

**UNIVERZITET CRNE GORE
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

Živorad Kovačević

**PRIJEDLOG INTEGRISANOG SOFTVERSKOG
SISTEMA ZA SIMULACIJU I GIS VIZUALIZACIJU
AKCIDENATA PROUZROKOVANIH EMISIJOM
OPASNIH GASOVA IZ PROIZVODNIH
TRANSPORTNIH I SKLADIŽBENIH OBJEKATA**

- MAGISTARSKI RAD -

Podgorica, 2016

PODACI I INFORMACIJE O MAGISTRANTU

Ime i prezime: Živorad Kovačević
Datum i mjesto rođenja: 1.1.1980. Nevesinje
Naziv završenog osnovnog studijskog programa i godina diplomiranja: ETF, Studije primijenjenog računarstva, 2008.

INFORMACIJE O MAGISTARSKOM RADU:

Naziv postdiplomskog studija: Postdiplomske magistarske studije primijenjenog računarstva.
Naslov rada: Prijedlog integrisanog softverskog sistema za simulaciju i GIS vizualizaciju akcidenata prouzrokovanih emisijom opasnih gasova iz proizvodnih transportnih i skladižbenih objekata
Fakultet na kojem je rad odbranjen: Elektrotehnički fakultet Podgorica

UDK, OCJENA I ODBRANA MAGISTARSKOG RADA:

Datum prijave magistarskog rada: 15.09.2015. Godine
Datum sjednice Vijeća univerzitetske jedinice na kojoj je prihvaćena tema: 24.05.2016. Godine
Komisija za ocjenu teme i podobnosti magistranta: Prof. dr Budimir Lutovac, ETF Podgorica
Prof.dr Radovan Stojanović, ETF Podgorica
Doc. dr Gojko Nikolić, Filozofski fakultet Nikšić
Mentor: Prof. dr Radovan Stojanović
Prof. dr Budimir Lutovac, ETF Podgorica
Komisija za ocjenu rada: Prof.dr Radovan Stojanović, ETF Podgorica
Doc. dr Gojko Nikolić, Filozofski fakultet Nikšić
Prof. dr Budimir Lutovac, ETF Podgorica
Komisija za odbranu rada: Prof. dr Radovan Stojanović, ETF Podgorica
Doc. dr Gojko Nikolić, Filozofski fakultet Nikšić
Datum odbrane: 29.12.2016 godine

Postavka/Cilj rada:

Zadatak magistarskog rada je da ponudi pouzdan i jeftin pristup u projektovanju sistema za simulaciju i GIS vizualizaciju akcidenata prouzrokovanih emisijom opasnih gasova iz proizvodnih, transportnih i skladišbenih objekata baziran na “open” tehnologijama koje uključuju besplatne softvere za modeliranje i simulaciju, preporučene od strane relevantnih svjetskih institucija, i široko rasprostranjene i otvorene platforme za GIS baziranu vizualizaciju. Sve to, uz projektovanje odgovarajućih softverskih interfejsa i “user friendly” integraciju. Pristup treba uzeti u obzir prosti (XY) i kompleksni (XYZ) teren.

Polazna literatura:

- [1] Pontiggia M., Derudi M., Alba M., Scaioni M., Rota R., „Hazardous gas releases in urban areas: Assessment of consequences through CFD modeling“, *Journal of Hazardous Materials*, Volume 176(1–3), 589–596, 2010.
- [2] Holmes N.S., Morawska L., „A Review of Dispersion Modelling and its application to the dispersion of particles: An overview of different dispersion models available“, *International Laboratory for Air Quality and Health, Queensland University of Technology, Australia*, 2006.
- [3] Baumann-Stanzer K., Stenzel S., „Uncertainties in modeling hazardous gas releases for emergency response“, *Meteorologische Zeitschrift*. Volume 20(1), 19–27., 2011.
- [4] De Amicis R., Stojanovic R., Conti G., „GeoSpatial Visual Analytics: Geographical Information Processing and Visual Analytics for Environmental Security“, *Springer. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security*, 2009.
- [5] R. Stojanović, A. Škraba, R. De Amicis, G. Conti, D. Elhanani, S. Berkowitz, J. Knežević, G. Nikolić, I. Vujačić, P. Djurašković, „Development of Real-Time Response System for Air Pollution Dispersion Accidents in Urban Areas“, *16th International Symposium on Environmental Pollution and its Impact on Life in the Mediterranean Region, Ioannina , Greece, September 24 to 27, 2011*.
- [6] Chitumalla K.P., Harris D., Thuraisingham B., Khan L., „Emergency response applications dynamic plume modeling and real-time routing“ *IEEE Internet Computing*. Volume 12 (1) , 38–44, 2008.
- [7] Tiwary A., Colls J., „Air Pollution, Measurement, Modelling and Mitigation“, *Third edition, Taylor & Francis*, 2010.
- [8] World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen, „Air Quality Guidelines for Europe“, *Second Edition*, 2010.

Zahvalnica

Rad se bazira na višegodišnjem istraživanju u ovoj oblasti Grupe za primijenjenu elektroniku, Elektrotehničkog fakulteta u Podgorici, predvođene Prof. dr Radovanom Stojanovićem, a čiji sam sa ponosom bio član, i koja je veoma uspješno implementirala niz projekata uključujući NATO GEPSUS Projekat. Bez njihovih prethodnih istraživanja i sveobuhvatne pomoći ovaj rad ne bi bilo moguće napraviti. Na svemu sam im zahvalan.

Sažetak

Rad se sastoji iz teorijskog i praktičnog dijela. U teorijskom dijelu se daje pregled vazdušnih polutanata, opisuje problem disperzije istih uzimajući u obzir različite izvore emisije kao i vremenske i terenske uslove. Ukratko se elaboriraju najčešće korišteni matematički modeli disperzije, kao i pristupačni softveri za njeno modeliranje i simulaciju. U kratkim crtama opisuju se geo-prostorni podaci, GIS browseri i protokoli za markiranje i prikaz podataka. U praktičnom dijelu su predložena dva softverska rješenja za modeliranje, simulaciju i vizualizaciju prostiranja vazdušnih polutanata preko prostog (XY) i složenog (XYZ) terena. Predloženo softversko rješenje nazvano „XY plume“ se bazira na korišćenju besplatnih i pouzdanih ALOHA i SCREEN3 softvera za modeliranje i simulaciju disperzije gasnih polutanata kao i Google Eartha, Google Maps i OpenStreet Maps WebGIS browsera za vizuelizaciju i markiranje. Prilikom proračuna zona opasnosti u obzir se uzimaju različiti tipovi izvora emitovanja (tačkasti, površinski, zapreminski), meteorološki uslovi na mjestu incidenta (brzina vjetra, smjer vjetra i temperatura) kao i različite vrste terena (urbani i ruralni). Proračunate zone opasnosti se prikazuju na Web GIS browseru odakle se vrši procjena opasnosti i preduzimaju akcije djelovanja, prema usvojenim planovima reagovanja u kriznim situacijama. Kao mehanizam za povezivanje disperzionih modela i Web GIS browsera koristi se KML („Keyhole Markup Language“) protokol koji se može aktivirati preko bilo kojeg internet browser-a (IE, Opera, Google Chrome, Mozilla Firefox). Na taj način rezultate simulacije možemo koristiti preko bilo kojeg računara koji posjeduje internet konekciju kao i preko pametnih telefona, tableta, itd. koji su našli masovnu primjenu. Softversko rješenje „XY plume“ se nadograđuje na kompleksan (urbani) teren, gdje se daje veoma praktičan i u nekim elementima originalan pristup simulacije i vizualizacije, nazvan „XYZ plume“, baziran na ekstenziji SCREEN3 modela na elevacioni teren koji uključuje i urbane komponente (zgrade i gradsku infrastrukturu). U cilju demonstracije efikasnosti predloženih rješenja daje se nekoliko konkretnih primjera u vidu hipotetičkih scenarija.

Abstract

This paper consists of theoretical and practical part. The theoretical part provides an overview of air pollutants, describes the problem of the dispersion of air pollutants, taking into account the different sources of emissions as well as weather and field conditions. The overview of most commonly used mathematical models of dispersion, as well as affordable software for modeling and simulation is given. The geo-spatial data, GIS browsers and protocols for marking and displaying data are also described. In the practical part, two software solutions for modeling, simulation and visualization of the propagation of air pollutants through simple (XY) and complex (XYZ) terrain are proposed. Proposed software solution named "XY plume" is based on the use of free and reliable ALOHA and SCREEN3 softwares for modeling and simulation of the dispersion of gas pollutants. Proposed solutions use Google earth, Google Maps and OpenStreet Maps Web GIS browser for visualization and marking. When estimating the zones of air pollution, different types of sources broadcasting (point, surface, volume) are taken into account as well as meteorological conditions at the site of the incident (wind speed, wind direction and temperature) and different types of terrain (urban and rural). Calculated danger zones are displayed on Web GIS browser and used in risk assessment and action planning, according to the adopted plans to react in crisis situations. As a mechanism for connecting the dispersion models and Web GIS browsers, KML ("Keyhole Markup Language ") protocol is used. This protocolo can be activated via any Internet browser (IE, Opera, Google Chrome, Mozilla Firefox). In this way, the simulation results can be used over any computer that has an internet connection as well as throught smartphones, tablets, and other devices that have mass application. The software solution "XY plume" builds on the complex (urban) terrain, where it provides very practical and in some elements original approach to simulation and visualization, called "XYZ plume", based on the extension of SCREEN3 model at elevation terrain that includes urban components (buildings and urban infrastructure). In order to demonstrate the efficiency of the proposed solutions some concrete examples are given in the form of hypothetical scenarios.

SADRŽAJ

Uvod.....	7
1. Opasni gasovi.....	11
1.1. Oksidi ugljenika	13
1.2. Oksidi azota.....	14
1.3. Troposferski ozon.....	15
1.4. Oksidi sumpora.....	16
1.5. Olovo u vazduhu	17
1.6. Isparljiva organska jedinjenja.....	17
1.7. Kritični nivoi koncentracije opasnih gasova i pragovi alarmiranja.....	18
2. Matematički modeli disperzije opasnih gasova....	19
2.1. Deterministički modeli	20
2.1.1. Ojlerovi modeli	21
2.1.2. Lagranžeovi modeli	24
2.1.3. Gausov model.....	25
2.2. Statistički modeli	32
2.3. Uticaj meteoroloških uslova na modeliranje disperzije opasnih gasova u atmosferu	33
2.3.1. Atmosferska stabilnost	33
2.3.2. Brzina vjetra	34
2.3.3. Temperatura.....	34
2.4. Vrste izvora	35
3. Pregled postojećih softvera za modeliranje emisije opasnih gasova	36
3.1. ALOHA softver za modeliranje	36
3.2. SCREEN3 softver za modeliranje	39
3.3. Komparativni prikaz ALOHA i SCREEN3 aplikacija.....	42
4. Geografski informacioni sistem - GIS	44
4.1. Geo – prostorni podaci	47
4.2. WEBGIS aplikacije	49
4.2.1. Google Earth.....	52
4.2.2. Google Maps	55
4.2.3. Open Street Map.....	57
4.2.4. KML – Keyhole Markup Language	60

5. Integrirani softverski sistem za simulaciju i GIS vizualizaciju akcidenata prouzrokovanih emisijom opasnih gasova iz proizvodnih transportnih i skladišbenih objekata – XY Plume	63
5.1. Prijedlog integrisanog softverskog sistema	63
5.1.1. Prikupljanje podataka	65
5.1.2. Modeliranje i vizualizacija disperzije.....	66
5.1.3. Donošenje odluka	68
5.1.5. Spajanje sa Web pretraživačima.....	70
5.1.6. Razvijena aplikacija	70
6. Predlog sistema za modeliranje i simulaciju u slučajevima kompleksnog terena – XYZ plume	76
6.1. XYZ-plume pristup [28].....	77
6.2. Softversko predprocesiranje za XYZ-plume model	78
7. Rezultati testiranja	80
7.1. Emisija hazardnih gasova iz termoelektrane Kakanj	80
7.2. Nekontrolisana emisija iz transportnih sredstava	83
7.3. Nekontrolisana emisija iz površinskih izvora	85
7.4. Testiranje upotrebe Z-plume pristupa	87
7.5. SWOT analiza	90
7.6. Analiza upotrebljivosti	90
Zaključak i budući rad	92
Literatura	94

Uvod

Ispuštanja opasnih gasova u atmosferu, bilo slučajno zbog ljudske nemarnosti, kvarova u postrojenju, prirodnih nepogoda, ili namjerno u terorističkim napadima, predstavljaju veliku opasnost po stanovništvo i infrastrukturu. Hazard se definiše kao radnja koja ima potencijal da izazove štetu po ljudsko zdravlje ili životnu sredinu.

Pod opasnim gasom se podrazumijevaju sve vrste zapaljivih, toksičnih kao i bilo kojih drugih gasova koji mogu izazvati trenutne ili trajne posljedice na zdravlje ljudi [1]. Za mjerenje koncentracije opasnih gasova koriste se fizičke, hemijske, hemijsko-fizičke i elektrohemijske metode. Granična vrijednost opasnih gasova je propisom određen protok ili koncentracija štetnih i opasnih komponenti na mjestu akcidenta. Rezultati mjerenja se mogu prikazati kao masa po jedinici zapremnine gasa (npr. $1.013 \cdot 10^5$) ili kao masa protoka u jedinici vremena (mg/h, gr/h i sl.). Za određivanje emisije opasnih gasova primjenjuju se kontinualne metode (neprekidne, u dužem vremenskom periodu) i diskontinualne (mjerenje koncentracije gasova u kraćem vremenskom intervalu). Mjerenje je od velikog značaja za utvrđivanje utjecaja koncentracije opasnih gasova na zdravlje stanovništva i životnu sredinu, kao i modeliranje emisije opasnih gasova u slučaju akcidenata. U slučaju emisije opasnih gasova u atmosferu, timu za vanredne situacije i službi spašavanja potrebno je obezbijediti potrebne i relevantne podatke u jako kratkom vremenskom roku, kako bi poduzeli adekvatne i efikasne akcije u cilju uzrokovanja što manje štete po stanovništvo i infrastrukturu, slika 1.1. – desno.



Slika 1.1. Akcident emisije opasnih gasova u atmosferu iz industrijskog postrojenja [2]

U nesreći curenja opasnih gasova iz industrijskog postrojenja u Kini, slika 1 - lijevo, 11 hiljada ljudi u radijusu od tri kilometra bilo je pogođeno dejstvima štetnih gasova i osjetilo je posljedice utjecaja štetnih gasova na zdravlje. Mjesto akcidenta je stavljeno pod kontrolu nakon šest sati. Brzina reagovanja je od presudnog značaja, naročito u urbanim sredinama gdje zbog velike gustine naseljenosti svako kašnjenje može imati ozbiljne posljedice po zdravlje ljudi [2] (slika 2).

U posljednjim godinama, problem emisije opasnih gasova u atmosferu je aktualno pitanje u globalnoj politici.



Slika 1.2. Ilustracija utjecaja opasnih gasova na zdravlje ljudi

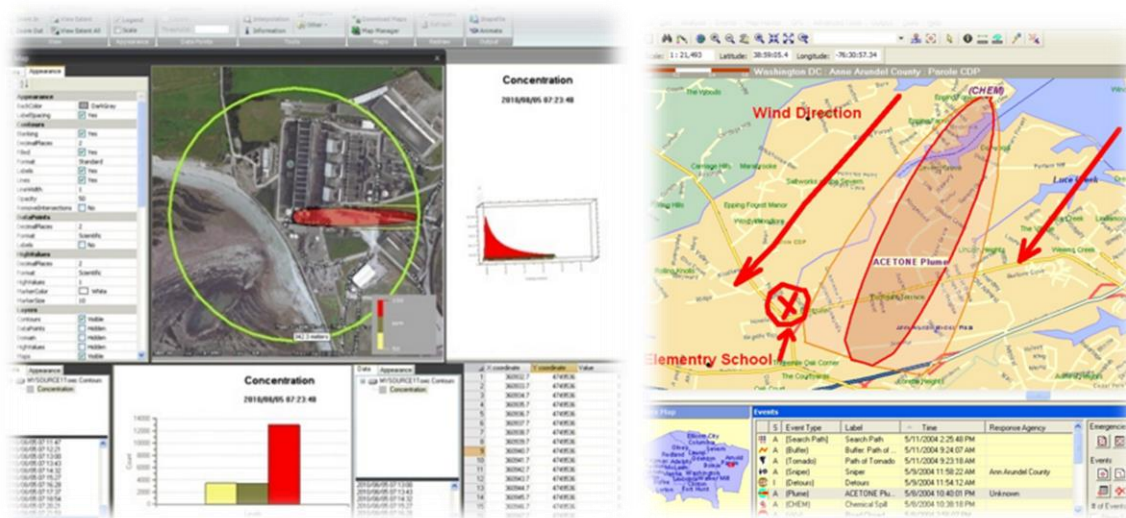
Usklađenost nacionalnih propisa u oblasti kvaliteta vazduha u Crnoj Gori sa evropskim zakonodavstvom je postignuta gotovo 100% donošenjem propisa u 2012., prije svega Uredbe o utvrđivanju vrsta zagađujućih materija, graničnih vrijednosti i drugih standarda kvaliteta vazduha ("Službeni list Crne Gore", br. 45/08, 25/2012) [3] i Pravilnika o sadržaju i načinu izrade godišnje informacije o kvalitetu vazduha ("Službeni list Crne Gore", br. 27/2012) [4]. U skladu sa članom 19 Zakona o zaštiti vazduha ("Službeni list Crne Gore", br.25/2010) Vlada Crne Gore je u februaru 2013. godine donijela Nacionalnu strategiju upravljanja kvalitetom vazduha sa Akcionim planom za period 2013-2016 godine. Cilj donošenja Strategije je očuvanje i poboljšanje kvaliteta vazduha i izbjegavanje, sprječavanje ili smanjenje štetnih posljedica po zdravlje ljudi i/ili životnu sredinu, što se očekuje realizacijom definisanih mjera iz Akcionog plana. Ocjena kvaliteta vazduha vršena je u skladu sa Uredbom o utvrđivanju vrsta zagađujućih materija, graničnih vrijednosti i drugih standard kvaliteta vazduha ("Službeni list CG", br. 45/2008, 25/2012).

Na rješavanju problema emisije opasnih gasova u atmosferu uključeni su mnogi stručnjaci iz različitih oblasti fokusiranih na sprečavanje ili smanjivanje zagađenja ili na razvoj sistema koji se primjenjuju u situacijama kada dođe do emisije opasnih gasova u atmosferu u količinama koje mogu naštetiti zdravlju ljudi i životnoj sredini. Razvijeni sistemi nastoje da pruže što pouzdaniji prikaz hazardne situacije na terenu kako bi što više olakšali nadležnim službama sprječavanje širenje hazarda, planiranje sanacije i eventualnu evakuaciju stanovništva.

Sistemi za procjenu kretanja opasnih gasova baziraju se na matematičkim modelima disperzije. U početku su to bili jednostavni modeli koji su se mogli ručno proračunati. Razvoj tehnologije i računarske moći računara doprinio je ubrzanom razvoju modela disperzije čime

su oni postali sve kompleksniji, sa sve više ulaznih parametara. Na globalnom tržištu, dostupan je veliki broj ovih Sistema [5].

