški zaslon katodni, danes pa zasloni LCD (liquid crystal display) uspešno in vztrajno nadomeščajo predhodnike. LCD-ji so popravili mnogo slabosti katodnih monitorjev, najbolj očitno pa njihovo prostorsko potratnost. Ravno zaradi tega so vgrajeni v prenosne računalnike in druge mobilne naprave. Te imajo poleg mobilnosti dandanes vse večje strojne zmogljivosti in mnoge uporabnosti. Zato jih mnogokrat uporabimo namesto osebnih računalnikov. Zasloni LCD v mobilnih napravah se tehnično nekoliko razlikujejo od namiznih LCD-jev, zato jih velja obravnavati ločeno od namiznih zaslonov LCD.

Postavitev monitorja

Monitor postavimo naravnost predse, da se izognemo obračanju in ukrivljanju telesa in vratu. Raziskave pravijo, naj bo monitor oddaljen okrog 65 centimetrov.¹ Velja, da je vidna obremenitev tem večja, čim bližje je opazovani predmet in čim dlje časa traja.^{2, 3} Postavitev monitorja dlje ne pomeni samo manjše potrebe po akomodaciji (povečanje izbočenosti (ostrenje) očesne leče za gledanje v bližino), ampak tudi manjšo potrebo po konvergenci (usmerjenost obeh zrkel proti skupni točki). V raziskavi Jaschinski - Kruza so ugotovili, da na neprijeten občutek, da je zaslon preblizu, bolj

vpliva konvergenca kot pa akomodacija.⁴ Preiskovanci so imeli različne točke RPA (resting point of accommodation) – gre za razdaljo, na katero se oko izostri v odsotnosti vidnega dražljaja (pri mladih je ta razdalja 78 centimetrov, s starostjo narašča).⁵ Postavili so jih 50 in 100 centimetrov od zaslona. Skupina, ki je imela krajšo RPA, je imela sicer manj težav, kljub temu pa je vseeno menila, da je zaslon preblizu. To kaže na pomemben vpliv konvergence, ne samo akomodacije. Točka RPV (resting point of vergence – razdalja, pri kateri zrkla konvergirajo toliko, kot bi konvergirala, če se oko ne bi izostrilo na noben predmet) je povprečno 114 centimetrov, če gledamo navzgor, se še poveča (134 centimetrov pri pogledu 30 stopinj navzgor), če pa gledamo navzdol, se manjša (pri pogledu 30 stopinj navzdol je 89 centimetrov).⁵ Zato je bolje, če je zaslon bolj oddaljen in na zaslon gledamo nekoliko navzdol. Seveda morajo biti pri tem znaki na zaslonu dovolj veliki, da so dobro vidni.

Raziskave opisujejo več neželenih simptomov (suhe, razdražene oči, glavoboli, obremenitev vratu), bolj ko se približuje velikost znakov minimumu.⁶ Tehnološka svetovalnica nemške zveze sindikatov DGB Technologieberatung priporoča naslednjo formulo za velikost črk:⁷ razdalja gledanja (cm)/150 = minimalna velikost črk.

Prostor med dvema črkama naj bo velik najmanj toliko, kot je debelina črt pri znakih. Samo tako je mogoče brez težav razlikovati znake. Da je besedilo čitljivo, mora biti med vrsticami dovolj prostora.⁸ Minimum razdalje med vrsticama sta dva piksla (najmanjša točka, ki jo lahko prikaže ekran).⁷ Daljše vrstice zahtevajo večjo razdaljo kot krajše. Zato so časopisni članki pisani v stolpcih. Barva pisave naj ne bi imela vpliva na vidno zmogljivost; za delo z LCD-ji, kjer so črke na enobarvni podlagi, naj bi bilo prijetneje brati barvni tekst.⁹ Seveda morajo imeti črke dovolj kontrasta. Pri delu na beli podlagi priporočajo¹⁰ svetlost bele barve okrog 110 cd/m², svetlost črne pa čim manjša, kar znaša v praksi navadno 0,5 cd/m². Bolje je povečati velikost znakov na zaslonu kot sedeti preblizu. Za to seveda potrebujemo uporabniku prijazno programsko opremo, kar je posebej pomembno pri novejših monitorjih LCD, saj

slednji najboljše delujejo le pri eni ločljivosti (tovarniško priporočeni). Pri manjših ločljivostih je slika megljena, zato ni smiselno enostavno znižati ločljivosti, da bi s tem povečali sliko. To mora omogočati programska oprema. Daljnovidni naj bi nosili očala, s katerimi dobro vidijo na razdalji zaslona (0,6–0,7 metra).

Višina monitorja mora biti taka, da je zgornji rob monitorja v višini ali nekoliko nižje od višine oči. Že davnega leta 1961 sta Lehman in Stier za gledanje objektov na delovni mizi v sedečem položaju priporočila ergonomsko inklinacijo (odstopanje od horizontale) pogleda za 40 stopinj. Polovica tega odpade na inklinacijo glave, polovica pa za inklinacijo zrkel. Po njunem mišljenju so takrat m. rectus inferior oculi (mišica, ki pomika zrklo navzdol) in vratne mišice v optimalni napetosti.¹¹ Fleksija vratu bolj obremeni m. trapezius (trapezasta mišica, ki izteza vratni in prsni del hrbtenice) in manj m. sternocleidomastoideus (mišica, ki obrača in upogiba glavo). To pomeni manjšo možnost za utrujenost, saj sta m. trapezius močnejši in večji.¹² Tako gledamo sliko na zaslonu rahlo navzdol, kar zmanjša vizualno in kostno-mišično neudobje.¹³ V splošnem raziskave ugotavljajo, da prenizka postavitev obremenjuje kostno-mišični sistem, previsoka pa vidni.¹⁴ Uporabniki v praksi skoraj nikoli ne dosegajo optimalnega položaja, se mu pa bolj približajo, če je zgornji rob monitorja pod nivojem oči.¹⁴ Prek besedila naj bi uporabnik s pogledom potoval za 7 stopinj. Prav tako gledanje navzdol zmanjša že zgoraj omenjeni RPV.

