

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Slapničar, A. 2012. Učinkovitost zaznavanja znakovnih in fotorealističnih kartografskih upodobitev. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Petrovič, D., somentor Domajnko, M.): 69 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Slapničar, A. 2012. Učinkovitost zaznavanja znakovnih in fotorealističnih kartografskih upodobitev. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Petrovič, D., co-supervisor Domajnko, M.): 69 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*

Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si



UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
GEODEZIJE
SMER GEODEZIJA

Kandidatka:

ANJA SLAPNIČAR

**UČINKOVITOST ZAZNAVANJA ZNAKOVNIH IN
FOTOREALISTIČNIH KARTOGRAFSKIH
UPODOBITEV**

Diplomska naloga št.: 899/G

**EFFICIENCY OF PERCEPTION OF SYMBOLIC AND
PHOTOREALISTIC CARTOGRAPHIC
REPRESENTATIONS**

Graduation thesis No.: 899/G

Mentor:

doc. dr. Dušan Petrovič

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Dušan Kogoj

Somentor:

Matevž Domajnko

Član komisije:

doc. dr. Alma Zavodnik Lamovšek

Ljubljana, 13. 09. 2012

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisana Anja Slapničar izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom
»Učinkovitost zaznavanja znakovnih in fotorealističnih kartografskih upodobitev«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 29. 8. 2012

Anja Slapničar

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

- UDK:** 528.9.005(043.2)
- Avtor:** Anja Slapničar
- Mentor:** doc. dr. Dušan Petrovič, univ. dipl. inž. el., inž. geod.
- Somentor:** Matevž Domajnko, univ. dipl. inž. geod.
- Naslov:** Učinkovitost zaznavanja znakovnih in fotorealističnih kartografskih upodobitev
- Tip dokumenta:** diplomska naloga – univerzitetni študij
- Obseg in oprema:** 69 str., 12 sl.
- Ključne besede:** kartografske upodobitve, vidno zaznavanje, fotorealistična in znakovna upodobitev

Izvleček:

Tehnologija in kartografija sta močno povezani in sta v stalnem razvoju. V zadnjih treh desetletjih je bil poudarek razvoja predvsem na premeščanju tehnoloških ovir, uporabniški vidik pa je bil zapostavljen. V tej nalogi je narejen pregled dosedanjih raziskav oblikovanja kartografskih upodobitev glede na vidno zaznavanje uporabnika, pri čemer se obravnava tudi pot prenosa vidnih informacij od očesa do možganov ter tvorjenje mentalnih slik oziroma kartografska komunikacija. Osredotoča se na značilnosti in razlike pri zaznavanju znakovnih in fotorealističnih kartografskih upodobitev s poudarkom na dejavnikih, s katerimi se lahko izboljša prenos informacij.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 528.9.005(043.2)
Autor: Anja Slapničar
Supervisor: Assist. Prof. Dušan Petrovič, Ph.D.
Co-Supervisor: Matevž Domajnko, B.Sc.
Title: Efficiency of perception of symbolic and photorealistic cartographic representations
Document type: Graduation Thesis – University studies
Scope and tools: 69 p., 12 fig.
Key words: cartographic representations, visual perception, symbolic and photorealistic representation

Abstract:

Technology and cartography are very interlinked and in constant development. In the last three decades the main focus was mostly on bridging the technological gaps, while focus on user experience was neglected. The thesis consists of an overview that looks over available research in designing cartographic representations from the view of visual perception of a user and also looks over on transmission path of visible information from eye to brain and the creation of mental images or cartographic communication. Main focus is on characteristics and differences in the perception of symbolic and photorealistic cartographic representations with emphasis on the factors which can be used to improve transmission of information.

ZAHVALA

Za pomoč se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Dušanu Petroviču in somentorju Matevžu Domajnku, ki sta me usmerjala in svetovala pri pisanju diplomske naloge.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE	I
IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION	IV
ZAHVALA.....	V
KAZALO VSEBINE.....	VI
KAZALO SLIK.....	IX
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	X
1 UVOD.....	1
1.2 Namen in cilji	2
2 VIDNO ZAZNAVANJE	3
2.1 Povezava oči z možgani	3
2.1.1 Človeško oko	4
2.1.2 Zgradba in delovanje človeškega očesa.....	4
2.1.2.1 Sprednji segment.....	6
2.1.2.2 Zadnji segment	6
2.1.3 Možgani.....	11
2.2 Vizualna kognicija	12
2.2.1 Gestaltova psihologija	12
2.2.2 Kognitivni in računski pristop do vidnega zaznavanja	13
2.2.3 Sodobna teorija vizualne kognicije.....	14
2.2.3.1 Vizualne rutine.....	15
2.2.3.2 Rutine pozornosti	16
2.2.3.2.1 Zmogljivost prostorske pozornosti	16
2.2.3.2.2 Ločljivost prostorske pozornosti.....	17
2.2.3.2.3 Predpomnilniki za izvršitev naloge.....	17
2.2.3.2.4 Površine, globina, svetloba in sence.....	17
2.2.3.2.5 Predmeti	18
2.2.3.2.6 Struktura objekta	19

2.2.3.2.7	Prepoznavanje predmeta.....	19
2.2.3.2.8	Kontekst.....	20
2.2.3.2.9	Koristi objektov.....	20
2.2.3.2.10	Gibanje.....	20
3	ZAZNAVANJE PROSTORSKIH PODATKOV.....	21
3.1	Globinski znaki.....	21
3.2	Nanašanje globinskih znakov na kartografske upodobitve.....	23
3.2.1	Fiziološki pristop.....	23
3.2.2	Perspektivni pristop.....	23
3.2.3	Neperspektivni pristop	23
4	KARTOGRAFIJA IN KARTOGRAFSKE UPODOBITVE.....	27
4.1	Kartografija	27
4.2	Vloga umetnosti v kartografiji.....	28
4.3	Kartografska upodobitev.....	29
4.3.1	Izdelava kartografske upodobitve.....	32
4.3.1.1	Modeliranje osnovnih podatkov.....	32
4.3.1.2	Kartografsko oblikovanje.....	32
4.3.1.2.1	Zunanji videz.....	33
4.3.1.2.2	Napisi na karti.....	34
4.3.1.3	Upodobitev	35
4.3.1.3.1	Nanos materialov	35
4.3.1.3.2	Določitev pogledov	35
4.3.1.3.3	Osvetlitev in senčenje.....	36
4.3.1.3.4	Animacija objektov.....	38
4.3.1.3.5	Renderiranje.....	39
5	UČINKOVITOST ZAZNAVANJA FOTOREALISTIČNIH KARTOGRAFSKIH	
	UPODOBITEV	41
5.1	Vrednotenje realizma.....	41
5.2	Fotorealizem	42
5.3	Fotorealistične kartografske upodobitve	43
5.3.1	Kje se fotorealistične upodobitve v kartografiji uporabljajo	44

5.3.2	Prednosti fotorealističnih kartografskih upodobitev	46
5.3.3	Slabosti fotorealističnih kartografskih upodobitev	47
6	UČINKOVITOST ZAZNAVANJA ZNAKOVNIH KARTOGRAFSEKIH	
	UPODOBITEV	50
6.1	Kartografski znaki	50
6.1.1	Točkovni kartografski znaki	51
6.1.1.1	Nazorni točkovni znaki	51
6.1.1.2	Geometrični točkovni znaki	52
6.1.1.3	Alfa numerični točkovni znaki	52
6.1.2	Linijski kartografski znaki	52
6.1.3	Površinski kartografski znaki	52
6.2	Oblikovanje kartografskih znakov in kartografskih upodobitev na osnovi	
	zaznavanja	53
6.2.1	Znak kot stvar zaznavanja	53
6.2.2	Grafične spremenljivke	53
6.2.2.1	Barva	56
6.3	Znakovno renderiranje	60
6.3.1	Prednosti znakovnih kartografskih upodobitev	62
7	ZAKLJUČEK	63
	VIRI	65

KAZALO SLIK

Slika 1: Zgradba človeškega očesa.....	5
Slika 2: Hermannova mreža	9
Slika 3: Barvna shema Brewerjeve.....	25
Slika 4: Prikaz terena z barvno shemo Brewerjeve	25
Slika 5: Osvetljene plastnice Tanake.....	26
Slika 6: 3D prikaz Sydneya na mobilni napravi.....	45
Slika 7: Google-ova navigacija na mobilnih telefonih	45
Slika 8: 3 stopnje upodobitve	47
Slika 9: 6 osnovnih grafičnih spremenljivk pri točkovnih, linijskih in površinskih kartografskih znakih.....	54
Slika 10: Ittenovo kromatsko kolo.....	59
Slika 11: Barvna kolesa različnih odtenkov in svetlosti.....	60
Slika 12: 3 različne stilizirane linije	62

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

2D	dvorazsežni, dvorazsežnostni
3D	trirazsežni, trirazsežnostni
CAD	Računalniško podprto konstruiranje (Computer-aided design)
fMRI	Funkcionalna magnetna resonanca za merjenje možganskih aktivnosti (Functional magnetic resonance)
ICA	Mednarodno kartografsko združenje (International Cartographic Association)
MKS-ASPECT	shematizacija reliefa po Moelleringu in Kimerlingu (Moellering and Kimerling's aspect scheme)
NASA	Nacionalna zrakoplovna in vesoljska uprava (National Aeronautics and Space Administration)
NPR	ne-fotorealistično renderiranje
OPT	barvna teorija zagovornika-nasprotnika (Opponent-proponent theory)

1 UVOD

Človek ohrani 10 odstotkov prebranih informacij, 20 odstotkov slušnih informacij, 30 odstotkov vidnih informacij, 50 odstotkov informacij, ki jih vidi in sliši hkrati, ter 70 odstotkov informacij, ki jih izreče. Človek ohrani 90 odstotkov informacij, ki jih pridobi z izkušnjo aktivnosti, ki jo opravi (2012).

Človek je del okolja, iz katerega s svojimi čutili neprestano pridobiva informacije. Na osnovi teh senzoričnih informacij, ki se pretvorijo v nevrološke signale, si v mislih nariše mentalno sliko sveta, ki ga obdaja. Z občutki si ustvarja sliko o svetu. Tudi kultura je pomemben dejavnik pri oblikovanju mentalne slike, kajti del mentalne slike je odvisen od asociacij, ki se tvorijo iz že pridobljenega znanja. Pravijo, da imajo vsake oči svojega slikarja ter da si človek svet predstavlja, kot si ga želi predstavljati. Različni ljudje v različnih okoljih s svojimi čutili čutijo drugače, zato se tudi mentalne slike med seboj razlikujejo. Ker človek svoje znanje želi shraniti bodisi v sebi, da bo do njega lahko dostopal kasneje, bodisi v obliki različnih medijev, da bodo do tega znanja lahko dostopali tudi drugi, si je ustvaril komunikacijska sredstva. Jezik je logično sporazumevanje, ki je lahko v obliki govora, pisave ali slike. Karta in kartografske upodobitve spadajo med sredstva komunikacije. Kartografsko upodobitev lahko človek zazna z različnimi čutili, najbolj pa izstopa vidno zaznavanje.

Stalen tehnološki razvoj je pripeljal do zelo širokega obsega različnih kartografskih izdelkov, ki so pripravljene hitreje in z relativno majhnimi stroški, interakcija z vizualnimi zasloni pa se izvaja v skoraj realnem času. To je premaknilo poudarek s statične k dinamični in z diskretne k porazdeljeni uporabi kartografskih upodobitev ter iz žičnega k brezžičnemu dostopanju. Klasična, tiskana kartografska upodobitev je imela mnogo omejitev in svoje 'tiskane predpise'. Dandanašnje kartografske upodobitve na najrazličnejših medijih pa so nekaj omejitev ovrgle, nekaj novih pridobile, zaznavanje pa je postalo kompleksnejše.

Glavni cilj v dobi računalništva je bil v preteklosti osredotočen na premagovanje tehnoloških ovir, drugi vidiki pa so bili potisnjeni ob stran. S poznavanjem fizioloških in psiholoških lastnosti človekovega zaznavanja in odgovorov na vprašanja zakaj in kako lahko pripomoremo

k lažji uporabi kartografskih upodobitev, uspešnejši in hitrejši pridobitvi iskanih informacij in k hitrejšemu odločanju.

Kartografija vključuje mnoge druge znanosti in področja. Področje uspešnosti zaznavanja je bilo zapostavljeno, zato se v tej diplomski nalogi predstavijo načini, kako izboljšati oblikovanje kart iz uporabniškega, človekovega vidika, glede na njegove fiziološke in psihološke postavke.

1.2 Namen in cilji

Glavni cilj diplomske naloge je ugotoviti in prikazati povzetke dosedanjih raziskav področja učinkovitosti vidnega zaznavanja prostorskih podatkov iz kartografskih upodobitev. Tekom diplomske naloge bomo ugotovili in preučili, kaj vse vpliva na vizualno zaznavanje in podali elemente, s katerimi vplivamo na oblikovanje kartografskih upodobitev in posledično izboljšamo vidno zaznavanje.

Kartografske upodobitve bomo razdelili v dve večji skupini: znakovne in fotorealistične. Podali bomo tudi razliko v načinu zaznavanja med obema skupinama in preučili prednosti in slabosti teh dveh skupin.

2 VIDNO ZAZNAVANJE

Ne glede na to na katerem mediju se kartografska upodobitev nahaja, je primarno čutilo, s katerim najpogosteje 'začutimo' karto, vid. Kartografska upodobitev je lahko tudi taktilna, verbalna ali zvočna, zadnji dve pogosto spremljata vizualno upodobitev večpredstavnostne kartografije. Kartografsko gledano nas vid in vidno zaznavanje zanimata, da razumemo zaznavanje kartografskih upodobitev. Cilj raziskovanja je, da se iz teh osnov naučimo predvidevati, katere spremenljivke in katere odločitve o oblikovanju so v korist pri uspešnosti pridobivanja informacij iz kartografskih upodobitev. Z razumevanjem, kako oči zajemajo informacije, se lahko dognanja koristno prenesejo na področje oblikovanja kartografskih upodobitev, namen pa je seveda izboljšana in olajšana uspešnost pridobivanja informacij.

V zadnjih 50-ih letih je bilo opravljenih mnogo raziskav glede vidnega zaznavanja. Raziskave, ki so jih opravljali, so imele različne podlage (medicinske, psihološke, tudi kartografske ...) in kljub temu, da so rezultati med seboj težko primerljivi, se teorije do neke stopnje med seboj prekrivajo. Za osnove vidnega zaznavanja v kartografiji so pomembni znani raziskovalci kot so David Courtney Marr, Jacques Bertin, raziskovalci Gestaltove šole in mnogi drugi (MacEachren, 2004). Postavili so dobre temelje za nadaljnje raziskovanje, saj se do danes zgodba še ni zaključila, nevroznanost je v razvoju, sem pa spada tudi področje, kako zaznavamo in dojemamo svet in s tem kartografske upodobitve.

V nadaljevanju se uporabljata pridevnika viden in vizualen. Oba pridevnika sta pomensko enakovredna in se nanašata na vid.

2.1 Povezava oči z možgani

Kakor vse ostale stvari, ki se navezujejo na znanje o možganih in kako delujejo, tudi znanje o tem, kako deluje vid, ni absolutno in popolno. Predstavljena bo povezava med očmi in možgani ter njune lastnosti.

Poznavanje omejitev vida omogoča, da se obide izdelava kartografskih upodobitev, ki so težavne ali nemogoče za obdelavo in razumevanje. Razumevanje, zakaj take omejitve

obstajajo, kako se je vizualni sistem razvil in kaj vse lahko doseže, omogoča poenostavitev obdelave vidnih informacij in pove, kako oblikovalske odločitve glede barv, velikosti, vzorcev, ipd. vplivajo na uspešnost pridobivanja informacij. Jasno je, da sistem ne prenaša majhnih slik iz sveta skozi oči v možgane kot enostavno preslikavo. Naša 'dojemanja' so zgrajena (ali rekonstruirana) iz mnogih razdrobljenih informacij, nekatere izmed njih so prostorsko organizirane (tj. neposredno kartiranje lokacij iz sveta v lokacije v možganih), nekaj pa jih je organiziranih glede na druge attribute dražljajev (tj. barva, orientacija, tekstura, gibanje ipd.). Vid je kompleksen sistem, v katerem na stotine milijonov čutilnih celic reagira na svetlobni vložek skozi lečo naših oči. Skozi mnoge povezave te reakcije posledično sprožijo naknadne reakcije med desetimi milijard celic v naših možganih, ki so namenjene vidu. Psihofizične in nevrofiziološke raziskave kažejo, da se pojavijo precejšnje razlike med pred-zavestno obdelavo signalov na začetnem pojavu svetlobe na roženici očesa in končno izkušnjo dojemanja (MacEachren, 2004).

2.1.1 Človeško oko

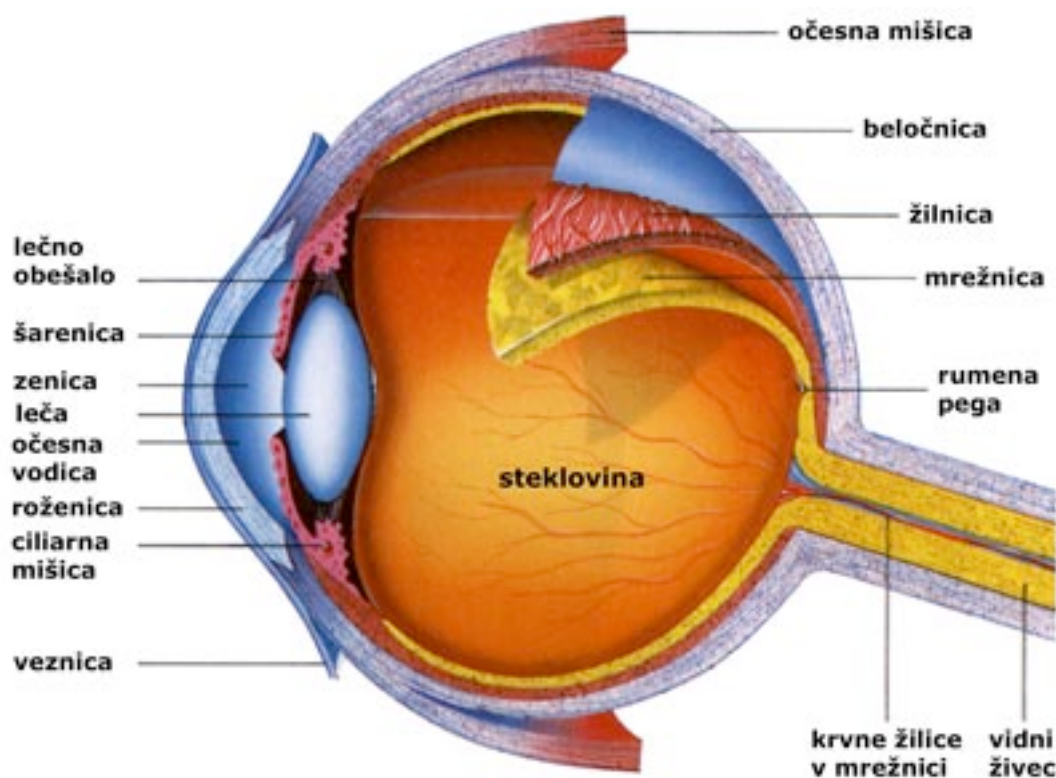
O zgradbi in delovanju človeškega očesa je znanega že veliko. V nadaljevanju je na kratko predstavljena zgradba očesa, strnjeno opisano njegovo delovanje, saj nas oko iz medicinskih razlogov ne zanima toliko, kot nas zanima iz funkcijskih.

2.1.2 Zgradba in delovanje človeškega očesa

Človeško oko (slika 1) lahko razdelimo v tri glavne plasti ali ovojnice, katerih ime izraža njihovo glavno vlogo: vezivna plast, žilna plast in živčna plast (2012).