Postojeće softverske aplikacije za modeliranje gasnog zagađenja kao što su MET, ALOHA, BREEZE, TRACE, SAMS daju samo djelimično rješenje problema disperzije [6] (slika 3). Veliki procenat ovih softverskih aplikacija ne radi u stvarnom vremenu, sa istovremenom akvizicijom i obradom snimljenih podataka, već samo vrši analizu prikupljenih podataka i prikaz koncentracije hazarda u dvije dimenzije. Zone različitih koncentracija opasnih materija su statične i ne uzimaju u obzir dinamiku procesa, primarnu promjenu atmosferskih uslova i promjenu jačine izvora zagađenja [7]. Također, kod većine softverskih aplikacija, koje su trenutno dostupne, nije podržan automatski način unosa podataka.



Slika 1.3. Ilustracija različitih softverskih aplikacija koje se koriste za modeliranje gasnog zagađenja

Koristan sistem za upravljanje i kontrolu prilikom namjernog ili slučajnog ispuštanja opasnih gasova bi prvenstveno trebao da daje informacije u realnom vremenu i, po mogućnosti, da uključi nekoliko sljedećih podsistema:

- geografski informacioni sistem (GIS),
- podsistem za praćenje i prognozu hidro – meteoroloških uslova,
- podsistem za ekotoksikološka mjerenja,
- podsistem za modeliranje disperzije opasnih gasova,
- podsistem za planiranje i reagovanje u vanrednim situacijama [8][9].

Zadatak predloženog rada je da se projektuje jeftin i pouzdan sistem za simulaciju i GIS vizualizaciju akcidenata prouzrokovanih emisijom opasnih gasova iz proizvodnih, transportnih i skladišbenih objekata baziran na “open” tehnologijama uključujući besplatne softvere za modeliranje, preporučene od strane relevantnih svjetskih institucija, i široko rasprostranjene i otvorene platforme za vizualizaciju bazirane na GIS-u. Sve to uz

projektovanje odgovarajućih softverskih interfejsa i “user friendly” integraciju. U razmatranje se uzima prosti (XY) i složeni (XYZ) teren.

Predloženo rješenje, nazvano „XY plume“, se sastoji u korišćenju besplatnih i pouzdanih ALOHA i SCREEN softvera za modeliranje preporučenih od strane EPA i Google Eartha, Google Maps i OpenStreet Maps Web baziranih GIS browsera za vizualizaciju. Prilikom proračuna zona opasnosti u obzir se uzimaju različiti tipovi izvora emitovanja (tačkasti, površinski, zapreminski i cjevovodi), meteorološki uslovi na mjestu incidenta (brzina vjetra, smjer vjetra i temperatura) kao i različite vrste terena (urbani i ruralni). Proračunate zone opasnosti se prikazuju na Web GIS browseru odakle se vrši procjena opasnosti i preduzimaju akcije djelovanja. Kao mehanizam za povezivanje disperzionih modela i Web GIS browsera koristi se KML („Keyhole Markup Language“) protokol kojim se može pristupiti preko bilo kojeg internet browser-a (IE, Opera, Google Chrome, Mozilla Firefox) i koristeći mnoštvo uređaja (pametni telefon, tablet, desktop i laptop računari) koji posjeduju internet konekciju.

Softversko rješenje „XY plume“ se nadograđuje na kompleksan (urbani) teren, gdje se daje veoma praktičan i u nekim elementima originalan pristup simulacije i vizualizacije, nazvan „XYZ plume“, baziran na ekstenziji SCREEN3 modela na elevacioni teren koji uključuje i urbane komponente (zgrade i gradsku infrastrukturu). Jedinstvena mapa terena + urbane arhitekture se pravi na osnovu raspoloživih mapa i na taj način dobijena elevaciona matrica ugrađuje u modeliranje.

U prvom poglavlju se daje pregled potencijalnih hazarda sa kojima se srećemo u svakodnevnom životu. U drugom poglavlju se opisuje problem disperzije vazdušnih polutanata iz različitih izvora u realnim vremenskim i terenskim uslovima kao i matematički modeli disperzije koji se najčešće koriste. Treće poglavlje elaborira ALOHA i SCREEN softvere za modeliranje. U četvrtom poglavlju se u kratkim crtama opisuju geo-prostorni podaci, GIS browseri kao što su Google Earth, Google Maps i Open Street Map i KML protokol. Peto poglavlje daje predloženi sistem softverske integracije „XY plume“, koji predstavlja rješenje autora bazirano na Visual Studio-SCREEN3-KML-GIS tehnologijama. U šestom poglavlju se opisuje ekstenzija predloženog rješenja „XY plume“ na rješenje „XYZ plume“. Sedmo poglavlje sadrži rezultate testiranja predloženih softverskih sistema uzimajući u obzir odgovarajuće realne scenarije akcidenata u vidu nekontrolisane emisije iz industrijskih postrojenja, transportnih sredstava (cisterni), uređaja za skladištenje (tankova) na pozicijama poznatog terena. Na kraju se daje zaključak cjelokupnog istraživanja i popis korištenih referenci.

1. Opasni gasovi

Čist vazduh je osnov za zdravlje i život ljudi i čitavog ekosistema. Vazduh je smjesa gasova azota (78%), kiseonika (21%), ugljen-dioksida (0,03%) i malih količina drugih gasova kao što su neon, argon i vodena para [10][11]. U vazduhu se mogu u tragovima detektovati i čestice prašine, kao i bakterije.

Pod zagađenjem vazduha podrazumijeva se ispuštanje štetnih gasova ili čestica u atmosferu iz prirodnih izvora (vulkanske erupcije, polen, šumski požari) ili iz izvora izazvanih ljudskom aktivnošću (industrija, poljoprivreda, saobraćaj, atomski eksperimenti). U urbanim sredinama najčešći uzroci zagađenja su saobraćaj i sagorijevanje goriva u stacionarnim izvorima, uključujući domaćinstva, industrijsko grijanje i hlađenje, kao i termoelektrane na ugalj. Statistike pokazuju da je najveći izvor zagađenja vazduha u gradovima automobilski saobraćaj. Smatra se da oko 60% ukupnog svjetskog zagađenja potiče od sagorijevanja goriva u motorima automobila. Ispušni gasovi automobila, koji nastaju sagorijevanjem benzina u motoru, sadrže oko 20% ugljen-dioksida, 27% ugljovodonika i 34% azotovih oksida.

Zbog velikog broja zagađivača i potencijalnih izvora opasnih gasova jako je kompleksno izvršiti njihovu egzaktnu klasifikaciju. Uobičajena je njihova podjela na hazardne gasove prirodnog i vještačkog tipa. S obzirom na prirodu ovog rada, u nastavku će se razmatrati samo zagađivači vještačkog tipa.

Izvori zagađenja vazduha mogu biti pokretni i stacionarni, sa konstantnom ili varijabilnom emisijom (dnevna varijacija, sezonska varijacija). Vazdušni zagađivači ili polutanti se mogu podijeliti na primarne i sekundarne. Primarni polutanti su oni polutanti koji su emitovani direktno iz izvora kao rezultat procesa sagorijevanja, isparavanja, mljevenja bez ikakvih naknadnih hemijskih reakcija.

Glavni primarni plutanti su:

- Oksidi ugljenika (CO_x),
- oksidi azota (NO_x),
- troposferski ozon
- oksidi sumpora (SO_x),
- olovo,
- isparljiva organska jedinjenja.

Sekundarni polutanti se ne emituju direktno, već se oni formiraju u atmosferi hemijskom reakcijom u kojoj učestvuje sunčeva svjetlost, ugljovodonici i oksidi azota. Glavni sekundarni polutanti su:

- fotohemijski oksidanti (naročito ozon O₃) i
- kisela depozicija (kisele kiše).

Potrebno je napraviti razliku između ozona na zemlji koji se smatra hazardne gasovom i ozona u gornjim slojevima atmosfere koji štiti Zemlju od ultraljubičastog zračenja. Pored navedenih, među velikim zagađivačima vazduha ubrajaju se i teški metali, kao i praškaste supstance (Tabela 1).

Tabela 1.1. Praškasti zagađivači vazduha i njihove karakteristike [4]

NAZIV ČESTICE	KARAKTERISTIKE	UTICAJ NA ZDRAVLJE
PM 10	široka klasa hemijski i fizički razolikih supstanci, koje postoje kao čestice sa dijametrom manjim ili jednakim 10 µm	inhalacija čestice dovodi do raznih hroničnih ili akutnih respiratornih oboljenja
PM 2.5	široka klasa hemijski i fizički razolikih supstanci, koje postoje kao čestice sa dijametrom manjim ili jednakim 2,5 µm.	inhalacija čestica dovodi do raznih hroničnih ili akutnih respiratornih oboljenja.

Da bi se proračunale zone opasnosti, potrebno je prvo identifikovati hazardni gas. Potom se na osnovu vrste gasa određuju nivoi kritičnih koncentracija. Ovi nivoi su definisani različitim aktima, specifični su za svaki gas i izražavaju se u mg/m³ ili ppm (parts per million). Opšte prihvaćena su slijedeća dva dokumenta:

- Smjernice za nivo akutne izloženosti (AELG – Acute Exposure Level Guidelines),
- Smjernice za planiranje reakcija u vanrednim situacijama (ERPG – Emergency Response Planning Guidelines).

Na osnovu ovih dokumenata svake zemlje uređuju svoje direktive ili uredbe. AELG predstavlja nivo izloženosti pri kojoj većina ljudi, uključujući i osjetljive pojedince (djecu i stare), ako su izloženi hazardnim hemikalijama određeni vremenski period, počinju da osjećaju posljedice po zdravlje. Nivoi su definisani za vremenske periode od 10 i 30 minuta, 1 sat, 4 sata i 8 sati. Za svaku hemikaliju i svaki vremenski period postoje tri kritična nivoa:

- AEGL1 – koncentracija iznad koje opšta populacija može osjetiti značajnu nelagodnost, iritaciju ili određene asptomatske gubitke čula. Međutim, efekti ne onespobijavaju, prolazni su i osoba se može oporaviti nakon prestanka izlaganja.
- AEGL2 – koncentracija iznad koje opšta populacija može osjetiti nepovratne ili druge ozbiljne, dugotrajne štete po zdravlje ili mogu biti onespobijeni da izbjegnu dalje izlaganje.

- AEGL3 – koncentracija iznad koje opšta populacija može osjetiti opasne posljedice po zdravlje ili smrt.
- ERPG procjenjuju koncentraciju pri kojoj većina ljudi (bez osjetljivih pojedinaca), ako je izložena hazardnim hemikalijama u trajanju od jednog sata, počinje da osjeća posljedice po zdravlje. Za svaku supstancu su definisana tri nivoa:
- ERPG1 – maksimalna koncentracija hazarda u vazduhu ispod koje se smatra da skoro većina ljudi može biti izložena do jednog sata, a da ne osjeti nikakve druge bez blage, prolazne posljedice po zdravlje.
- ERPG2 – maksimalna koncentracija hazarda u vazduhu ispod koje se smatra da skoro većina ljudi može biti izložena do jednog sata, a da ne doživi ili razvije nepovratne ili druge ozbiljne zdravstvene posljedice ili simptome koji bi mogli onesposobiti pojedinca da preduzme zaštitne mjere.
- ERPG3 – maksimalna koncentracija hazarda u vazduhu ispod koje se smatra da skoro većina ljudi može biti izložena do jednog sata a da ne doživi ili razvije simptome opasne po zdravlje.

U tabeli 1.2 su dati nivoi nekih karakterističnih hemikalija za 60 minuta izlaganja.

Tabela 1.2. Kritični nivoi nekih široko rasprostranjenih hemikalija

Vrsta gasa	Hemijska oznaka	AEGL1	AEGL2	AEGL3	ERPG1	ERPG2	ERPG3
		Nivoi za 60 minuta izlaganja izraženi u ppm					
Hlor	Cl ₂	0,5	2	20	1	3	20
Hlorovodonik	HCl	1,8	22	100	3	20	150
Fluorovodonik	HF	1	24	44	2	20	50
Azotdioksid	NO ₂	0,5	12	20	1	15	30
Amonijak	NH ₃	30	160	1100	25	200	1000
Ugljenmonok	CO	/	83	330	200	350	500
Sumpordioksi	SO ₂	0,2	0,75	30	0,3	3	15

1.1. Oksidi ugljenika

Oksidi ugljenika su produkti sagorjevanja raznih vrsta goriva, pa se mogu naći u dimu koji nastaje prilikom raznih tehnoloških procesa, gdje se odvija sagorjevanje. Ako je sagorjevanje potpuno uz dovoljne količine kiseonika javlja se ugljen-dioksid (CO₂), a ako je sagorjevanje nepotpuno pored ugljen-dioksida nastaje i ugljen-monoksid (CO). Ugljen-monoksid prisutan u donjim slojevima atmosfere, usljed atmosferskih strujanja, dolazi u gornje slojeve, gde uz pomoć ultra-ljubičaste radijacije i prisutnog azot-dioksida prelazi u ugljen-dioksid.

Ugljen-monoksid spada u grupu hemijskih zagušljivaca i najvećih zagađivača vazduha. To je gas sastavljen od atoma ugljenika i atoma kiseonika, bez boje, mirisa i ukusa, lakši od vazduha. Jake je citotoksičnosti za živa bića. Njegov toksični efekat nastaje veoma brzo čak i

pri izuzetno malim koncentracijama. Smrtna doza za ljude iznosi 1.000-2.000 ppm (0,1-0,2 %) pri udisanju gasa od 30 min. Kod visokih koncentracija ugljen-monoksida u udahnutom vazduhu smrt može nastati u vremenu od 1-2 minuta.

Izduvni gasovi motora sa unutrašnjim sagorjevanjem jedan su od najvećih zagađivača atmosfere ovim gasom (sa 1-14 vol%) zatim, slijede izduvni gasovi koji nastaju u toku proizvodnje gvožđa kao i gasovi pri sagorevanju uglja u termoelektranama, i u procesu proizvodnje u rafinerijama nafte i hemijskoj industriji. U razvijenijim zemljama svijeta (SAD, Japan, Zapadna Evropa) i do 60% ugljen-monoksida potiče iz motora sa unutrašnjim sagorjevanjem.

Emisija ugljen-monoksida se može smanjiti boljim podešavanjem smeše vazduha i goriva, što znači uspostavljanjem većeg težinskog odnosa između vazduha i goriva. Pri odnosu većem od 16:1 rad motora sa unutrašnjim sagorjevanjem prati neznatna emisija ugljen-monoksida.

Tabela 1.3. Maksimalne i minimalne granice vrijednosti koncentracije ugljen monoksida u vazduhu [4]

Gornja granica	$7\mu\text{g}/\text{m}^3$
Donja granica	$5\mu\text{g}/\text{m}^3$

1.2.Oksidi azota

U atmosferi postoji niz različitih azotnih jedinjenja, kao što su azotni oksidi i njihove soli (nitriti i nitrati), amonijak kao gas i njegova so (amonijum). Oksidi azota su većinom nestabilni i brzo oksiduju do azot-dioksida. Sa aspekta zagađenja vazduha najbitniji su azot-monoksid i azot-dioksid jer učestvuju u sintezi fotohemijskog smoga.

Oksidi azota se uglavnom pojavljuju u vidu azot-monoksida (NO), azot-dioksida (NO₂), dok se azot-suboksid (N₂O) javlja u neznatnim količinama („tragovima”). Azot-suboksid je slabo reaktivan i nema značajniji uticaj na hemijske reakcije u donjim slojevima atmosfere. Dva oksida azota – azot monoksid (NO) i azot dioksid (NO₂) su od posebne važnosti kod razmatranja zagađenosti vazduha, posebno u urbanim sredinama. Oksidi formula NO i NO₂ se zajednički obilježavaju simbolom NO_x. Ovi oksidi u atmosferu dopijevaju iz prirodnih (električno pražnjenje i mikrobiološki procesi) i antropogenih izvora. Antropogeni izvori su mnogo značajniji budući da regionalno izražene visoke koncentracije azot-dioksida mogu da prouzrokuju osjetan pad kvaliteta vazduha.

Gotovo cjelokupna količina NO_x oksida antropogenog porijekla dopijeva u atmosferu kao posljedica sagorjevanja goriva kako u stacionarnim, tako i pokretnim izvorima. NO_x oksidi nastaju pri sagorjevanju svih vrsta fosilnih goriva. Gotovo cjelokupna emisija NO_x gasova

(oko 100 miliona tona godišnje u svijetu) potiče iz fosilnih goriva. Veći dio NO_x oksida dospijeva u atmosferu iz izvora koji proizvode NO – motori sa unutrašnjim sagorjevanjem.

Azotovi oksidi (NO_x) se obrazuju u oblastima visokih temperatura (u zoni plamena i oko nje), a mogu nastati oksidacijom azota iz vazduha (termički azot) i azota sadržanog u gorivu (NO_x iz goriva). Formiranje termičkih oksida azota zavisi ponajviše od dva faktora:

- temperature i
- koncentracije kiseonika.

Snizanju ovih parametara se pridaje velika pažnju u nastojanjima da se smanji emisija NO_x oksida koji nastaju preko termičkog mehanizma. Mehanizam nastanka NO_x oksida iz azota prisutnog u gorivu nije u potpunosti poznat. Ipak, zna se da na stepen konverzije azota iz goriva ponajviše utiče struktura plamena, a manje njegova temperatura. Na proces sagorjevanja azota iz goriva utiče i sadržaj azota u gorivu, odnos kiseonika i azota, a posebno višak kiseonika – sa povećanjem koncentracije kiseonika u dimnom gasu, povećava se koncentracija nastalih oksida azota. U procesu sagorjevanja azota i nastajanja jedinjenja azota (NO_x) moguće je formiranje i drugih zagađujućih supstanci koje nastaju u toku fotohemijskih reakcija posle ispuštanja u atmosferu izduvnih gasova i isparenja goriva.

Tabela 1.4. Maksimalne i minimalne granice vrijednosti koncentracije azot-oksida u vazduhu [4]

SPOJ	VRIJEDNOST	POSEBAN USLOV
GORNJA GRANICA		
NO_2	140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<i>Ne smije se prekoračiti više od 18 puta u toku godine</i>
NO_2	32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<i>Godišnja srednja vrijednost</i>
NO_x	24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<i>Godišnja srednja vrijednost primjenljiva za vegetaciju</i>
DONJA GRANICA		
NO_2	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<i>Ne smije se prekoračiti više od 18 puta u toku godine</i>
NO_2	26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<i>Godišnja srednja vrijednost</i>
NO_x	19,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<i>Godišnja srednja vrijednost primjenljiva za vegetaciju</i>

1.3. Troposferski ozon

Povećana koncentracija ozona u prizemnom sloju atmosfere (u troposferi) nastaje kao posljedica sagorjevanja fosilnih goriva, kako u stacionarnim tako i u pokretnim izvorima. Preduslov za nastajanje ozona u prizemnom sloju atmosfere je emisija NO_x oksida (NO i NO_2). Prizemni ozon šteta je po zdravlje ljudi. Ljudi izloženi niskim koncentracijama ozona osećaju simptome gušenja i psihičke napetosti. Maksimalno dozvoljena koncentracija ozona u

vazduhu iznosi 10–5%. Kako ozon ima jake oksidacione i baktericidne osobine, on se koristi za izbjeljivanje papira, ulja i ozoniranje vode za piće.