S problemom prenizke postavitve se srečujemo zlasti pri prenosnih računalnikih, kjer ni mogoče nastavljanje višine zaslona.¹⁵

Pri gledanju na zaslon se zmanjša frekvenca mežikanja, zato veliko uporabnikov računalnikov pesti sindrom suhih oči. Novejše raziskave so pokazale, da je sušenje oči pri pogledu 15 ali več stopinj navzdol manj izrazito.¹⁶

Ergonomski kot nagiba zaslona je pozitiven (okrog 7 stopinj), in sicer tako da je zgornji del bolj oddaljen od uporabnika kot spodnji. To ustreza fiziološkemu poteku navpičnega horoptra (točka v prostoru, kjer pride do fuzije binokularnega vida).^{17, 18} Tako spodnja polovica vidnega polja boljše zazna točke, ki so bližje od

gorišča, zgornja polovica pa boljše predmete, ki so bolj oddaljeni od gorišča. Nekateri uporabniki žal naredijo ravno nasprotno, saj se hočejo izogniti zrcaljenju svetil na zaslonu, ker v prostoru ni pravih svetlobnih razmer. Napačen naklon monitorja prav tako negativno vpliva na položaj vratu. Raziskava pa kaže še večji vpliv na vidno obremenitev.¹⁸ Preiskovanci poročajo o znatno več neudobja, glavobolov in občutka utrujenih oči pri negativnem nagibu zaslona,¹⁸ kar se še poslabša, če je zaslon hkrati postavljen nižje od višine oči (prenosni računalniki). V raziskavi niso beležili pomembnega padca zmogljivosti, vendar predvidevajo, da bi se zgodil, če bi povečali čas branja (več kot 40 minut) na zaslonu pod negativnim nagibom.

Osvetlitev

Ena najzahtevnejših nalog za delo z računalniki je ureditev ustreznih svetlobnih razmer. Dejavniki svetlobnih razmer morajo biti med sabo skrbno usklajeni. Glavni dejavniki so: osvetljenost, enakomernost osvetljenosti, svetlosti in razmerja svetlosti v prostoru, barva svetlobe (merimo v K), osenčenost v prostoru in kontrast.¹⁹ Osvetlitev prostora vpliva tudi na razpoloženje in posredno na kognitivne zmogljivosti.²⁰ Prostor naj bi bil urejen tako, da bi zadostovala naravna osvetlitev. Ljudje smo navajeni na dnevni ritem in barvo naravne svetlobe, prav tako si želimo tudi stika z okoljem.²¹ Priporoča se, da uporabniki, ki ure in ure presedijo pred računalnikom, od časa do časa (vsaj 15 minut) odmaknejo pogled zaslona in oči izostrijo na oddaljen predmet. S tem vsaj začasno sprostimo m. ciliaris (mišica v očesu, ki skrbi za akomodacijo leče). Ker je slika na zaslonu sestavljena iz majhnih pik, imajo oči težave pri akomodaciji. Proces ostrenja poteka nepretrgano, da vidimo sliko ostro, ker pomeni breme za očesne mišice. Uporabniki z več odmori ohranjajo večjo razdaljo od zaslona,²² kar posledično pomeni manjšo obremenitev. Po uri nepretrganega bližinskega branja na zaslonu uporabniki ne opažajo samo subjektivnih simptomov. Objektivno so izmerili povprečen premik akomodacije (RPA) za 0,6 D (najmanj 0,25) v smer miopije (kratkovidnosti).²³ Tudi sicer je dolgotrajno bližinsko delo dejavnik za trajni razvoj miopije.^{23, 24}

Ko naravne osvetljenosti ni dovolj, jo mora dopoljevati umetna. Osvetljenost v prostoru mora biti čim bolj enakomerna. Luči je najbolje postaviti tako, da jih lahko ločeno prižgemo po vrstah, ki so različno oddaljene od okna. S tem enakomerno osvetlimo vsa delovna mesta. Barva umetne osvetlitve naj bi bila čim bolj podobna barvi naravne svetlobe (okrog 4500 K), da se izognemo sencam različnih barv. Svetila morajo biti taka, da njihova svetlost ne izstopa preveč od svetlosti stropa. Razporeditev svetil naj bo taka, da se ne zrcalijo na zaslonu. Okna morajo imeti žaluzije, tako da preprečijo direkten vpad sončne svetlobe, ki bi povzročila prevelike razlike v svetlosti na delovni površini. Načeloma velja, naj bo monitor postavljen vzporedno z okni.¹⁹ Okno naj ne bo za hrbtom uporabnika, saj se tako na zaslonu zrcali svetloba in zmanjša kontrast. Okno naj tudi ne bo za zaslonom, ker bi prihajalo do prevelikih razlik v svetlosti glede na zaslon. Splošna osvetljenost delovnega mesta z računalnikom naj bo okrog 300 lx v višini delovnih površin, nikakor pa več kot 500 lx.¹⁹ Prevelika osvetljenost ne moti samo subjektivno, ampak ima tudi objektivni negativen učinek na vidno zmogljivost.²⁴ Enakomernost osvetljenosti je razmerje med povprečno osvetljenostjo in najmanj osvetljenim področjem, v prostoru z računalnikom naj ne presega 1,5:1. Faktorji odbojnosti (razmerje med upadlo in odbito svetlobo) naj ne bi bili manjši od: strop 0,7; stene 0,5; oprava 0,3; tla 0,2.¹⁹ Večje površine v prostoru naj bodo bele ali rahlih barv, z nasičenimi barvami (nasičenost je subjektivno določanje čistosti barve, odvisno od velikosti vzorca, barve okolice, svetlosti okolja in od osebne presoje opazovalca; čista barva nima primesi bele in druge barve)²⁶ moramo biti pazljivi, dovoljene so le za majhne površine.²⁷ Gorišče očesa ni za vse barve enako, oko najbolj lomi modro svetlobo in najmanj rdečo, zato pri spremembi barve akomodira in se po nepotrebnem utruja. Obseg akomodacije je odvisen od čistosti barv in je manjši pri nenasičenih barvah.²⁶