Vezivna plast, imenovana tudi *tunica fibrosa oculi*, je zunanja plast zrkla in jo gradita roženica in beločnica. Beločnica daje očesu belo barvo. Sestoji iz čvrstega vezivnega tkiva, zapoljenega s kolagenom, in ščiti notranjo vsebino zrkla ter ohranja njegovo obliko.

Žilna plast, imenovana tudi *tunica vasculosa oculi*, je srednja ožiljena plast zrkla. Obsega šarenico, ciliarnik in žilnico. Žilnica vsebuje krvne žile, ki oskrbujejo celice mrežnice s potrebnim kisikom in odnašajo odpadne produkte celičnega dihanja. Notranjemu delu zrkla daje temno barvo, katera preprečuje moteče odseve v očesu.



Slika 1: Zgradba človeškega očesa (2012)

Živčna plast, imenovana tudi *tunica nervosa oculi*, je čutilo in jo gradi mrežnica. Mrežnica vsebuje na svetlobo občutljive čepke in paličice ter pridružene nevrone. Za čim boljši vid in absorpcijo svetlobe je mrežnica razmeroma gladka (vendar ukrivljena) plast. Na dveh mestih je zgrajena drugače. Rumena pega, vdolbina v mrežnici nasproti leče, vsebuje številne čepke. Pri človeku omogoča barvni vid in ostrino vida, npr. za branje. Izstopišče vidnega živca, imenovano anatomsko slepa pega, je mesto na mrežnici, kjer optični živec prehaja skozi mrežnico in se povezuje z živčnimi celicami na njeni notranji strani. Tu ni nobenih na svetlobo občutljivih celic.

Človeško oko lahko razdelimo tudi v dva segmenta: sprednji segment in zadnji segment.

2.1.2.1 Sprednji segment

Sprednji segment pomeni sprednjo tretjino očesa, ki vključuje strukture pred steklovino: roženica, šarenica, ciliarnik in leča. V sprednjem segmentu sta dva s tekočino napolnjena prostora: sprednji očesni prekat in zadnji očesni prekat. Sprednji prekat je prostor med zadnjo površino roženice (tj. roženični endotelij) in šarenico, zadnji prekat pa leži med šarenico in sprednjo stranjo steklovine.

Roženica in leča usmerjata svetlobne žarke v žarišče na mrežnici. Leča, ki leži za šarenico, je bikonveksen, prožen disk, ki usmerja svetlobo skozi steklovino na mrežnico. S suspenzornimi ligamenti je pritrjena na ciliarnik. Pri gledanju na daleč je ciliarna mišica sproščena, tako da so vlakna, ki jo povezujejo z lečo, napeta in se leča splošči. Kadar se ciliarna mišica skrči, se napetost vlaken zmanjša (ponazoritev: trikotnik, pri katerem je razdalja med vrhom in osnovnico krajša od razdalje med vrhom in ostalima dvema ogliščema), zato se leča vrne v bolj izbočeno in okroglo obliko. Pri človeku se s staranjem tovrstna prožnost zmanjša, zato se oko ni več sposobno osredotočiti na bližnje predmete; temu pravimo prezbiopija ali starostna daljnovidnost. Šarenica, ki leži med lečo in prekatno vodico, je pigmentiran obroč vezivno-žilnega tkiva in mišičnih vlaken. Svetloba vstopi v oko skozi središče šarenice, imenovano zenica. Velikost zenice dejavno prilagajata krožna in radialna mišica in s tem ohranjata razmeroma konstantno raven svetlobe, ki vstopa v oko. Preveč svetlobe bi poškodovalo mrežnico; premalo pa ne bi omogočalo jasnega vida.

Vsi sestavni deli zrkla, skozi katere potuje svetloba, preden doseže mrežnico, so prozorni, da omogočajo čim bolj neovirano pot svetlobe. Svetloba vstopi v oko iz zunanjega sredstva, kot sta zrak ali voda, preide skozi roženico in v prekatno vodico. Svetloba se v glavnem lomi na roženici, katere ukrivljenost je nespremenljiva. Prekatna vodica je bistra tekočina, ki povezuje roženico z lečo, ohranja konveksno obliko roženice (potrebna za usmerjanje svetlobe na lečo) in oskrbuje endotelij roženice s hranili.

2.1.2.2 Zadnji segment

Zadnji segment pomeni zadnji dve tretjini očesa. Obsega sprednjo hialoidno membrano in vse strukture za njo: steklovino, mrežnico, žilnico in vidni živec. Na drugi strani leče je

steklovina, ki jo obdajajo leča, ciliarnik, suspenzorni ligamenti in mrežnica. Omogoča prehajanje svetlobe brez loma, ohranja obliko očesa in drži nežno lečo (2012).

Telesa oddajajo ali odbijajo svetlobo. Odbita in oddana svetloba potuje skozi prozorno roženico, zenico, lečo in steklovino do mrežnice. Mrežnica (*retina*) je najpomembnejši del očesa, na katerem se ustvarja slika. Mrežnica vsebuje številne živce in krvne žile. Sestavljena je iz osmih ovojnic, zadnji dve pa vsebujeta fotoreceptorje, imenovane čepki in paličice, ki s pomočjo fotokemičnih procesov spreminjajo svetlobni dražljaj v električni ali živčni impulz. Mesto najostrejšega vida na mrežnici se imenuje rumena pega (*macula lutea*) in vsebuje tudi največ paličic in čepkov. Mesto, kjer iz zrkla izstopa očesni živec, ni občutljivo na svetlobo, ne vsebuje paličic in čepkov ter se imenuje slepa pega. Vidni živec (*nervus opticus*) in vidna pot prenašata živčni dražljaj v možganske centre (2012).

Jasno in ostro se vidi le predmet, čigar slika nastane natančno na mrežnici. Rezultat je 'slika' opazovanega. Obseg slike na očesni površini je neposredna funkcija velikosti in opazovanega objekta in njegove razdalje od leče. Oko ima dokaj širokokotno lečo (goriščna razdalja je 14 – 17mm), kar dovoljuje reprezentacijo območja, ki se razširi 60° na vsako stran od centralne točke, h kateri je vid usmerjen.

Dejstvo, da človek nima občutka, da opazuje svet skozi 'fish-eye' lečo, je en namig zapletenosti obdelave slike, ki se zgodi med očesom in zavestnim zaznavanjem videnja.

Receptorji se na mrežnici razlikujejo v gostoti, z bistveno večjo gostoto v območju centralnega vida, in vsebujejo različne vrste receptorskih celic, ki se odzivajo na različne vložke. Paličice so v mrežnici številčnejše in se bodo odzvale na zelo majhne spremembe v svetlobi, vendar pa se pri močni svetlobi ne odzivajo. Paličice niso dovzetne za spremembe valovne dolžine svetlobe, torej niso dovzetne na barvo. Čepki potrebujejo močnejšo osvetlitev, vendar pa so občutljivi na spremembe valovnih dolžin. Čepki se nahajajo na zelo majhnem območju v središču mrežnice. Rumena pega je mesto, ki je neposredno izpostavljeno svetlobi, ki vstopa v oko in se nahaja v središču rumene pege. To je mesto, ki ima največjo ostrino in kjer se nahajajo samo čepki brez paličic. Čepki torej omogočajo, da vidimo majhne podrobnosti. Čepke delimo na različne skupine, glede na katero svetlobno

dolžino se odzivajo: L čepki (občutljivi na dolge valovne dolžine), M čepki (občutljivi na srednje valovne dolžine) in S čepki (občutljivi na krajše valovne dolžine). Po očesu so razporejeni neenakomerno. Posledično je očesna občutljivost za različne valovne dolžine porazdeljena prostorsko. Prikazi območij občutljivosti mrežnice na različne valovne dolžine predstavljajo zapleteno prekrivajočo se podobo, v kateri najdemo, npr., da je občutljivost na zeleno omejena na relativno ozek horizontalno razpotegnjen pas, medtem ko se občutljivost za rumeno pojavlja čez precej večje in skorajda krožno področje. Občutljivost na modro, čeprav zavzema večje področje v mrežnici, kot ga zavzemata rdeča ali zelena, je izmed vseh najnižja (v magnitudi), kar naredi modro slabo izbiro za majhne elemente na kartografskih upodobitvah.

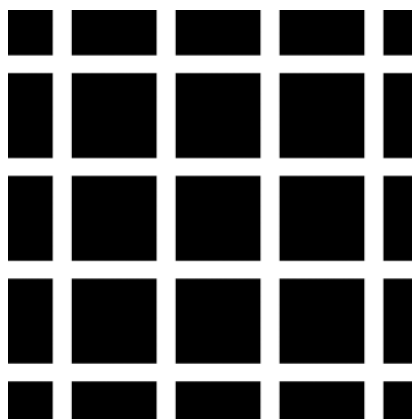
Mrežnica je prva izmed treh celičnih slojev v očesu. Drugi sloj je sestavljen iz bipolarnih, horizontalnih in amakrinskih celic. Te se izmenično povezujejo z receptorskimi celicami do ganglijev. Ganglij povzame signale sprejete iz mnogih vložkov na mrežnici. Pri ljudeh so ta območja sprejema signalov približno krožne oblike.

Velikost območij sprejema je v povezavi z opazovanim elementom preko ločnega kota. Npr., Če bi npr. opazovali kartografski znak na karti, ki je velik 4mm, na normalni oddaljenosti 460mm, bi slika na mrežnici pokrivala lok velik 30 minut.

Velikost receptorskih polij ganglijskih celic se spreminja. Pri rumeni pegi so celice bolj skupaj (0,5 minut narazen) in se redčijo, čim se bližajo obrobni območjem mrežnice (1 stopinjo ali več narazen). To se kaže tako, da ostrina vida od središča do obrobja vida hitro pada. Pri kartografskih upodobitvah pa pomeni, da bo objekt ali kartografski znak na karti prepoznaven, ko se ga opazuje neposredno. Ko se pomika bolj in bolj proti obrobju, je čedalje manj jasen. Kartografski znaki, ki so na obrobju, morajo biti torej večji (MacEachren, 2004). Razlika v ostrini vida se lahko uporabi kot napotek za oblikovanje kartografskih upodobitev. Barvna občutljivost kartografskega znaka na obrobju je odvisna tudi od odtenka in od okoliških barv.

Kartografski znaki se morajo med sabo zadosti razločevati. V legendi se lahko dovolj razlikujejo, vendar pa ni nujno, da jih uporabnik razločuje na sami kartografski upodobitvi, kjer jih je več in so razpršeni naokrog s preostalo vsebino. Na to moramo biti zelo pazljivi.

Ganglij zbira signale iz receptorskih polj in tvori impulze, ki imajo stalno magnitudo. Spreminja se njihova stopnja streljanja. Gangliji vzdržujejo enakomerno stopnjo streljanja, dokler združeni vložki iz njihovih receptorskih polj ne dosežejo mejne vrednosti, pri kateri se njihovo streljanje poveča ali pa preneha. Ali bodo gangliji povečali ali prenehali s streljanjem impulzov, je odvisno od tega, kakšne vrste ganglijskih celic so stimulirane. Obstajajo celice z 'ON' in 'OFF' centri. Dražljaj, ki je blizu receptorskega polja, poveča streljanje pri 'ON' celicah in ga zaustavi pri 'OFF' celicah. Stalni dražljaji, ki pokrivajo celotno receptorsko polje ganglija, se bodo pokazali kot konkurenčni dražljaji, ki se bodo deloma preklicevali med sabo s skupnim rezultatom rahlega zaviranja ganglijskega streljanja. Po drugi strani pa, če bo receptorsko polje celic točno nad dražljajem, ki je dovolj majhen ali pa prehaja skozi neke vrste rob, bodo dražljaji v centru in okolici različni in bodo drug drugega okrepili. Lep primer takšnega delovanja je Hermannova mreža (slika 2).



Slika 2: Hermannova mreža (2012)

Pri kartografskih upodobitvah se lahko tem motnjam ognemo, če ne izbiramo tako intenzivno grobih vzorcev.

Poleg prekrivajočih se receptorskih polij so gangliji medsebojno povezani in lahko zavirajo streljanje drug drugega v enakem smislu, kot lahko okolica posamezne celice zavira stopnjo hitrosti streljanja. Pojav, kjer vzburljena živčna celica s svojim delovanjem zavira delovanje sosednjih živčnih celic, se imenuje lateralna inhibicija in obstaja v živčnem sistemu živali (2012). Lateralna inhibicija je pomembna v kartografiji, ker pomaga poudariti razlike med sosednjimi vzorci ali med kartografskim znakom in ozadjem. Po drugi strani pa se lahko zgodi, da bo enak vzorec videti temnejši, ko bo poleg njega svetel vzorec, kot pa če bo poleg njega temen vzorec.

Lateralna inhibicija ima pomembno vlogo tudi pri dojetju barv. Receptorska polja ganglijev treh tipov čepkov vključujejo različne nasprotujoče si odnose centralnih in sosednjih celic. Tri glavne kategorije odnosov so:

- rdeče-zelene nasprotujoče si celice: vključujejo 'ON' in 'OFF' ureditve L in M celic,
- modro-rumene nasprotujoče si celice, ki vključujejo 'ON' in 'OFF' ureditve S v kombinaciji z L+M vhoda,
- temno-svetle nasprotujoče si celice, ki naj bi bile stimulirane preko vseh treh vrst čepkov.

Teorija nasprotujočega procesa pravi, da so te nasprotujoče si zveze odgovorne za celotno doživetje barv. Predvideva se, da so štiri edinstvene barve: modra, rumena, rdeča ter zelena in da dajo kombinacije teh barv vse ostale odtenke. Okolica opazovanja barve ima tak učinek, da premakne središčno barvo bolj k barvi komplementa okoliške barve; rdeča okolica bo središčno barvo naredila bolj modro. S pravilno izbranimi barvami se doseže, da kategorije na kartografskih upodobitvah niso zamešane. Torej se za sosednje barve izbere takšne, pri katerih se barvno-prostorski medpomnilniki (v mrežnici) ne prekrivajo. Sistem barvne obdelave se od ljudi do ljudi razlikuje zaradi možnega pomanjkanja nekaterih tipov čepkov. Moški so bolj dovzetni za pomanjkanje nekaterih tipov čepkov (okoli % moških proti 0,4% žensk). Ženske (okoli 12%) imajo včasih dodatno kategorijo čepkov v mrežnici, ki jim omogoča dodatno razsežnost zaznavanja barv.

2.1.3 Možgani

Signali potujejo iz ganglijev po optičnih vlaknih do možganov. Ena izmed nalog optičnih živcev je tudi prostorska združitev informacij iz obeh oči. Vlakna obeh živcev se srečajo v strukturi, imenovani optična kiazma, v kateri polovica vlaken prestopi na drugo stran in se pridruži polovici vlaken drugega optičnega živca, ki so ostala ne-prekrižana. Skupki teh vlaken tvorijo optični trakt, ki sedaj vsebuje vlakna iz obeh oči in projicira (preko sinaptičnega preklopa v strukturi, imenovani lateralno genikulatno jedro) v možgansko skorjo. Prav tu se ustvarijo notranje predstave vidnega prostora okoli nas. Podobno kot pri čutilu tipa je leva polovica vidnega sveta predstavljena v desni polobli, desna polovica pa v levi polobli. Vidna področja v zatilnem predelu možganov (imenujemo jih področje V1, V2 itd.) prejemajo signale iz obeh oči, zato se celice v njih odzivajo na vidne dražljaje iz kateregakoli očesa. Slednje imenujemo binokularnost. Vidno skorjo sestavlja vrsta polij, ki so posvečena različnim vidikom vidnega sveta, kot so oblika, barva, gibanje, razdalja, širine linij, kot, orientacija in podobno. Njihove celice so razporejene v stolpičih. Pomemben koncept, povezan s celicami, ki obdelujejo vid, je receptorsko polje - področje mrežnice, preko katerega se bo celica odzvala na zanjo pomembno vrsto podobe. V področju V1, kjer poteka prva stopnja vidnega obdelovanja v možganski skorji, se posamezne celice najbolj odzivajo na črte in robove določenih orientacij. Pomembno je bilo odkritje, da se vse celice v istem stolpiču celic odzovejo na črte ali robove iste orientacije, medtem ko se celice v sosednjih stolpičih najmočneje odzovejo na nekoliko drugačno orientacijo in tako naprej preko celotne površine V1. Slednje pomeni, da imajo vidne celice skorje notranjo organizacijo, ki omogoča interpretacijo sveta. Organizacija celic pa ni nespremenljiva, saj se na primer odzivnost posamezne celice na signale z levega ali desnega očesa lahko spreminja v odvisnosti od izkušenj. Tako kot vsi drugi senzorični sistemi tudi vidna skorja izraža plastičnost (MacEachren, 2004).

Zapleteno vezje vidne skorje predstavlja eno velikih ugank, ki zaposluje nevroznanstvenike. Šest slojev skorje sestavljajo različni tipi živčnih celic, ki so medsebojno povezane v natančno lokalna vezja. Nekatere povezave so vzburjajoče, druge inhibirajoče. Nekateri nevroznanstveniki so predlagali obstoj kanoničnega kortikalnega mikrovezja, podobnega čipom v računalniku. Vsi se s predlogom ne strinjajo. Danes vemo, da so si vezja v

posameznih vidnih področjih podobna v številnih podrobnostih, hkrati pa so med njimi lahko drobne razlike, ki odražajo različne načine, s katerimi posamični deli vidnih možganov interpretirajo različne vidike vidnega sveta. Pomemben prispevek k razumevanju procesov na posamičnih stopnjah analize vidnih informacij je prispeval tudi študij vidnih iluzij (Bon et al., 2007).

2.2 Vizualna kognicija

Vizualna kognicija je obdelava vidnih dražljajev za namen interpretacije sveta okoli nas. Za obrazložitev vizualne kognicije je bilo narejenih mnogo raziskav, veliko s strani psihologov, ki so raziskovali v splošne namene vidnega zaznavanja, pri čemer pa so uporabljali tudi karte. Kartografi in psihologi, ki so izvajali raziskave, so prišli do podobnih zaključkov, z manjšim številom izjem. Večji problem nastane pri primerjavi teh študij, saj so bile izpeljane na zelo različne načine, v različnih okoliščinah. Psihološke raziskave posameznih grafičnih spremenljivk in drugih hipotez pogosto potekajo v izoliranem okolju; npr. primerja se orientacija kartografskega znaka, izvzeta iz kartografske upodobitve. Zaznavanje na kartografskih upodobitvah z drugimi elementi v ozadju in okolici pa včasih poda drugačne rezultate. Tudi kontekst je pomemben, za nekatere rezultate mora obravnavati – raziskava potekati celostno. Študije se med seboj lahko primerjajo, če jih primerjamo na različnih ravneh.

Na področju kartografije so aktualne raziskave o usmerjanju pozornosti. Ugotavlja se, katere spremenljivke v prvih fazah zaznavanja pozornost privlačijo, katere spremenljivke to otežujejo ali onemogočajo ter kakšna je selektivnost vidnega zaznavanja.

2.2.1 Gestaltova psihologija

Gestaltova psihologija ali gestaltizem (Nemško: Gestalt – "bistvo ali oblika celotne subjektive forme") je teorija berlinske šole; operacijski princip gestaltove psihologije je, da je delovanje možganov celostno, vzporedno in analogno, z nagnenostjo po samoorganizaciji. Razlaga principa je, da človeške oči vidijo objekte v zaokroženi celoti, preden zaznajo njihove posamezne dele. Gestaltovi psihologi trdijo, da je zaznavanje skupek kompleksnih interakcij, ki so posledica različnih dražljajev. Gestaltov učinek je zmožnost, da čuti tvorijo oblike,

poudarek pa je predvsem na vidnem prepoznavanju podobe in celotnih oblik, namesto zaznavanja posameznih linij in krivulj. Pogosto je uporabljena fraza: “Celota je pomembnejša od vsote posameznih delov.” oz. “Celota je drugačna kot vsota njenih posameznih delov.” Gestaltova teorija dovoljuje razčlenitev celotne situacije na elemente, ki opisujejo, kaj se zares dogaja (2012).

Načela zaznavne organizacije po Gestaltovi teoriji:

- bližina
- zaprtost,
- podobnost,
- simetrija,
- kontinuiteta in
- skupna usoda.