1.4.Oksidi sumpora

Oksidi sumpora, kao što su sumpor-dioksid (SO_2), sumpor-trioksid (SO_3), sumporasta ili sulfitna kiselina (H_2SO_3), sumporna ili sulfatna kiselina (H_2SO_4), kao i soli ovih kiselina predstavljaju uobičajene zagađujuće materije u vazduhu. Procesom biološke razgradnje u okeanima i na kopnu nastaje sumpor-vodonik (H_2S), koji se oksidiše do sumpor-dioksida, tako da je život H_2S u atmosferi samo nekoliko sati. Na taj način najveći dio ukupnog SO_2 u atmosferi potiče od H_2S . Najveći zagađivač vazduha je sumpor-dioksid i javlja se u fabrici celuloze i papira, a posebno u naseljenim mestima. Koncentracije SO_2 u atmosferi se razlikuju u različitim područjima. U urbanim i industrijskim područjima koncentracija ove zagađujuće materije je po pravilu veća. Jedan od značajnih izvora oksida sumpora u atmosferi predstavlja proces topljenja rude prilikom proizvodnje metala.

Sumpor-dioksid i sumporasta, sumporna kiselina i sulfidi mogu izazvati ozbiljne zdravstvene probleme kod ljudi (konjuktivitis, oboljenja respiratornog sistema) i kod biljaka (pojave kiselih kiša i sušenja šuma), a zapaženi su štetni efekti i na metale, kožu, papir i tekstil.

Tabela 1.5. Maksimalne i minimalne granice vrijednosti koncentracije Sumpor dioksida u vazduhu [4]

SPOJ	VRIJEDNOST	POSEBAN USLOV
GORNJA GRANICA		
SO_2	$75 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Ne smije se prekoračiti više od 3 puta u toku godine
SO_2	$12 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Kritična vrijednost zimi
SO_2		
SO_2	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Ne smije se prekoračiti više od 3 puta u toku godine
SO_2	$8 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Kritična vrijednost zimi

Sumpor ponekad može u velikim erupcijama vulkana i direktno da se emituje u stratosferu. U ovakvim slučajevima emisija može imati posljedice na cijelu planetu. Čestice prašine ubačene vulkanskim erupcijama u stratosferu ostaju tamo veoma dugo i mogu dovesti do smanjivanja toplotne energije koja sa Sunca dopijeva na Zemlju.

Najvažniji antropogeni izvor SO_2 su termoelektrane. Sagorjevanjem uglja, oksidišu neki elementi u određene okside: SO_2 , NO_2 , CO_2 , metali se javljaju kao oksidi u obliku pepela. Sagorjevanjem fosilnih goriva u atmosferu ode godišnje oko 62 miliona sumpora. Topljenjem sulfidnih ruda, u kojima se nalazi sumpor, oslobađaju se velike količine SO_2 .

Iako veliki deo otrovnih gasova iz termoelektrana odlazi u više slojeve atmosfere, značajan dio ostaje u okolini elektrane, gde su uslovi za život čovjeka veoma nepovoljni, pa su česta oboljenja pluća i respiratornih organa.

1.5. Olovo u vazduhu

Olovo je prirodni konstituent vazduha, vode, zemljišta i biosfere. Olovo je metal koji se u atmosferi javlja u vidu veoma malih čestica. U vazduhu se može naći usljed erozije zemljišta, vulkanskih erupcija, morskog aerosola i prilikom požara u prirodi. Prirodna koncentracija olova u vazduhu je manja od $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

U prošlosti, motorna vozila su bila najveći izvor olova. Od kada se upotreba olovnog benzina smanjila, emisija olova se smanjila za 98%. Danas, industrija metala je najveći izvor atmosferskog olova. Najveća koncentracija olova u vazduhu su nađene u blizini topionica metala, fabrika akumulatora, štamparija.

Tabela 1.6. Maksimalne i minimalne granice vrijednosti koncentracije olova u vazduhu [4]

<i>SPOJ</i>	<i>VRIJEDNOST</i>	<i>POSEBAN USLOV</i>
<i>GORNJA GRANICA</i>		
<i>SO₂</i>	<i>0,35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	<i>Godišnja srednja vrijednost</i>
<i>SO₂</i>		
<i>SO₂</i>	<i>0,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	<i>Godišnja srednja vrijednost</i>

U urbanim sredinama sadržaj olova je oko 1 do $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ovaj sadržaj je direktno zavistan od veličine grada, tako da u većim gradovima ova vrednost može da dostigne i po nekoliko desetina $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Takođe, utvrđeno je da je koncentracija olova u vazduhu urbanih sredina veća u toku dana, nego u toku noći, što je uslovljeno intenzitetom automobilske saobraćaja. Sadržaj olova u krvi čoveka je u proseku oko 0.25 ppm. Olovo uneto u organizam tokom dužeg vremena se akumulira vezujući se za koštani sistem čoveka. Tako vezano ne šteti neposredno organizmu. Međutim, pri poremećaju metabolizma kalcijuma, može doći do njegovog oslobađanja i akutnog trovanja organizma.

1.6. Isparljiva organska jedinjenja

Sa stanovišta aerozagadenja, isparljiva organska jedinjenja (engl. Volatile Organic Compounds - VOC) podrazumijevaju organska jedinjenja koja se javljaju u gasovitom obliku u vazduhu urbanih sredina. To su jedinjenja koja u svom molekulu imaju do 12 C atoma. U ovu grupu spadaju aldehidi, ketoni i različiti ugljovodonici.

Najčešći VOC je metan. Svi ostali VOC se često nazivaju nemetanski VOC. Njegova koncentracija u vazduhu je 10 do 15 puta veća od ostalih VOC. Globalna emisija metana je

oko 500 miliona t/god (360 miliona je antropogena emisija, a 140 miliona je prirodna emisija).

Osnovni izvor metana su biogeni procesi u tlu. Antropogeni emiteri:

- Motorna vozila 50%
- Industrijski procesi 15%
- Isparavanje rastvarača 10%
- Izgaranje fosilnih goriva, šumski požari, požari smetliša.

Motorna vozila su glavni emiter VOC (u svetu ima oko 400 miliona automobila). Količina emitovanih VOC zavisi od konstrukcije motora, njegovog rada i od vrste goriva koje se koristi. Tako su benzinski motori veći emiteri od dizel motora. VOC u koncentracijama u kojima se obično pojavljuju u vazduhu nemaju direktno toksični uticaj na ljude i životinje. Oni dovode do nastanka fotohemijskih oksidanata, koji su toksični.

1.7. Kritični nivoi koncentracije opasnih gasova i pragovi alarmiranja

Kritični nivoi su definisani različitim aktima, specifični su za svaki gas i izražavaju se u mg/m³ ili ppm (parts per million).

Tabela 1.7. Pragovi alarmiranja o povećanoj koncentraciji opasnih gasova u vazduhu [4]

OPASNI GAS	VRIJEME MJERENJA KONCENTRACIJE	KRITIČNI NIVO
SUMPOR DIOKSID	1h	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
AZOT DIOKSID	1h	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
OZON	1h	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
OZON	1h	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

2. Matematički modeli disperzije opasnih gasova

Modeliranje zagađenja vazduha opasnim gasovima je aktuelno još od tridesetih godina prošlog vijeka. Transport opasnih gasova kroz atmosferu, difuziju, hemijske transformacije i deponovanje na zemlju samo su neki od parametara koji se uzimaju u obzir pri generiranju modela. U prošlosti je model disperzije gasa podrazumijevao ručne proračune i korišćenje jednostavnih tabela i grafika. Najstariji modeli su bili gausovskog tipa, a koristili su se za modeliranje kretanja dima emitovanog iz fabričkih dimnjaka [12]. Tokom godina, razvijeno je još nekoliko bazičnih pristupa ovom problemu i na stotine njihovih varijacija. Danas modeli disperzije predstavljaju kompjuterske pakete sa mnogo komplikovanim proračunima i boljim grafičkim prikazom zagađenja. Ovi modeli opisuju uzročno–posljedične veze između emisije gasa, meteoroloških parametara, atmosferskih prilika, fizičko – hemijskih karakteristika kretanja i širenja gasa, karakteristika terena kao i drugih faktora.

Modeli disperzije gasnih opasnih gasova igraju značajnu ulogu u nauci zbog svoje sposobnosti da procijene uticaj i štetnost određenih procesa. Ovi modeli predstavljaju jedini metod koji kvantifikuje deterministički odnos između emisije i koncentracije hazardnog gasa. Oni mogu procijeniti posljedice prošlih i budućih scenarija kao i efikasnosti primijenjenih strategija za smanjenje zagađenja.

Postoji veliki broj različitih tipova modela za širenje gasnih zagađivača. Odabir odgovarajućeg modela zavisi od specifičnosti primjene, veličine problema, dostupnih ulaznih parametara, od izlaznih podataka koji se zahtijevaju i od vremena potrebnog da model završi proračun. Da bi se odabrao pravi model za modeliranje emisije opasnih gasova i dobijanje dobije upotrebljive procjena kretanja zagađenja kroz atmosferu, u obzir se moraju uzeti, između ostalog, slijedeći parametri:

- temperatura gasa,
- geometrija izvora,
- vremenske fluktuacije,
- molekulska masa,
- reaktivnost,
- vrijeme poluraspad i dr.

Za procjenu kretanja i širenja vazdušnih polutanata nakon njihovog ispuštanja u atmosferu su razvijeni brojni modelidisperzije koji se dijele na fizičke modele i matematičke modele. Atmosfera je veoma kompleksan, fizikalno - kemijski sistem stoga je modeliranje tog sistema izuzetno složeno. Proces rasprostiranja nekog efluenta i njegova koncentracija ovisi o kretanju atmosferskih masa (vjetrova), miješanju zraka po visini, hemijskim reakcijama opasnih gasova i/ili radioaktivnom raspadu u atmosferi te brzinitaloženja.

Fizički modeli simuliraju stvaran fenomen znatno umanjenih vrijednosti u laboratorijskim uslovima. Oni otkrivaju mehanizam disperzije i pružaju validaciju podataka dobijenih matematičkim modelima. Matematički modeli predstavljaju skup analitičko/numeričkih algoritama koji opisuju fizički i hemijski aspekt problema. Mogu se dalje podijeliti na determinističke i statističke modele.

Deterministički modeli se baziraju na fundamentalnom matematičkom opisu atmosferskih procesa i svih uzročno – posljedičnih veza koje utiču na proces disperzije. Statistički modeli se baziraju na poluempirijskim statističkim vezama izvedenih iz postojećih podataka i mjerenja. Primjer determinističkog modela je difuzioni model u kojem je izlaz (matrica koncentracija) izračunat na osnovu matematičkih manipulacija specifičnih ulaznih parametara (brzina emisije, atmosferski parametri). Primjer statističkog modela predstavlja prognoza vremena za određenu oblast. Ovdje, nivo koncentracije za sljedećih nekoliko sati predstavlja statističku funkciju trenutno dostupnih mjerenja i prethodne korelacije između mjerenja i trendova promjene koncentracije. Ipak, deterministički modeli su, i dalje, najznačajniji za korišćenje u praktičnim aplikacijama.

Najkompleksniji proračuni raspodjele koncentracija opasnih gasova na većim prostorima (pa i na cijeloj površini Zemlje) rješavaju se trodimenzionalnim modelima atmosfere. To se ponajprije odnosi na proračun raspodjele opasnih gasova koji imaju globalne učinke (ugljični dioksid i drugi staklenički plinovi). Ne može se zanemariti da se podjednako koriste i jednodimenzionalni modeli (kod određivanja vremenske promjene koncentracija nekog značajnog sastojka atmosfere, primjerice ozona, po visini atmosfere) i dvodimenzionalni modeli kod proračuna visinskih i prizemnih koncentracija efluenata koji uzrokuju kisele kiše (primjerice SO_2 i NO_x , emitirani na nekom području). Proračuni s 3D modelima su ne samo složeni zbog velikog broja kontrolnih volumena, nego i sadrže veliku dozu nesigurnosti zbog velikog broja ulaznih podataka, od kojih su mnogi nedovoljno definirani.

U nastavku su predstavljeni različiti modeli koji se mogu koristiti u modeliranju emisije opasnih gasova.

2.1. Deterministički modeli

Suština matematičkog modeliranja je u postavljanju zakona o očuvanju mase, energije, količine gibanja te transportnih jednačina za sve hazardne gasove u proračunu unutar volumena. Potrebno je modelirati i fizikalne interakcije između susjednih volumena, a nepotrebno je isticati da se radi o proračunima izuzetne kompleksnosti koji zahtijevaju dugo vrijeme rada računara. Difuzija gasnih zagađivača se može numerički simulirati korišćenjem nekoliko tehnika koje se mogu svrstati u sljedeće kategorije:

- Ojlerovi modeli,
- Lagranževovi modeli i
- Gausovi modeli.

Najviše modela zasnovano je na Gausovoj raspodjeli opasnih gasova, kako po vertikalnoj osi, tako i po osi normalnoj na pravac vetra. Ovaj pristup se uglavnom koristi kod gasova lakših od vazduha koji se emituju sa Zemljine površine ili iz izdignutih izvora i koji protiču kontinualno. Rijeđe se ovi modeli koriste i za modeliranje disperzije zagađujućih supstancija iz nekontinualnih izvora [13]. U modele zasnovane na Gausovoj raspodjeli spadaju AERMOD, BLP, CALINE3, OCD, AFTOX, ISC3, SDM, TSCREEN, VALLEY, RTDM3.

Lagranžovi modeli koriste pokretni koordinatni sistem da prate kretanje pojedinih čestica dima. Trajektorija svake pojedine čestice dima se modeluje na osnovu slučajnog kretanja, a zatim i koncentracija polutanata na osnovu statistike velikog broja pomenutih čestica. Ovi modeli mogu davati predviđanja za veoma duge vremenske intervale, čak do nekoliko godina [2]. U modele ovog tipa spadaju CALPUFF, AUSTAL2000, FLEXPART, GRAL, DEM, EMEP-trajectory, NAME, SCIPUFF. Jedan od modela ovog tipa razvijen specifično za modeliranje rasprostiranja radioizotopa je NAME. Ovaj model je nastao u Velikoj Britaniji kao odgovor na Černobilsku katastrofu. Model može da obradi veoma veliku količinu meteoroloških i drugih podataka, ali je takođe u stanju da operiše na osnovnim postavkama u slučaju da je potrebna hitna procena zagađenja. Minimalni potrebni podaci su lokacija i vreme početka ispuštanja radiopolutanta, a procena dobijena na osnovu smanjenog broja parametara ima, svakako, ograničenu primjenu.

Ojlerovski modeli su principijalno vrlo slični lagranžovim. Prati se nasumično kretanje velikog broja „čestica“ opasnih gasova, ali se koristi fiksirani Dekartov koordinatni sistem. DEHM, TAPM, MEMO, TCAM i UAM predstavljaju modele ovog tipa.

I Ojlerovi i Lagranževovi modeli prate kretanje velikog broja čestica zagađivača od njihove početne lokacije. Međutim, osnovna razlika između ovih modela je ta što je Ojlerov referentni sistem fiksiran (u odnosu na zemlju), dok Lagranžev referentni sistem prati kretanje vjetra. Gausovi modeli predstavljaju kombinaciju Ojlerovih i Lagranževih modela.

2.1.1. Ojlerovi modeli

Ojlerov pristup se bazira na fiksiranom prostorno – vremenskom koordinatnom sistemu. Ojlerovi modeli su počeli da se razvijaju Renoldovim (*Reynold*) proučavanjima disperzije ozona u urbanim sredinama (1973 godine), Širovim i Šihovim (*Shir, Shieh*) istraživanjima disperzije sumpor dioksida u urbanim sredinama (1974 godine), kao i Iganovim i Karmikalovim (*Eagan, Carmichael*) proučavanjima disperzije sumpora za određeni region (1979). Na osnovu Renoldovog proučavanja disperzije na razvio se dobro poznati model UAM (Urban Airshed Model) originalno razvijen za fotohemijske

simulacije. Ojlerovi modeli su se koristili jedino za specifične epizode zagađenja od nekoliko dana.

Kod modela koji se baziraju na ovome pristupu, posmatrani prostor je podijeljen na jednake djelove (polja) i u horizontalnom i u vertikalnom pravcu čime se dobija Ojlerova mreža. Količina supstance se računa posebno za svako fiksiranopolje. Ojlerova mreža se najčešće primjenjivala u Sjedinjenim državama, za urbane sredine i epizodne uslove, primarno se fokusirajući na disperziju O_3 .

Osnovna jednačina koja se koristi u Ojlerovim modelima za disperziju gasnih zagađivača je izvedena iz jednačine molekularne difuzije zagađivača i izgledao vako:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \nabla^2 C - u \nabla C + S \quad (2.1)$$

gdje je:

C - koncentracija polutanta u vazduhu,

D - koeficijent molekularne difuzije (oko $1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ u vazduhu),

$$\nabla^2 - \text{Laplasijan, tj. } \nabla^2 = \frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2}$$

u - vektor brzine vjetrova,

$$\nabla - \text{gradient, tj. } \nabla = \frac{d}{dx} + \frac{d}{dy} + \frac{d}{dz}$$

S - jačina izvora izražena u kg/s.

Na osnovu ovoga Ojlerovog pristupa, razvijeni su mnogi modeli za rješavanje problema disperzije gasnih zagađivača. Neki od njih su:

- Box model,
- Multi –Box model,
- Dinamički slug model.

1.1.1.1. Box model

Box model je najjednostavniji Ojlerov model. Bazira se na održavanju mase unutar Ojlerove kutije u kojoj se emituju zagađivači. Uopšteno gledano, Ojlerova kutija predstavlja veliku oblast kao što je teritorija jednog grada.

Jednačina održavanja mase je prikazana na slijedeći način:

$$\frac{\partial}{\partial t}(C, z_i) = Q - (C, z_i) \frac{u}{\Delta x} \quad (2.2)$$

gdje je:

Q – brzina emisije u kg/s,

z_i – visina kutije u metrima,
 Δx – dužina kutije u metrima

Integraljenjem prethodnog izraza dobija se:

$$c(t) = c(t_0)e^{\frac{-t}{T_f}} + QT_f(1 - e^{\frac{-t}{T_f}}) \quad (2.3)$$

U ovoj jednačini predstavlja ukupno vrijeme trajanja procesa disperzije tj. vremensku konstantu disperzije. Ovaj model se može primijeniti i za inertne i za reaktivne hazardne gasove. U slučaju reaktivnih zagađivača, jednačina (2.3) se mora modifikovati tako da uključuje hemijske reakcije u proračunima održavanja mase.

Iako koristan, ovaj model je veoma ograničen zbog nemogućnosti da precizno predvidi disperziju gasnih polutanata u vazduhu. Razlog za ovaj nedostatak leži u pretpostavci o homogenoj distribuciji polutanata unutar kutije. Unošenjem početnih uslova, Box model simulira formiranje polutanata unutar cijele kutije bez mogućnosti da pruži bilo kakvu informaciju o lokalnim koncentracijama polutanata. Sa pretpostavkom homogenosti, stvarni proces disperzija je previše uprošćen. To čini ovaj tip modela neupotrebljivim za modeliranje koncentracija zagađivača u lokalnim sredinama, gdje na koncentraciju, a samim tim i na dinamiku čestica, zagađivača veoma utiče lokalna promjena vjetra i emisije.