Če gledamo v eno samo barvo, se utrujajo receptorji (iztroši se pigment), bolj čista ko je barva.^{26, 2} Prav tako površine v vidnem polju naj ne bi imele izrazitih vzorcev, saj so ti moteči in lahko motijo globin-

sko zaznavo. V prostoru naj ne bo zrcalnih površin, ki so položene vodoravno (zlasti miza), saj se v njih zrcalijo svetila s stropa. Uporabljamo materiale, ki difuzno odbijajo svetlobo.¹⁹

Karakteristike različnih zaslonov z vidika ergonomije vidnih zaznav

Katodni monitor

Karakteristična lastnost zaslonov CRT (Cathode ray tube) je utripanje slike, kar je glavni razlog za slabšo vidno zmogljivost in utrujenost.²⁸ Po nekaterih študijah poveča možnosti za migrenski napad.²⁹ Utripanje pri nižjih frekvencah (50 Hz) je veliko bolj moteče kot pri višjih.³⁰ Če je frekvenca utripanja tako velika, da je oko ne zazna več oziroma jo vidi kot trajno žarenje, je presežena kritična ergonomska meja sprejemljivosti utripanja slike (Critical Fusion Flicker Frequency).⁷ Po podatkih iz raziskav je frekvenca osveževanja slike sprejemljiva pri 100 Hz.^{7, 28} Druga pomembna slabost zaslonov CRT je njihova prostorska potratnost in teža. Ta karakteristika ima prav tako vpliv na ergonomijo vidnih zaznav, saj uporabniki težko nastavijo pravilni položaj zaslona in oddaljenost. Ne smemo pozabiti tudi na sevanje, ki ga oddajajo monitorji CRT. Problem nastane predvsem, ko je v istem manjšem prostoru več monitorjev.²⁸

Monitorji LCD

Tehnologija LCD (liquid crystal display) je uspešno zaobšla mnoge slabosti CRT-jev. Čas iskanja po tekstu pri LCD-jih je za 22 odstotkov hitrejši, še hitrejši pri nizkem kontrastu ali malih črkah. Čas fiksacije je za 9 odstotkov krajši, oko potrebuje 15 odstotkov manj fiksacije, da prebere isto informacijo. Napake iskanja po besedilu se pojavljajo 22–34 odstotkov redkeje.^{30, 31} Večina raziskav na LCD-jih se ukvarja z vplivom utripanja slike na vidno zmogljivost. Zaradi odsotnosti utripanja³² uporabniki LCD-jev manj nepretrgoma zrejo v zaslon, kar tudi zmanjša vidno obremenitev.³³ Treba je poudariti, da je branje na papirju še vedno najboljše rešitev.³³ Neutripanje slike zmanjša frekvenco storjenih napak za 22 odstotkov.³⁴

Zaslone LCD dosegajo tudi večjo svetilnost in imajo

boljši kontrast. To olajša prepoznavo znakov na zaslonu in poveča subjektivno zadovoljstvo uporabnikov.³⁵ So lahki in mnogo manjši, zato lahko individualno nastavimo oddaljenost in položaj. Ravno zaradi nepotravnih dimenzij so primerni za uporabo v prenosnih računalnikih in mnogih drugih prenosnih napravah. LCD-ji v prenosnih računalnikih in drugih mobilnih napravah uporabljajo nekoliko spremenjene tekoče kristale.²⁸ Tako lahko delujejo pri nižji napetosti in nižji porabi energije, tehnika je preprostejša in omogoča še večji prihranek prostora.

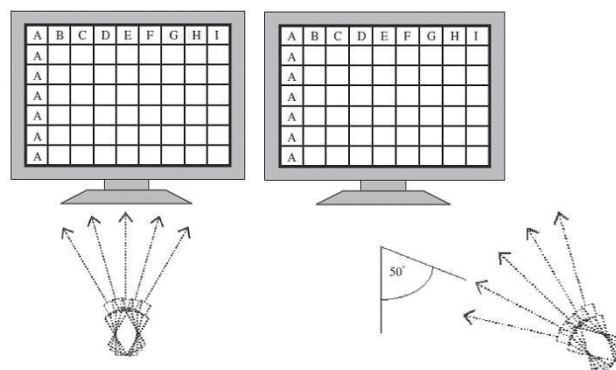
Vendar imajo LCD-ji tudi pomanjkljivosti. Vidljivost se namreč spreminja glede na kot, pod katerim gledamo na zaslon, in to tako vertikalno kot horizontalno. Informacija, ki se pojavi na sredini zaslona, je dobro vidna, v kotih in ob robu pa slabše. To je posebno moteče, ko uporabnik ne sedi pred zaslonom, temveč ga gleda od strani. Tehnično to pomeni, da se svetlost spreminja s kotom, pod katerim gledamo na zaslon. To lastnost imenujemo anizotropija. Glede na standard ISO 13406-2 je monitor anizotropičen, če se svetlost opazovanega predmeta na zaslonu spremeni za več kot 10 odstotkov glede na položaj na zaslonu ali kot, pod katerim gledamo na zaslon.