Pri likih in ozadju veljajo načela izmenjavanja, majhnosti, simetrije in obkroženosti. Načelo jedrnatosti in dobre oblike se kaže kot preprostost in pravilnost. (Zgodovina psihologije, 2009). Tudi nekateri kartografi so navajali Gestaltove “zakone” in jih kot zakone obravnavali, s poudarkom na oblikovanju logičnih smernic. Zakoni so zavzemali mnogo različnih oblik kot npr. združevanje podobnih ali bližnjih objektov skupaj, znotraj globalnega. Čeprav je bil Gestalt kritiziran, da je zgolj opisovalen, je bil osnova mnogim drugim raziskavam za zaznavanje vzorcev in objektov ter raziskavam za obnašanje, razmišljanje, reševanje problemov in psihopatologijo (2012).

2.2.2 Kognitivni in računski pristop do vidnega zaznavanja

Leta 1970 je nevroznanstvenik David Marr (MacEachren, 2004) razvil večstopenjsko teorijo vida, kjer se analizira postopek vidnega zaznavanja na različnih stopnjah abstrakcije. Da bi bil poudarek na razumevanju določenih problemov, je identificiral tri stopnje analiziranja: računsko, algoritmično in implementarno. Njegove stopnje so sprejeli tudi mnogi drugi znanstveniki, vključno s Tomasom Poggiom, ki so jih vključili v nadaljnji opis vidnega zaznavanja iz računske perspektive (2012).

Njegove stopnje vida vključujejo:

- primarno skico prizora, ki temelji na pridobivanju lastnosti osnovnih delov prizora, vključno z robovi, regijami, ipd. (za primer se vzame skica, ki jo nariše umetnik s svinčnikom),
- 2,5D skica prizora, kjer so razpoznavne tudi teksture (za primerjavo se vzame postopek risanja, kjer umetnik prizor poudari ali senči, da ustvari globino),
- 3D model, kjer je prizor ustvarjen kot trirazsežnostna karta (2012).

Z Marrovo teorijo se je strinjal tudi MacEachren (2004): vidnemu polju vidno zaznavanje priredi vizualen opis. Vid je sestavljen iz strukturnih opisov informacij, ki se nahajajo v vidnem polju. Strukturni opis vsebuje spremenljivke, ki 'predstavljajo' zaznane entitete ali objekte ter predikate, ki določajo zveze med njimi ali njihove lastnosti. Vizualen opis je lahko prirejen ali pridelan. Prirejeni vizualni opisi so majhni zaradi kratkoročnega omejenega vidnega shranjevanja. Naenkrat je lahko aktivnih 4 – 9 elementov. Vsebina vizualnih opisov bo odvisna od prirejenih kodiranih verjetnosti predikatov - povezav. Čeprav so te povezave, ki jih tvori neka oseba, lahko kakršnekoli, so prirejene le tiste, ki so 'samo opažene', brez zavestnega razmišljanja. Te povezave se razlikujejo od človeka do človeka in so predmet pogostosti uporabe ali prakse. Deloma to pojasnjuje, da lahko vadba izboljša zmogljivost predzaznavnih nalog. Če nekdo vedno znova dodeljuje določenemu vzorcu neko določeno kategorijo, prepoznavanje tega vzorca postane samodejno (predzaznavno).

Marrovi predlogi so bili navdih mnogim drugim raziskavam, vendar pa so njegovo predlagano arhitekturo večinoma nadomestili z drugimi. Rensink (2000, cit. po Cavanagh, 2009) je na primer predlagal splošno arhitekturo vidnega zaznavanja, ki loči nižje-stopenjski vizualni sistem za procesiranje elementov od dveh višje-stopenjskih. Prvi temelji na pozornosti, ki se osredotoča na trenutne objekte interesa, drugi pa ne uporablja pozornosti in obdeluje povzetek in postavitev prizora (Cavanagh, 2009).

2.2.3 Sodobna teorija vizualne kognicije

Kritična komponenta vidne zaznave je ustvarjanje vidnih entitet, ki so reprezentacije površin in objektov, ki ne spreminjajo osnovnih podatkov vidnega prizora, ampak se spreminjajo v smislu, katere pripadajoče dele vidimo in kako so razporejeni v globino. Ustvarjanje teh

entitet je naloga vidne zaznave in v skoraj vseh primerih je vsaka izgradnja izbira med neskončnimi možnostmi, katerih izbor je narejen na podlagi podobnosti in pristranskosti, izbranimi z izločitvijo drugih veljavnih tekmovalcev. Entitete niso omejene na statične površine ali strukture, ampak vključujejo tudi dinamične strukture. Sčasoma se nam pike zdijo, kot da hodi človek. Entitete so tudi vzročnost in namernost interakcij ter skladnja in semantika celotnega dogodka (Cavanagh, 2009).

Opis površin, objektov in dogodkov, preračunanih s srednje- in višje-stopenjskega obdelovanja, ni namenjen zgolj za uporabo v vizualnem sistemu, temveč je na stopnji, ki predstavlja opis vidnega prizora, ki je primeren za predajo do drugih centrov v možganih. Jasno je, da opis vidnega prizora ne more biti odposlan v celoti do drugih centrov kot slika ali film, saj bi to od njih zahtevalo, da ima vsak center svoj vizualni sistem za dekodiranje opisa. Izgrajena mora biti nekakšna zelo stisnjena, označena različica, katera se lahko preda naprej v obliko, ki ga lahko drugi centri – spomin, jezik, planiranje – razumejo. Narava tega višje-stopenjskega vizualnega opisa, ki je lahko izvožen v druge centre, ki ga lahko razumejo, je še vedno neznana. Zaokrožuje vsebino, ki se označuje z zavestnim vidom, le če zavest nedvomno zahteva dejavnosti v mnogih področjih možganov. Vidne reprezentacije, ki postanejo zavedne, so verjetno tiste, ki so deljene zunaj strogo vidnih centrov.

2.2.3.1 Vizualne rutine

Vizualne rutine opravljajo delo vidne kognicije, njihov pojav v literaturi psihologije pa je označil začetek sodobne obravnave vidne kognicije. Predlagane rutine so sestavni deli izvršne pozornosti in delovnega spomina, katera sta podprta z rutinami izbora, vzdrževanja, posodabljanja in preusmerjanja informacij (Cavanagh, 2009). Vizualna rutina v tem okviru predstavlja postopek ali delo z izurjenostjo ali izkušnostjo, ki ga opravlja vizualni sistem. Največ raziskav pa je bilo opravljenih v zvezi z rutino izvršilne pozornosti.

Nekatere rutine so lahko sprogramirane že ob rojstvu (tj. preračunavanje odzivov nasprotnih barv), nekatere se lahko pojavijo z zgodnjo vidno izkušnjo (tj. učinkovitost slikovnih namigov), nekatere pa so odvisne od obsežne vaje (tj. razpoznavanje besedila).

2.2.3.2 Rutine pozornosti

Premično točko informacijskega vnosa – osredotočenje pozornosti – se lahko smatra kot ključni element v višje-stopenjskem vidnem zaznavanju. Informacije izbere in preda naprej k postopkom višjih stopenj, za katere se lahko predvideva, da vključujejo identifikacijo in začasne podatkovne strukture, odprte za vsako stvar interesa. Funkcije, ki so pripisane prostorski pozornosti, tako močno sovpadajo s funkcijo označevanja in usmerjanja izbranih informacij k začasnim podatkovnim strukturam, da ne obstaja nobenega prepričljivega razloga, da bi se med seboj ločevale. Primerne vedenjske posledice označevanja, izbire ali obiskovanja neke lokacije so pozornostne koristi izboljšane delovanja in označevanja tarč. Obiskovane lokacije morajo biti povezane z identiteto, ki označuje lastnosti te lokacije, da se lahko tvori objektna datoteka. Podatkovne strukture, predpomnilniki za kratkoročni spomin, spremljajo trenutno opravilo, ki se izvaja na obiskovani tarči, s povezavami do npr. trenutnega statusa, trenutne tarče, naknadnih korakov in meril do izpolnitve. Številne psihološke, fMRI in behavioristične študije so pokazale, da je prostorska dodelitev pozornosti nadzorovana preko karte, ki je hkrati tudi karta okulomotorja za načrtovanje očesnih gibov.

2.2.3.2.1 Zmogljivost prostorske pozornosti

Mejna vrednost sledenja ni določena. Vrednost se giblje med 1 in 8, vsaka hemisfera pa naj bi imela svojo mejno vrednost. Sledenje v eni hemisferi ne vpliva na uspešnost sledenja v drugi; vendar pa v primeru dveh sledenj v eni hemisferi uspešnost pade.

Na kartah pozornosti/sakad vsak vrh aktivnosti – vsako osredotočenje pozornosti – izbere prostorsko območje za obdelavo koristi in vključi okoliško dušenje, da onemogoči izbor bližnjih motilcev. Na karti pozornosti je omejena količina prostora in če je izbrana več kot ena tarča, lahko okoliška dušenja ustvarijo skupno tarča-tarča motnjo, če en vrh aktivnosti pade v okoliško dušenje drugega. Ta tarča-tarča motnja je lahko ključnega pomena pri ugotavljanju števila lokacij, ki jih lahko hkrati opazujemo. Omejen vir je torej prostor na karti pozornosti, na kateri se udeležene tarče lahko razprostrejo, ne da bi prekrivale svojih okoliških dušenj (Cavanagh, 2009).

2.2.3.2.2 Ločljivost prostorske pozornosti

Ločljivost prostorske pozornosti je najostrejša v delu rumene pege in upada proti obrobju, vendar je približno desetkrat slabša od vidne ločljivosti.

Nelokacijski vidiki pozornosti:

- lastnosti,
- vezava (lastnosti tarče).

Ko je enkrat določena lokacija objekta, se lahko povzamejo njegove lastnosti in identiteta. Kapaciteta sledenja se znatno zmanjša, če mora osebek spremljati poleg lokacije tudi identiteto.

2.2.3.2.3 Predpomnilniki za izvršitev naloge

Postopki, ki vzdržujejo kontakt s tarčo, vključujejo: sledenje, izsleditev in reševanje odgovarjajočega problema kot del pozornosti. Mnogi avtorji vključujejo tudi podatkovne strukture in predpomnilnik kratkoročnega spomina, ki sledi trenutni nalogi, ki se izvaja kot del pozornosti. Predpostavlja se lahko, da podrobnosti (trenutna operacija, trenutno zaporedje operacij, kriterij za prenehanje) zavzamejo prostor v kratkoročnem vidnem spominu, ki je lahko vizualen ali splošen (Cavanagh, 2009).

2.2.3.2.4 Površine, globina, svetloba in sence

Najnižja stopnja arhitekture vizualnega sistema je vidna kognicija, ki se še vedno zanaša na sklepanje. Nekatere analize se sklicujejo na postopke 'spodaj-navzgor', kot so na primer zaporedje filtrov (receptorskih polij), na katerih temelji tudi prepoznavanje celostnega obraza in sodelujoče mreže, ki konvergirajo k najboljšemu opisu površin in obrisov. Ti postopki neposredno obdelujejo vnos iz mrežnice, ne da bi se razvejali k alternativnim, *od konteksta odvisnim opisom, ki ne temeljijo na informacijah pridobljenih iz mrežnice*. Kljub temu pa obstajajo mnogi primeri, kjer znanje igra vlogo in kjer je včasih sklepanje potrebno, npr. za povezovanje površin ali za razlikovanje senc od temnih pigmentov. Pri sestavljanju delov

predmeta se najprej sestavijo skupaj obrisi in površine. Ta postopek se imenuje zaključevanje, če so na voljo le delne informacije. Gregory (1972, cit. po Cavanagh, 2009) in drugi so bili pionirji pri uporabi skopih podob, ki so sledile v zapolnjevanje manjkajočih delov z "najboljšo" razlago, kognitivnimi in subjektivnimi obrisi. Nakayama in drugi (Nakayama et. al, 1989, Nakayama et. al, 1995, cit. po Cavanagh, 2009) so poudarili pomen pripisovanja lastništva k obrisu; obris pripada k najbližji površini in deli obrisa površine, ki so bolj oddaljeni, se lahko povežejo pod površino obrisov, ki so bolj blizu. Qiu in von der Heydt (2005, cit. po Cavanagh, 2009) sta podala spektakularen psihološki dokaz k temu vidiku mejnega lastništva. Pokazala sta, da se nekatere celice v območju V2 odzovejo na linijo, samo če je bila linija v lastništvu svoje površine, npr. v levo, medtem ko se druge celice odzovejo na isto linijo samo, če pripada površini na desni. Izbire, kako so površine lahko kombinirane, niso vedno logične. Te izbire so odvisne od prednosti, ki je dana povezujočim kolinearnim odsekom, kateri se končajo v T spoju.

Pomembnost znanja o predmetu ali prizoru se kaže tudi pri obdelavi senc. Za primer se vzame dvotonska podoba. Nič na podobi ne nakazuje, kaj je senca in kaj je manj osvetljen del objekta. Prvi korak je razlikovanje med obema. Takšne podobe se v naravi dejansko ne pojavljajo, razpoznavne pa so že dojenčkom in novorojenčkom. To nakazuje, da objekti niso razpoznavni s pomočjo posebnih postopkov, s katerimi se srečujejo novorojenčki, temveč so razpoznavni na osnovi splošnih vizualnih postopkov, ki so zmožni razvozlati temne sence in temne pigmente, ki temeljijo na znanju o predmetu. Dvotonske podobe so koristni pripomočki, ki lahko podajo dostop do srednje-stopenjskih procesov o sklepanju (v osamitvi) (Cavanagh, 2009).

2.2.3.2.5 Predmeti

Definicija za predmet ni jasno opredeljena. Priročna je kategorija 'proto-predmet', to je status razčlenjenih potencialnih predmetov, ki so na voljo pred izborom pozornosti. Predmetna pozornost lahko obstaja, če obstajajo predmeti, zato da ima pozornost lahko do njih dostop. Kategorija 'proto-predmetov' je postavljena tudi zato, ker imajo ljudje in nekatere druge živalske vrste v prizoru sposobnost hitre presoje o približnem številu elementov. Presoja o številu ni odvisna od velikih sprememb v velikosti, svetlosti ali obliki vsakega predmeta, ki

namiguje, da mora biti ločen od ozadja in obravnavan kot samostojni elementi pred dostopom pozornosti. Presoja je tudi neodvisna od tega, ali medsebojni razmiki med elementi dovoljujejo individualizem elementov s strani pozornosti. Še vedno pa ni jasno, kakšne so razlike med reprezentacijo predmeta, ki so nastale, preden je predmet pritegnil pozornost in po tem (Cavanagh, 2009).

2.2.3.2.6 Struktura objekta

Mnogi so predlagali, da različna stičišča na trdnih in ukrivljenih predmetih tvorijo niz omejitev, ki določajo končno prostornino, sestavljeno iz teh obrisov in stičišč. Ta proces poteka od spodaj navzgor, ne da bi bilo pri tem potrebno znanje o potencialnih predmetih. Potrebna je le pravilnost stičišč in omejitev, ki se jih nalaga na 3D strukturo. Nekateri so raziskovali tudi osnovne lastnosti narave predmetov, kjer so konkavne in konveksne skrajnosti okoli predmeta diagnostična koda o obliki predmeta (Cavanagh, 2009).

2.2.3.2.7 Prepoznavanje predmeta

Pri raziskovanju strukture predmeta in njegovih delov se opredeli struktura predmeta kot nekakšna koda za znane predmete. Znanje o objektu se lahko priključuje z namenom zapolnitve manjkajočih podrobnosti. Marr in Biederman ter drugi so poudarjali moč načina predmetnega opisovanja, ki je lahko enostavno pridobljen iz podobe in primerjan s spominom. Objekte se smatra za zbirko delov enostavnih valjastih elementov, kot niz osnovnih prostornin ali kot niz bolj prilagodljivih prostornin. Opis predmeta je podajala prostorska zveza: kateri del je bil povezan s katerim in kje. Takšni predlogi so imeli pomanjkljivosti, vendar so imeli pomemben vpliv.

Osnovni pristop teh prostorninskih predmetnih shem je tak, da obstaja opis predmeta, ki je neodvisen od pogleda. Deli so zaznani neodvisno od smeri pogleda, njihova struktura je kodirana v predmetno centriranem referenčnem sistemu. Koda potemtakem reši problem, kako prepoznati predmet iz mnogih drugih opazovališč. Po drugi strani pa obstajajo dokazi, da je prepoznavnost objekta odvisna od opazovališča. To pomeni, da so lahko različni pogledi

na predmet shranjeni in med seboj primerjani neodvisno od lokacije ali velikosti (Cavanagh, 2009).

2.2.3.2.8 Kontekst

Predmeti in prizori se obdelujejo najprej na globalni ravni, nato pa na lokalni ravni. Že nekaj nižje-frekvenčnih informacij zagotavlja povzetek ali kontekst, ki se obnaša kot okvir, katerega se zapolni s preostalimi vsebinami. Ta vrstni red učinka obdelave je drugačen od vrstnega reda učinka dostopa, kjer so višje-stopenjski opisi prej dosegljivi za vidno raziskovanje in/ali zavesten pregled. Npr. prej vidimo obraz, kot pa lahko pregledamo oblike njegovih sestavnih značilnosti (Cavanagh, 2009).

2.2.3.2.9 Koristi objektov

Narejene so bile študije, katere so lastnosti predmeta, ki omogočajo lažje sledenje. Ugotovili so, da se težje sledi predmetom, ki se gibljejo kot tekočina ali ki so povezani z drugimi objekti. Tudi ugotavljanje o številčnosti se s tem zmanjša (Cavanagh, 2009).

2.2.3.2.10 Gibanje

Vid je več kot le prepoznavanje predmetov v statičnih prizorih. Prava moč vidnega zaznavanja je njegova zmožnost, da lahko predvideva; vidi stvari, še preden se zgodijo. Dejstvo, da ima lahko vizualni sistem opravka z gibljivimi tarčami, poda največ informacij o predvidevanju. Neodvisno obstajata dva sistema: eden je refleksiven, nižje-stopenjski sistem, in drugi je aktiven, odvisen od pozornosti, višje-stopenjski sistem. Razlika med njima je tudi ta, da nižje-stopenjski sistem ne uporablja sklepanja, višje-stopenjski sistem pa ga. Predmeti, ki so opazovani v gibanju, imajo določene lastnosti, ki omejujejo obrazložitev. Gibanje ne podaja le informacij, kam je predmet namenjen, temveč tudi, kaj predmet predstavlja. Ko sta enkrat predmet in njegovo stereotipno gibanje razpoznavna, lahko znanje o tem gibanju pripomore k nadaljnji percepciji (Cavanagh, 2009).

3 ZAZNAVANJE PROSTORSKIH PODATKOV

Kartografske upodobitve so predstavitev in abstrakcija realnega sveta treh razsežnosti. V preteklosti so višino kot tretjo razsežnost na dvorazsežnem mediju, papirju, upodabljali s tremi različnimi metodami (Bučar, 2011):

- s perspektivnimi metodami,
- s plastičnimi metodami, kot so črtke (šrafe), sence in barvni sloji,
- z geometričnimi metodami; to so kote in plastnice (izohipse).

Kartografske upodobitve na trirazsežnem mediju so lahko:

- globusi,
- reliefne karte,
- taktilne karte in
- hologrami.

Plastične in geometrične metode prevladujejo na tlorisnih kartah za predstavitev tretje razsežnosti, medtem ko so perspektivne metode najpogosteje uporabljene na tako imenovanih 3D kartah na 2D mediju. Vid na 2D mediju ne potrebuje prisotnosti vseh globinskih znakov, da lahko uporabnik zaznava vse tri razsežnosti. Z elementi globinskega zaznavanja oz. z globinskimi znaki se lahko omogoči zaznavanje dvorazsežnih medijev kot trirazsežne.

3.1 Globinski znaki

Rojc (1986) globinske znake deli na fiziološke in psihološke. Fiziološki globinski znaki se povezujejo s fizičnimi procesi vidnega zaznavanja, psihološki ali tudi slikovni globinski znaki pa so povezani s strukturo objektov v smislu, kako struktura organizira vizualni vnos. Tudi MacEachren (2004) je povzel fiziološke in slikovne globinske znake in naredil seznam (po različnih virih).