1.1.1.2. Multi – Boxmodel

„Multi - Box“ modeli predstavljaju produženu verziju „Box“ modela. Kod ovih modela, cijela posmatrana oblast je podijeljena na određeni broj manjih djelova u kojima se primjenjuje ranije opisan model kutije. Dva velika ograničenja ovih modela su zanemarivanje horizontalne disperzije i pretpostavka trenutnog miješanja zagađivača kroz kutiju. Međutim, proračun je veoma brz i u nekim slučajevima može obezbijediti zadovoljavajuće rezultate, pogotovo u oblastima gdje nisu dostupne detaljne meteorološke informacije i informacije o emisiji.

1.1.1.3. Dinamički slug model

Box model je veoma inertan i ne može pravilno da obradi brze vremenske promjene ni brzine emisije a ni promjene vektora brzine vjetra. Zbog tih nedostataka, predložen je Dinamički slug model kao poboljšanje Box modela. Ovaj model zahtijeva rješavanje kompleksnih jednačina i uključivanje novih varijabli i parametara što ga čini znatno sporijim i mnogo manje korišćenim modelom.

2.1.2. Lagranževski modeli

Lagranževski modeli predstavljaju alternativni pristup u prikazu disperzije gasa u vazduhu. Kao što je i ranije navedeno, osnovna razlika između Ojlerovog i Lagranževog pristupa je ta što je Ojlerov referentni sistem fiksiran dok Lagranžev referentni sistem prati kretanje vjetra. U Lagranževim modelima prati se dio vazduha duž trajektorije vjetra i pretpostavlja se da on zadržava svojstva tokom svoje putanje.

Ovi modeli, prvenstveno usmjereni na opis transporta sumpor dioksida na velikim udaljenostima, počeli su da se razvijaju proučavanjima Roda (*Rohde*, 1972, 1974 godine), Elisena (*Eliassen*, 1975 godine) i Fišera (*Fisher*, 1975 godine). Elisenov rad predstavlja početak EMEP („*European Monitoring and Evaluation Programme*“) modela koji se koristio dugo godina za proračunavanje prekoračenja dozvoljene količine gasnog zagađivanja kiselih rastvora, a kasnije fotooksidanata. Lagranževski modeli se često koriste za opisivanje dužeg vremenskog perioda, čak i do godinu dana. Lagranževsko modeliranje se uglavnom obavljalo u Evropi, za velike distance i duge vremenske periode, primarno se fokusirajući na SO₂ [9]. Lagranževski modeli proučavaju promjenu koncentracije u zavisnosti od brzine fluida, turbulencije komponenti vjetra (brzine, pravca i smjera) i molekularne difuzije. Ovi modeli rade dobro i za homogene i stacionarne uslove na ravnom terenu kao i za nehomogene i nestabilne uslove na kompleksnom terenu. Moguće je modelovati nelinearne hemijske procese primjenom koncentracione mreže na domenu i računanjem koncentracije za svaku ćeliju mreže, ili se čestice mogu tretirati kao proširena kutija pa se fotohemijski modul primjenjuje na svaku kutiju. Meteorološki podaci predstavljaju rezultat proračuna varijacije vjetra i Lagranževske autokorelacione funkcije.

Fundamentalna Lagranževa jednačina za disperziju jedne vrste gasa u vazduhu data je u nastavku:

$$\langle c(r, t) \rangle = \int_{-\infty}^t \int p(r, t|r', t') S(r', t') dr' dt' \quad (2.4)$$

gdje je:

$\langle c(r, t) \rangle$ - skup prosječnih koncentracija na receptoru r u vremenu t ,

$S(r', t')$ – emisija izvora,

$p(r, t|r', t')$ – funkcija gustine vjerovatnoće koja prikazuje vjerovatnoću da će se dio vazduha kretati iz receptora r' u vremenu t' ka receptoru r u vremenu t , što važi za svako r , t , r' , t' .

Integraljenje u prostoru se vrši za cijeli atmosferski domen. Slično kao i kod Ojlerovog pristupa, mnogi modeli disperzije gasa su bazirani na Lagranževom pristupu za rješavanje problem širenja gasnog zagađenja. Dva najznačajnija Lagranževa modela su Lagranžev „Box“ model i Model čestica.

2.1.2.1. Lagranžev „Box“ model

Lagranžev „Box“ model je sličan Ojlerovom „Box“ modelu. Osnovna razlika je

ta što je Lagranžeova kutija poketna i kreće se horizontalno na osnovu lokalne, vremenski promjenjive, prosječne vijednosti brzine i smjeravjetra.

Ova tehnika pruža prosječnu, vremenski promjenjivu, koncentraciju procijenjenu duž trajektorije kutije. Glavni nedostatak ove tehnike je prinudna pretpostavka o konstantnom smjeru i brzini vjetra, dok u stvarnosti, promjena vjetra igra značajnu ulogu.

2.1.2.2. Model čestica

Model čestica predstavlja moćan računarski alat za numeričku diskretizaciju fizičkog sistema. Modeli čestica opisuju transport čestica što bi bilo veoma teško ostvariti u Ojlerovim modelima bez neke njihove bitne promjene. Čestice imaju Lagranžeovu prirodu pošto se kreću prateći glavni tok. Iz toga razloga, one se često nazivaju Lagranžeove čestice.

Pošto Lagranžeovi modeli čestica računaju difuzionu karakteristiku generišući sekvencu pseudoslučajnih brojeva, onda oni nisu ograničeni sa klasama stabilnosti ili sigma krivima kao što je to slučaj kod Gausovih modela disperzije.

2.1.3. Gausov model

Gausov model je najjednostavniji model u pogledu formulisanja i pogledu potrebnih parametara, što ga čini najčešće korićenim modelom u kompjuterskim programima.

Gausov model predstavlja kombinaciju Ojlerovih i Lagranžeovih modela. Bazira se na Gausovoj (normalnoj) raspodjeli gasa u vertikalnom i horizontalnom smjeru pod stabilnim uslovima. Normalna distribucija gasa je modifikovana za veće distance zbog efekta turbulentne refleksije od površine zemlje i od gornjeg graničnog sloja (kada je visina miješanja niska). Širina dimne perjanice se određuje na osnovu koeficijenata disperzije σ_y i σ_z koji su definisani bilo klasama stabilnosti (Pasquill 1961. godine; Gifford Jr. 1976. godine) ili vremenom putovanja od izvora.

Jedan od ozbiljnih nedostataka ovog modela u odnosu na modeliranje disperzije čestica je taj što Gausov model koristi aproksimacije stabilnih stanja i ne uzima u obzir vrijeme potrebno da polutant dođe do receptora. Stoga, da bi se dobila dinamika gasa, potrebno je izvršiti naknadnu obradu dobijenih rezultata. Pored toga, regionalno modeliranje zahtijeva i hemijsko modeliranje kako bi se predvidjelo kretanje gasa. Čak i hemijske reakcije NO_x i SO_x , koje su od fundamentalnog značaja za određivanje čestica i koncentracije ozona, su često proračunate korišćenjem jednostavnih funkcija. Štaviše, jednačina Gausove dimne perjanice pretpostavlja da nema interakcije između čestica gasa. Razni algoritmi su razvijeni za modeliranje hemijskih i fizičkih procesa unutar samog gasa i disperzije oko prepreka (zgrade). Efekat prepreke se može postići modifikovanjem koeficijenata disperzije σ_y i σ_z . Međutim, Gausova jednačina nije u

.....
 mogućnosti da izračuna uticaj više prepreka i uticaj raskrsnica.

Neka ograničenja Gausovog modela se mogu prevazići aproksimirajući emisiju kao seriju čestica gasa u vremenu, čime je omogućeno da brzina vjetra varira. U ovom pristupu se svaka čestica gasa ponaša u skladu sa Gausovom jednačinom disperzije. Ukupan uticaj izvora se proračunava integracijom svih individualnih čestica sa obzirom na vrijeme i sumu doprinosa individualnih čestica na poziciji receptora.

U realnim uslovima postoji više oblika izvora zagađenja pa tako postoje i različite jednačine koje ih opisuju. Te jednačine su određene prirodom izvora i visinom na kojoj se nalazi izvor ireceptor. Još jedno ograničenje Gausovog pristupa leži u tome što Gausov model nije dizajniran za modeliranje disperzije pri slabom vjetru i na mjestima blizu samog izvora (na primjer na mjestima udaljenim manje od 100 metara od izvora). Pokazalo se da Gausovi modeli značajno preuveličavaju koncentraciju u uslovima slabog vjetra (Benson 1984. godine; Sokhi, Fisher 1998. godine). Dalja ograničenja su rezultat pojednostavljenosti turbulence vjetra i meteorologije pa su ovi modeli najprikladniji za proračunavanje koncentracija polutanata za kraće vremenske intervale (na primjer: svakog sata se vrši proračun).

Tabela 2.1. Pregled tri osnovna deterministička modela disperzije

	PREDNOSTI	NEDOSTACI
OJLEROV KOMPLETAN MODEL	• Uzima u obzir sve fenomene uključene u zagađenje vazduha (hemijske procese, solarnu radijaciju, taloženje zagađivača).	• Potrebno je veoma dugo vremena za proračun.
LAGRANŽEOV PRECIZAN MODEL	• Veoma precizan. • Numeričke greške sumale. • Moguće je uzeti u obzir heterogenost vjetra i turbulentna polja. • Ne zahtijeva previše zahtjevne proračune (ukoliko se ograniči broj izvora zagađenja)	• Kada se proračunava uticaj više izvora, povećava se broj trajektorija potrebnih za izračunavanje pa se samim tim i vrijeme proračuna veoma povećava. • Model ne može da uzme u obzir

GAUSOV
JEDNOSTA
VAN
MODEL

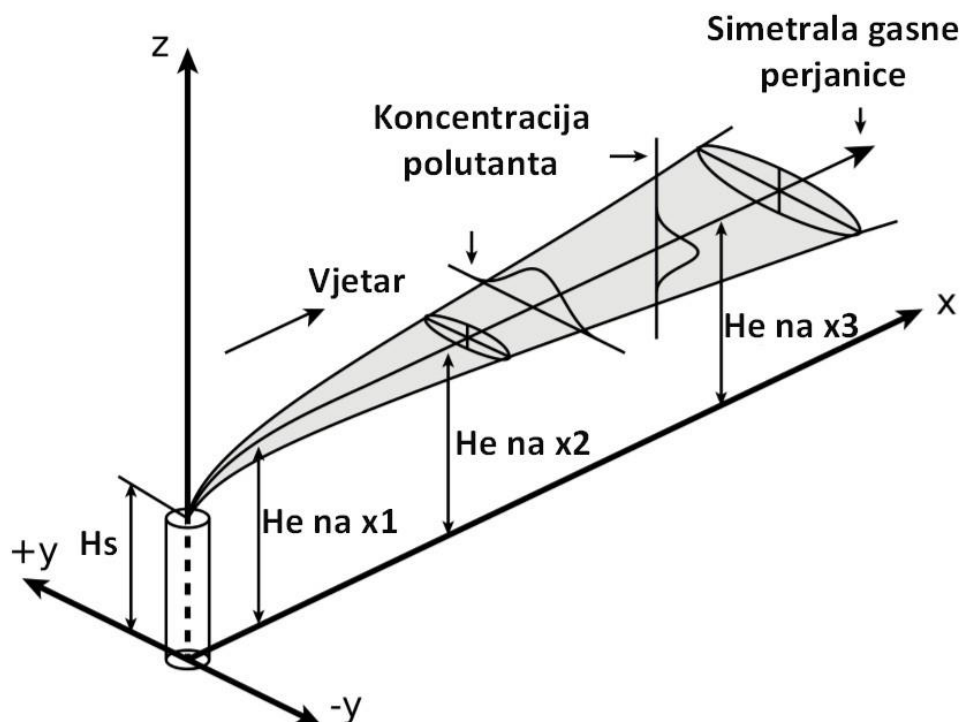
- Potreban mu je mali broj parametara.
- Proračun je brz.
- Nije sklon numeričkim greškama jer računa tačno rješenje pojednostavljene jednačine održanja mase.
- Pretpostavlja konstantan vjetar (u vremenu i prostoru).
- Pretpostavlja konstantnu turbulentiju (u prostoru i vremenu)
- Predstavljeno je samo nekoliko prirodnih fenomena (bez hemijskih reakcija, bez taloženja)

Pošto Gausova jednačina dima pretpostavlja da je polje vjetra homogeno, onda nije preporučljivo njeno korišćenje za modeliranje gasa na velikim distancama jer se očekuje da se meteorološki podaci mijenjaju. Kaputo (*Caputo Gimenez*, 2003 godine) je primijetio da četiri Gausova modela koje je koristio daju vrijednosti koncentracija različite od nule za cijeli posmatrani domen niz vjetar. Stoga je on preporučio da se distanca posmatranja treba ograničiti na nekoliko desetina kilometara od izvora. U tabeli 2.1. su prikazane prednosti i mane ova tri osnovna modela disperzije.

Na slici 2.1 je prikazana vizualizacija proračuna disperzije hazardnog gasa na osnovu Gausovog modela, gdje je:

- H_s - stvarna visinu tačkastog izvora (u odnosu na površinu zemlje),
- H_e - visina na koju se podiže gas nakon izlaska iz izvora
- Δh - visina za koju se gas podigao,
- x - pravac prostiranja gasa,
- x_1, x_2 i x_3 - udaljenost od izvora na kojoj se posmatra zagađenje.

Širenje zagađivača po x i y osi zavisi od koeficijenta disperzije.



Slika 2.1. Vizualizacija Gausovog oblaka disperzije hazardnog gasa

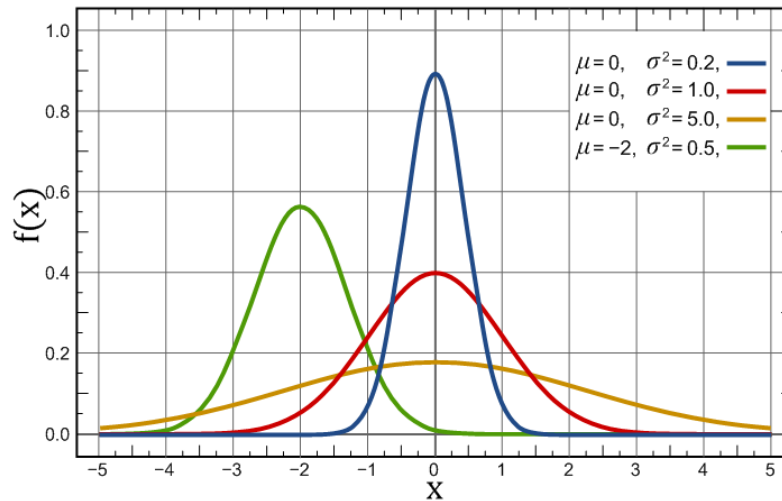
Trenutna koncentracija zagađivača može biti prilično neravnomjerna, ali poslije dovoljno dugog vremena, distribucija koncentracije će zauzeti oblik zvona koji se može aproksimirati normalnom Gausovom raspodjelom i u horizontalnom i u vertikalnom pravcu.

2.1.3.1. Gausov model za tačkasti izvor

Gausov model za tačkasti izvor se izvodi iz jednačine Gausove normalne distribucije. Počinje se od pretpostavke da se raspodjela koncentracija zagađivača na bilo kojoj udaljenosti od izvora, u pravcu normalnom na kretanje vjetra, bilo horizontalno ili vertikalno, može dobro predstaviti pomoću jednačine Gausove normalne distribucije. Jednačina Gausove normalne distribucije je veoma poznata u teoriji statistike i predstavljena je jednačinom u nastavku:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Ova funkcija ima oblik zvona gdje μ - predstavlja centralnu liniju ili simetralu gasne perjanice, gdje je σ koeficijent standardne devijacije. Na slici 2.2 je predstavljena Gausova raspodjela za različite vrijednosti μ i σ .



Slika 2.2. Gausova raspodjela za različite vrijednosti μ i σ

Funkcija normalne distribucije se kreće od $-\infty$ do $+\infty$, ali za praktično korištenje se može pretpostaviti da su sve vrijednosti koje se nalaze van oblasti $\pm 4\sigma$ jednake nuli. Pošto se pretpostavilo da koncentracija polutanta prati Gausovu distribuciju i u vertikalnom pravcu i u horizontalnom pravcu (tj. u pravcu z i u pravcu y ose), onda se te zavisnosti na osnovu Gausove jednačine mogu izraziti na sljedeći način:

$$\frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{y-\mu}{\sigma_y} \right)^2} \quad (1)$$

$$\frac{1}{\sigma_z \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{z-\mu}{\sigma_z} \right)^2} \quad (2)$$

Jednačina (1) predstavlja zavisnost po y osi. Postavlja se daje $\mu = 0$ pošto je centralna linija gasne perjanice normalne distribucije u stvari x osa kao što je i prikazano na slici 3.1. σ_y je standardna devijacija, ili koeficijent horizontane disperzije u pravcu y ose. Jednačina (2) predstavlja zavisnost po z osi. Postavlja se daje $\mu = H_e$ jer je centralna linija normalne distribucije na efektivnoj visini H_e kao što je i prikazano na slici 2.1. σ_z je standardna devijacije ili koeficient horizontalne disperzije u pravcu z ose. S toga, formula Gausovog modela disperzije postaje:

$$c(x, y, z) = \frac{K}{2\pi\sigma_y\sigma_z} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{y-r}{\sigma_y} \right)^2} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{H_e-z_r}{\sigma_z} \right)^2}$$

Gdje je:

- c – koncentracija ug/m^3
- y_r i z_r – koordinate receptora tj. tačke u kojoj želimo pronaći koncentraciju polutanta
- σ_y i σ_z – horizontalna i vertikalna standardna devijacija (umetrima)
- H_e – efektivna vrijednost visine izvora (u metrima);
- $H_e = z_s + \Delta h$, z_s je visina izvora u odnosu na zemlju,
- Δh je visina centralne linije gasne perjanice za koju se gas podigao u odnosu na visinu izvora.
- K – konstanta koja će biti objašnjena u nastavku.