To hibo je treba vzeti resno, saj nekaj novejših raziskav poroča o velikem padcu vidljivosti, kadar uporabniki gledajo na zaslon pod koti 10–50 stopinj. Čeprav mnogi mislijo, da uporabnik tako ali tako sedi pred zaslonom neposredno pod kotom 0 stopinj, se v realnosti anizotropija še kako pozna. Pri kontrolorjih prometa, na borzah, v šolah (več učencev za istim računalnikom), medicini (radiologiji, pri monitoringu pacienta) so zasloni postavljeni drug poleg drugega in uporabniki spremljajo podatke na več zaslonih sočasno ali pa več uporabnikov hkrati gleda na en zaslon pod različnimi zornimi koti. Še več anizotropije se pojavlja pri LCD-jih v prenosnih računalnikih.

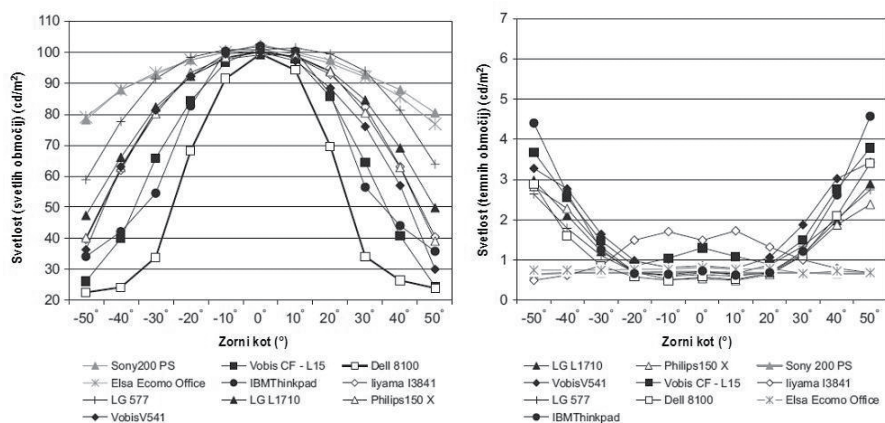
Metodologija merjenja anizotropije

Obstaja nekaj različnih metod merjenja anizotropije. Zelo obetajoča tehnika v študijah leta 2006 je vpetje monitorja v posebno stojalo, ki mu lahko prilagajamo tako vertikalni kot horizontalni kot nagiba. Preiskovanci nato povedo, pri katerem kotu se slika

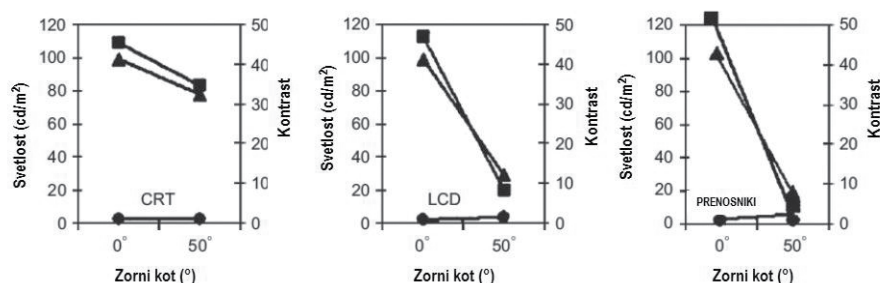
spremeni in pri katerem kotu je slika še sprejemljiva. Največja prednost takega načina testiranja je direktno ocenjevanje zaznav preiskovancev. Ne more pa direktno pokazati, kako to vpliva na vidno zmogljivost in čas zaznave, prav tako pa ne moremo količinsko določiti svetlosti pri določenih kotih. Količinsko merimo svetlost s fotometrom. Seveda pri meritvi več različnih monitorjev standardiziramo osvetljenost prostora, v katerem je, in svetlost posameznih monitorjev. Svetlost zaslona namreč vpliva na zaznavo poslabšane slike zaradi anizotropije. Ključno pa je, kako merimo s fotometrom. Proizvajalci monitorjev merijo svetlost tako (seveda iz marketinških vzgibov), da fotometer premikajo vzporedno z zaslonom in je zaradi tega vedno pravokoten na površino zaslona. Tako dobijo precej homogeno svetlost, kar pa seveda ne ustreza realnim razmeram, saj se uporabniki pri branju teksta ne pomikajo, ampak premikajo glavo in oči, tako pa spreminjajo zorni kot. Da bi boljše simulirali realno situacijo s fotometrom, merimo svetlost tako, da fotometer postavimo v centralno lego pod kot 0 stopinj, nato pa z njim v nespremenjeni legi merimo svetlost na različnih področjih zaslona (slika 1). Fotometer lahko postavimo pod 50 stopinj in ga usmerjamo na različna področja zaslona, s čimer simuliramo gledanje zaslona od strani. Merimo svetlost svetle podlage (belo ozadje) kot tudi svetlost temnih področij (črk). Od njunega razmerja je odvisen kontrast, od slednjega pa vidna zaznava (črk, znakov).²⁸



Slika 1: Merjenje svetlosti posameznih področij zaslona, pri čemer je fotometer vedno na istem mestu. S tem simuliramo razmere v praksi.²⁸



Graf 1: Prikaz odvisnosti svetlosti (levo svetlih področij, desno temnih) na zaslonu od zornega kota. Monitorja Sony in Elsa sta CRT, ostali so LCD; IBM in Dell sta prenosnika.²⁸



Graf 2: Prikaz odvisnosti svetlosti in kontrasta od zornega kota pri monitorjih različnih tehnologij. S krogcem je označena svetlost temnih polj, trikotnikom svetlost svetlih polj, kvadratom kontrast.²⁸