Fiziološki globinski znaki:

- Akomodacija: Sprememba debeline očesne leče pri osredotočanju na predmet.
- Konvergenca: Sprememba v kotu pogleda dveh oči pri osredotočanju na isti predmet.

- Mrežnična neenakost: Razlika slik (vidnega polja) na posamezni mrežnici levega in desnega očesa.

Slikovni globinski znaki:

- Perspektiva: Sem spadajo poševna projekcija, linearna perspektiva (paralelne linije z oddaljenostjo konvergirajo), velikost mrežnične slike (predmeti so tem manjši, čim bolj so oddaljeni) in gradient teksture (teksture se z oddaljenostjo zmanjšujejo).
- Gibanje: Slika na mrežnici se premika, če se premika opazovalec ali predmet, pri tem pa se zdi, da se oddaljeni predmeti premikajo počasneje kot bližnji.
- Interpozicija: Predmeti, ki so bližnji, prekrivajo predmete, ki so bolj oddaljeni.
- Senca: Predmeti mečejo sence v nasprotno smer od vira svetlobe, kjer lahko drugi predmeti svetlobo tudi blokirajo.
- Senčenje: Osvetlitveni gradient lahko kaže na obliko in orientacijo površine.
- Barva: Zračna perspektiva govori, da predmeti z oddaljenostjo izgubljajo nasičenost, pogosto z modrikastim odtenkom (vpliv atmosfere). Učinek barvne stereo-optike govori o razlikah v valovnih dolžinah barv, kar povzroči, da so nekatere barve navidezno bližje kot druge (rdeča proti modri).
- Podrobnost: Z razdaljo postajajo podrobnosti manj vidne, robovi pa postanejo zamegljeni.
- Referenčni okvir: Da se lahko oceni relativno velikost, mora vid primerjati velikost na mrežnici z nekim referenčnim okvirjem. Navidezna razdalja bo odvisna od primerjave.

S poznavanjem globinskih znakov lahko torej dosežemo učinek tretje razsežnosti na dvorazsežnih zaslonih in drugih medijih. Zanimivo je, da plastnice ne vsebujejo nobenega globinskega znaka.

3.2 Nanašanje globinskih znakov na kartografske upodobitve

3.2.1 Fiziološki pristop

Računalniška tehnologija je omogočila izdelavo zaslonov, ki neposredno izkoriščajo binokularno paralakso. Na zaslonu se izmenjavajo pari upodobitev, ki prikazujejo isto območje pod rahlo zamaknjnim kotom, ki simulira različna opazovališča posameznega očesa (pri fotogrametriji so to t.i. stereo-pari letalskih posnetkov). Navadno se pri takih prikazih glava opazovalca ne sme premikati, nositi pa mora posebna očala. Druga tehnika so anaglifi, kjer se uporablja nasprotni barve rdeče in zelene skupaj z rdeče-zelenimi očali.

3.2.2 Perspektivni pristop

Različne prikazne tehnike imajo lahko različne učinke. Pogosto so uporabljeni vsi globinski znaki: poševna projekcija, linearna perspektiva, velikost mrežnične slike in gradient teksture, kjer se poševna projekcija uporablja z ostalimi tremi. Mrežna upodobitev npr. poudarja gradient teksture. Prostorninskemu modeliranju se dodaja sence in senčenje. Interpozicija nastopa pri vseh kot dodatni globinski znak.

Raziskav med različnimi slogi perspektivnih kart ni bilo opravljenih, prikazana je bila prepričljiva uporaba mrežnih prikazov (MacEachren, 2004). Pri njih je presoja o višinah izvedena dokaj pravilno, tudi če je kot pogleda višji od 75 ali nižji od 15 stopinj.

3.2.3 Neperspektivni pristop

Problem perspektivnih pristopov je, da so ne glede na to, kje se nahaja opazovališče, nekateri deli kartografske upodobitve vedno skriti. Poleg tega se preko kartografske upodobitve merilo spreminja. Zato se iščejo načini, kako ustvariti iluzijo o globini brez uporabe perspektive.

Zaznavanje je občutljivo na teksturo senčenja in na njeno vrednost (MacEachren, 2004). V naravi ne obstaja popolno senčenje v smislu, da svetloba izvira samo od svetlobnih virov. Svetloba se zrcali tudi od različnih drugih predmetov, kar vpliva na končno vrednost. Računalniško generirano senčenje tega dejstva navadno ne upošteva, vendar je zaznavanje kljub temu uspešno.

Senčenje običajno sledi angleškemu dogovoru, ki govori o osvetlitvi, ki prihaja od zgoraj in iz leve (vir svetlobe je postavljen blizu levega zgornjega roba kartografske upodobitve). Če je karta orientirana proti severu, to senčenje navidezno ustvari občutek, da je svetloba na severozahodu. Mnogi so mnenja, da je takšna osvetlitev nerealistična za področja na severni polobli, ker Sonce ne sveti iz te smeri. Predlagali so južno osvetlitev, vendar pa slednja naredi obratni učinek; hribi so videti kot doline in obratno (2012).

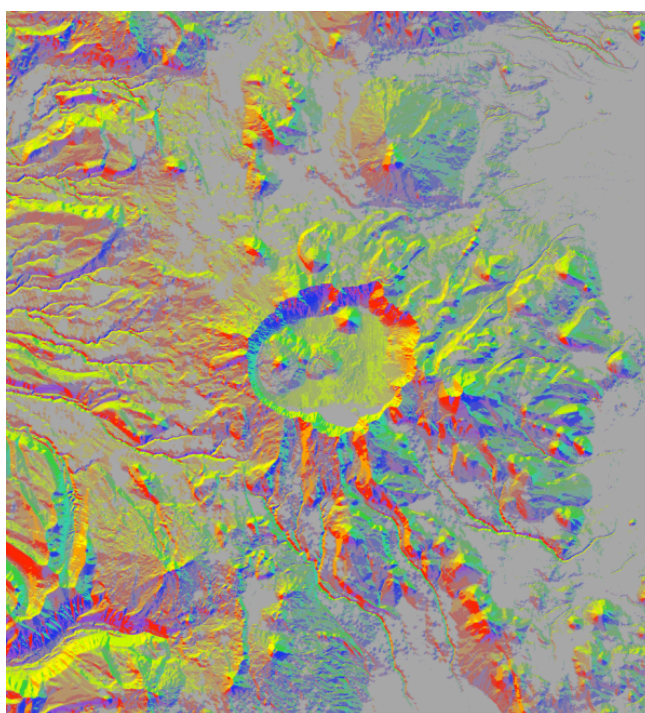
MKS-ASPECT, ki sta ga razvila Mollering in Kimberling (Aspect slope map, 2008), deluje na osnovi OPT (opponent-proponent theory) – barvanja. Takšni prikazi istočasno prikazujejo usmerjenosti (horizontalna smer) in stopnjo (strmost) pobočja terena. Kategorije usmerjenosti pobočja so simbolizirane z uporabo barvnega odtenka, stopnja pobočja pa z nasičenostjo tako, da so strmejša pobočja svetlejša.

OPT govori, da obstajajo štiri edinstvene barve z najbolj različni odtenki (pri največji nasičenosti in srednji osvetljenosti). Iz teh osnovnih štirih barv naj bi se tvorile naslednje kombinacije prvih redov. Iz kombinacij prvega redu se potem tvori drugi red in tako naprej, torej so barve grupirane v štiri, osem, šestnajst, itn. kategorij. Nekatere barvne kombinacije niso mogoče. To so tiste, ki se nahajajo po diagonali kvadrata barvnega prostora (rdeča-zelena, modra-rumena). Barve so rotirane tako, da se najsvetlejša – rumena ujema s standardnim azimutom izvora svetlobe, to je 315 stopinj ali severozahod. Slaba lastnost pa je, da so nekateri hribi videti kot doline, ne upošteva pa tudi izvora svetloba ali odboja svetlobe. Vtis reliefa je zgolj zaradi usmerjenosti pobočja.

Brewerjeva (2012), ki je tudi raziskovala barvno teorijo v kartografiji, je razvila alternativno barvno shemo tako, da je uporabila tri kategorije nasičenosti (slika 3), ki odgovarjajo usmerjenostim pobočij, in dodatno nenasičeno sivo. Barvna shema Brewerjeve omogoča veliko bolj učinkovit prikaz terena (slika 4), medtem ko je interpretacija usmerjenosti pobočij še vedno enostavna.



Slika 3: Barvna shema Brewerjeve (2008)

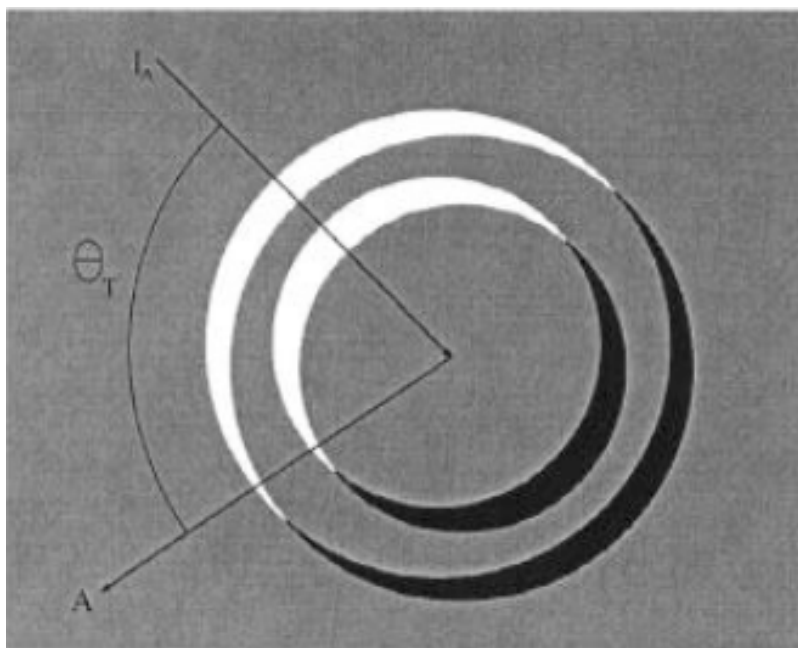


Slika 4: Prikaz terena z barvno shemo Brewerjeve (2008)

Leta 1950 je Kitiro Tanaka predstavil inovativno metodo za izboljšanje in olajšanje dojetja plastnic (Kenelly in Kimberling, 2001). Predpostavil je, da svetloba prihaja od severozahoda in da je karta obrnjena proti severu. Plastnice je obarval belo, kjer je predvideval, da so

osvetljene, in črno, kjer je predvideval senco oz. neosvetljeno topografijo. Ozadje (podlaga) je pobarval sivo z namenom največje vidljivosti. Debelino bele in črne linije je spreminjal odgovarjajoč kosinusu kota med dvema vektorjema. Vektor A je usmerjenost pobočja, azimutna smer največje spremembe smeri pobočja, podana je s pomočjo kompasa na horizontalni ravnini. Drugi vektor B je azimutna smer osvetlitvenega vektorja; tudi ta se nahaja na horizontalni ravnini. Tanaka je uporabil neke vrste analitičnega senčenja plastnic vzpetin, kakor da je vsaka plastnica stopnica na modelni površini, ki je zmožna osvetlitve iz podane smeri. Različne debeline črnih in belih linij so na sivem ozadju ustvarile spremembe tonskih vrednosti, ki dajejo vtis tridimenzionalnega učinka senčenja (slika 5).

Kimberling (2001) je metodo skušal razviti tako, da je omehčal prehod iz črne na belo s sivo barvno lestvico, debelina plastnic se ni spreminjala. Namesto sive barvne lestvice ja nato uporabil še barve. S tem naj bi poudarili višinsko informacijo. Manjša sprememba v svetlosti (pri barvah v nasprotju s črno-belimi) poda manj oster učinek in je posledično bolj subtilen kakor Tanakin. Na področjih, kjer so pobočja bolj nežna ali je topografija bolj zapletena, pa je ta subtilen učinek težko zaznati.



Slika 5: Osvetljene plastnice Tanake (2008)

4 KARTOGRAFIJA IN KARTOGRAFSKE UPODOBITVE

4.1 Kartografija

Komunikacijska paradigma v kartografiji se mnogim zdi precej omejena. Nekateri avtorji so šli tako daleč, da so skušali opisati kartografijo s formalnimi matematično-električnimi inženirskimi pristopi informacijske teorije, kakor je bila razvita pojasnitev izgube kakovosti signala v linijah elektronskega komuniciranja. Tudi Rojc (1986) v svoji doktorski disertaciji omenja kartografijo v zvezi s komunikacijsko znanostjo:

“Kartografija se v zadnjem času čedalje bolj uveljavlja kot komunikacijska znanost.”

Rojc (1986) kasneje poudari, da komunikacijsko sredstvo ni edini vidik kartografije in doda še spoznavni in operacijski vidik. Narejeni so bili poizkusi, kako izmeriti informacije kart v smislu informacijskih ‘primitivov’, ki se jih šteje na začetku in koncu komunikacijskega postopka. Razlika v njihovem številu je bila opredeljena kot merilo za izgubo informacij in meritev primernosti prenosa. Ta pristop je bil obsojen na propad, če ne zaradi drugega pa zaradi dejstva, da je uporabnik lahko združeval informacije s karte s predhodno pridobljenim znanjem, s katerim je prišel do zaključkov, ki niso bili del prvotnega sporočila karte (MacEachren, 2004).

Informacijske teorije in podobni poskusi, da se kartografija obravnava kot fizični sistem, ki se lepo obnaša, je povzročil, da so nekateri kartografi opozorili, da znanstveni pristop h kartografiji razvrednoti umetnost v kartografiji. Keates (1984, cit. po MacEachren, 2004) v razpravi imitativnih, čustvenih, ekspresionističnih in komunikacijskih funkcij umetnosti naredi smiseln primer, da kartografske upodobitve res vsebujejo umetniške kakovosti, katere si je težko ali nemogoče predstavljati kot kakršnokoli ‘znanstveno’ ocenitev. Da so lahko kartografske upodobitve tako kot katerakoli druga umetnost komunikacijske, je verjetno sprejemljiva ideja vsem kartografom. Vendar pa nas celo v primeru te komunikacijske funkcije kartografskih upodobitev komunikacijski model vodi k merjenju komunikacije posameznih delcev informacij, namesto da bi ocenili celoten intelektualen prispevek

kartografske upodobitve in njenega potenciala za izražanje mnogih pomenov v več stopnjah analize (MacEachren, 2004).

Potreben je bil nov pogled na vlogo umetnosti in znanosti v kartografiji. Verjetno je napačno, če na kartografske upodobitve gledamo kot na predmete, ki vsebujejo različne količine znanstvene in umetniške vsebine, za katere moramo določiti primerno ravnovesje. Namesto tega je bolj smiselno, če razmišljamo o komplementarnosti umetniških in znanstvenih pristopov, pri čemer se oba lahko uporabi pri kateremkoli kartografskem problemu. Umetniški vidik je intuitiven in celosten, izboljšave se dosežajo skozi izkušnje, ki se jih dopolnjuje s kritično preučitvijo (preučitev rezultatov kartografskih prizadevanj o odločanju se naredi s presojo strokovnjakov). Temelji na znanosti uporabe perspektive, razumevanju človeškega vida, barvne teorije itd. Znanstveni pristop je bolj induktiven in pogosto redukcionističen, problem razdrobi na kose, ki so obvladljivi, s predpostavko, da bo celotna slika postala jasna s sistematičnim preučevanjem vsakega posameznega dela postopka. Znanstveni pristop temelji na umetnosti v razvijanju prvotnih hipotez o svetlobi, senčenju, barvi, tipu in podobno.

Nov pristop do kartografije se glasi (MacEachren, 2004): "Kartografija govori o reprezentaciji." Reprezentacijski pristop ne skuša nadomestiti komunikacijskega modela, ampak skuša poudariti, da ne obstaja en sam znanstveni ali neznanstveni pristop do kartografije.

Kartografija je znanost in umetnost o razvoju, načinu prikaza, izdelavi in uporabi kartografskih prikazov površine Zemlje, drugih vesoljskih teles in nebesnega svoda ter objektov stanj in pojavov povezanih s temi površinami (ICA, 1995, povzeto po Petrovič, 2006).

4.2 Vloga umetnosti v kartografiji

Če pogledamo katerekoli zgodovinske karte, ki so nastale pred računalniško dobo, lahko takoj vidimo, da kartografija ni zgolj znanost. Da je kartografija tudi umetnost, nam zgodovinske karte govorijo že same po sebi. Zadnje čase pa je mogoče vloga umetnosti v kartografiji rahlo

zastavljena. Vsake toliko časa nanjo opomni kakšna nova kartografska upodobitev, ki je lepa in prijetna za oko.

Vloga tehnologije v kartografiji je nedvomno ključnega pomena, zavedati pa se moramo tudi, da je zveza med znanostjo in umetnostjo prav tako pomembna. Tehnologija omogoča, da je kartografski produkt realiziran, znanost pa zagotovi pravilnost.

Ker kartografija govori o predstavitvi prostorskih podatkov, ki jih oblikujemo na abstrakten ali realističen način, lahko v oblikovanje vnesemo mero umetnosti. Različnih predstavitev sveta okoli nas pa je lahko veliko.

4.3 Kartografska upodobitev

Era kart na tiskanem papirju zamira. Karte se še vedno tiskajo in uporabljajo in so v nekaterih primerih še vedno najboljši izbrani medij za predstavitev geografskih podatkov. Gledano po odstotkih, pa so postale manjšina v senci kartografskih upodobitev na zaslonih osebnih računalnikov, prenosnih računalnikov, tabličnih računalnikov, navigacijskih naprav, mobilnih telefonov in mnogih drugih naprav. Te upodobitve vključujejo večpredstavnost, interaktivnost, dinamičnost in/ali animacije. Največji napredek kartografskih upodobitev lahko pripišemo naglemu razvoju digitalne tehnologije v zadnjih desetletjih. Sodobne kartografske upodobitve imajo v primerjavi s »kartami na papirju« večplasten in dinamičen karakter, večjo distribucijo in dostopnost, njihova izdelava in širitev poteka z relativno nizkimi stroški. Slabost klasičnih kart na papirju je tudi ta, da ne morejo zadovoljiti različnih potreb posameznih uporabnikov. Dodajanje večpredstavnostnih elementov vodi v izboljševanje informacijskega prenosa in prenosa znanja. Papir ima proti elektronskim zaslonom dve prednosti, vendar tudi ti dve postajata vse bolj dvomljivi. Prva je, da ga je lažje prenašati naokoli. Vendar pa ni nujno, da imamo karto na papirju vedno pri sebi. Skoraj vedno pa imamo pri sebi mobilni telefon, na kateremu imamo lahko naložene in shranjene karte. Z dostopom do brezžičnega interneta pa lahko spremljamo tudi svoj položaj (podjetje Google je letos celo napovedalo, da bo dostop možen tudi brez internetne povezave). Druga prednost papirja je ta, da podpira višjo prostorsko natančnost; s katero pa se že lahko kosajo najmodernejši elektronski zasloni, kjer slikovnih elementov (pikslov) s prostim očesom ni več

mogoče zaznati. Morda ima papir res daljšo življenjsko dobo, kljub temu pa imata papir in elektronski medij skupaj krajšo življenjsko dobo, kakor glinene tablice, na katerih so bile odkrite prve karte.

Za obrazložitev besede karta in besedne zveze kartografska upodobitev je najprej podana definicija karte, ki je bila sprejeta na 12. Generalni skupščini kartografske zveze (ICA) v Durbanu v Južni Afriki leta 2003 (ICA, 2012):

“A map is a symbolized representation of geographical reality, representing selected features or characteristics, resulting from the creative effort of its author’s execution of choices, and is designed for use when spatial relationships are of primary relevance.”