Kako bi se zadovoljio zakon o održanju mase, koji je u osnovi svih modela disperzije, treba naglasiti da je u svakoj bočnoj ravni (y, z), brzina emisije (kg/s) jednaka sumi koncentracija (kg/m^3) u svim tačkama ravni (y, z) pomnoženih sa brzinom vjetra (m/s) ili:

$$Q = \iint c(x, y, z) u \, dy \, dz$$

iz čega slijedi:

$$\frac{Q}{u} = \iint c(x, y, z) \, dy \, dz = \iint \frac{K}{2\pi\sigma_y\sigma_z} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y_r}{\sigma_y}\right)^2} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{H_e - z_r}{\sigma_z}\right)^2} \, dy \, dz$$

$$\frac{Q}{u} = K \iint \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y_r}{\sigma_y}\right)^2} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{H_e - z_r}{\sigma_z}\right)^2} \, dy \, dz$$

Integral $\iint \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y_r}{\sigma_y}\right)^2} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{H_e - z_r}{\sigma_z}\right)^2} \, dy \, dz$ predstavlja funkciju gustine vjerovatnoće za horizontalnu i vertikalnu normalnu distribuciju i jednak je jedinici. Pa iz toga slijedi da je

$$K = \frac{Q}{u}$$

Čime se dobija:

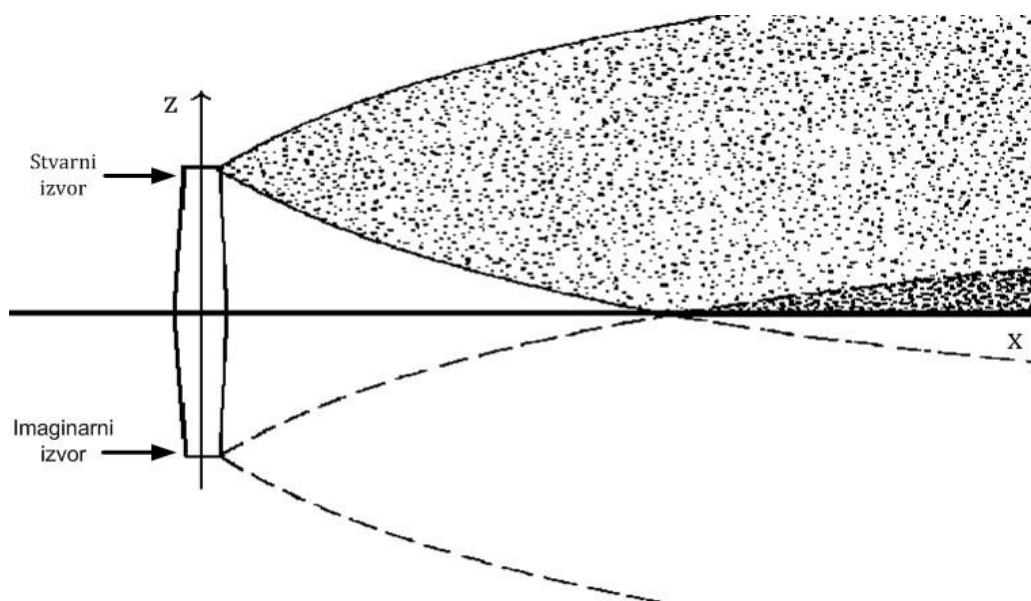
$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y_r}{\sigma_y}\right)^2} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{H_e - z_r}{\sigma_z}\right)^2}$$

Prethodna jednačina predstavlja konačnu jednačinu za Gausov model disperzije. Treba primijetiti da $c(x, y, z)$ nije vremenski zavisna funkcija što znači da je stacionarna i važi za konstantnu brzinu vjetra i konstantne vremenske uslove. Takođe, ova jednačina se ne može primijeniti u situacijama kada je brzina vjetra nula. Gornja derivacija je izvedena uz sljedeće pretpostavke:

- Izvor emisije je tačkasti izvor.

- Brzina emisije je konstantna.
- Brzina i smjer vjetra su konstantni u vremenu.
- Teren je ravan.
- U pitanju je laki gas, tj. nema taloženja čestica.
- Polutanti ne podliježu nikakvim hemijskim reakcijama.

Obično se ova Gausova jednačina koristi uz pretpostavku da postoji totalna refleksija od zemlje što znači da kada gas udari u zemlju, on potpuno odskoči nazad, tj. kao da postoji imaginarni, podzemni izvor koji predstavlja odraz realnog izvora u odnosu na zemlju kao što je predstavljeno na slici 2.3.



Slika 2.3. Grafički prikaz refleksije od zemlje.

Za slučaj refleksije, jednačina vertikalne difuzije izgleda ovako:

$$s(z_r) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{H-z_r}{\sigma_z}\right)^2} + r_g e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{H+z_r}{\sigma_z}\right)^2}$$

gdje je r_g koeficijent refleksije i jednak je jedinici u slučaju potpune refleksije i nuli u slučaju kada nema refleksije. Na osnovu toga prethodna jednačina postaje:

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y_r}{\sigma_y}\right)^2} \left[e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{H-z_r}{\sigma_z}\right)^2} + r_g e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{H+z_r}{\sigma_z}\right)^2} \right]$$

Za koncentraciju posmatranu na površini zemlje tj. $z_r = 0$, i u slučaju totalne refleksije tj. $r_g = 1$, jednačina raspodjele koncentracija za tačkasti izvor emisije izgleda ovako:

$$c(x, y, 0) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z u} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{H_e}{\sigma_z} \right)^2}$$

Industrijski dimnjaci se mogu aproksimirati tačkastim izvorom, pa se za njihovo modelovanje može upotrijebiti jednačina 3.7 bez ikakvih dodatnih modifikacija

2.2. Statistički modeli

Osnovna razlika između statističkog i determinističkog pristupa je ta što deterministički modeli koriste matematički opis atmosferskih prilika i nastoje da postave uzročno-posljedične veze, dok statistički modeli direktno koriste rezultate mjerenja kvaliteta vazduha kako bi zaključili poluempirijske veze. Statistički modeli su pogodni za simulaciju prognoze vremena u realnom vremenu ili za kraće vremenske intervale. U ovom slučaju su informacije o izmjenjenim trendovima promjene koncentracija bitnije od podataka dobijenih determinističkom analizom. Statistički modeli računaju buduću koncentraciju zagađivača statističkim metodama na osnovu meteoroloških parametara, parametara emisije i odgovarajuće statističke veze dobije iz izmjerenih koncentracija. Statistički modeli se baziraju na slučajnim procesima i teorijama vjerovatnoće. Glavne karakteristike slučajne promjenjive su funkcija gustine vjerovatnoće i njena autokorelaciona funkcija. Funkcija gustine vjerovatnoće je veoma bitna jer pruža vjerovatnoću da se koncentracija polutanta nalazi između dvije zadate vrijednosti. Ovo je od presudne važnosti za modele disperzije u regulatornim agencijama (npr. da koncentracija određenog polutanta ne prelazi određene limite). Autokorelaciona funkcija određuje buduće ponašanje promjena koncentracija i bazira se na distribuciji predhodnih vrijednosti.

Zadnjih nekoliko godina je razvijeno veliko broj računarskih paketa. Korišćenjem prednosti računara, softveri za disperziju gasova ubrzano evolviraju tako što im se sve više proširuju računarske mogućnosti. Povećava im se broj parametara potrebnih za proračun kako bi što bolje simulirali realnu disperziju sa što većom preciznošću. Kompjuterski paketi su nastali na osnovu dobro poznatih tehnika modelovanja: Lagranžeovoj, Ojlerovoj, ali većina paketa je bazirana na Gausovom pristupu. Neki od kompjuterskih paketa koji su u širokoj upotrebi su:

- ALOHA (EPA),
- MEMPLEX (Keudel av-Technik GmbH),
- Breeze (Trinity Consulting),
- Trace (SAFER System) i
- SAMs (Lohmeyer) [10].

2.3.Uticaj meteoroloških uslova na modeliranje disperzije opasnih gasova u atmosferu

Bez obzira na model koji se koristi za opisivanje disperzije gasa u vazduhu, meteorološki uslovi direktno utiču na disperziju. Najznačajniji meteorološki faktori su:

- atmosferska stabilnost,
- brzina vjetrova i
- temperatura [11].

2.3.1. Atmosferska stabilnost

Atmosferska stabilnost opisuje vertikalno miješanje polutanata u atmosferi. Ona predstavlja atmosfersku tendenciju da ublaži ili pospiješi vertikalno kretanje. Atmosferska stabilnost je stoga kretanje čestica vazduha pod uticajem temperaturnog gradijenta. Varijacija temperature sa promjenom visine definiše kao stopa opadanja temperature u atmosferi. Stopa opadanja temperature se može podijeliti na dvije vrste:

- stopa opadanja temperature okoline,
- adijabatska stopa opadanja temperature.

Stopa opadanja temperature okoline se odnosi na atmosferu u mirovanju i iznosi u prosjeku $6.49\text{K}(^{\circ}\text{C})/1000\text{m}$. Adijabatska stopa opadanja temperature se odnosi na promjenu temperature čestica vazduha, koji se podižu ili spuštaju, bez izmjene toplote sa okolinom. Postoje dvije vrste, suha adijabatska stopa opadanja temperature i vlažna adijabatska stopa opadanja temperature.

Suha adijabatska stopa opadanja temperature je stopa opadanja temperature čestica fluida u suvom i nezasićenom vazduhu koje se podižu ili spuštaju bez razmjene toplote sa okolinom. Kako se vazdušne mase podižu, one se šire zato što pritisak opada sa porastom visine. Širenjem, čestice suvog vazduha potiskuju postojeći vazduh i time vrše termodinamički rad. Obzirom da čestice vazduha vrše rad, a ne dobijaju toplotu spolja, one onda gube unutrašnju energiju pa im temperatura opada. Ta stopa opadanja je konstantna i iznosi $\Gamma_d = 9.8\text{ K}(^{\circ}\text{C})/1000\text{m}$. Obrnuti slučaj se dešava kada se čestice suvog vazduha spuštaju.

U slučaju kada je vazduh zasićen vodenom parom, primjenjuje se vlažna adijabatska stopa opadanja temperature. Vrijednost joj nije konstantna, već varira i tipično iznosi oko $\Gamma_e = 5\text{ K}(^{\circ}\text{C})/1000\text{m}$. Razlika između suve i vlažne adijabatske stope opadanja temperature je u tome što se kod vlažne, kondenzacijom vode, oslobađa toplota. Ovo oslobađanje toplote dovodi do smanjenja opadanja temperature sa porastom nadmorske visine.

Čestica vazduha emitovana u atmosferi se spušta ako je hladnija od okoline,

zadržava visinu ako je iste temperature i podiže ako je toplija od okoline. U zavisnosti od datog ponašanja čestice, postoje tri klase stabilnosti: nestabilna, neutralna i stabilna.

Postoji veliki broj metoda za određivanje atmosferske klase stabilnosti. Neke su veoma jednostavne za korištenje i ne zahtijevaju nikakvo specijalno znanje iz meteorologije, dok druge pored dobrog poznavanja meteorologije zahtijevaju mjerenja određenih atmosferskih parametara koji nisu uvijek dostupni a pritom i ne pružaju značajno preciznije rezultate. Paskalova metoda je najpopularnija i najjednostavnija. U tabeli 2.1 je izvršena kategorizacija klasa stabilnosti na osnovu insolacije i brzine vjetra. Tako klasa A predstavlja veoma nestabilne uslove, B – nestabilne, C – neznatno nestabilne, D – neutralne, E – neznatno stabilne, F – stabilne i G – veoma stabilne atmosferske uslove.

Tabela 2.2. Klase stabilnosti u odnosu na brzinu vjetra i solarnu radijaciju

Brzina vjetra na visini od 10m (m/s)	Dan			Noć	
	Jako sunčevo zračenje	Srednje jako sunčevo zračenje	Slabo sunčevo zračenje	Oblačno	Bez oblaka
<2	A	A -B	B	E	F
2 – 3	A -B	B	C	E	F
3 – 5	B	B –C	C	D	E
5 – 6	C	C –D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

2.3.2. Brzina vjetra

Brzina vjetra je najznačajnija meteorološka komponenta koja utiče na disperziju. Ona je vektorska veličina što znači da je za disperziju bitan njen intenzitet, pravac i smjer.

Na intenzitet vjetra utiču mnogi faktori ali najviše visina i vrsta terena. Sa porastom visine raste i intenzitet vjetra. Na zemlji, intenzitet vjetra je manji zbog efekta sile trenja sa zemljom. Sa porastom visine, taj uticaj opada pa samim tim i intenzitet brzine vjetra raste. Dok intenzitet brzine vjetra utiče na brzinu disperzije i udaljenost na kojoj se prenose čestice zagađivača, pravac i smjer brzine vjetra pokazuju u kojem će se smjeru kretati to zagađenje.

2.3.3. Temperatura

Razlika između temperature ispuštenog gasa i temperature okolnog vazduha utiče

na stvaranje sile potiska koja dovodi do podizanja hazardnog gasa neposredno nakon njegovog ispuštanja. Ukoliko je gas više temperature od spoljašnjeg vazduha, hazardni gas će se podizati dok se njegova temperatura ne izjednači sa temperaturom vazduha. Što je veća temperaturna razlika, to su jače sile potiska a samim tim i veća je visina na kojoj se gas podiže.

2.4. Vrste izvora

U nastavku su opisana tri različita izvora emisije opasnih gasova u realnim vremenskim i terenskim uslovima, i to: industrijskih dimnjaka, statičkih i pokretnih cisterni i cjevovoda.

Jačina izvora, brzina emisije ili protok predstavlja brzinu kojom se opasni gas ispušta u vazduh. Ispuštanje može biti veoma brzo (kao što je to slučaj prilikom pucanja cisterne pod pritiskom), ili sporije i da traje duži vremenski period (kao što je to slučaj sa dimnjacima u fabrikama). Kako bi se odredila koncentracija hazardnog gasa u posmatranoj oblasti, potrebno je odrediti vrstu izvora i unijeti podatke specifične za dati izvor. Za modeliranje ispuštanja gasa iz dimnjaka, potrebno je procijeniti brzinu emisije gasa u vazduh. U slučaju modeliranja disperzije iz cistijerni dolazi do ispuštanja gasa pod pritiskom čiji se protok proračunava na osnovu geometrije. Slično se jačina izvora proračunava i za slučaj ispuštanja gasa iz cjevovoda.

Pored zajedničkih parametara, za proračunavanje koncentracije gasnih zagađivača iz industrijskih dimnjaka, potrebno je unijeti i visinu dimnjaka (m), prečnik dimnjaka (m), brzinu emisije (g/s), kao i brzinu (m/s) i temperaturu (K) polutanata prilikom izlaska iz dimnjaka.

Kako bi se proračunala koncentracija gasnog zagađivača ispuštenog iz transportnih ili skladišnih cistijerni, potrebni su, pored zajedničkih, sljedeći parametri: prečnik otvora (m), visina na kojoj se nalazi otvor (m), koeficijent ispuštanja (bezdimenziona veličina), gustina polutanta (kg/m^3), pritisak u cisterni (Pa), atmosferski pritisak (Pa), odnos toplotnih kapaciteta (bezdimenziona veličina), temperatura gasa na izlazu (K) i brzina polutanta na izlazu (m/s).

Da bi se izračunala koncentracija gasnih polutanata prilikom njihovog ispuštanja iz gasovodnih cijevi, u aplikaciju, je potrebno unijeti sljedeće parametre: prečnik otvora (m), visinu na kojoj se nalazi otvor (m), koeficijent ispuštanja, univerzalnu gasna konstantu (zavisi od vrste gasa), odnos toplotnih kapaciteta, faktor kompresije, pritisak gasa u cijevima (Pa), atmosferski pritisak (Pa), molarnu masu gasa (g/mol), brzinu gasa na izlazu (m/s) i temperaturu gasa na izlazu (K).

3. Pregled postojećih softvera za modeliranje emisije opasnih gasova

U slučaju namjernog ili nenamjernog oslobađanja opasnih gasova u atmosferi, u vanrednim uslovima, za procjenu mogućih posledica i primjenu optimalnih kontramjera, mogu se koristiti proračuni dobijeni disperzionim modelima. Modeli disperzije zraka koriste podatke o izvorima i meteorološkim uvjetima da bi izračunali koliko opasnih gasova i drugih čestica se kreće kroz atmosferu i na kojim lokacijama. Modeli primijenjeni za proračun i prikaz vanrednih situacija mogu se koristiti i za obavljanje zadataka na upravljanje rizicima a posebno za pripremanje planova za hitne slučajeve i ispunjavanju regulatornih zahtjeva. Planovi se pripremaju na osnovu procjene niza referentnih scenarija, kolateralne štete kao posledice nesreće, uzimajući u obzir tipične vremenske uslove, hemijska svojstva supstanci koje bivaju ispuštene u atmosferi kao i osjetljivost potencijalno izložene populacije [14][15][16].

Da bi rezultati softvera i korištenih modela bili pouzadni moraju biti validirani tj. mora se dokazati da softver daje pouzdane rezultate za dati scenarijo akcidenta (npr ako se koristi za modeliranje složenih uvjeta terena mora biti validiran za takve uvjete). Proces validacije omogućuje procjenu performace i efikasnosti softvera i implementiranog modela i omogućuje povjerenje u dobijene rezultate.

3.1. ALOHA softver za modeliranje

ALOHA (engl. *Area Location of Hazardous Atmospheres* – Površinska lokacija opasne atmosfere) je dizajnirana u saradnji sa USA Nacionalnom atmosferskom i okeanskom agencijom za zaštitu životne sredine (EPA - U.S. Environmental Protection Agency). ALOHA se primjenjuje od strane službi za vanredne situacije, vatrogasaca, ali i u svrhu planiranja i obuke adekvatnog kadra. ALOHA predstavlja jedan vrlo koristan i besplatan softver zajedno sa hemijskom bazom podataka CAMEO i softverom za vizuelizaciju, MARPLOT-om.

ALOHA je softver za modeliranje koji prikazuje i procjenjuje opasne zone uključujući i oblake toksičnog gasa, požara i eksplozije. Pod zonama opasnosti podrazumijeva se područje gdje je rizik premašio korisnički definisan nivo – nivo zabrinutosti (LOC – Level of Concern).



Slika 3.1. Uzorak ALOHA procjene zone opasnosti prikazano na MARPLOT kartama (lokacije od interesa su dodane u MARPLOT)

Glavne karakteristike programa su:

- Program generiše niz specifičnih izlaznih scenarija, uključujući crteže zona opasnosti, opasnosti u određenoj tački i grafik jačine izvora.
- Izračunava stopu curenja hemikalija koje izlaze iz rezervoara, gasovoda, itd., i predviđa kako se ta stopa mijenja u toku vremena.
- Procjenjuje različite vrste opasnosti (toksičnost, zapaljivost).
- Modeluje više scenarija otpuštanja (oblak otrovnog gasa, mlaz požara, eksploziju pare).
- Minimizira unošenje pogrešnih podataka unakrsnim provjeravanjem unešenih vrijednosti i upozorava korisnika ako je vrijednost pogrešna ili nije fizički moguća.
- Sadrži vlastitu hemijsku biblioteku sa fizičkim karakteristikama za oko 1 000 čestih opasnih hemikalija tako da korisnik ne mora unositi te podatke.

ALOHA je tako programirana da rezultate obrađuje tako brzo kako bi bili od koristi onima kojima su ti rezultati od interesa u procesu odgovora na hemijsku reakciju odnosno incident. Pomoć se ogleda u tome da nadležni mogu veoma brzo procijeniti mjeru incidenta odnosno koliko daleko i u kojim razmjerama će oslobođena hemikalija da se prostire. Mnogobrojni prozori omogućavaju korisniku da unesu informacija o scenariju (npr. hemijske, vremenske uslove, te vrste oslobađanja). Detaljna pomoć je pružena sa svakim prozorom. Informacijski scenario rezultati proračuna su sumirani u prozor samo za tekst koji se može printati i sadrži proračune koji predstavljaju kompromis između brzine i preciznosti.