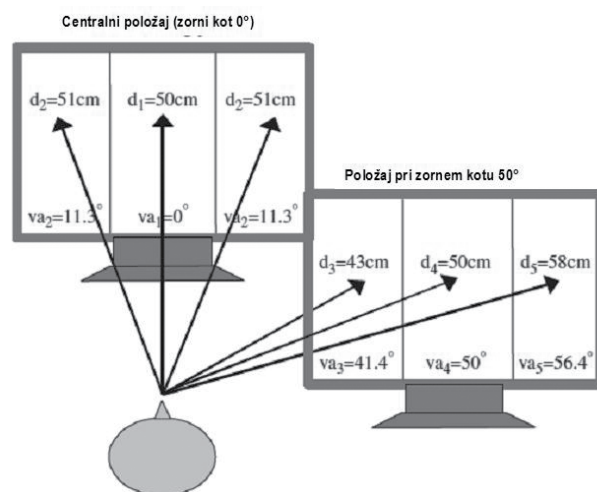
Anizotropija različnih monitorjev

V raziskavi, katere rezultate navajamo, so na zgoraj opisani način primerjali anizotropijo pri monitorjih različnih proizvajalcev, različnih letnikov izdelave in različnih vrst (CRT, LCD (TN), LCD pri prenosnikih). Rezultati meritev so prikazani v grafih spodaj. Iz rezultatov je razvidno, da se svetlost precej spreminja glede na zorni kot. Svetlost svetlih področij pada s kotom, svetlost temnih pa se ne spreminja hkrati s kotom, ampak ima vsak monitor svoj različni profil osvetljenosti. Spremembe so najmanj izražene pri tehnologiji CRT, najbolj izražena anizotropija pa je pri LCD-jih prenosnih računalnikov. Zaključimo, da je anizotropija karakteristična lastnost LCD-jev in je skoraj neodvisna od proizvajalca in letnika izdelave. Če gledamo kontrast kot funkcijo razlike v svetlosti, se pri kotu 50 stopinj pri CRT-ju zmanjša za 20 odstotkov, pri LCD-jih za 80 odstotkov in prenosnikih celo za 90 odstotkov. Te spremembe prikazuje graf 2.

Vpliv anizotropije na vidno zmogljivost

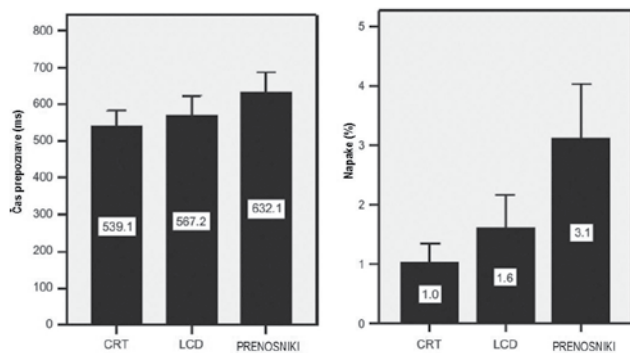
Kot smo videli zgoraj, so razlike svetilnosti glede na zorni kot precejšnje, pragmatično vprašanje pa je, kolikšen vpliv ima anizotropija v praksi. Vidno zmogljivost razumemo kot čas zaznave nekega digitalnega podatka na zaslonu in točnost te zaznave (koliko napak se pojavi). V študiji, katere rezultate

bomo predstavili, se je preiskovancem na zaslonu pojavljala optotip iz Sanellovih tabel (Landoltov prekinjeni obroč). Pojavljala se je na naključnih mestih na zaslonu, tako da je prišla do izraza anizotropija monitorja. Enak postopek so ponovili še pri zornem kotu 50 stopinj na zaslon (slika 2).

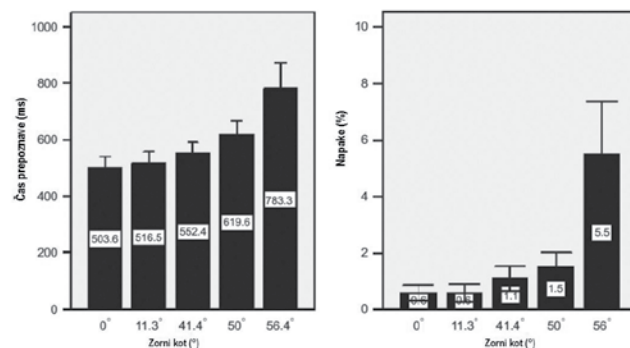


Slika 2: Z virtualno razdelitvijo zaslona na tri dele dobimo meritve za različne zorne kote.²⁸

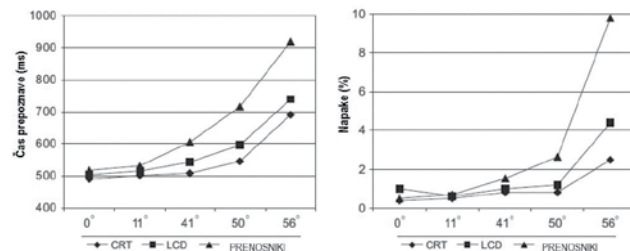
Rezultati meritev so prikazani v grafu 3. Pri času vidne zaznave je izražena pomembna razlika med posameznimi tipi zaslonov. Najboljše rezultate daje klasični CRT (539 ms), najslabše pa LCD v prenosnikih. Razlika je okrog 17



Graf 3: Prikaz odvisnosti vidnih zmogljivosti (čas zaznave – levo in odstotek napačnih zaznav – desno) od različnih tehnologij²⁸



Graf 4: Prikaz odvisnosti vidnih zmogljivosti (čas zaznave – levo in odstotek napačnih zaznav – desno) od zornega kota²⁸