Definicija karte se v slovenskemu jeziku glasi (Petrovič, 2006): “Karta je simbolizirana slika geografske resničnosti, ki prikazuje izbrane objekte ali lastnosti in je rezultat ustvarjalnega dela avtorja, namenjena uporabi, kjer so bistveni prostorski odnosi.”

Torej se pojem karta ne uporablja samo za klasično tiskano tlorisno obliko, saj pod pojem karta spadajo tudi karte na različnih drugih medijih. Da predstavitev prostorskih podatkov lahko imenujemo karta, mora zadoščati naslednjim pogojem (Petrovič, 2007):

- določena mora biti geografska lega vsakega objekta, ki jo uporabnik lahko prebere,
- preslikava objektov in pojavov z realnega površja Zemlje v ustrezni koordinatni sistem se izvaja na podlagi zakonov projekcij, ki zagotavljajo deformacije v določljivih mejah,
- oblikovanje kartografskih znakov je sredstvo za prenos prostorskih informacij med izdelovalcem karte in uporabnikom,
- upošteva se načela kartografske generalizacije, ki določajo stopnje berljivosti karte.

Upodobitev je zadnji osnovni korak pri predstavitvi prostorskih podatkov. Izbira upodobitve ima več možnosti, ki jih prilagodimo vsebini, namenu, načinu in mediju uporabe. Prostorske podatke lahko upodobimo v obliki kart, panoramskih upodobitev ali s 3D-modeliranjem.

Upodobitve so lahko pripravljene v fizični (tisk na različne materiale, 3D-tisk) ali digitalni obliki (digitalna slika, spletna aplikacija, mobilna aplikacija), v statični ali dinamični obliki.

Kartografska upodobitev je vsaka upodobitev geografske realnosti, ki omogoča položajno ter pomensko pridobitev podatkov o prikazanih objektih in pojavih. Kartografska upodobitev s tem zajema širše področje obravnave, kot jo obravnava karta.

Kartografske upodobitve lahko razvrščamo v štiri različne sklope:

- glede na način prikaza geografske realnosti: fotorealistične – znakovne,
- glede na dinamičnost prikaza: statične – dinamične (animirane),
- glede na način zaznavanja višine kot tretje dimenzije: dvorazsežne - trirazsežne,
- glede na interaktivnost: interaktivne - neinteraktivne.

Besedna zveza fotorealistična kartografska upodobitev pa v krogu sodobne kartografije največkrat pomeni računalniško izdelano upodobitev (prikaz) geografske realnosti 3D kartografskega modela, ki omogoča pridobitev pomenske, višinske in položajne informacije in je čim bolj podobna realnosti.

Ker je osrednji del diplomske naloge namenjen raziskovanju, kako zaznavamo in dojemamo znakovne kartografske upodobitve ter kako fotorealistične, je postavljena glavna ločnica med fotorealističnimi in znakovnimi kartografskimi upodobitvami 3D kartografskih modelov, medtem ko se preostali dve razvrstitvi (dinamičnost/statičnost in interaktivnost/neinteraktivnost) lahko nanašata na obe vrsti upodobitev.

Poudarila bi še razliko med 2D in 3D upodobitvijo 3D kartografskega modela, kot jo opredeljuje Petrovič (2007):

3D upodobitev 3D kartografskega modela:

- Popolno fiziološko pogojeno 3D-zaznavo omogočajo npr. hologrami in prostorski prikazovalniki. Zaradi različnih tehnoloških in tudi povsem praktičnih omejitev še niso množično prodrle v vsakdanjo uporabo.

2D upodobitev 3D kartografskega modela:

- Delni fiziološki učinek se doseže z uporabo dodatnih pripomočkov, npr. z očali, kjer se opazuje stereoskopske in anaglifne slike na analognem ali digitalnem mediju.
- Največkrat pa uporabnik zaznava prostor le na podlagi psihološko pogojenih učinkov pri opazovanju 2D-slike: preko poševnega, tlorisnega pogleda in preko profila.

4.3.1 Izdelava kartografske upodobitve

V nadaljevanju je opisan postopek pridobitve kartografske upodobitve iz 3D kartografskega modela ter izvedba kartografske upodobitve. Izdelava kartografske upodobitve je odvisna v prvi vrsti od znanja in načina umetniškega izražanja izdelovalca, ostali pomembni dejavniki pa so še: razpoložljivost podatkov, zmogljivost programske opreme ter ciljna množica. V vseh postopkih izdelave lahko vplivamo na končni način zaznavanja kartografske upodobitve. Proces izdelave karte je sestavljen iz naslednjih treh korakov:

- modeliranja osnovnih podatkov,
- kartografskega oblikovanja,
- upodobitve.

4.3.1.1 Modeliranje osnovnih podatkov

3D model opisuje prostorski in geometrijski položaj vsebovanih objektov v treh razsežnostih. Temelji na osnovnih podatkih, ki se v postopku modeliranja pretvorijo v ustrezno obliko podatkov, da so primerni za nadaljnjo obdelavo. Kartografski 3D model vsebuje digitalni model reliefa, topografske-kartografske objekte in orientacijske kartografske objekte (Bučar, 2011).

4.3.1.2 Kartografsko oblikovanje

S kartografskim oblikovanjem dobijo kartografski objekti svoj zunanji videz in lego znotraj modela. Za vsak objektni tip je potrebno izdelati svoj kartografski znak, ki se ga oblikuje v skladu s stopnjo generalizacije in vnaprej določenimi zahtevami, kot sta ustaljen način oblikovanja in barvni koncept. S tem dobi vsak objektni tip svojo zunanjo grafično podobo –

ne glede na to ali imamo model terena, topografski ali orientacijski kartografski objekt (Häberling, 2003, cit. po Domajnko, 2008).

Rastrske podatke kartografskemu modelu le dodajamo in jih dejansko ne spreminjamo. Oblikujemo vektorske podatke, ker ne vsebujejo nobenih grafičnih atributov. Pri vključevanju ravni podrobnosti se kartografske objekte oblikuje za vsako raven posebej. Različne ravni se kažejo pri upodobitvi in narekujejo zunanji videz kartografskega objekta. Raven se nanaša na opazovano razdaljo. Za vsak nivo podrobnosti je potrebno za isti objekt pripraviti drugačen kartografski znak. Tako naj bi bili v ospredju kartografski objekti bolj kompleksni oziroma bolj podrobni in podobni naravnim objektom, medtem ko za isto pomenske objekte v ozadju zadoščajo poenostavljeni znaki.

4.3.1.2.1 Zunanji videz

Zunanji videz topografskih kartografskih objektov se izvrši s konturami ali z robnimi ploskvami ali z obojimi. Spreminjamo jim lahko obliko, velikost, barvo, svetlost, pri ploskvah tudi teksturo (Domajnko, 2008):

- Oblika določa zunanjo lupino objekta in je določena predvsem s stopnjo abstrakcije prikazanega objekta. Realna oblika predstavljenega topografskega objekta je lahko izražena preko abstraktne ali nazorne oblike. Smiselno je, da prvotne oblike geometrije modela ne spreminjamo, ampak jo nadomestimo z novo. Oblika kartografskih objektov pa je poleg stopnje abstrakcije odvisna še od izseka območja, povprečnega merila, stopnje generalizacije objektov in gostote objektov.
- Pri velikosti točkovnih in linijskih objektov na 3D kartah imamo v mislih metrične mere (dolžino, širino in višino) 2D in 3D oblik znakov, kakor tudi širino linijskih znakov. Velikost objekta določimo v legendi, vendar zaradi perspektivne upodobitve in s tem povezanega pomanjšanja in popačenja njihova velikost na karti ni konstanta. Zaradi velikosti slike (enega izmed načel globinske zaznave prostora) so objekti vendarle zaznani kot enako veliki.
- Barva je ena izmed najpomembnejših značilnosti, po kateri se objekti med seboj razlikujejo. Pri uporabi barve v 3D kartah je potrebno upoštevati, da se v kasnejšem

postopku upodobitve pojavijo osvetlitve in potemnitve na barvah objektov zaradi osvetlitve in senčenja določenih delov karte. Zato je potrebno vedno paziti na zadosten kontrast med posameznimi barvnimi toni.

- Svetlost je tista količina, ki izraža razmerje med črnimi in belimi deli na neki površini. Svetlost barve je določena z deležem bele barve v posameznem barvnem tonu.
- Teksturo ploskve določata sestava in grafični videz površine objekta, ki se kaže s strukturo oziroma z vzorcem površine. Tekstura ploskve obsega kombinacijo različnih spremenljivk, kot so oblika, velikost, barva, svetlost in smer. Z njimi oblikujemo površino posameznega objekta. S kombinacijami različnih spremenljivk dobimo naslednje možnosti za oblikovanje teksture površine: fraktalna struktura, hrapavost, transparentnost, lastnosti materiala (odsevnost, odbojnost, lesk lomljenja svetlobe) in vzorec (oblika, ponavljanje in smer vzorca).

S povečevanjem stopnje podrobnosti in s tem detajlov se pri tej stopnji kartografskega oblikovanja lahko zelo približa realni obliki. To se stori s spremenljivkami: z obliko, hrapavostjo površine, značilnostmi materiala in vzorcem površine. Uporabi se lahko tudi teksturno in znakovno knjižnico programske opreme. Velik učinek na videz realnosti imajo tudi realistični znaki za naravne elemente (rastline, voda).

4.3.1.2.2 Napisi na karti

Napisi na karti pojasnjujejo in dopolnjujejo kartografske objekte tako pri znakovnih kot pri fotorealističnih kartografskih upodobitvah. Tukaj pride do izraza predstavitev informacij v različnih oblikah, da lahko v primeru neuspešnega prenosa grafičnih informacij prenos storijo napisi. Z njimi se navaja tudi semantične attribute kartografskih objektov: npr. njihova imena, numerične oznake in statistične vrednosti. Napise se lahko vgradi kot stalen prikaz ali pa kot prikaz, ki se pojavi ob zahtevi (s klikom ali pa postavitvi kazalnika na objekt).

Oblikovne spremenljivke napisov so:

- vrsta, velikost in barva pisave,
- debelina, lega in širina črk ter razmik med znaki,
- način zapisa (male in velike črke),

- posebni učinki (okrepljena, senčena, podčrtana idr. pisava),
- spreminjanje pisave (sprememba velikosti, barve in položaja, rotacija),
- tehnika označevanja (billboard, mouse rollover in infobox).

4.3.1.3 Upodobitev

Upodobitev se navadno izvede na dvorazsežnem elektronskem zaslonu (lahko tudi na papirju). Samo oblikovanje 3D-modela podatkov za namene vizualne upodobitve lahko razdelimo na šest faz v naslednjem zaporedju (Petrovič, 2007):

- redukcija geometrije,
- nanos materialov,
- določitev pogledov,
- osvetlitev in osenčenje,
- animacija objektov ter
- renderiranje.

4.3.1.3.1 Nanos materialov

Na kartografski model lahko nanašamo rastrske in vektorske podatke. Nanos materialov narekuje razliko med fotorealističnimi in znakovnimi upodobitvami. Na model reliefa se doda vsebino za predstavitev višinske komponente, npr. poltonsko senčenje in hipsometrična metoda barvnih slojev. Na model reliefa se lahko pripne rastrske podatke: satelitske in letalske posnetke, rastre tlorisnih kart. Sledi nanos prekritja modela reliefa z vektorsko podatkovno strukturo, kjer se lahko posamezne objekte in pojave prikaže z različno stopnjo podrobnosti v odvisnosti od lokalnega merila.

4.3.1.3.2 Določitev pogledov

S postavitvijo pogledov se določa opazovanje kartografskega modela. V veliki meri je to odvisno od postavitve kamere (Häberling, 2003, cit. po Domanjko, 2008):

- Notranja geometrija kamere: Vključuje temeljne nastavitve kamere, kot sta vidno polje (field of view) in povečavo (zoom). Vidno polje je določeno z goriščno razdaljo

kamere, torej z razdaljo med lečo kamere in upodobitveno ploskvijo. Večje kot je vidno polje, več modela lahko zajamemo s kamero. Povečava pa služi za povečanje oziroma pomanjšanje projicirane upodobitve na projekcijski ravnini.

- Zunanja geometrija kamere: Pri zunanji geometriji kamere nastavi avtor karte tiste vrednosti, s katerimi je kamera položajno določena in usmerjena na del modela, ki nas zanima. Pri tem moramo vedeti, da so nekatere spremenljivke zunanje geometrije medsebojno odvisne. Spremenljivke zunanje geometrije so: horizontalni položaj kamere, višina kamere, položaj ciljne točke, horizontalna usmeritev pogleda, opazovana razdalja, naklonski kot (kot med smerjo pogleda in horizontalno ravnino) ter rotacija in gibanje kamere pri dinamičnih predstavitev.

4.3.1.3.3 Osvetlitev in senčenje

Svetloba je zelo pomemben dejavnik pri izvedbi upodobitve. Obnašati se mora po naravnih zakonih, vendar se vedno lahko doseže le približek dejanskemu obnašanju svetlobe (izvorov in odsevov je v realnem svetu nešteto). Z osvetlitvijo in sencami se lahko doseže prostorsko zaznavanje. Sodobni programi imajo algoritme osvetlitve in senčenja že vgrajene. V postopku upodobitve se s pomočjo posameznih nastavitev luči (vrsta in intenziteta svetlobe luči, položaj in geometrija luči, barva svetlobe) skuša čim bolj približati obnašanju svetlobe v naravi.

Tudi senčenje omogoča prostorsko zaznavanje in deluje v soodvisnosti od osvetlitve. Usmerjena osvetlitev povzroči nastanek senc v nasprotni smeri od izvora osvetlitve. Oblika objekta in različni dejavniki osvetlitve narekujejo geometrijo sence. Osvetlitve se prilagaja glede na različne reliefe oz. modele in s tem povečamo prepoznavnost objektov in izboljšamo zaznavanje.

ATMOSFERSKI UČINKI IN NARAVNI POJAVI

Pri izdelavi čim bolj realističnih kartografskih upodobitev se uporabljajo atmosferski učinki in naravni pojavi. Oboji uporabniku povzročajo asociativnost na pojave v naravi, kot jih običajno zaznava (Haeberling, 2005, cit. po Domajnko, 2008):

- **Struktura neba in oblačnost:** V perspektivni predstavitvi je zaradi kota opazovanja in omejenosti modela pogosto vidna horizontalna linija modela, nad katero se nahaja del slike, ki ga zaznamo kot nebo. Ta del slike lahko zapolnimo s prikazom neba in oblakov. S tem dobimo upodobitev, ki je zelo podobna vsakodnevni zaznavi okolja.
- **Meglica:** Vodne kapljice s posameznimi delci v zraku povzročijo v naravi motnost pogleda, ki jo vidi opazovalec v daljavi. Gre za oslabitev pogleda, ki je odvisna od razdalje do opazovanega objekta. Z integracijo meglice poudarjamo globino prostora, določene izseke modela karakteristično ločimo od aglomeracije, s spremembo barve meglice ustvarimo smog, lahko pa tudi vizualno zabrišemo ozadje.
- **Megla:** Megla lahko še bolj kot meglica zmanjša tako horizontalni kot tudi vertikalni pogled. V naravi je bolj lokalnega pomena in bolj pri tleh. Kljub temu da ne težimo k foto realizmu, lahko megla poudari značilnosti gorovij ali rečnih dolin. Paziti moramo tudi na to, da megla ne prekrije določenih kartografskih objektov.
- **Odsevnost:** Odsevnost je odvisna od značilnosti materiala površine objektov in od razmer osvetlitve. Lahko je direktna (zrcaljenje) ali difuzna (matirana). Predvsem pri vodnih objektih lahko odsevnost pripomore k prepoznavnosti kartografskega objekta.
- **Nebesna telesa:** Pri 3D-kartah, kjer je vidna struktura neba, je možno predstaviti nebesna telesa. Sonce, Luna in zvezde so lahko samostojni objekti z določenimi značilnostmi (svetloba, pozicija, vrsta svetlobe, sevanje) ali pa so integrirani v sliko ozadja.
- **Letni čas:** V določenih primerih uporabe 3D-kart je koristna tudi upodobitev letnega časa. Predvsem za karte manjših območij (za šport, turizem, nacionalne parke in podobno), pri katerih se infrastruktura in storitve nudijo tako poleti kot tudi pozimi, je sezonski grafičen prikaz vsebine karte zelo učinkovit in koristen.

Haeberling (2005) zaključí, da:

- se nevtrálno obarvano ozadje modela brez strukture dobro prilega perspektivnemu pogledu 3D kartografskega modela pokrajine;
- je tudi brez efekta meglice 3D karta prepoznana kot perspektivna;
- dodajanje rahle meglice izboljša percepcijo globine v perspektivnem pogledu.

4.3.1.3.4 Animacija objektov

Ker se v realnem prostoru dejansko odvijajo spremembe, se je v kartografiji pojavila potreba po animaciji. Animacija je vrsta dinamične upodobitve karte, lahko je tudi interaktivna. Animacijo se lahko definira kot ustvarjanje navideznega gibanja ali spremembe s hitrim prikazovanjem serije posameznih sličic. To gibanje razumemo tudi kot spremembo zornega kota opazovalca, medtem ko se opazovana podoba ne premika.

Izvedbo in prednosti kartografske animacije je leta 1959 prvi opisal Norman Thrower, ki je njen potencial spremljal skozi gibanje na filmskem posnetku. Kmalu zatem je bil v izdelavo posameznih posnetkov vključen računalnik, vendar je bilo primerov animacij zaradi navezanosti na tiskane prikaze zelo malo. Izjeme so bili primeri rasti urbanega območja, prometnih nesreč in rasti prebivalstva (Peterson, 1994, cit. po Langus, 2011).

Kartografska animacija je opis spremembe elementov prostorskih podatkov: lokacije, lastnosti in časa. Animacija naj bi prikazala medsebojne povezave med temi tremi elementi (Langus, 2011). Animacije ne govorijo samo zgodbe ali razlagajo določenega procesa, temveč tudi razkrivajo vzorce, medsebojno povezanost ali trende, ki pri predstavitvi brez animacije mogoče ne bi bili razvidni (Kraak, 2007, cit. po Langus, 2011). Animacijske spremenljivke pomagajo razlagati potencialno aplikacijo animacije v kartografiji. Vključujejo grafična upravljaljska orodja, lahko tudi zvok.

Grafične spremenljivke animacije vključujejo:

- velikost: območje na karti se lahko spreminja in s tem lažje prikaže spremembe vrednosti za določen pojav,
- obliko,

- pozicijo (lego): kazalec se premika po karti in s tem prikaže spremembo v lokaciji (npr. prebivalstveno težišče in njegovo spreminjanje),
- hitrost: hitrost gibanja se spreminja in poudari določene spremembe v pojavu,
- zorni kot: sprememba le-tega pomeni pogled z drugega konca,
- razdaljo: interpretiramo kot spremembo merila,
- sliko samo: uporaba efektov izginjanja, mešanja in brisanja nakazuje prehod med animacijskimi objekti,
- teksturo, vzorec, senčenje, barvo – grafične spremenljivke, ki nakazujejo spremembo predvsem pri 3D objektih (Peterson, 1994, cit. po Langus, 2011).

4.3.1.3.5 Renderiranje

Na področju računalniške grafike se v angleščini uporablja beseda 'rendering', ki se v slovenščino prevede lahko kot izrisovanje. Vendar pa je beseda izrisovanje preveč omejena, zato se je v splošnem uveljavil termin renderiranje.