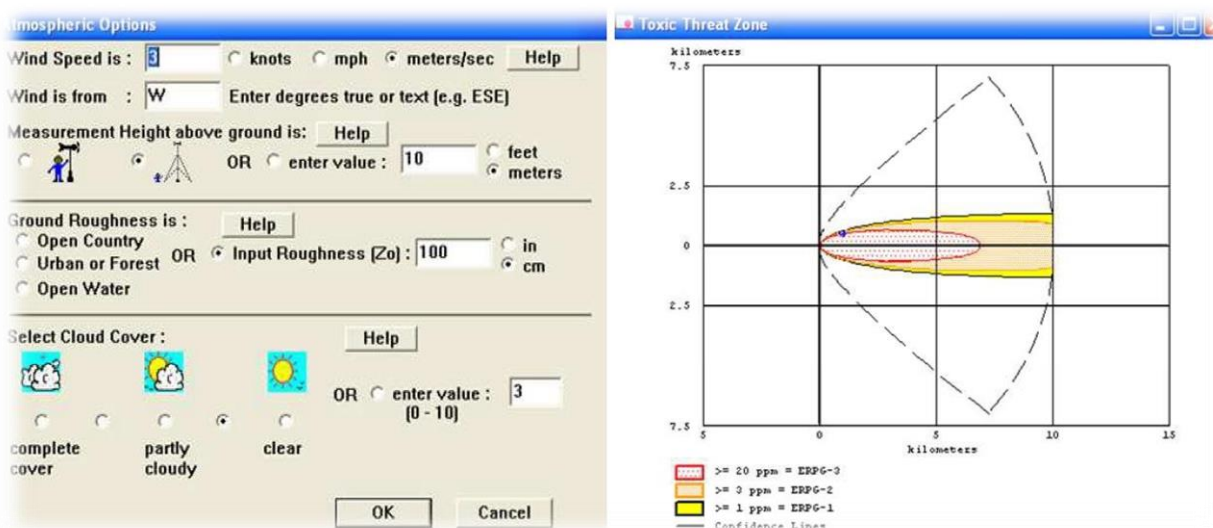
Osim u vanrednim situacijama za modeliranje opasnih zona program možemo koristiti za planiranje, obuku, akademske svrhe ili preventivu. Kada se unesu svi potrebni

podaci ALOHA prikazuje sve potrebne rezultate modelovanja opasnosti u četiri odvojena prozora ito:

- Zone opasnosti.
- Tekstualni sažetak.
- Opasnost u tački.
- Jačina izvora.

Sadržaj svakog prozora može biti odštampan, sačuvan ili prilijepljen na neki drugi dokument. Karte ili mape na kojima će biti prikazane zone opasnosti su kompatibilne sa raznim programima za mapiranje kao što su to MAPLOT, ArcGIS, Google Maps ili Google Earth. Zone opasnosti dobijene pomoću ALOHA softvera mogu se prebaciti u zone opasnosti KML formata koje se kasnije može ubaciti u programe za mapiranje.

Pri akcidentnoj situaciji sa bilo kojom hemijskom materijom, najvažnije je znati o čemu se radi, kakve su karakteristike te materije i koliko je ona štetna. Ukoliko informacije za to ne postoje, jedinice koje učestvuju u intervenciji moraju da se ponašaju kao da se radi o najopasnijoj materiji u cilju očuvanja ljudskih života. Podaci o vrsti supstance koja se oslobađa mogu se prikupiti na razne načine. Svaka supstanca koja je uskladištena ili je u transportu mora imati UN identifikacioni broj. Takvi podaci daju informaciju kako treba reagovati sa takvom supstancom. Na slici 27 prikazani su prozori ulaza i izlaza Sistema ALOHA.



Slika 3.2. Uzorak ALOHA izlaza. Na lijevoj strani tretiranje kružne termalne radijacije proračuna za BLAVE. Na desnoj tačka tretiranja, prikazuje koncentraciju otrova tokom vremena na specifičnoj lokaciji; horizontalne linije prikazuju koncentraciju poređenja izabrane toksične razine zabrinutosti.

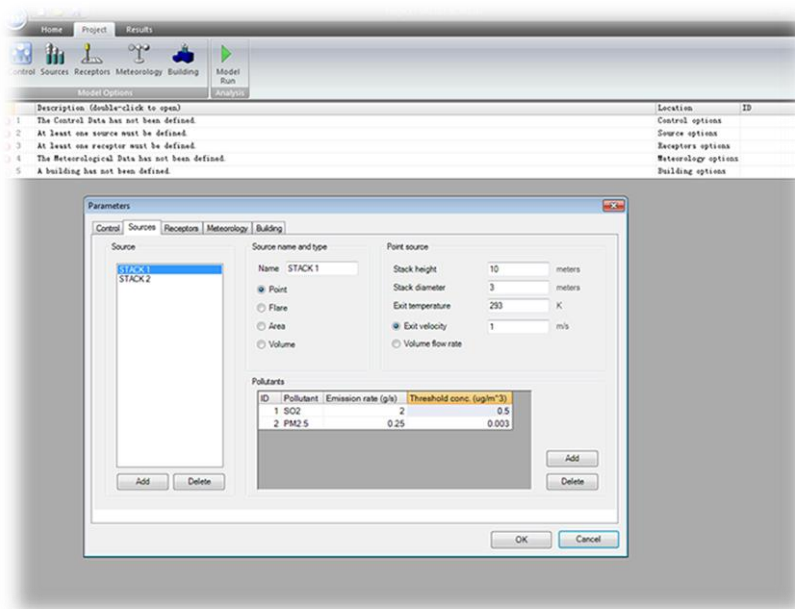
Za prikupljanje podataka o zastupljenosti nekih supstanci pri akcidentu mogu se

koristiti razni uređaji za monitoring kao što su to dreger automatski mjerači koncentracija raznih supstanci ili dreger cjevčice za tačno specificirane tipove supstanci. Bitni podaci u vezi sa akcidentom su vremenski uslovi koji moraju biti izmjereni sa potpunom preciznošću. Takve podatke najlakše je dobiti kao izlaze iz pojedinih meteoroloških službi.

3.2. SCREEN3 softver za modeliranje

SCREEN3 je softver za modeliranje emisije opasnih gasova zasnovan na ISC3 (engl. *Industrial Source Complex*) modelu koji je odobrila EPA. Ovaj model obezbjeđuje maksimalne prizemne koncentracije za tačke, oblasti, zapremine kao i koncentracije u zoni šupljina i koncentracije uslijed inverzije i raspada kao i Shoreline fumigacije. Također, koristi se za analizu akcidenata emisije opasnih gasova iz pojedinačnih izvora na jednostavnom ili složenom geografskom terenu. Korisnicima ovog softvera ostavljena je mogućnost odabira simulacije jednostavnih situacija ili najgorih scenarija.

Interfejs SCREEN3 softvera je jednostavan za korištenje i proračun koncentracija opasnih gasova u atmosferi na osnovu rezultata mjerenja. Vrlo važna karakteristika ovog softvera je interaktivnost. Naime, unos podataka od strane korisnika vrši se na način da korisnik odgovara na seriju pitanja s ciljem generisanja ulaznih podataka kao i određivanja parametara neophodnih u modeliranju.

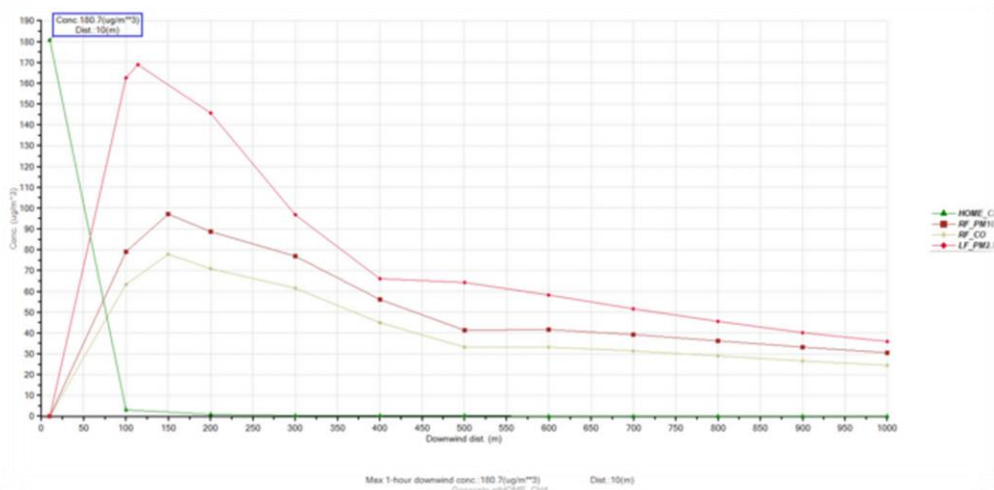


Slika 3.3. Vizualizacija interfejsa SCREEN softvera za modeliranje disperzije opasnih gasova

SCREEN softver se može koristiti za:

- Modeliranje više izvora emitira više zagađivača - sve u jednom modelu,

- Modeliranje nad svim terenima - jednostavan, složen (iznad visine dimnjaka), ili kombinacija oboje
- Postavljanje graničnih koncentracija i detekcija prekoračenja,
- Procjena scenarija s najgorim očekivanim vrijednostima koncentracija opasnih gasova u nizinama i na visokim terenima.



Slika 3.4. Grafički format izlaznih podataka u SCREEN softveru, npr. Koncentracija opasnih gasova u funkciji smjera vjetra

Receptor type	Downwind dist. (m)	Terrain height (m)	HOMECH4 C	HOMECH4 Ratio(%)	RFFPM10 C	RFFPM10 Ratio(%)	RFCO Conc.	RFCO Ratio(%)	LFFPM2.5 C	LFFPM2.5 Ratio(%)
1 Simple terrain	10	0	180.7	361.40	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
2 Simple terrain	100	0	180.7	361.40	79.07	158.14	63.25	126.50	162.5	325.00
3 Simple terrain	114	0	3.137	6.27	97.18	194.36	77.74	155.48	168.8	337.60
4 Simple terrain	200	0	0.8544	1.71	88.55	177.10	70.84	141.68	145.6	291.20
5 Simple terrain	300	0	0.4088	.82	76.87	153.74	61.50	123.00	96.89	193.78
6 Simple terrain	400	0	0.2458	.49	56.09	112.18	44.87	89.74	65.91	131.82
7 Simple terrain	500	0	0.1673	.33	41.36	82.72	33.09	66.18	64.27	128.54
8 Simple terrain	600	0	0.1231	.25	41.51	83.02	33.21	66.42	58.20	116.40
9 Simple terrain	700	0	0.9544E-01	.19	39.31	78.62	31.45	62.90	51.53	103.06
10 Simple terrain	800	0	0.7687E-01	.15	36.33	72.66	29.07	58.14	45.45	90.90
11 Simple terrain	900	0	0.6372E-01	.13	33.26	66.52	26.61	53.22	40.22	80.44
12 Simple terrain	1000	0	0.5401E-01	.11	30.38	60.76	24.31	48.62	35.81	71.62

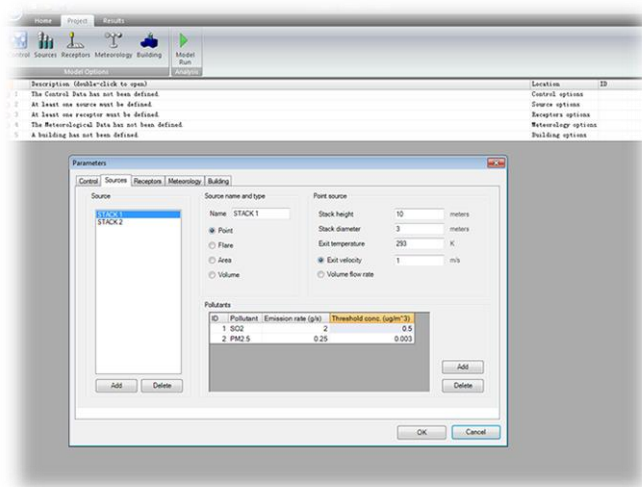
Slika 3.5. Tablični format izlaznih podataka u SCREEN softveru

Glavne karakteristike softvera su:

- Korisnički prihvatljiv, jednostavan interfejs,
- Vizualizacija visine terena,
- Nije potrebno razdvajati podatke za različite izvore emisije opasnih gasova,
- Prikaz izlaznih podataka u različitim formatima,
- Validacija unosa ulanih parametara.

Softver pri modeliranju može uzeti u obzir i uticaj blago povišenog terena na koncentraciju opasnih gasova, te vršiti proračun 24-satne prosječne vrijednosti koncentracije na kompleksnom terenu koristeći VALLEY model. Jednostavni izvori opasnih gasova, u

SCREEN3, modeliraju se numeričkim pristupom koji može uzeti u obzir i uticaj jednostavnih izvora koristeći postupak virtuelnog tačkastog izvora. virtualne tačke izvora.

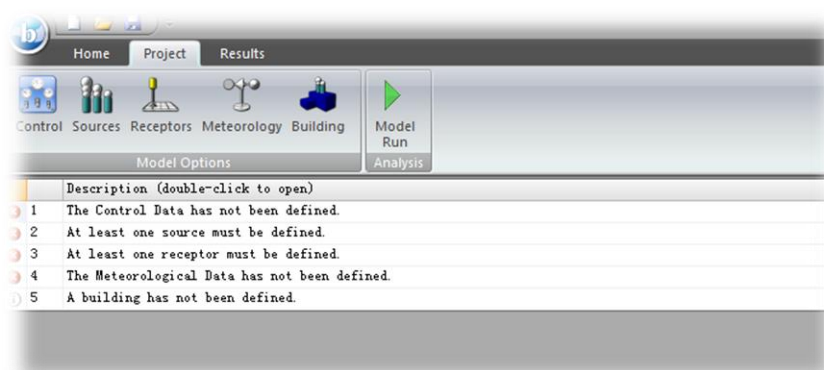


Slika 3.6. SCREEN3 Korisnički interfejs

SCREEN softver ne može eksplicitno utvrditi maksimalne učinke emisije opasnih gasova iz više izvora, osim ako se svi izvori ne modeliraju kao jedan na većoj površini. U slučaju potrebe za modeliranjem emisije opasnih gasova iz više izvora, korisnik može da koristi MPTER (Piercei Turner, 1980) ili ISC (EPA, 1995b) modele.

Rezultati SCREEN model također uključuju učinke uzgonom izazvane disperzije koje se ne uzimaju u obzir pri manuelnom računanju. Uključivanje ovog faktora može povećati ili smanjiti vrijednost izlazne koncentracije, ovisno o izvoru i udaljenosti.

BREEZE SCREEN3 integriše unos podataka, analizu, i funkcionalnost prikaza u jednom sistemu. Ribbon Bar je organizovana da korisnika, korak-po-korak, vodi kroz formaciju projekta. Prozori na ekranu, čine unos podataka jednostavnim i brzim, slika 3.6. Dijagnostički panel prikazuje informativne poruke, upozorenja, i greške upozoravanja korisnika na potencijalne probleme sa scenarijem. Svako poruci prethodi vizualni indikator koji identifikira ozbiljnost. Dok informativne i upozoravajuće poruke neće nužno spriječiti scenarij uspjehnog pokretanja, poruke o greškama ukazuju na to da se pokretanje neće ostvariti, slika 3.7.



Slika 3.7. SCREEN3 dijagnostički panel

3.3. Komparativni prikaz ALOHA i SCREEN3 aplikacija

Među postojećim analitičkim modelima, prethodno razmatrana dva, ALOHA i SCREEN 3, mogu se primjenjivati za simulaciju različitih slučajeva akcidentnih scenarija. Ove dvije softverske aplikacije su vrlo jednostavne za korištenje, a daju vrlo brze i efikasne rezultate.

Prema US EPA, SCREEN 3, može da se koristi za proračun koncentracija opasnih gasova na malim visinama u odnosu na brzinu vjetra te prikazuje rezultate u tabličnom obliku ili grafički. S druge strane, ALOHA model prikazuje rizična područja s visokim koncentracijama opasnih gasova. Ulazni podaci za oba modela se vrlo lako dobiju, mjernim instrumentima postavljenim na područja od interesa ili se koriste postojeći meteorološki podaci i geografski podaci o analiziranom terenu.

Nedostaci SCREEN3 modela su:

- Ne može se koristiti za istovremeno određivanje utjecaja različitih izvora emisije opasnih gasova, iako može simulirati emisiju opasnih gasova iz više izvora istovremeno.
- Vremenski ograničene simulacije na 1h.
- Udaljenost utiče na pouzdanost podataka – maksimalna udaljenost emisije opasnih gasova s kojom su dobijeni precizni podaci je 50km.
- To je stacionarni model u kojem vrijedi pretpostavka da se vremenski uvjeti ne mijenjaju tijekom vremena ili prostora.
- Ne može se koristiti za modeliranje disperzije gustih gasova.
- Može se koristiti za modeliranje procesa koji nisu podložni hemijskim reakcijama.

Nedostaci ALOHA modela su:

- Rezultati mogu biti manje precizni u sljedećim slučajevima: vrlo niska brzina vjetra (manje od 3 mph), vrlo stabilni atmosferski uvjeti i heterogene koncentracije opasnih gasova (pogotovo u blizini izvora).
- ALOHA ne uzima u obzir sljedeće učinke: sporedni proizvodi od požara, eksplozija ili hemijskih reakcija, disperzije čestica, hemijskih smjesa, promjena smjera vjetra i terena uzvisini ili prisutnost prepreke.

- ALOHA se ne može koristiti za modeliranje situacija na udaljenostima većim od 10 km, i više od 1h.
- Za guste plinove, ALOHA smatra da je visina emisije 0 metara.

U tabeli 3.1 prikazana je usporedba prethodno analiziranih softvera po nekim od najznačajnijih karakteristika.