Graf 5: Prikaz vpliva zornega kota na vidne zmogljivosti pri različnih tehnologijah zaslonov. Z naraščanjem kota več izgubljuje zasloni LCD (v prenosnikih).²⁸

odstotkov. Učinek vidnega kota prikazuje graf 4. Rezultati so pričakovani: najboljše vidne zmogljivosti so pri gledanju v centralni poziciji, rezultati pa se slabšajo z večanjem zornega kota na zaslon. Graf 5 prikazuje vpliv zornih kotov pri določeni tehnologiji zaslonov. Vidna zmogljivost se glede na kot bolj poslabša pri LCD-jih (prenosnikih) kot pri CRT-jih. Kot vidimo, se tehnične omejitve različnih tehnologij zrcalijo tudi v rezultatih vidne zmogljivosti, res pa je, da so razlike pri vidni zmogljivosti manjše kot razlike v svetlosti. Najverjetneje gre za uporabnikovo kompenzacijo neoptimalne vidljivosti. Kot zanimivost naj omenimo, da ozek zorni kot ni vedno slabost. Pri nekaterih napravah, na primer mobilni telefoni, bankomati, ozki zorni kot zagotavlja zasebnost uporabnika.

Kontrast, svetlost in anizotropija

Večina raziskav LCD-jev raziskuje vpliv utripanja slike na vidno zmogljivost. Zaradi odsotnosti utripanja uporabniki LCD-jev manj nepretrgoma zrejo v zaslon, kar zmanjša vidno obremenitev. Branje s papirja še vedno ostaja najboljša rešitev.

Na starejših CRT-monitorjih je bilo narejenih več študij, ki ugotavljajo vpliv svetlosti znakov na zaslonu, svetlosti ozadja na zaslonu in kontrasta na vidno zmogljivost. Večina študij obravnava vpliv kontrasta kot najpomembnejši vpliv na vidno zmogljivost.³⁶ Druge se osredotočajo na vpliv kontrasta in svetlosti zaslona na vidno zmogljivost. Ugotavljajo, da je manjša svetlost ozadja (pod 75 cd/m²) v logaritemsko odvisni negativni korelaciji z vidno zmogljivostjo.³⁷ Upad zmogljivosti v odvisnosti od kontrasta je postopen, dokler ni dosežen prag 20 odstotkov, pod tem pragom zmogljivost strmo upada. Negativni učinek obeh veličin se akumulira. Tako ima posameznik z vidom 6/6 vid le še 6/18 pri nizki svetlosti ozadja in vid le še 6/30 pri nizki svetlosti in nizkem kontrastu.³⁷

Novejša raziskava na LCD-jih ugotavlja pomembnost obeh veličin (kontrasta in svetlosti).⁹ V glavnem pa naj bi kontrast bolj vplival na vidno zmogljivost.⁹ Druga raziskava na LCD-jih je upoštevala še anizotropijo.³⁸ Po opisani metodi s fotometrom so izmerili še svetlost znakov. Zaradi anizotropije so dobili na različnih lokacijah zaslona tudi različna kontrastna razmerja. Raziskava ugotavlja pomembno negativno povezavo med svetlostjo ozadja in reakcijskim časom. Na LCD-jih je ta vpliv očitnejši. Iz tega sledi, da je pri LCD-jih pomembnejša (kar se tiče gledanja na zaslon pod kotom) pravilna osvetlitev delavnega okolja, tako da na monitorju nastavimo želeno svetlost, ne da bi pri tem prišlo do prevelikega kontrasta z okolico.³⁹

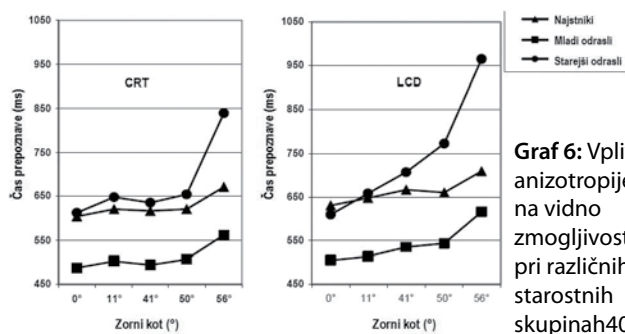
Anizotropija in starost uporabnikov

V zgoraj opisanih raziskavah so sodelovali pretežno mladi odrasli, kar pa ne odraža realnega stanja, saj zaslone uporabljajo različne starostne skupine uporabnikov. S staranjem se vidne funkcije poslabšajo (toleranca kritične frekvence utripanja,⁴⁰ dinamični del periferne vida, sposobnost ostrenja, hitrost premikanja zrkel – čas fiksacije, frekvenca fiksacije),⁴¹ prav tako starejši

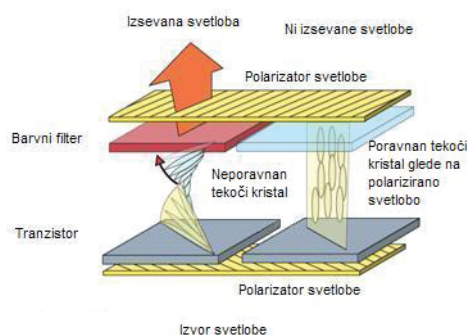
uporabniki pri delu z zasloni javljajo več neugodja.⁴⁰ Grafa (graf 6) prikazujeta rezultate prve raziskave⁴⁰ vpliva anizotropije na vidno zmogljivost pri različnih starostnih skupinah. Vse starostne skupine uporabnikov so imele nadpovprečno ostrino vida 1,3. Rezultati kažejo pomemben vpliv tehnologije monitorja, vidnega kota in starostne skupine. Negativni vpliv anizotropije je najbolj izražen pri starejših odraslih, manj pri najstnikih, najmanj pa pri mlajših odraslih. Če bi proučevali realno situacijo, bi rezultate starejše skupine še dodatno poslabšale pridobljene bolezni, ki vplivajo na vid. Z ergonomskega vidika to pomeni, da bi morali skrbno načrtovati delovna mesta pri delu z računalniki.