Po Wikipediji (2012) je renderiranje definirano kot:

»Renderiranje je postopek ustvarjanja slike iz modela (ali modelov, kar se lahko skupaj označi kot datoteka prizora) s pomočjo računalniških programov. Datoteka prizora vsebuje predmete v strogo določeni jezikovni oz. podatkovni strukturi, ki vsebuje informacije o geometriji, vidikih, teksturi, osvetlitvi in senčenju kot opis navideznega prizora. Podatki, ki so v datoteki prizora, se nato prenesejo v program, kjer se obdelajo; izhodni izdelek je digitalna podoba ali rastrska datoteka grafične narave. Izraz "renderiranje" je lahko po analogiji umetnosti 'izrisovanje prizora'. Čeprav se tehnične podrobnosti metod renderiranja razlikujejo, so splošne naloge premagovanja izzivov za izdelavo 2D podobe iz 3D modela, shranjenega v datoteki prizora, predstavljene kot grafični cevovod vzdolž naprave renderiranja, kot je npr. grafični procesor.«

Renderiranje je lahko tudi upodabljanje trirazsežnega modela. Prevede se ga lahko kot senčenje, čeprav je to seveda veliko več kot samo senčenje. Renderiranje poskrbi, da se vsak model (ali pa animacija) po tem, ko je ustvarjen, nekam izriše, na neko 2D podlago. Večja je slika, več je podrobnosti, zato renderiranje traja dlje časa. Lahko potrebuje od nekaj sekund

do več ur oziroma dni. Je tudi odvisen od moči računalnika, na katerem se renderiranje izvaja. Gre torej za zelo zahtevne in zapletene algoritme, v katerih se mora upoštevati tako fizikalne lastnosti svetlobe in materialov, kot tudi vida, in vse to prek precej zahtevnih matematičnih postopkov prevedenih v programski jezik.

Kartografske upodobitve so lahko renderirane na dva osnovna načina: fotorealistično in nefotorealistično oz. abstraktno – znakovno. Mejo med njima je težko določiti.

5 UČINKOVITOST ZAZNAVANJA FOTOREALISTIČNIH KARTOGRAFskih UPODOBITEV

Fotorealizem je eden izmed glavnih gonilnih sil na področju računalniške grafike, odkar se je leta 1960 prvič pojavil. Grafični realizem ni privlačen samo pri računalniški skupnosti. Pomembne izboljšave računalniške tehnologije so povzročile množično porazdelitev prostorskih podatkov k laičnim uporabnikom s pomočjo interaktivnih navideznih globusov kot npr. Google Zemlja, NASA World Wind ali Nokia maps, ki simulirajo resničnost z visoko verodostojnostjo. Fotorealistični prikazi so pogosto hvaljeni zaradi razumljivosti, ker skoraj ne potrebujejo nobenega napora ali znanja in omogočajo olajšano uporabo pri laičnih uporabnikih. Vprašanje o tem, kaj je bolj primerno za kartografske upodobitve, realizem ali abstrakcija, je še kako aktualno. Klasična kartografija ima dolgo in obsežno tradicijo prikazovanja prostorskih podatkov preko znakovnih upodobitev. Pred razvojem tehnologije, ki omogoča fotorealistične prikaze, seveda ni bilo mogoče izdelati kakovostnih in prepričljivih fotorealističnih kartografskih upodobitev. Znakovne kartografske upodobitve imajo dolgo zgodovino, v prid pa jim govori tudi dejstvo, da sta abstrakcija in semiotika zelo podrobno raziskani. Fotorealistični kartografski prikazi pa so relativno novi in zato zaenkrat tudi manj obdelani. Vendar pa tako kot pri vseh ostalih pogledih na stvari, moramo tudi fotorealistične kartografske upodobitve obravnavati z različnih vidikov in pri tem upoštevati celoten kontekst.

V nadaljevanju sledi opis uporabnosti fotorealističnih kartografskih upodobitev in primerjava z znakovnimi glede na učinkovitost zaznavanja ter področje uporabe.

5.1 Vrednotenje realizma

Stopnje realizma se med seboj razlikujejo. Pojavi se vprašanje, kako realistična je lahko določena podoba in če je realizem sploh mogoče ovrednotiti. Odgovori na ta vprašanja so še vedno nejasni na področju računalniške grafike (Plesa in Cartwright, 2008).

Ferwerda (2003) na področju računalniške grafike poda tri različne vrste realizma:

- fizični realizem: ta podaja enake vizualne stimulacije, kakor jih podaja originalni prizor;

- fotorealizem: ta podaja enak vizualni odziv, kot se podaja pri originalnemu prizoru;
- funkcionalni realizem: podaja enake vizualne informacije, kot so pridobljene iz originalnega prizora.

Fizični realizem in fotorealizem potrebujeta ogromne količine podatkov, da lahko dosežeta želene rezultate, izgradnji pa sta dragi in časovno potratni, čeprav se tudi v tem smislu stvari postopoma izboljšujejo. Velike datoteke še vedno upočasnjujejo interaktivne aplikacije. Poleg pravilnega in podrobnega vizualnega videza mora biti zagotovljeno, da so informacije predstavljene v funkcionalnem kontekstu.

Ferwerda (2003) termin funkcionalni realizem uporablja za opis digitalnih podob, ki omogočajo koristno znanje o lastnostih objekta, ki zagotavljajo zanesljive vizualne presoje uporabnikov. Funkcionalno je zato, ker je ista informacija posredovana vsem uporabnikom. Za razliko od fotorealizma in fizičnega realizma, kjer so prikazane informacije med seboj različne glede na osebno razumevanje posameznika. Vendar pa to ne pomeni, da se funkcionalni realizem popolnoma loči od resničnosti. Vizualno se ne zdi, da je podoba resnična, resnična je funkcionalno, ker dovoljuje uporabnikom, da izvajajo naloge v resničnem svetu.

5.2 Fotorealizem

Ko se omenja fotorealizem računalniške grafike, se pogosto nanaša na to, da se želi ustvariti podobo, ki je ni mogoče ločevati od fotografije nekega prizora. Ta cilj je visok, vendar se tu pojavi vprašanje, kaj je realizem. Fotografije same po sebi ne odgovarjajo na vprašanje, zakaj so realistične (Ferwerda, 2003).

Vsaka podoba, ki je fotometrično realistična, je fotorealistična podoba (Ferwerda, 2003). Fotometrija je mera za odziv očesa na svetlobno energijo, kar pomeni, da mora podoba pridelati enak vidni odziv kakor prizor, čeprav se lahko podoba razlikuje od prizora v naravi.

V okviru tega kriterija je možno izkoriščanje omejitev vidnega zaznavanja tako, da se naloga izdelave realističnih podob lahko poenostavi.

Velik problem realističnih podob je proizvodnja tonov. Obstoječi zasloni pogosto ne morejo proizvesti obsežnih razponov svetlobne energije, ki je prisotna v različnih prizorih. Z razvojem modelov, kako se vizualni sistem prilagaja na te razpone, so raziskovalci oblikovali algoritme, ki proizvedejo videz teh prizorov znotraj omejitev zaslonov. S primernim umerjanjem zaslonov lahko opazovalec vidi, kakor da bi bil znotraj prizora. Z oceno teh vizualnih modelov se lahko podobe uporabi za kvantitativno vizualno analizo na širokem področju oblikovanja in inženirskih aplikacij.

Problem, ki se je okoristil z vizualno zasnovano definicijo fotorealizma, je tudi povečanje zmogljivosti in učinkovitosti sinteznega obdelovanja podob. Standardni fizično zasnovani algoritmi renderiranja so neuspešni, ker potrebujejo veliko časa za preračunavanje lastnosti ali elementov, ki niti niso vidni. Pri interaktivnih aplikacijah se zato zmanjša uporabnost teh algoritmov, ker traja preveč časa, da se renderira posamezna podoba. Razviti so bili novi algoritmi, ki preračunavajo elemente dovolj podrobno, da so razlikujejo od fizično pravih rešitev (Ferwerda, 2003). Na račun povečanja zmogljivosti se zmanjšanja kakovost podobe.

Na koncu pa ostajata še dva glavna problema: ni jasno, ali je fotorealizem potreben oz. sploh zaželen pri različnih grafičnih aplikacijah. Sprejemanje fotorealizma kot standarda za vizualni realizem na področju računalniške grafike klasificira večino renderiranj kot neuspeh. Pri tem pa ne poda nobenih informacij o njegovi uporabnosti v domenah mnogih aplikacij (Ferwerda, 2003).

5.3 Fotorealistične kartografske upodobitve

Fotorealistične upodobitve so s pomočjo računalniške grafike prisotne na področju animacije, filmske industrije in industrije računalniških iger. Izvajajo se preko ustrezne programske in strojne opreme. Fotorealistične kartografske upodobitve so vse upodobitve geografske realnosti, ki so čim bolj podobne fotografijam, kjer sta kakovost in podobnost vezana na računalniško tehnologijo in podatke, ki so na voljo, vsebovani pa so tudi podatki o položaju.

Pri fotorealističnih kartografskih upodobitvah so zelo pomembni renderiranje in visoko kakovostni podatki o teksturah in geometriji objektov (Domajnko, 2008), da so upodobitve

čim bolj prepričljive, torej fotorealistične, ker se le tako lahko doseže namen fotorealističnih upodobitev v kartografiji. Slab fotorealizem ne bo niti privlačen niti učinkovit. Kakovosten fotorealističen prikaz vsebuje fine geometrične in grafične podrobnosti, ki skušajo posnemati realen svet.

Del besede fotorealizma namiguje na prikaz tretje razsežnosti, ki je prisotna v realnem svetu, zato je fotorealizem v kartografiji velikokrat povezan s prikazovanjem trirazsežnih prostorskih upodobitev. Velik del o zaznavanju fotorealističnih kartografskih upodobitve tako obravnava trirazsežne kartografske upodobitve.

5.3.1 Kje se fotorealistične upodobitve v kartografiji uporabljajo

Za fotorealistične kartografske upodobitve je značilno, da niso primerne za prikaze manjših meril, ker so elementi na upodobitvi tako majhni, da jih ne moremo interpretirati ali pa jih z očesom sploh ne moremo razločevati. Informativna vrednost fotorealističnih upodobitev je omejena le na najbližji del prikaza, na prikaz v velikem merilu. Če so objekti bolj oddaljeni in je tako merilo prikaza manjše, visoko realistične upodobitve zaradi nasičenosti prikaza padejo na raven panoramske fotografije (Petrovič, 2007).

Fotorealistične kartografske upodobitve so aktualne pri navideznih globusih in atlasih, navideznih turističnih informacijskih sistemih (3D modelih mest oz. urbanih področij), avtomobilskih navigacijskih sistemih, simulacijah in nazornih predstavitev strokovnih analiz kot npr. trirazsežnostnih modelih obstoječih arheoloških območij in na mnogih drugih področjih.

Največji gonilni dejavnik, ki žene razvoj fotorealističnih kartografskih upodobitev, je pravzaprav posledica glavne spremembe, ki se je začela razvijati v prejšnjem desetletju s širjenjem pametnih mobilnih telefonov (slika 7 in 8) in je opredeljena z besedami “vseprisotno računalništvo”, “storitev vezana na prostor” in “izboljšana resničnost” (Brenner, Haala in Fritsch, 2001). Ker je na pogled atraktivna, je na nek način postala tudi del marketinških potez proizvajalcev mobilnih telefonov in ostalih mobilnih naprav. Kljub vsemu

pa mora biti izbira za fotorealistične kartografske upodobitve s stališča kartografije vedno utemeljena.



Slika 6: 3D prikaz Sydneya na mobilni napravi (2012)



Slika 7: Google-ova navigacija na mobilnih telefonih (2012)

5.3.2 Prednosti fotorealističnih kartografskih upodobitev

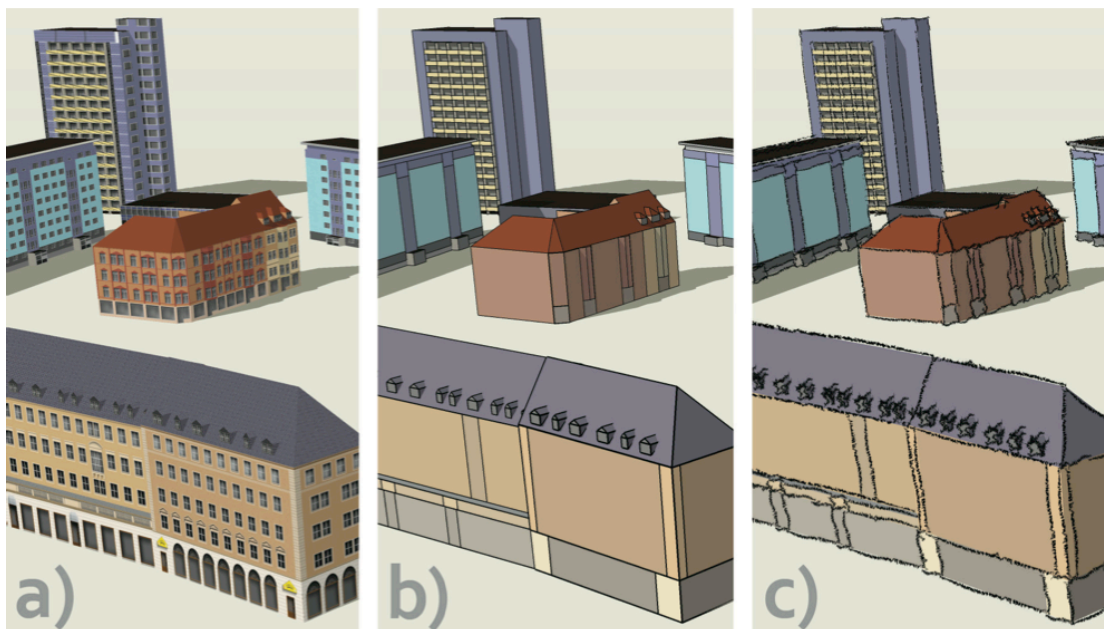
Velika večina ljudi bi med fotorealistično in znakovno kartografsko upodobitvijo istega geografskega območja izbrala prvo. Razlogov je več: večina ljudi ni kartografskih strokovnjakov, kar pomeni, da ni nujno, da imajo predznanje za razumevanje abstraktnih kartografskih znakov oz. da so v preteklosti pogosto uporabljali karte. Ne zanašajo se na asociacije, ki so potrebne za izgradnjo mentalne slike v glavi. Večja verjetnost je, da se lažje povežejo s fotografsko upodobitvijo, s katero nastanejo asociacije z vsakdanjimi opazovanji prostora in tudi fotografij. Upoštevati se mora tudi tehnološko razliko izdelave takšnih modelov in zaslonov, na katerih jih opazujemo danes in pred npr. desetimi leti. Moderna tehnologija omogoča, da so fotorealistični prikazi res ostri in podrobni. Poleg tega pa je običajno pri fotorealističnih upodobitvah vključena tudi trirazsežnost in dinamičnost, ki domnevno dodatno pripomore k lažjemu in hitrejšemu dojetju, saj svet okoli nas dejansko opazujemo kot dinamičnega in trirazsežnostnega.

Glavna prednost fotorealističnih kartografskih upodobitev je torej povezovanje teh upodobitev z realnim prostorom oz. asociativnost na realnost.

Fotorealizem naj bi bil boljše izbira pri naivni kartografiji. Naivna kartografija se nanaša na intuicije zdravega razuma o najboljših načinih ponazoritve geografske realnosti. Te intuicije vplivajo na obnašanje in razumevanje pri uporabi kartografskih upodobitev.

Zanola et al. (2009) so proučevali učinke realizma na zaupanje v kakovost prostorskih podatkov pri stereoskopskih 3D zaslonih. Na empiričen način so skušali oceniti, kako 3D stereoskopsko opazovanje velikih statičnih zaslonov z različnimi stopnjami realizma vpliva na prepričanje uporabnikov o verodostojnosti prostorskih podatkov. Zanimalo jih je, ali začetniški uporabniki sklepajo o višji kakovosti podatkov z opazovanjem iz bolj realističnih zaslonov v primerjavi z manj realističnimi. Empirično so preučili hipoteze: bolj fotorealističen kot je 3D pogled, večje je zaupanje začetniških uporabnikov v verodostojnost prikazanih podatkov.

Uporabili so naslednje upodobitve:



Slika 8: 3 stopnje upodobitve (Zanola et al., 2009)

Rezultati so potrdili, da je zaupanje začetniških uporabnikov najvišje pri fotorealističnih upodobitvah, sledijo upodobitve podobne CAD prikazom in nazadnje upodobitve s stilom skicirnih linij. S prehodi iz fotorealističnih upodobitev se predlaga, da se ti prehodi lahko uporabijo kot spremenljivka v primerih, ki vključujejo komunikacijo različnih kakovosti podatkov.

5.3.3 Slabosti fotorealističnih kartografskih upodobitev

Glavni problem fotorealističnih upodobitev je naslednji: vsi objekti na upodobitvi povzročajo enako stopnjo pozornosti. Poleg tega je renderiranje v visoki meri odvisno od geometričnih in grafičnih podrobnosti; brez njih rezultati niso prepričljivi. Ta pomanjkljivost pride še posebej do izraza pri 3D modelih mest, kjer se pričakuje na primer, da so fasade predstavljene z visoko ločljivostjo in drevesa s prepričljivimi krošnjami. Pomanjkanje zadostne stopnje podrobnosti in detajlov je pogosto frustrirajoče. Rezultati niso prepričljivi niti s stališča zaznavanja niti s stališča opazovalca.

Računalniška grafika, ki je fotorealistična, ne zagotavlja optimalne rešitve za živahno, izrazno in razumljivo ponazoritev geoinformacij. Ne omogoča optimalnih sredstev za vizualno abstrakcijo in za ponazoritev abstraktnih in kompleksnih informacij. Tako fotorealistične upodobitve pogosto niso niti kognitivno primerne niti primerne z ozirom na naloge, ki jih morajo podpirati interaktivne aplikacije in sistemi (Döllner, Buchholz, 2005).

Fotorealizem ni primeren tudi zaradi tega, ker ne olajšuje integracijo dodatnih nerealističnih informacij. Za primer se navede 3D model mesta, kjer so teksture fasad, streh in uličnih elementov ogromni slikovni elementi, zato jih je težko 'izboljšati' s tematskimi informacijami. Če so na obravnavanem območju prisotni tudi elementi nejasnih informacij, te nejasnosti ne moremo prikazati tako, kot jih lahko s stilom skicirnih linij pri znakovnih upodobitvah. Problem prikaza informacij se pojavi tudi pri omejenih, majhnih zaslonih, kot jih imajo npr. mobilni telefoni.

Mnoge aplikacije ne potrebujejo fotorealizma. Čemu služi fotografija, ko je človek fizično prisoten znotraj prizora in lahko informacije vidi že sam? Tu pride do izraza drugačna podoba, katera podpira zavedanje o lokaciji in omogoča uspešno navigacijo.

Zelo razširjeni so 3D modeli mest, ki se uporabljajo kot navigacijski sistemi ali kot turistične aplikacije. Lahko pa so zgrajeni tudi kot osnova simulacijam in strokovnim študijam. Döllner in Buchholz (2005) izpostavita nekaj omejitev pri 3D modelih mest:

- Za izdelavo prepričljivih fotorealističnih prikazov mora biti obdelana ogromna količina kakovostnih podatkov, kot npr. teksture fasad in visoko ločljiva letalska fotografija. Večji kot je 3D model mesta, višja je cena za zajem podatkov. V večini primerov zajeti podatki ne bodo na razpolago za celoten model. Posledično se prikazi srečujejo s kršitvami grafičnega oblikovanja.
- Za integracijo tematskih informacij pri fotorealističnih upodobitvah morajo biti informacije vidno vklopljene v 3D model mesta, kar je načeloma težavno zaradi tega, ker so teksture fasad, streh in cestnih sistemov na upodobitvi prevladujoče.
- Za ponazoritev kompleksnih informacij fotorealistične podrobnosti s povečevanjem informacijskih plasti vse bolj motijo.

- Za izražanje objektov modelov mest v različnih stanjih, tj. obstoječih, odstranjenih in planiranih, fotorealizem ne ponudi široke palete možnosti grafičnih stilov, ki bi lahko komunicirali v smislu takšnih variacij, kot jih nudijo skice ali orisane risbe.
- Za ustvarjanje zgoščenih podob za zaslone z minimalnimi prostorskimi zmogljivostmi, kot so npr. zaslone mobilnih telefonov, je fotorealizem pogosto neuspešen zaradi vidne zapletenosti, ki jo vsebujejo fotorealistične upodobitve. Za primer se vzame digitalna fotografija pomanjšanega merila, ki ima znatno manjšo informacijsko raven v primerjavi s pomanjšano različico ročno narisane skice enakega prizora.