Tabela 3.1. Sličnosti i razlike ALOHA I SCREEN 3 softvera za modeliranje emisije opasnih gasova

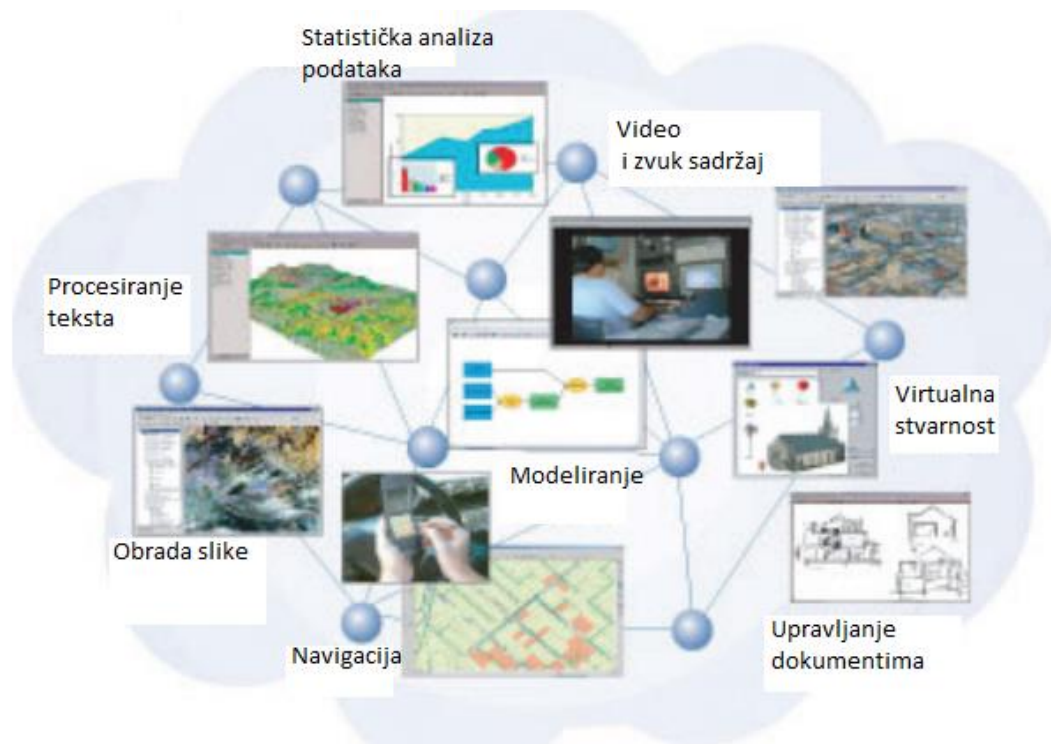
Karakteristike	ALOHA	SCREEN 3
Korisnički prihvatljiv, jednostavan interfejs	●	●
Vizualizacija visine terena	x	●
Prikaz izlaznih podataka u različitim formatima	●	●
Validacija unosa ulanih parametara	●	●
Nije potrebno razdvajati podatke za različite izvore emisije opasnih gasova	x	●
Procjena scenarija s najgorim očekivanim vrijednostima koncentracija opasnih gasova	●	●
Program generiše niz specifičnih izlaznih scenarija	●	●
Izračunava stopu curenja hemikalija koje izlaze iz rezervoara, gasovoda, itd., i predviđa kako se ta stopa mijenja u toku vremena	●	●
Sadrži vlastitu hemijsku biblioteku sa fizičkim karakteristikama za oko 1 000 čestih opasnih hemikalija tako da korisnik ne mora unositi te podatke.	●	x
Modeliranje više izvora emitira više zagađivača - sve u jednom modelu	x	●
Modeliranje nad svim terenima - jednostavan, složen (iznad visine dimnjaka), ili kombinacija oboje	x	●
Postavljanje graničnih koncentracija i detekcija prekoračenja	●	●

4. Geografski informacijski sistem - GIS

Prilikom modeliranja emisije opasnih gasova, u prošlosti, korištene su karte, tabele i drugi alati. Informaciona tehnologija dovela je do revolucije u svim aspektima ljudskog djelovanja pa tako i u modeliranju emisije opasnih gasova. Softverska tehnologija koja omogućava prikupljanje, smještanje, analiziranje, upravljanje i prikaz podacima koji su povezani sa lokacijom, u svjetskim koordinatama naziva se Geografski informacijski sistem, geoinformacioni sistem ili GIS.

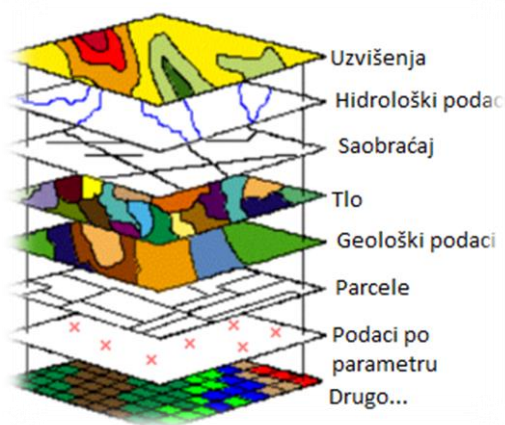
Geografski informacijski sistem (GIS) je informaciona tehnologija koja kombinuje geografske lokacije prirodnih i veštačkih objekata (planina, rijeka, šuma, puteva, zgrada, mostova...) i ostalih podataka u cilju generisanja interaktivnih vizuelnih mapa i izveštaja. Odnosno, možemo reći da je GIS prostorna baza podataka koja sadrži skupove podataka koji predstavljaju geografske informacije u smislu opšteg GIS modela podataka. GIS tehnologija je razvijena u Kanadi 60-tih godina.

Geografski informacijski sistem je informaciona tehnologija koja kombinuje geografske lokacije prirodnih i veštačkih objekata (planina, rijeka, šuma, puteva, zgrada, mostova...) i ostalih podataka u cilju generisanja interaktivnih vizuelnih mapa i izveštaja, slika 4.1.



Slika 4.1. Integracija različitih izvora podataka u digitalnom obliku u cilju generisanja interaktivnih vizuelnih mapa i izveštaja

GIS je ustvari kartografski softver koji povezuje informaciju “gdje je”, sa informacijom “kakvo je”. Za razliku od papirnih mapa koje su statične i nepromjenjive, GIS mapa omogućava kombinovanje više slojeva informacija, odnosno interaktivni rad. Korištenjem papirne mape dobiva se dvodimenzionalna predstava gradova i puteva, planina i rijeka, željeznica i političkih granica. Digitalna mapa kreirana u GIS-u, slično papirnoj, ima odgovarajuće oznake za objekte. Razlika je u tome što ove informacije dolaze iz baze podataka i prikazane su samo ako korisnik izabere da se prikažu. Svaka informacija na karti smješta se na neki od slojeva i korisnik je po potrebi uključuje i isključuje, slika 4.2.



Slika 4.2. GIS slojevi podataka

Jedan kompletan geografski informacijski sistem sastavljen je iz tri glavne komponente:

1. kompjuterskog hardvera,
2. softverskih modula,
3. organizacionog sadržaja.

Kompjuterski hardver namenjen je čuvanju, obradi i analizi podataka. U ovu komponentu ulaze svi uređaji koji, povezani sa kompjuterom omogućavaju prikaz i obradu podataka. Naječešće su prisutni skeneri visoke rezolucije, ploteri namenjeni štampanju velikih formata i eventualno, ekrani većih dimenzija namenjeni praćenju automatski ažuriranih podataka u digitalnom obliku. Prisustvo interneta i njegova maksimalna upotreba je sastavni dio ove komponente, pa se savremeni sistemi nikako ne mogu zamisliti bez njega. Velika količina digitalnih resursa danas je dostupna preko interneta, pa se tako i softver namenjen u ovu svrhu u velikoj mjeri oslanja na Internet.

Upotreba prostornih podataka i GIS-a dovodi do boljeg upravljanja informacijama, kvalitetnijih analiza i povećava se efikasnost projekta. O dostupnosti podataka ovise mnoga od tih postignuća: - razumijevanje problema kojeg treba riješiti - lakoća upotrebe programa za GIS - vremenski rokovi (projekt može trajati duže nego što bi na početku mogli procijeniti) - količina raspoloživog novca za određeni projekt.

Glavni nedostatak GIS-a je nemogućnost rukovanja podacima koji se mijenjaju u vremenu. GIS može biti korišten za rukovanje ograničenim brojem vremenskih slojeva za njihovo uspoređivanje, ali u praksi je nemoguća analiza stvarnih dinamičkih procesa. Ne omogućuje mehanizam prikaza promjene opisanih vrijednosti u vremenu, a višenamjenska rješenja su neizvediva. Sve kvalitetnijom integracijom GIS-a i objektno-orijentiranom bazom podataka doprinosi se smanjenju, ili čak uklanjanju statičnosti sistema.

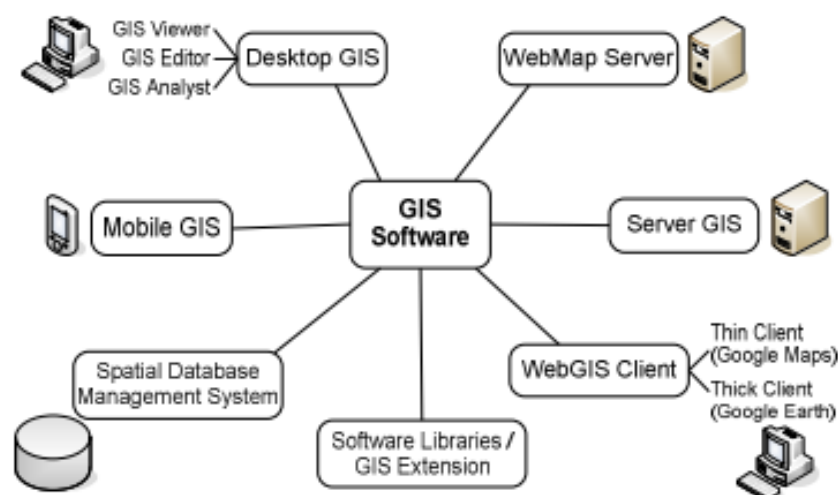
GIS je promijenio geografsku orijentaciju od deskriptivne i informativne ka problemskoj. Ovaj alat je bitan u procesu donošenja odluka i rješavanju geografski postavljenih problema u realnom okruženju.

U svijetu postoji velik broj korisnika GIS-a. Raspon institucija, profesionalaca i manje zahtjevnih korisnika je zaista impresivan: od Europske komisije, istraživačkih instituta, lokalnih vlasti, urbanističkih djelatnosti pa do manjih tvrtki, turističkih zajednica i samih turista te ostalih korisnika sa manjim ili većim potrebama korištenja tih sistema.

GIS se u poljoprivredi pokazao izuzetno potreban pri formiranju poljoprivredne statistike i kontroli raspodjele finansijske potpore poljoprivrednicima na temelju analize poljoprivrednih dobara na odabranim područjima. Ovaj sistem je implementiran u petnaest zemalja članica Europske unije. Korištenjem GIS i GPS tehnologija stvoreni su digitalni katastarski sistemi, koji su temelj razvoja poljoprivrede. Kombinacijom tih tehnologija poljoprivrednicima je omogućena racionalnija upotreba gnojiva, pesticida i insekticida. Zanimljivost je da se GIS koristi i pri nadgledanju poljoprivrednih dobara s usjevima narkotika.

GIS tehnologija je važna i za ekologiju jer omogućuje praćenje divljih životinja i ugroženih vrsta te restrikciju ljudskog djelovanja van područja zaštićene flore i faune, predikciju mogućnosti stvaranja šumskih požara u odabranim regijama, emisije opasnih gasova bilo u lokalnim ili globalnim razmjerima.

Postoje različite vrste GIS Sistema sa različitim funkcionalnostima u odnosu na namjenu Sistema, slika 4.3.



Slika 4.3. Različite vrste GIS Sistema

4.1. Geo – prostorni podaci

Geoprostorni podaci su podaci koji opisuju oblik objekta, položaj u prostoru i fenomene nad tim objektima. Kraće rečeno pod geo - prostornim podatkom smatramo bilo koji digitalni grafički podatak. GIS pohranjuje prostorne informacije kao kolekciju tema slojeva. Sloj sadrži objekte sličnih osobina kao što su:

- korisnici,
- zgrade,
- ulice,
- jezera i rijeke,
- energetska mreža, telefonski kablovi i drugo.

Prikupljanje geoprostornih podataka vrši se već dugi niz godina, a započinje određivanjem ciljeva sistema, nakon čega slijedi korak odabira odgovarajuće tehničke i programske opreme te izrađivanja plan implementacije. Često su postojeći potrebni podaci u papirnatom obliku te se moraju digitalizirati, što je skup i dugotrajan proces, iako postoje prodavači gotovih digitalnih podataka pogodnih za GIS. Ti podaci mogu biti prilično skupi pa mora biti sigurno da će biti pogodni za određenu primjenu. Metode čuvanja ovih podataka, njihovo analiziranje i pregled uglavnom se razvijao neovisno jedan od drugog. Svjedoci smo brzog razvoja informacione tehnologije (IT) koja omogućuje brz razvoj informacionih sistema. Promjene u informacionim sistemima ubrzane su dolaskom Internet – a i Web – a. Posljednjih godina Internet se nametnuo kao rješenje za globalnu infrastrukturu informacionih Sistema, pa tako danas postoji veliki broj karata i geografskih podataka koji su dostupni na Internetu. Može se reći da skoro svi proizvođači komercijalnih GIS alata nude svoja rješenja za prikaz podataka iz svojih prostornih baza podataka i formata na Web. Međutim, osim potrebe da se korisniku Interneta prikažu podaci o geografskim objektima, nameće se sve izraženija potreba da se osigura integracija i razmjena informacija između različitih izvora informacija.

Geo – prostorni podaci mogu biti određeni direktno (geografskim X i Y koordinatama, odnosno geografskom širinom - latitudom i dužinom- longitudom), ili posredno (adresom, poštanskim brojem, brojem parcele, nazivom puta i slično). Da bi podaci na svim slojevima bili upotrebljivi, moraju biti u istoj kartografskoj projekciji i koordinatnom sistemu. U većini zemalja koristi se Gauss-Krueger-ova projekcija i geodetski koordinatni sistem, baziran na Besselovom referentnom elipsoidu [17]. Pri radu GIS zahtijeva poznavanje geografskih koordinata, ali, također, može prevesti i posredno opisane položaje u stvarne geografske koordinate, automatiziranim procesom, geokodiranjem.

Podaci koji se koriste u GIS-u mogu se naći u tri osnovna oblika: vektorski, tabelarni i rasterski podaci. Izvori podataka mogu biti različiti, od tabelarnih baza podataka preko analognih karti, pa sve do satelitskih snimaka određenog područja, slika 4.4.



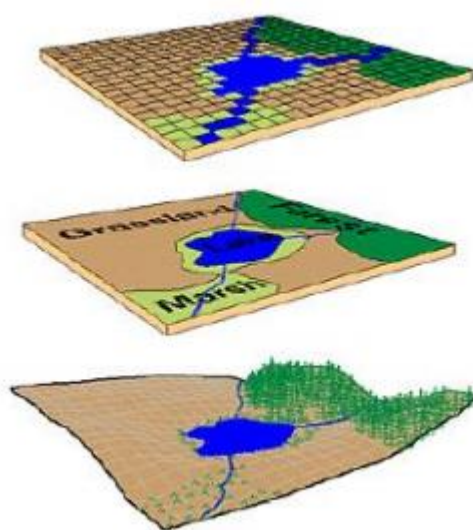
Slika 4.4. Najčešće korišteni izvori GIS podataka

Vektorski podaci (modeliranje diskretnih podataka) su tačke, linije i površine. Ovi podaci predstavljaju osnovu svakog GIS-a. Tačke predstavljaju sve što je definisano X i Y položajem u prostoru, na primjer: javne zgrade, električni stubovi, transformatorske stanice i slično. Linije predstavljaju sve što ima dužinu: podzemni i nadzemni kablovi, ulice, željezničke pruge, rijeke i slično. Površine ili poligoni predstavljaju sve što ima površinu ograničenu, bilo prirodnim, političkim ili administrativnim granicama kakve su države, opštine, gradovi, parcele ili marketinška područja.

Tabelarni podaci su informacije koje opisuju objekte na karti. Na primjer, karta lokacije potrošača može biti povezana sa demografskim podacima o ovim potrošačima. Tabelarne podatke moguće je kupiti ili već postoje u obliku listi, tabela ili baza podataka. Ako

u tabelama postoje unešeni i stvarni prostorno-položajni podaci, GIS može povezati tabelarne podatke sa vektorskim podacima.

Rasterski podaci (modeliranje kontinualnih podataka) mogu biti satelitski snimci, aeriografije (ortofoto) i skanirani podaci (analogne papirne karte prevedene u digitalni format). Rasterski podaci nude mogućnost brzog dobijanja prostornih podataka za velika područja, a i znatno je manje zahtjevno i vremenski i finansijski nego vektorizirati slojeve sa objektima, jedan po jedan. Međutim, slika je uvijek jedan fajl, ili sloj, iz kojeg nije moguće izvući određeni objekat i povezati ga sa tabelarnim podacima. Slike mogu biti prikazane zajedno sa vektorskim podacima, tj. tzv. "hibridna grafika", što omogućava vektorizaciju samo onih objekata koji su neophodni u radu.



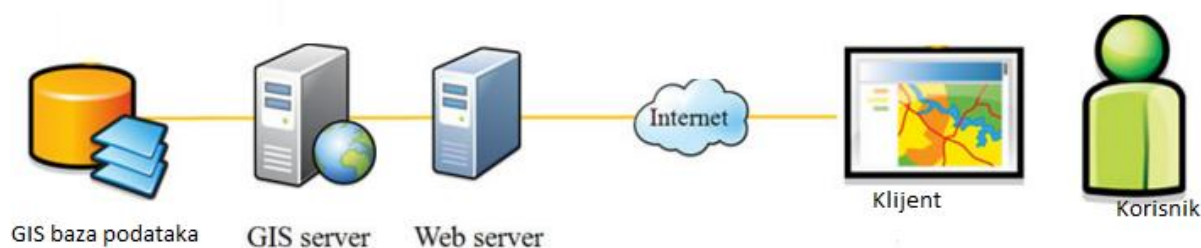
Slika 4.5. Rasterski, vektorski i model realnog svijeta

4.2.WEBGIS aplikacije

Internet otvara novo tržište prostornih podataka i pruža razne usluge korisnicima iz područja geoinformatike. Sa sve dostupnijom tehnologijom, a najviše open source inicijacijom, povećava se broj razvijatelja WEB GIS aplikacija. One su namijenjene međusobno različitim skupinama korisnika. Prednosti ovakvih sistema su dostupnost koja nije ograničena softverom ili hardverom, već je dovoljan web preglednik u kojem se nalazi sučelje sistema. Gotova rješenja mogu se distribuirati korisnicima putem weba, posebno optimizirana za naručitelja, te u svakom trenutku nadograđiva ako klijent uvidi potrebu za daljnjim razvojem ili proširenjem. Web GIS je bilo koji GIS koji koristi web tehnologije. Najjednostavniji WebGIS bi trebao imati bar server i klijent, gde je server Web aplikacioni server, a klijent je web pretraživač, desktop aplikacija, ili mobilna aplikacija. [18]

Najviše korišćeni tip arhitekture Web GIS aplikacija jeste trslojna arhitektura koju čine: sloj korisničkog interfejsa, sloj servera aplikacije i sloj baze podataka[19][20][21], slika 4.6. Takođe popularna je i četvoroslojna arhitektura, gde je sloj integracije dodat na arhitekturu WebGIS, koji se temelji na web servisima. [21][22]. Sloj korisničkog interfejsa

služi kao grafički korisnički interfejs (GUI) koji predstavlja rezultat prostornih podataka i obezbeđuje krajnjim korisnicima interakciju sa udaljenim servisima.



Slika 4.6. Dijelovi WEB GIS aplikacije [19]

Prema sofisticiranosti sistema, WEB GIS aplikacije možemo podijeliti u tri osnovne skupine aplikacija:

- s pristupom pregledu statičnih karata i mogućnošću spremanja istih na računar korisnika.
- s dinamičkim pregledom digitalnih karata s različitim temama koje čine cjelinu.
- s dinamičkim pregledom digitalnih karata, pristupom prostornim upitima korištenjem atributnih ili geometrijskih podataka.

Informacija dobivena upitom koristi se za analizu i kvalitetnije tumačenje sadržaja karte, odnosno tema prikazanih na karti. Kako bi se odredila prava pojedinih korisnika, potrebno je riješiti administrativne i sigurnosne probleme. Registracijom i autentifikacijom korisnika, stvaraju se prava kojima korisnik raspolaže pri korištenju sistema. Time smo omogućili jednostavnije rukovanje sistemom i mogućnost stvaranja samo onih informacija koje su iskoristive i svrsishodne pojedinom korisniku.

Tehnologije koje se koriste za izradu WEB GIS-a su raznolike. Snaga GIS-a je u njegovoj vizualizaciji realnog svijeta. U bazi podataka spremljeni su geometrijski podaci koji predstavljaju različite objekte. Najčešći format korišten za spremanje geometrijskih podataka su shape datoteke (.shp), razvijene od strane kompanije ESRI. Kako su one prihvaćene od velikog broja proizvođača softvera, omogućen je visok stupanj interoperabilnosti među aplikacijama potrebnih za razvoj sistema.