Nadaljnje študije

Na področju ergonomije vidnih zaznav pri delu z LCD-ji je še veliko neznank. V prihodnosti nas morda čaka študija, ki bi morda pokazala še večji padec vidne zmogljivosti pri uporabnikih z očali. Gledanje skozi periferni del očal, ki je verjetno realnost v delovnih okoljih, bi verjetno še poslabšalo rezultate vidnih zmogljivosti. Vsi zasloni LCD v predstavljenih raziskavah so imeli tehnologijo TN (twisted nematic), ki je najpreprostejša in najcenejša ter zato tudi najbolj razširjena med uporabniki. Princip delovanja zaslona TN prikazujemo na sliki 3. Tekoči kristali se pod vplivom električnega toka poravnajo. Vsak piksel (najmanjša točka na zaslonu) je sestavljen iz treh kristalov, in sicer za modro, rdečo in zeleno svetlobo. Če so vsi trije prepustni za svetlobo (neporavnani), bomo videli piksel bele barve. S slike je razvidno, da so kristali postavljeni pravokotno na podlago. To je razlog za sipanje svetlobe, če na zaslon pogledamo pod kotom. Ravno anizotropija je najšibkejša točka tehnologije TN. Anizotropija je najbolj izrazita v vertikalni smeri.⁴² Raziskave so prikazovale odvisnost zmogljivosti glede na horizontalni kot, v praksi pa se srečujemo tudi z neoptimalnim vertikalnim položajem (prenosni računalniki, kjer ne moremo nastaviti višine zaslona). Proizvajalci skušajo razrešiti pomanjkljivosti TN-tehnologije na različne načine. S tem namenom je bila razvita tehnologija IPS (in-plane-switching). Že iz imena je razvidno, da so tekoči kristali postavljeni vzporedno z ravnino zaslona. S tem se izognemo sipanju svetlobe pod različnimi zornimi koti. Novejši zasloni IPS imajo



precej bolj široko uporabne zorne kote.⁴² Energetsko so nekoliko potratnejši, kar omejuje uporabo v mobilnih napravah, razvijajo pa se novejša različica, ki bi zaobšle tudi to slabost.⁴² V prihodnosti nas skoraj zagotovo čakajo tudi raziskave, ki bodo primerjale vidno zmogljivost pri različnih tehnologijah LCD-jev.



Slika 3: Prikaz delovanja TN-tehnologije (zaradi preglednosti manjka tekoči kristal za zeleno barvo): neporavnani tekoči kristali preusmerjajo polarizirano svetlobo, ki izseva skozi barvni filter. Po vplivom napetosti so kristali poravnani glede na polarizirano svetlobo, tako polarizirana svetloba skoraj ne more skozi zgornji polarizator. Pri TN-tehnologiji so kristali postavljeni pravokotno na ravnino.⁴²

Zaključek

Rezultati študij ergonomije ne dajejo popolne prednosti posamezni vrsti zaslona. Priporočljivo je izbrati zaslon glede na specifično opravilo, za katerega se bo uporabljal. Zasloni LCD so kljub omenjenim slabostim v večini primerov najbolj priporočljiva izbira. Nadaljnje študije z LCD-ji novih tehnologij bodo verjetno zmanjšale pomen problema anizotropije. LCD-ji so praktično edina možnost v prenosnih računalnikih in drugih mobilnih napravah, pri katerih ostaja največja prednost pri namenski uporabi mobilnosti. Uporabniki pa se morajo zavedati, da s stališča ergonomije vidnih obremenitev niso najboljša rešitev in je tako bolje uporabljati stacionarne zaslone, če ni potrebe po mobilnosti.