6 UČINKOVITOST ZAZNAVANJA ZNAKOVNIH KARTOGRAFSKIH UPODOBITEV

6.1 Kartografski znaki

Domneva se, da so ene izmed prvih ohranjenih kart jamske poslikave. Uporaba medijev, na katerih so bile karte, je bila skozi čas zelo raznolika: glinene tablice, kosti, lesene plošče, papirus, pergament, papir ter drugi nosilci kart, ki se skozi čas niso ohranili, a so bili mnogo bolj enostavnejši za izdelavo kart. Danes so zelo razširjeni tudi elektronski zasloni vseh vrst. Vsaka kultura je tako kakor svoj jezik imela tudi svoje kartografsko izražanje. Te karte pa imajo eno skupno značilnost: znake. Znak je lahko beseda, slika, kretnja, vonj, okus, tekstura, zvok, v bistvu vse, kar lahko smatramo za način prenosa informacijskega sporočila, ki ga zavestni in čuteč um posreduje drugemu.

Kartografski znaki so dogovorjeni znaki, ki predstavljajo objekte in pojave. Prilagojeni so merilu in namenu karte ter pojasnjeni v njeni legendi. Z njimi se lahko prikazuje pojave, ki se jih v naravi dejansko ne zaznava, dinamiko pojavov in označuje kvalitativne in kvantitativne lastnosti prikazanih elementov. Z njimi lahko npr. prikazujemo tudi višino. Za pravilno razumevanje je kartografske znake potrebno obrazložiti (v legendi ali na kakšen drug način).

Pri kartografskih upodobitvah se uporablja kartografske znake, ki so na nek način grafični jezik. Ker so kartografske upodobitve predstavitve sveta, se lahko grafični jezik priredi tako, da bo najbolje ustrezal čim širši množici uporabnikov. Tukaj do neke stopnje nastopi manipuliranje s kartografskimi znaki preko znanja o delovanju človeških oči in možganov; usmerja se lahko pozornost, vpliva se lahko na hitrost dojetanja kartografskih upodobitev, združevanje in selekcijo. Kartografski znaki torej omogočajo tudi nadzor.

Kartografski znaki se na kartografskih upodobitvah razporedijo tako, da odgovarjajo razporeditvi objektov in pojavov v naravi, pri čemer se lahko zaradi načina kartografskega prikaza in generalizacije zgodijo odstopanja, relativni odnosi oz. medsebojna razmerja pa morajo biti ohranjena. S tem imajo kartografski znaki na kartografski upodobitvi točno

določeno pozicijo. Navadno položaj določa središče znaka, lahko pa jo določa tudi kakšna druga točka v znaku.

Kartografski znaki so sestavljeni iz osnovnih grafičnih elementov: točk, črt in ploskev. Zato se loči med tremi osnovnimi tipi: točkovnimi, linijskimi in površinskimi kartografskimi znaki. V nadaljevanju so predstavljene njihove lastnosti in nadaljnja členitev.

6.1.1 Točkovni kartografski znaki

Točkovne kartografske znake se uporablja za upodobitev posameznih objektov in pojavov, ki imajo nedvoumno določen položaj. Položaj, njihova velikost in oblika na kartografski upodobitvi načeloma nista vezana na dejansko velikost in obliko v naravi (če bi bili prikazani v merilu, bi bili premajhni). Poleg položaja podajajo še informacijo o vrsti objekta in o kvantiteti.

Točkovne kartografske znake delimo na nazorne, geometrične in alfa numerične.

6.1.1.1 Nazorni točkovni znaki

Pri oblikovanju nazornih točkovnih znakov obstaja velika stopnja generalizacije, abstrakcije in shematizacije, pri tem pa je prisotna tudi omejitev glede števila slikovnih pik oz. vektorjev. Nazorni znak naj bi zajel glavne značilnosti objektov ali pojavov, s katerimi se v zavesti oblikuje model predmeta oz. pojava.

Za njih je tipično, da nazorni znak sploh ni nujno podoben objektu ali pojavu, ampak se razumevanje gradi na osnovi asociacij, ki jih znak ob pogledu nanj sproži. Tako nazorni znak lokomotive ne predstavlja dejanske lokomotive, ampak železniško postajo. Za hitro in lažjo zaznavanje znaka mora biti izbira asociacije preiščljena.

6.1.1.2 Geometrični točkovni znaki

Geometrični točkovni znaki so sestavljeni iz osnovnih geometričnih likov (krog, trikotnik, kvadrat itd.). Na različnih kartah imajo enaki znaki različen pomen, predmetom ali pojavom niso podobni in ne delujejo na osnovi asociativnosti, zato je njihov pomen potrebno obrazložiti v legendi. Njihova prednost je, da so enostavni za oblikovanje in da na karti zasedejo relativno malo prostora. Uspešno se jih lahko oblikuje s pomočjo pravilno izbranih grafičnih spremenljivk.

6.1.1.3 Alfa numerični točkovni znaki

Alfa numerični točkovni znaki se uporabljajo za prikaz pojava ali objekta s črko ali številko, ki je okrajšava ali prva črka imena objekta/pojava. Dobra lastnost je, da na kartografski upodobitvi ne zavzamejo veliko prostora in so enostavne oblike. Alfa numeričen točkovni znak lahko deluje na asociativnosti ali podobnosti (P na kartografski upodobitvi predstavlja označuje parkirišče in konkretni znak za parkirišče). Za nepoznano ali nenavadno označbo je potrebna obrazložitev v legendi.

6.1.2 Linijski kartografski znaki

Linijske kartografske znake se uporablja za objekte/pojave, ki imajo tudi v naravi linijsko sestavo. To so npr. ceste, reke, železnice, razne meje, za katere se uporabi grafični element črta, na katere se nanašajo grafične spremenljivke, s katerimi se obvladuje pomen in količina. Dolžine linij so navadno v skladu z dejanskimi dolžinami, širina pa skoraj vedno pogojna, saj bi bila v primeru prikaza v merilu pretanka in nezaznavna. Širino prilagodimo, povečamo relativno na ostale objekte/pojave na kartografski upodobitvi.

6.1.3 Površinski kartografski znaki

S površinskimi kartografskimi znaki se prikazujejo objekti/pojavi, ki v naravi zavzemajo večje površine. Na račun velikosti površine se jih lahko na kartografski upodobitvi prikaže v merilu. Meje teh objektov so lahko ostre ali zamegljene.

6.2 Oblikovanje kartografskih znakov in kartografskih upodobitev na osnovi zaznavanja

6.2.1 Znak kot stvar zaznavanja

Zaznavanje vsakega kartografskega znaka je večstopenjski proces, ki je v osnovi razdeljen na dva dela: prepoznavanje znaka in dodeljevanje pomena. Znani in neznani znaki so prepoznani na različne načine. Če je uporabniku predstavljen nepoznan znak, identifikacija znaka sproži zaporedje različnih procesov kategorizacije. Najprej se določi mesta variacij intenzitete svetlobe. Sledi tvorjenje enostavnih elementov, linij, robov in stičišč. Te se nato združujejo v grafične elemente; tvorijo se tudi grafični zanki. Znatno hitreje poteka prepoznavanje znanih znakov. Če se uporabniku zazdi, da mu je znak znan, ustvari hipotezo o tem, kakšen znak vidi, na osnovi predhodno ustvarjenih modelov, kjer se naredi primerjava in potrditev (Vasilev, 2006). Čeprav je proces zapleten, se identifikacija znaka stori že na podzavestni ravni. Glavni del, razumevanje znaka, pa se opravi na zavestni ravni.

6.2.2 Grafične spremenljivke

Ker je bil Bertin prvi, ki je vpeljal termin grafičnih spremenljivk, in prvi, ki je raziskoval kartografske znake na stopnji vizualnih spremenljivk, se v nadaljevanju najprej opiše njegova tipologija, potem pa sledijo še nedavne spremembe in podaljški (ker je Bertin obravnaval le statične dvorazsežnostne karte). Gledano iz kognitivnega vidika, pravila Bertinovih grafičnih spremenljivk ustrezajo potrebni kartografski shemi, ki jo uporablja uporabnik kartografskih prikazov.

V kartografiji nas zanimajo naslednje lastnosti spremenljivk (Verbič, 2006):

- kvantitativnost (proporcionalnost),
- urejevalnost,
- kvalitativnost,
- selektivnost (razlikovalnost),
- razdruževalnost ali ločilnost (spremenljiva vidnost) in
- asociativnost.

Na osnovi grafičnih spremenljivk in njihovih lastnosti se lahko uspešno in optimalno oblikujejo kartografski znaki.

Šest osnovnih grafičnih spremenljivk (slika 9) (Bertin, 1972, cit. po Rojc, 1986):

- velikost,
- vrednost barve,
- barvni odtenek,
- orientacija,
- oblika in
- vzorec.

Sedma vizualna spremenljivka je položaj v ravnini.

point	line	area		associative	selective	ordered	quantitative
			size		☺	☺	☺
			value		☺	☺	
			texture		☺	☺	
			colour	☺	☺		
			orientation	☺			
			shape	☺			

Slika 9: 6 osnovnih grafičnih spremenljivk pri točkovnih, linijskih in površinskih kartografskih znakih (2002)

Za vsako spremenljivko je Bertin predlagal pravila za primerno uporabo. Njegov prispevek h kartografiji je imel velik vpliv na mnoge kartografe, nekateri so njegova dognanja privzeli za dejstva, čeprav z njegove strani ni bilo opravljenih nobenih empiričnih raziskav.

Bertin razloči med selektivnostjo, asociativnostjo, urejenostjo in kvantitativnostjo vizualnih spremenljivk. Vizualna spremenljivka (npr. odtenek barve) je selektivna in s tem osnovna za simbolizacijo podatkov, če so lahko vsi znaki z lahkoto izolirani (izbrani) in če lahko tvorijo skupino podobnih znakov, ki temeljijo na izbrani spremenljivki. Oblika in orientacija nista selektivna.

Spremenljivka je asociativna, če dovoljuje grupiranje vseh kategorij ali primerov znakov na osnovi izbrane spremenljivke. Barvna vrednost in velikost se ne smatrata za asociativna. Z neasociativnimi spremenljivkami je lažje zaznati vizualno razlike med znaki, kot pa jih vizualno grupirati. Neasociativne spremenljivke se lahko ureja ali se jim določa kvantitativnost. Urejenost pomeni, da je znake možno razporediti na osnovi ene vizualne lastnosti. Če se ji lahko pripiše tudi stopnjo spreminjanja, se lahko določi kvantitativnost.

Bertinova hipoteza (ki jo tudi sam obravnava kot dejstvo) je, da so vizualne spremenljivke lahko neodvisno ocenjene glede na asociativnost in selektivnost. Kasneje je bilo na temo selektivnosti in asociativnosti opravljenih tudi nekaj raziskav; Fabrikant in Garlandini (2009) sta npr. raziskovali selektivnost. Ugotovili sta, da njun model spremenljivk ne deluje vedno in da barva in velikost spremenljivke nedvomno usmerjata pozornost. Bertin je verjetno izvajal preizkuse v okolju, ki je bil strogo kontrolirano in enostavno, ne pa v kompleksnih okoljih, kot so karte.

Fabrikant in Garlandini (2009) sta v eni od študij testirali odzivne čase uporabnikov statičnih 2D kart. Testirali sta štiri vizualne spremenljivke: velikost, vrednost barve, odtenek barve in orientacijo. Ugotovili sta, da so uporabniki porabili več časa za odkritje vizualne spremenljivke orientacije, kot so jo za ostale tri. Za spremenljivko velikost pa so uporabniki porabili najmanj časa. Sledili so jim barvni odtenek in vrednost barve. Spremenljivka orientacija je tako najmanj učinkovita za zaznavanje spremembe.

Dodatno sta raziskovali učinkovitost (hitrosti zaznave) vizualnih spremenljivk s preučevanjem gibanja oči uporabnikov. Za vsak dražljaj sta razčlenili področja interesa, kjer se pojavijo spremembe na karti. Metrika učinkovitosti časa za prvo fiksacijo govori, koliko časa uporabnik potrebuje, da se prvič fiksira na določeno področje interesa. Ugotovita tudi, da ljudje največ časa porabijo za fiksiranje na spremenljivko orientacijske spremembe (v primerjavi z velikostjo, vrednostjo barve in odtenkom barve).

MacEachren (2004) Bertinovo teorijo kritizira:

“Ena možna interpretacija Bertinove teorije, če jo smatramo za teorijo, je, da so njegove trditve o shemah, ki jih tipičen uporabnik karte ali grafov pripelje v proces in da so te sheme tipične tudi za novince ...”

Dejstvo pa je, da se sheme razlikujejo od uporabnika do uporabnika. Seznam sedmih Bertinovih vizualnih spremenljivk je preuredil v dvanajst vizualnih spremenljivk: lokacija, velikost, ostrina, ločljivost, transparentnost, vrednost barve, nasičenost barve, odtenek barve, tekstura, orientacija, razporeditev in oblika.

V nadaljevanju sledi opis Bertinovih šestih grafičnih spremenljivk na kartografskih upodobitvah z zaznavnega in kognitivnega vidika.

6.2.2.1 Barva

Barva od vseh grafičnih spremenljivk v največji meri prispeva k boljši ločljivosti, povezovanju objektov, čitljivosti in zato lažji ter hitrejši percepciji vsebine karte (Rojc, 1986). Uporaba barv igra pri uporabi kartografskih prikazov posebno vlogo, katerih primarna naloga je, da ustvarijo mentalno sliko glavnih lastnosti teh prikazov. Komunikacija barv je uspešnejša, če so barve primerno uporabljene. Barvne izbire lahko ustvarijo tudi napake in nesporazume; preveč barv, barve neprilagojene podatkom, motnje pri razumevanju in branju prikazov idr. Vizualna spremenljivka barva je mogočna, uporabniki pa se pogosto srečujejo s problemom izbora pravih barv. Izbira barvnih kombinacij na kartografskih prikazih v splošnem velja za težavno opravilo. Želi se vzpostaviti barvno harmonijo. Domneva se, da barvna harmonija na kartografskih prikazih olajšuje njihovo branje.

Barva je psihofizični občutek, ki je rezultat vseh sevanj, ki jih sprejme oko, ko opazuje predmet osvetljen s sončno svetlobo. Barvo lahko definiramo kot osebni vtis in ga je težko izmeriti, kajti spremembe med posameznimi percepcijami ljudi so velike, zato je nemogoče, da bi opravili standardno objektivno ugotovitev ali razvili standardizirana ali kvantitativna pravila za uporabo barv. Lahko pa se v splošnem opiše dojetanje barv in s tem razvije boljše načine uporabe barv pri oblikovanju znakov in ostalih aplikacij barv na kartografskih prikazih.

Dimenzije barve so barvnost/kromatičnost, vrednost/svetlost in nasičenost. Barvnost je definirana, kakor so definirane različne barve, ki jih zaznamo, tj. rdeča, modra, zelena itd. Vrednost/svetlost pove svetlost/temnost barve iste osnove – odtenek. Na vrednost vpliva tudi ozadje, barva deluje svetlejšo, če jo obkroža temnejša barva. Nasičenost pomeni intenziteto ali čistost ene barve in se primerja z nevtralno sivo (0% nasičenost).

Trenirano oko lahko razpozna med enim milijonom barv. Za kodiranje abstraktnih informacij pa uporaba več kot dvajsetih ali tridesetih barv pogosto ustvari negativne rezultate (Tuft, 2006).

Osnovne uporabe barve so (Tuft, 2006):

- označevanje,
- merjenje (barva kot kvantiteta),
- reprezentacija ali imitacija realnosti (barva kot reprezentacija) in
- dekoracija (barva kot lepota).

Na kartografskemu prikazu barva označuje razločevanje vodnih pojavov od polj, meri z nakazovanjem višine s plastnicami in hitrostjo spreminjanja s potemnitvijo, posnema realnost z modrimi odtenki vode in senčenjem in vizualno oživi topografijo precej bolj, kot bi lahko dosegli samo s črno in belo. V kartografiji barvo za prikaz navadno izberemo preko povezave naravnega objekta/pojava z asociacijami, nekatere barve pa so standardizirane ali mednarodno dogovorjene. Poleg asociativnosti in dogovorjenih barv moramo upoštevati še ostale elemente/barve na upodobitvi.

Eduard Imhof, švicarski kartograf, je v svoji knjigi podal štiri pravila za barve (2012):

- Prvo pravilo: Čiste, svetle ali zelo močne barve imajo glasen, neznosen efekt, kadar stojijo nerazbremenjene preko velikih območij, ki mejijo ena na drugo. Izjemne učinke lahko dosežemo, kadar jih uporabimo zmerno, ali vmes med suhoparnimi barvami.
- Drugo pravilo: Postavitev lahkih, svetlih barv poleg bele običajno povzroči neprijetne rezultate, še posebej če so barve uporabljene za velika območja.
- Tretje pravilo: Površine večjih območij ali ozadij opravijo svoje delo tiho, tako da manjša, svetlejša področja izstopajo najbolj živahno, če so prva v utišanih sivih ali nevtralnih barvah. Zaradi tega razloga se siva na slikah smatra kot ena najlepših, najbolj pomembnih in najbolj raznolikih barv. Močno zadušene barve, zmešane v kombinaciji s sivo, omogočajo najboljša ozadja za barvne teme. Ta filozofija se uporabi enakovredno pri oblikovanju kart.
- Četrto pravilo: Če je slika sestavljena iz dveh ali več zaprtih območij v različnih barvah, slika razpade. Enotnost bo ohranjena, če bodo barve enega področja večkratno pomešane v drugega, oz. če so barve prepletene kot na preprogi ena skozi drugo. Vse barve iste teme morajo biti razpršene kakor otoki po barvi ozadja. Zahtevna narava površine Zemlje vodi v zaprta barvna področja po celotni karti. So otoki v morju, jezera na kontinentih, so nižine, gorovja itn., ki se pogosto pojavljajo v tematskih kartah in omogočajo zaželeno količino razčlenjenosti, interpretacije in ponovitev na sliki.

Imhof obrazloži štiri pravila, ki še danes veljajo za pravilna. In prav je, da jih je obrazložil poetično, saj se morajo barve obravnavati tudi subjektivno. Povzetek njegovih pravil je:

1. Močne barve uporabljamo zmerno za manjša območja v kombinaciji z nežnimi nevtralnimi barvami (npr. sivo).
2. Na beli podlagi ali poleg bele ne postavljamo svetlejših, nežnih barv.
3. Idealna ozadja so siva ali barve, ki so primešane sivi; poudarjajo manjša svetlejša področja.
4. Upodobitev ne razpade, če so barve prepletene; barvi otoki omogočajo razčlenjenost.

Opravljenih je bilo kar nekaj raziskav na temo izbire barv za kartografske prikaze. Te raziskave so relativno mlade. Zanimivo je npr. spletno orodje ColorBrewer (colorbrewer2.org), ki pomaga ljudem pri izbiri dobrih barvnih shem za kartografske prikaze in druge grafike.

Chesneau (2007) v svoji raziskavi za izboljšanje kontrasta barv manj čitljivih kart ugotavlja izboljšave kontrastov preko svetlosti in odtenka (slika 10). Pri tem se sklicuje na švicarskega umetnika Ittena, Brewerjevo in Merseya. 7 barvnih kontrastov po Ittenu (Rojc, 1986) je:

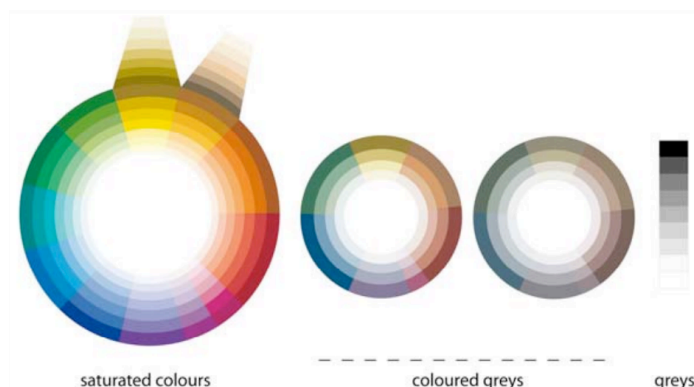
- kontrast barve proti barvi,
- komplementarni kontrast,
- kontrast kvantitete,
- kontrast kvalitete,
- hladno-topli kontrast,
- svetlo-temni kontrast,
- simultani kontrast.