Viri in literatura

1. Jaschtski - Kruza, W. On the preferred viewing distances to screen and document at VDU workplaces. *Ergonomics*, 1990; 33 (3): 1055–1063.
2. Bilban, M. *Medicina dela*. Ljubljana: ZVD Zavod za varstvo pri delu, d. d.; 1999.
3. Božič, D. *Ergooftalmologija*. Maribor: Grafiti studio; 1996.
4. Jaschtski - Kruza, W. Visual strain during VDU work: The effect of viewing distance and dark focus. *Ergonomics*, 1988; 31 (10): 1449–1465.
5. Ankrum, D. Viewing Distance at Computer Workstations. *WorkPlace Ergonomics*, 1996; 2 (5): 10–13.
6. Rempel, D., Willms, K. The Effects of Visual Display Distance on Eye Accommodation, Head Posture, and Vision and Neck Symptoms. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2007; 49 (5): 830–838.
7. *Ergonomski priročnik zdravje + znanje + varnost = uspešnost*. Ljubljana: Inštitut Prevent, 1999.
8. An-Hsiang, W., Cheng-Hsun, C. Effects of screen type, Chinese typography, text/background color combination, speed, and jump length for VDT leading display on users' reading performance. *International journal of industrial ergonomics*, 2003; 31 (4): 249–261.
9. Chin-Chuan, L. Effects of screen luminance combination and text color on visual performance with TFT-LCD. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2005; 35 (3): 229–235.
10. Alzieu, V. LCD Technicalities: Do Contrast Ratios Matter? [internet]. 2004 [citirano 25. 1. 2010]; Dosegljivo na: <http://www.tomshardware.com/reviews/lcd-technicalities,762-3.html>.
11. Sušnik, J. *Ergonomska fiziologija*. Radovljica: Didakta; 1992.
12. Grey, F. E., Hanson, J. A., Jones F. P. Postural Aspects of Neck Muscle Tension. *Ergonomics*, 1966; 9 (3): 245–256.
13. Burgess-Limerick, A. The effect of imposed and self-selected computer monitor height on posture and gaze angle. *Clinical Biomechanics*, 1998; 13 (8): 584–592.
14. Burgess-Limerick, R., Plooy, A., Fraser, K, et al. The influence of computer monitor height on head and neck posture. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1999; 23: 171–179.
15. Saito, S., Miyao, M., Kondo, T. Ergonomic Evaluation of Working Posture of VDT Operation Using Personal Computer with Flat Panel Display. *Industrial health*, 1997; 35 (2): 264–270.
16. Fujishima, S., Toda, I., Yamada, M., et al. Corneal temperature in patients with dry eye evaluated by infrared radiation thermometry. *Br J Ophthalmology*, 1996; 80 (1): 29–32.
17. Ankrum DR, Hansen EE, Nemeth KJ. The vertical horopter and the angle of view [internet]. 1995 [citirano 2009 Dec 3]; Dosegljivo na: http://www.ankrumassociates.com/vertical_horopter_and_the_angle_of_view.pdf.
18. Schreiber, K. M., Hillis JM, Filippini HR. The surface of the empirical horopter. *Journal of vision*, 2006; 8 (3): 1–20.
19. Gspan, P. *Zdravo in varno delo pri računalniku*: ZVD SRS; 1989.
20. Knez, I. Enmarker I. Effects of office lighting on mood and cognitive performance and a gender effect in work-related judgment. *Environment and Behavior*, 1998; 30 (4), 553–567.
21. Heerwagen, J. H., Heerwagen DR. Lighting and psychological comfort Lighting. *Design+Application* 16, 1986, 47–51.
22. Kong-King S, Chin-Chiu L. Effects of screen color combination, work-break schedule, and workspace on VDT viewing distance. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1997; 20 (1): 11–18.
23. Owens, D. A., Wolf-Kelly, K. Near Work, Visual Fatigue, and Variations of Oculomotor Tonus [internet]. 1987 [citirano 2010 Jan 25]; Dostopno na naslovu: www.iovs.org/cgi/reprint/28/4/743.pdf.
24. Ip J. M., Saw, S., Rose, K. A. et al. Role of Near Work in Myopia: Findings in a Sample of Australian School Children. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2008; 49: 2903–2910.
25. Chen, M., Chin-Chiu L. Comparison of TFT-LCD and CRT on visual recognition and subjective preference. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2004; 34 (3): 167–174.
26. Čufer, M. *Fizikalni dejavniki barv*. Jesenice: Samozaložba, 2005.
27. Gspan, P. *Zahteva za razsvetljavo pri delu in standard 12464*. Ljubljana: ZVD Zavod za varstvo pri delu d. d., 2006.
28. Oetjen, S., Ziefle, M. A. Visual ergonomic evaluation of different screen types and screen technologies with respect to discrimination performance. *Applied ergonomics*, 2009; 40 (1): 69–81.
29. Boschman, M., Roufs, J. Reading and screen flicker. *Nature*, 2002; 6502 (372): 137.
30. Menozzi, M. CRT versus LCD: A pilot study on visual performance and suitability of two display technologies for use in office work. *Displays*, 1999; 20 (1), 3–10.
31. Hedge, A. *Ergonomics Considerations of LCD versus CRT Displays*. V: Cornell University, 2003.
32. Artamonov, O. *Contemporary LCD Monitor Parameters: Objective and Subjective Analysis* (online) [internet]. 2007 [citirano 2010 Jan 25]; Dostopno na naslovu: <http://www.xbitlabs.com/articles/monitors/display/lcd-parameters.html>.
33. Ziefle, M. *Visual Ergonomic Issues of LCD Displays – An insight into Working Conditions and User Characteristic* Industrial Engineering and Ergonomics: Visions, Concepts, Methods and Tools, 2009, 561–575.
34. Menozzi, M. CRT versus LCD: effects of refresh rate, display technology and background luminance in visual performance. *Displays*, 2001; 22 (3): 79–85.
35. Ming-Te, C., Chin-Chiu L. Comparison of TFT-LCD and CRT on visual recognition and subjective preference. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2004; 34 (3): 167–174.
36. Plainins, S., Murray, I. J. Neurophysiological interpretation of human visual RTs: effect of contrast, spatial frequency and luminance. *Neuropsychologia*, 2000; 38 (12): 1555–1564.
37. Johnson, C. A., Casson, E. J. Effects of luminance, contrast, and blur on visual acuity. *Optometry and vision science*, 1995; 72 (12): 864–869.
38. Groeger, T., Ziefle, M., Sommer, D. Anisotropic characteristic of LCD TFTs and their impact on visual performance: »Everything's superior with TFTs?«. *Human-centred computing: cognitive, social and ergonomic aspects*, 2003; 3: 33–37.
39. Chin-Chiu L., Kuo-Chen, H. Effects of ambient illumination and screen luminance combination on character identification performance of desktop TFT-LCD monitors. *International journal of industrial ergonomics*, 2006; 36 (3), 211–218.
40. Ziefle, M. Aging, Visual Performance and Eyestrain in Different Screen Technologies. *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings*, Aging, 2009; 2: 262–266.
41. Kumashiro, M. *Visual Display Terminals: Age and Psychophysiology*. *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*, 2002; 3 (1): 597–598.
42. Baker, S. *Panel Technologies – TN Film, MVA, PVA and IPS Explained* [internet]. 2010 [citirano 2010 Jan 25]; 2010. Dosegljivo na: http://www.tftcentral.co.uk/articles/panel_technologies.htm