Itten je v svoji knjigi Umetnost barve (The art of colour) predstavil kromatsko kolo (slika 10):



Slika 10: Ittenovo kromatsko kolo (2012)

Chesneau zaključí z ugotovitvami (glede barvnega kontrasta med dvema elementoma): Večja kot je razdalja med dvema odtenkoma, dvema stopnjama vrednosti ali dvema stopnjama nasičenosti v kolesu, bolj se bodo teme, ki bodo imele ti dve barvi, med seboj razlikovale, bolj bodo urejene in bolj pomembne kot druge (slika 11).



Slika 11: Barvna kolesa različnih odtenkov in svetlosti (Cheneau, 2007)

Zanimiva je tudi raziskava Buardove in Ruasove (2009), ki raziskujeta percepcijo razdalje med posameznimi barvami v kromatskih kolesih preko eksperimentov uporabnikov z namenom izboljšanja barvnih kontrastov na obstoječih kartografskih upodobitvah.

Christophe et al. (2011) ugotavljajo harmonijo barv, pri čemer domnevajo, da lahko povežejo območje, odtenek in vrednost; večji kot je faktor velikosti področja med dvema objektoma, bolj bi morala biti kontrastna odtenek in vrednost, da se uravnoteži proporcionalna dominanca.

6.3 Znakovno renderiranje

Znakovno renderiranje je renderiranje, ki je nasprotno fotorealističnemu renderiranju. Znanje in tehnike, ki so že uveljavljeni na umetniškem področju, se sedaj lahko uporabljajo tudi pri računalniški grafiki. Z njimi se lahko poudarijo določene lastnosti, izpostavijo subtilni atributi in izpustijo tuje informacije. Znakovni stil je slikovni stil, ki predstavlja obliko funkcionalnega realizma. Durand (2002, cit. po Cartwright, 2008) razlaga: “Edini pomen nefotorealizma je, da podoba ne skuša posnemati fotografije, da bi dosegla optično točnost.”

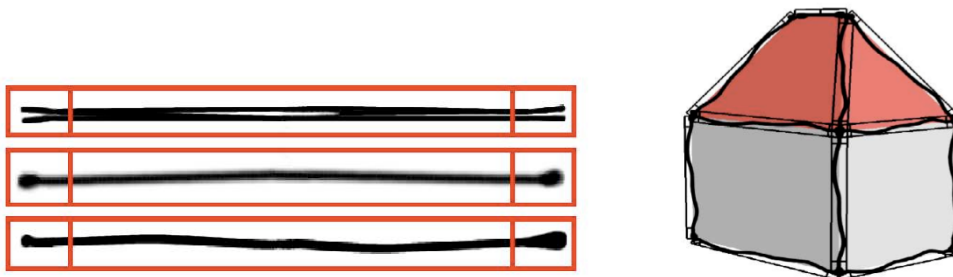
Splošno je sprejeto, da je nefotorealizem nasprotje od realizma, odvisen pa je tudi od področja raziskave. NPR (nefotorealistično renderiranje) je v računalniški grafiki hitro rastoče polje interesa. Njegov cilj je razvoj algoritmov, ki dovoljujejo abstraktne podobe, ki poudarjajo določene značilnosti, medtem ko zatirajo nepomembne podrobnosti. Te metode se nanašajo na katerekoli sisteme procesiranja, ki simulirajo različne umetniške tehnike, ali bolj splošno,

stile, ki niso podobne fotografijam. Trenutno tehnika ne more biti popolnoma avtomatizirana (Ali jo sploh želimo popolnoma avtomatizirati?) in zahteva uporabnikov vnos za nadzor nad parametri določenega stila renderiranja. Nefotorealistične tehnike renderiranja redko odkrijejo nove stile, skušajo pa posnemati umetniške tehnike (ne-digitalne), kot so slikanje s črnilom, risanje s kredo ali graviranje (slika 12). Trenutno je NPR uporabljen na raznovrstnih področjih; v medicinskih priročnikih, v arhitekturi, pri aplikacijah z novimi interakcijskimi metodami in pri komuniciranju 3D struktur. Zmožnost poudarjanja kritičnih lastnosti, medtem ko zatira nepomembne detajle, je dala NPR pomembno prednost pred tradicionalnem fotorealističnim renderiranjem (Cartwright, 2008).

Znanje in pravila o oblikovanju grafike in znakov, ki so bili obdelani prej, se lahko sedaj prenesejo na oblikovanje znakovnih kartografskih upodobitev. Stilistični elementi znakovnih upodobitev so npr. oblika, struktura, barva, svetloba, senčenje in sence.

Z NPR renderiranjem lahko naslovimo naslednje karakteristike (Dollner, 2005):

- osvetlitev in sence: S programskimi tehnikami, se lahko vgradi osvetlitvene modele, poleg tega pa se lahko nanese tudi sence, ki omogočajo pomemben globinski znak.
- barvanje in senčenje: Barvanje omogoča nerealistične barvne sheme. Tudi risani videz se doseže s kombiniranjem različnih barv in senčenjem.
- robovi in silhuete: Robovi kot vizualno pomembni elementi veljajo za prvorazredne objekte in upodobitve; tj. lahko jih poudarjamo in stiliziramo.
- teksture: Teksture so uporabljene kot osnovna računalniška grafična operacija, ki simulira poteze čopiča z uporabo navideznih čopičev, postopoma ustvarja teksture, vgrajuje slikovne operacije, kot npr. slikovne nanose.



Slika 12: 3 različne stilizirane linije (Dollner, 2005)

6.3.1 Prednosti znakovnih kartografskih upodobitev

Znakovne kartografske upodobitve ponujajo široko paleto ilustrativnih, izraznih in umetniških grafičnih tehnik, ki nudijo večjo jasnost, čistost in estetičnost. Zato je lahko znakovno oblikovanje bolj ekspresivno ali celo lepše. Poleg estetike pa imajo znakovne kartografske upodobitve eno glavno prednost: so obvladljive, so orodje za oblikovanje in usmerjanje pozornosti. Vsa pravila in ugotovitve, ki so bile obdelane v poglavjih 6.2.1 in 6.2.2 in ki jih lahko apliciramo pri znakovnih kartografskih upodobitvah, so vzvod za lažjo in enostavnejšo dožemanje prostorskih upodobitev.

7 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo naredili pregled in analizo dostopne literature in ostalih virov informacij, ki opisujejo in razlagajo področje vidnega zaznavanja kartografskih upodobitev. V grobem je naloga razdeljena na tri glavne sklope: v prvem je opisano vidno zaznavanje, ki je psihološki in fiziološki proces, iz teh osnov pa se potem gradi zaokrožen pregled nad tem, kako se vidno zaznavanje uporablja pri zaznavanju znakovnih kartografskih upodobitev in fotorealističnih kartografskih upodobitev. Literaturo smo črpali in razvrstili glede na različna zgodovinska obdobja, večji poudarek pa smo naredili pri novejših raziskavah, ki so bile opravljene prav na temo kartografije in izboljšanja uspešnosti zaznavanja informacij iz kartografskih upodobitev. Pri prebiranju literature smo prišli do zanimivih in poučnih zaključkov: v preteklosti ni bilo dovolj velikega poudarka na uspešnosti zaznavanja iz kart, začetek obravnave problematike mnogi označujejo z Robinsonovim 'The look of maps' in da so se po kratkem premoru kartografi spet začeli posvečati tej temi in uspešno prišli do novih dognanj.

Kartografske upodobitve razdelimo v dve glavni skupini: znakovne in fotorealistične kartografske upodobitve, pri čemer nas je zanimalo, kako jih človek s sistemom vidnega zaznavanja zazna in dojame. Glede na človekove sposobnosti in lastnosti opazovanja/branja kartografskih upodobitev sem se nato osredotočila na instrumente oblikovanja, s katerimi se lahko izboljša prenos informacij. S tem sem želela poudariti, da je v sodobnem svetu, kjer lahko kartografsko upodobitev izdelava vsak, včasih podcenjena uporaba oblikovalskih načel, ki poleg tega da naredijo kartografsko upodobitev atraktivno, prispevajo tudi k večji funkcionalnosti ter lažji in hitrejši uporabi kartografske upodobitve. Opomnila bi rada zagnane in uspešne izdelovalce – kartografe, ki so hkrati tudi izvrstni programerji in obvladujejo največje tehnološke ovire pri izdelavi raznovrstnih modernih kartografskih aplikacij, da lahko že sama izbira pravih barv naredi razliko, ki šteje.

Kot je edina stalnica v življenju in v naravi sprememba, se tudi kartografija nenehno razvija, izpopolnjuje in izboljšuje, pri tem pa se pojavi vprašanje, koliko časa bo vsebina te diplomske naloge ostala aktualna. Vsekakor je potrebno sproti slediti spremembam, izboljšavam, novim znanjem ter najnovejšim raziskavam. Kljub temu da se predstavitve geografskih vsebin selijo na vedno bolj nove medije, osnovna znanja o vidnem zaznavanju že nekaj časa ostajajo in

veljajo za pravilna. S spremembo medija kartografske upodobitve se lahko uporabijo predhodna znanja, pri tem pa se mora upoštevati še nove dejavnike, ki so značilni za uporabljen medij.

Fotorealistične in znakovne kartografske upodobitve se glede na zaznavanje med seboj znatno razlikujejo, hkrati pa je njuna ločnica že pri sami definiciji le-teh močno zabrisana. Mnogi avtorji so v svojih raziskavah prišli tudi do dodatnih, a skupnih ugotovitev, da je uporaba znakovnih kartografskih upodobitev bolj priljubljena oz. je prva izbira pri strokovnih krogih uporabnikov, fotorealistične kartografske upodobitve pa so pogostejše pri ostali populaciji, ki niso eksperti na področju kartografije. S povzetkom literature sem opisala lastnosti in področja uporabe enih in drugih vrst upodobitev, medsebojna primerjava pa bi zahtevala razširitev naloge; zato so pri posamezni skupini izpostavljene prednosti in slabosti.

Možnosti za nadaljno raziskovalno delo obravnavanega področja v prihodnosti so velike. Sama sem naredila precej širok pregled obravnave problematike, nisem pa se tako posvetila globini posameznih pod-področij. Pri tem sem sprva načrtovala obravnavo večjega obsega literature, vendar je bilo število virov omejeno. Nalogo se lahko razširi s podrobnejšo obravnavo posameznega področja, z bolj podrobnimi predstavitvami postopkov raziskav in njihovih analiz, z novimi primeri uporabe, s primeri ipd.

Možnosti za vključitev različnih drugih znanosti in ved (v tem primeru zlasti psihologije, umetnosti in anatomije) na področje kartografije je mnogo in ga lahko kvečjemu izpopolnjujejo.

Končni učinek diplomskega dela Učinkovitost zaznavanja znakovnih in fotorealističnih kartografskih prikazov naj bi bil razširitev pogleda sodobnega kartografa, ki se ukvarja predvsem z oblikovanjem kartografskih upodobitev, nekakšen dodatek 'think outside the box' k njegovemu tehnično usmerjenemu razmišljanju, hkrati pa tudi opomnik, da smo uporabniki kartografskih upodobitev še vedno samo ljudje, vsak s svojimi fizičnimi omejitvami ter možgani, ki nam omogočajo izgradnjo čudovitih (če se prepričamo, da so nam čudovite) mentalnih slik in s tem kartografskih upodobitev.

VIRI

Aspect-slope map. Esri blog. 2008.

<http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2008/05/23/aspect-slope-map/> (Pridobljeno 4. 7. 2012.)

Bon, J., Bresjanac, M., Novak, M., D. et al. 2007. Prvi koraki v nevroznanost, znanost o možganih. Ljubljana, SiNAPSA, slovensko društvo za nevroznanost: 60 str.

Brenner, C., Haala, N., Fritsch, D. 2001. Towards Fully Automated 3D City Model Generation. Stuttgart University, Institute for Photogrammetry.

http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/2001/Haala01_ascona.pdf

(Pridobljeno 11. 7. 2012.)

Buard, E., Ruas, A. 2009. Processes for Improving the Colours of Topographic Maps in the Context of Map-on-demand. 24th ICA Conference, Santiago de Chile.

http://www.icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC20097html/refer730_2.pdf

(Pridobljeno 10. 7. 2012.)

Bučar, J. 2011. Izdelava časovno spremenljivega trirazsežnostnega kartografskega prikaza KO Šentjernej. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo (samozaložba J. Bučar): 60 str.

Cartographic principles. Web Cartography. 2002.

<http://kartoweb.itc.nl/webcartography/webbook/ch05/ch05.htm> (Pridobljeno 20. 8. 2012.)

Cartographic relief depiction. Wikipedia. 2012.

http://en.wikipedia.org/wiki/Cartographic_relief_depiction (Pridobljeno 4. 7. 2012.)

Cavanagh, P. 2009. Visual cognition. Pariz, Universite Paris Descartes, Centre Attention & Vision.

http://cavlab.net/wp-content/uploads/2009/07/cavanagh_viscog_2011.pdf

(Pridobljeno 21. 6. 2012.)

- Chesneau, E. 2007. Improvement of Colour Contrasts in Maps: Application to Risk Maps. 10th AGILE International Conference on Geographic Information Science 2007, Aalborg University, Denmark.
http://www.people.plan.aau.dk/~enc/AGILE2007/PDF/32_PDF.pdf (Pridobljeno 10. 7. 2012.)
- Colour Conventions, GITTA (Geographic Information Technology Training Alliance). 2010.
http://www.gitta.info/LayoutDesign/en/html/ColorDesign_learningObject9.html
(Pridobljeno 31. 7. 2012.)
- Cristophe, S., Zanin, C., Roussaffa, H. 2011. Colours Harmony in Cartography. Pariz, Proceedings of the 25th International Cartographic Conference.
http://www.icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2011/Oral%20Presentations%20PDF/B1-Graphical%20Semiology,%20visual%20variables/CO-084.pdf
(Pridobljeno 31. 7. 2012.)
- Človeško oko, Optika Bled. 2012.
http://www.optikabled.si/index.php?option=com_content&view=article&id=63:loveko-okoz%catid=41:slovar&Itemid=41 (Pridobljeno 31. 7. 2012.)
- Dollner, J., Buchholz, H. 2005. Non-Photorealism in 3D Geovirtual Environments V: Proceedings of AutoCarto, Las Vegas, NV, USA: str. 1-14.
<http://www.cartogis.org/docs/proceedings/2005/dollner.pdf> (Pridobljeno 2. 7. 2012.)
- Domajnko, M. 2008. Oblikovanje znakovnega in fotorealističnega trirazsežnostnega kartografskega prikaza. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo (samozaložba M. Domajnko): 72 str.
- Ferwerda, J., A. 2003. Three Varieties of Realism in Computer Graphics V: Rogowitz, B., E., Pappas, T., N. Human Vision and Electronic Imaging VIII, Proceedings of the SPIE, Volume 5007: str. 290-297.
http://www.cis.rit.edu/people/faculty/ferwerda/publications/vor_hvei03_v20.pdf
(Pridobljeno 2. 7. 2012.)

Garlandini, S., Fabrikant, S., I. 2009. Evaluating the Effectiveness and Efficiency of Visual Variables for Geographic Information Visualization. Zurich, University of Zurich, Department of Geography.

http://www.geo.uzh.ch/~sara/pubs/garlandini_fabs.pdf (Pridobljeno 2. 7. 2012.)

Gestalt psychology. Wikipedia. 2012.

http://en.wikipedia.org/wiki/Gestalt_psychology (Pridobljeno 13. 6. 2012.)

Google Maps. Google. 2012.

<http://www.google.com/mobile/maps/> (Pridobljeno 20. 8. 2012.)

Haeberling, C. 2005. Cartographic Design Principles for 3D Maps – A Contribution to Cartographic Theory. Coruna, Proceedings of 22nd ICA International Cartographic Conference.

http://www.icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2005/htm/pdf/oral/TEMA3/Session%206/CHRISTIAN%20HAEBERLING.pdf (Pridobljeno 14. 7. 2012.)

ICA (International Cartographic Organization). 2012.

<http://icaci.org/mission/> (Pridobljeno 31. 7. 2012.)

Isolining package for ActionScript 3. Indiemaps. 2008.

<http://indiemaps.com/blog/2008/06/isolining-package-for-actionscript-3/>
(Pridobljeno 20. 8. 2012.)

Johannes Itten. Wikipedia. 2012.

http://en.wikipedia.org/wiki/Johannes_Itten (Pridobljeno 14. 7. 2012.)

Kennelly, P., Kimberling, A., J. 2001. Modifications of Tanaka's Illuminated Contour Method. Cartography and Geographic Information Science, Volume 28, Number 2, April 2001, Cartography and Geographic Information Society.

<http://news-business.vlex.com/vid/tanaka-s-illuminated-contour-method-52853630>
(Pridobljeno 2. 7. 2012.)

Langus, M. 2011. Uporaba večpredstavnostne kartografije pri pouku geografije. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za kartografijo, fotogrametrijo in daljinsko zaznavanje (samozaložba M. Langus): 170 str.

MacEachren, A., M. 2004. How maps work: Representation, Visualization, and Design. New York, The Guilford Press: 484 str.

Musek, J. 2005. Zgodovina psihologije.

<http://musek.si/Kurikuli/Zgodovina/Zgodovina%2009%20gestalt%20psihologija.pdf>

(Pridobljeno 18.6.2012.)

Nokia 3D. Nokia. 2012.

maps.nokia.com/3D/ (Pridobljeno 20. 8. 2012.)

Oko. Wikipedija. 2012.

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Oko> (Pridobljeno 4. 5. 2012.)

Petrovič, D. 2006. Zapiski s predavanj, Kartografija I. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: loč. pag.

Petrovič, D. 2007. Trirazsežne (tematske) karte v prostorskem načrtovanju. Geodetski vestnik 51, 2: 293-303.

Plesa, M., A., Cartwright, W. 2008. Evaluating the Effectiveness of Non-Realistic 3D Maps for Navigation with Mobile Devices V: Meng, L., Zipf, A., Winter, S. Map-based Mobile Services Design, Interaction and Usability. Heidelberg, Springer: str. 80-104.

Rendering (computer graphics). Wikipedia. 2012.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Rendering_\(computer_graphics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Rendering_(computer_graphics)) (Pridobljeno 31. 8. 2012.)

Rojc, B. 1986. Prispevek k raziskovanju percepcije vsebine karte. Doktorska disertacija.

Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo

(samozaložba B. Rojc): 198 str.

Tufte, E., R. 2006. Envisioning Information. Cheshire, Graphic Press: 126 str.

Vasilev, S. 2006. A New Theory for Signs in Cartography. First International Conference on Cartography & GIS, Borovets, Bulgaria.

http://www.uacg.bg/fileblank/acadstaff/userfiles/publ_en_426_A_New_Theory_for_Signs_in_Cartography.pdf (Pridobljeno 9. 7. 2012.)

Verbič, M. 2006. Zasnova in izdelava zgodovinskih kart za knjigo Boj na Holmcu. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo (samozaložba M. Verbič): str. 26.

Visual Perception. Wikipedia. 2012.

http://en.wikipedia.org/wiki/Visual_perception (Pridobljeno 7. 6. 2012.)

Zanola, S., Fabrikant, S., I., Coltekin, A. 2009. The Effect of Realism on the Confidence in Spatial Data Quality in Stereoscopic 3D Displays. Proceedings, 24th International Cartography Conference (ICC 2009), Santiago: str. 15-21.

http://www.geo.uzh.ch/~sara/pubs/zanola_fabrikant_coeltekin_icc09.pdf

(Pridobljeno 7. 6. 2012.)

Zgradba očesa. Optika Pirc. 2012.

http://www.optika-pirc.com/?menu_item=sl_zgradba (Pridobljeno 20. 8. 2012.)