WebGIS i klasične desktop GIS aplikacije međusobno se ne isključuju već nadopunjuju. Iako je trenutni trend da se sve više koriste aplikacije na internetu umjesto klasičnih desktop aplikacija, neke funkcionalnosti GIS-a nije jednostavno prebaciti na WebGIS aplikaciju. Klasične desktop GIS aplikacije se i dalje koriste za uređivanje i pripremu podataka za prikazivanje na internetu što se neće uskoro promijeniti. Uz pojam WebGIS, često se vežu još dva termina, Internet GIS i geoprostorni Web (Internet). Termini Internet GIS i WebGIS se često koriste kao sinonimi iako to nisu. Internet podržava veliki broj servisa dok je Web samo jedan od njih. GIS aplikacija koja koristi bilo koji internet

servis, ne samo Web, može se smatrati Internet GIS. U stvarnosti, Web se često smatra internetom tako da vrlo često kada pričamo o WebGIS-u, mislimo na Internet GIS.

S druge strane, geoprostorni Web ili GeoWeb je još jedan pojam koji se često povezuje s WebGIS-om. Međutim, definicija GeoWeb-a nije identična WebGIS-u. Jedna od definicija GeoWeb-a je sinergija geoprostornih informacija i ostalim neprostornim informacijama (slike, video, Web stranice i sl.). koje trenutno dominiraju na Web-u. Ukratko, GeoWeb je samo princip prema kojem nekom sadržaju (informaciji) na internetu dajemo prostorni atribut. Danas možemo pronaći veliki broj WebGIS aplikacija koje su napravljene za razne svrhe, od samog pregledavanja prostornih podataka do specijaliziranih aplikacija koje omogućuju kompleksne prostorne analize. Često se u praksi takve aplikacije još zovu i geoportali. Geoportal se može smatrati kao WebGIS aplikacija čija svrha je uglavnom informativne prirode o dostupnim podacima i servisima koje je moguće koristiti.

Prednosti WEB GIS aplikacija:

- globalni pristup: korisnik može pristupiti aplikaciji s bilo koje lokacije, potreban je samo pristup internetu i internet pretraživač;
- veliki broj korisnika: klasične desktop GIS aplikacije su uglavnom vezane uz jedno računalo, dok WebGIS aplikacije mogu posluživati stotine tisuća aplikacija u istom trenutku;
- više podržanih platformi: za većinu WebGIS aplikacija potreban je samo internet pretraživač za korištenje, što znači da aplikacija više nije ograničena samo na jedan operativni sistem već se može koristiti na skoro svim platformama;
- manja cijena po korisniku: s obzirom da broj korisnika jedne WebGIS aplikacije može biti velik, kada se uspoređi s održavanjem aplikacije po jednom korisniku, razlika u odnosu na klasične desktop GIS aplikacije je drastična;
- jednostavnost korištenja: klasične desktop GIS aplikacije su namijenjene profesionalnim GIS korisnicima s godinama iskustva i s adekvatnom izobrazbom. WebGIS aplikacije su uglavnom namijenjene širem broju korisnika te korisnicima koji imaju ograničeno znanje o GIS-u. WebGIS aplikacije moraju biti jednostavne za korištenje kao i klasične Web stranice;
- ujednačeno ažuriranje: kod klasičnih GIS aplikacija, ažuriranje se vrši pojedinačno na svakom računalu, dok se WebGIS aplikacije ažuriraju samo na jednom mjestu, na poslužitelju. Nakon ažuriranja, svi korisnici će koristiti najsvježiju verziju aplikacije;
- različitost aplikacija: za razliku od klasičnih desktop GIS aplikacija koje su opće namjene, WebGIS aplikacije su uglavnom specijalizirane za jednu namjenu. Ovo stvara veliki broj različitih aplikacija koje su jednostavnije za korištenje i imaju ugrađene procedure i postupke za samo jednu domenu korištenja.

Neki od servisa koji se koriste za izradu WebGIS aplikacija su:

- Google Maps (kartografske podloge, navigacija, gustoća prometa, geolociranje adresa i dr.)

- OpenStreetMap projekt (kartografske podloge i sirovi vektorski podaci)
- MapQuest (kartografske podloge)
- Cloudmade (kartografske podloge)
- GraphHopper (navigacija)
-

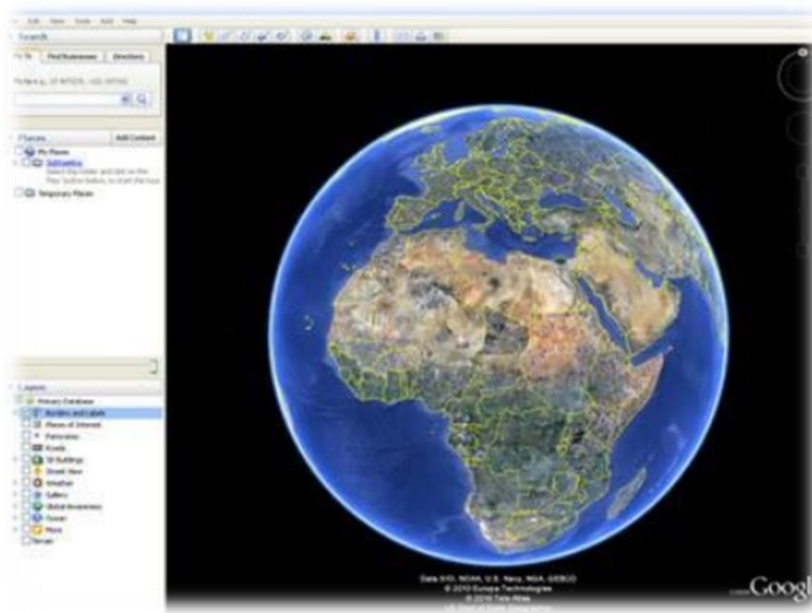
Neke od komponenti koje se koriste pri izradi WebGIS-a rješenja baziranog na otvorenom kodu su:

- Kartografski poslužitelji (engl. mapping server):
 - o Geoserver
 - o MapServer
 - o MapGuide OS
 - o QGIS Server
 - o TileMill/TileStache
- Prostorne baze podataka (engl. spatial database):
 - o PostgreSQL/PostGIS
 - o SQLite/SpatialLite
- Predmemorijske aplikacije (engl. cache applications):
 - o GeoWebCache
 - o TileCache
- Javascript kartografske biblioteke (engl. mapping frameworks):
 - o OpenLayers
 - o Leaflet

Kada se govori o WEB GIS-u treba spomenuti i OGC. The Open Geospatial Consortium, Inc (OGC) je internacionalni konzorcij kojeg čini 339 kompanija, vladinih udruga i univerziteta koja sudjeluju u procesu razvoja javno dostupnih specifikacija. Specifikacije podržavaju interoperabilnost rješenja koje šire geoinformacije internetom, bežičnim i lokalnim servisima te unutar informacijskih tehnologija. One omogućuju razvijanje kompleksnih prostornih podataka i servisa dostupnih i upotrebljivih u svim aplikacijama namijenjenim radu s geoinformacijama.

4.2.1. Google Earth

Google Earth je virtuelni globus, mapa, program koji sadrži geografske informacije i mapira zemljinu sferu koristeći metode superimpozicije, stavljanjem novih slojeva digitalnih fotografija preko već postojećih. U početku je bio nazvan Earth Viewer 3D, koji je kreirala kompanija Keyhole Inc. osnovana odstrane Google-a 2004. godine. Google Earth mapira zemljinu sferu koristeći metode superimpozicije, stavljanjem novih slojeva digitalnih fotografija preko već postojećih, da bi se prikriili efekti same konture Zemljinog modela.



Slika 4.7. Google Earth interfejs

Fotografije koje se koriste u ovom procesu najčešće su dobijene pomoću vještačkih satelita koji kruže Zemljinom orbitom i slikaju njenu površinu, ili snimcima iz aviona. Ove slike se koriste za razne analize (od predviđanja vremenskih prilika, klime, migracija i dr.), dok ih Google-ovi tehničari pohranjuju u svoje map servere, referencirajući ih stvarnim tačkama na Zemljinoj sferi korišćenjem datuma.

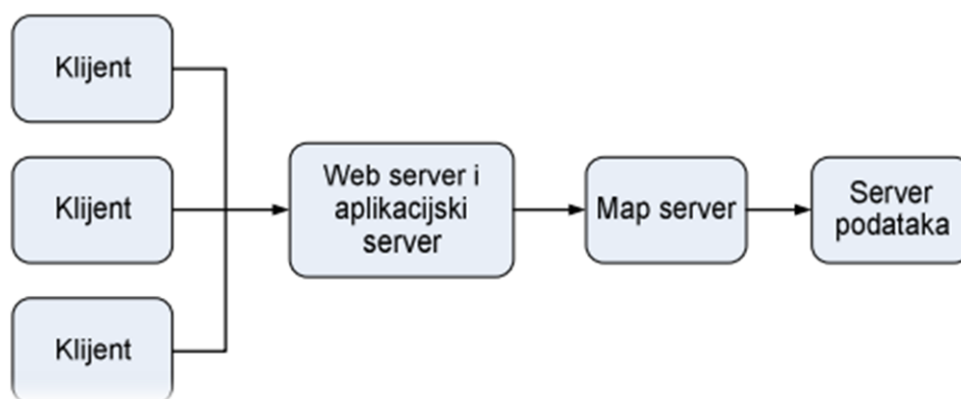
Proizvod plasiran 2005. godine pod nazivom Google Earth je trenutno moguće koristiti na PC računarima (personalnim računarima) pod većinom operativnih sistema, kao što su Windows (2000, XP, Vista, 7), Mac OS X, i Linux baziranim operativnim sistemima. Google je takođe napravio verziju ovog programa za rad u Web čitaču (Web browser), ako se download-uje i raspakuje odgovarajući plugin³. Moguće ga je koristiti i na mobilnim telefonima i drugim pametnim uđajima.

Kao dodatak, puštajući u promet Keyhole bazirani klijent, Google je dodao i govornog asistenta ovom Web mapirajućem softveru. Puštanje u javnost Google Earth programa u junu 2005. godine izazvalo je više nego desetostruko povećanje dotoka podataka za mapiranje (fotografija) u periodu od 2005-2006. godine, krećući pažnju i interesovanje javnosti na geoprostorne tehnologije i aplikacije.

Google Earth spada u grupu WebGIS klijenata, tačnije u grupu robusnijih (thick) klijenta, za razliku od Google Maps-a koji imaju ograničeniji radijus obrade i prikaza podataka, pa spada u grupu slabijih (thin) Web GIS klijenta. Google Earth spada u kategoriju klijent programa, znači da koristi usluge nekih drugih aplikacija i sistema, pa kao takav ne može samostalno da egzistira. Za pravilan rad i operativnost mu je potreban i aplikacijski server (server na kome će se nalaziti sama

aplikacija), odnosno Web server. Jedan aplikativni server može istovremeno da komunicira sa više klijenata.

Zbog ogromne količine geoprostornih podataka, nepotrebnosti njihove redundanse, kao i rijetke promjene informacija ovog tipa, bilo bi nepraktično da se ovi podaci čuvaju na klijentskoj strani (klijentskom računaru). Instalacija ovakve baze sa podacima bi dugo trajala, oduzimala bi previše prostornih resursa klijentske mašine, i u znatnoj meri joj usporavala performanse pa samim tim i performanse same aplikacije. Uz sve to, ogromnu većinu ovih podataka klijent nikada ne bi iskoristio. Zbog toga se ovi podaci čuvaju na mreži, na nekom od servera, moguće i na samom aplikativnom serveru koji ih delom obrađuje u zavisnosti od vrste klijenta sa kojim komunicira, i šalje ih klijentskoj aplikaciji na prikaz ili dodatnu obradu.



Slika 4.8. Blok shema WEB GIS Sistema na kojem je zasnovana Google Earth aplikacija

Map serveri koristeći podatke koji se nalaze na serveru sa bazom geoprostornih podataka, konfiguriraju mape raznih vrsta prikaza, rezolucije, ugla, slojevitosti i šalju ih aplikacijskom serveru koji vrši direktnu interakciju sa klijentima. U zavisnosti od zahtjeva klijenta, koji je prosledio aplikacijski server, proslijeđuje se mapa koja odgovara koordinatama zahtevane tačke, poligona, ravni, linije i dr. Mapiranje fotografija iz baze podataka na njihove stvarne koordinate vrši se vezivanjem njihovih tačaka za datume, apsolutne koordinate na zemljinoj površini.

Google Earth vrši prikaz satelitskih snimaka Zemljine površine različite rezolucije, omogućavajući korisnicima da vizuelno dožive izgled gradova i kuća iz ptičije perspektive. Veličina rezolucije, odnosno oština fotografije zavisi od popularnosti, i interesovanja korisnika za taj region, ali za većinu kopnenih površina iznosi najviše 15 metara. Ova veličina znači da se najviše 15 metara Zemljine površine mapira jednim pikselom na mapi. Neki gradovi kao što su Melburn - Australia, Las Vegas - Nevada, sadrže slike sa rezolucijom i do 15 centimetara.

Google Earth dozvoljava korisnicima da vrše pretragu po adresama, za pojedine države, unose koordinate ili jednostavno vrše navigaciju pomoću miša i dovezu se na željenu lokaciju. Za prikaz većih regiona na Zemljinoj površini trenutno se koriste samo

dvodimenzionalne slike (2D), sa gotovo vertikalnom projekcijom. Gledanjem iz ovakve perspektive, pod ovim uglom, postoji osećaj da su objekti koji su horizontalno udaljeniji, manji, što je naravno efekat gledanja velike fotografije, a ne 3D pogled. Za neke druge dijelove Zemljine površine dostupne su i 3D slike terena i zgrada. Za prikaz ove vrste fotografija, Google Earth koristi Digitalni Elevacioni Model (DEM) podataka koji je NASA skupljala u okviru svog programa SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Ovi podaci predstavljaju najbolje elevacione modele, sa najvećom rezolucijom Zemljine površine koje su do danas snimljene. Elevacione fotografije daju utisak 3D pogleda jer slikama, u zavisnosti od oblika i visine objekta koji se na njima nalazi, daju konturni izgled i iluziju 3D prikaza. Neke kompanije uključujući i Google su unapredile ove rezultate koristeći 30- minutne ("", 1/60 °, 4.8481368 arad) podatke u procesu interpolacije, ali su zbog lošere rezolucije ovih podataka, i veoma lošeg kvaliteta nekih od tih modela, bili primorani da razviju svoj preglednik Zemljine površine dodavajući podatke iz nekih drugih izvora.

Google Earth kao Web aplikacija ima svoje prednosti u vidu portabilnosti, tj. nije potrebno imati fiksnu tačku sa koje se može pristupiti ovom servisu, već se mogu koristiti različiti terminali. Takođe kaobitan faktor potrebno je napomenuti da je ovakav pristup platformski nezavisan, tačnije, nije potrebno voditi računa o arhitekturi terminalne jedinice, niti operativnom sistemu koji ona koristi. Isto tako stabilnost ovakve aplikacije je na većem nivou, jer se ona izvršava na serveru, koji je specijalno projektovan za ovu vrstu zahtjeva, i na njega ne utiču eventualne nepravilnosti u radu terminalnih računara, izazvane nepravilnim rukovanjem ili postojanjem malicioznih programa.

Sa druge strane Google Earth kao desktop aplikacija ima svoje prednosti. Procesiranje podataka na strani servera, kod velikog broja zahtjeva, zna da bude usporeno, pa je stoga neke podatke bolje izvršavati na klijentskoj strani, odnosno od strane klijentskog PC računara. Na ovaj način se postiže i veća interakcija korisnika sa programom, i podacima koje on obrađuje, jer kontrole koje čine GUI (Graphic User Interface) kod desktop aplikacija reaguju na više događaja nego što to mogu kontrole Web aplikacija. Google Earth implementiran na ovaj način smanjuje broj roundtrip-ova (pozivanja servera), ne zagušujući time servere, i ne opterećujući mrežu. Sličnu funkcionalnost omogućava i Ajax koncept kod Web aplikacija.

4.2.2. Google Maps

Google Maps je Google-ova tehnologija besplatnih digitalnih mrežnih karata, koje čine osnovu mnogih servisa i usluga. Dopušta jednostavnu implementaciju na različite Web stranice, kombinovanje sa drugim aplikacijama, razvoj dodataka i prilagođavanje specifičnim potrebama. Zasnovana na istoj tehnologiji postoji i kao zasebna aplikacija namenjena instaliranju i korišćenju na pojedinim personalnim računarima sa vezom na Internet, ili vezom sa drugim produktom ove kompanije, Google Earth.

Najkorisnija mogućnost Google Maps-a je skup podataka o putevima i raskrsnicama sa pripadajućim svojstvima i oznakama, turističkim lokacijama (poput restorana, hotela,

parkova), prirodnim i umetničkim znamenitostima, društvenim lokacijama, itd. Pomoću tih podataka, koji čine digitalno stvoreni sistem karata, može se planirati bilo šta vezano za putovanje ili transport, od određivanja plana vožnje uz uputstva o pravcima vožnje, traženja smeštaja, određivanja mesta koja će se posetiti, najisplativijih pravaca za transport ili čak onih koji pružaju najviše zadovoljstva pri putovanju.

Prednosti Google Maps-a su:

- Vjerojatno najkorisnija mogućnost Google Mapsa je skup podataka o cestama i prometnicama sa pripadajućim svojstvima i oznakama, turističkim lokacijama, prirodnim i umjetničkim znamenitostima, društvenim lokacijama, geopolitičkim određenjima, itd.
- Korisničko sučelje je jednostavno za navigaciju, moguća je potraga za lokacijama, podržano je zumiranje do različitih nivoa virtualnog pogleda na Zemlju putem stvarnih satelitskih snimaka i stvorenih digitalnih karata različite kvalitete.
- Tehničku i izvedbenu bazu sistema čine JavaScript (skriptni jezik) i XML (jezik za označavanje podataka).
- Google Earth kao samostojeći program implementira i neke dodatne mogućnosti, poput trodimenzionalnih modela građevina dodanih na karte i izometrijske poglede na iste, ESA (European Space Agency) satelitske ne-kartografske fotografije površine planeta danju/noću i slično.

Osnova sistema, uz digitalne karte koje su vektorske slike, su i satelitski snimci koji su rasterskog tipa, a podržane su uglavnom u visokoj rezoluciji za sva područja velike naseljenosti i važne zemljopisne lokacije. Fotografije se polako prikupljaju kako nastaju, nakon odabira se implementiraju u sistem, pa je tako većina fotografija starija od godinu dana, a neke potiču čak iz 2001. godine. Neke fotografije najvećih rezolucija su snimci iz aviona, a ne satelitske fotografije. Zbog takve koncepcije sistem je podložan greškama kao i svaki drugi, tako da ponekad slika koju pruža Google Maps nije realna i ne odgovara trenutnoj situaciji zbog promena koje su nastale nakon što je fotografija nastala. Zbog lake dostupnosti poprilično preciznih fotografija naseljenih područja Zemlje postoje primedbe jer bi se sistem mogao koristiti za planiranje i organizovanje terorističkih napada, pa su zbog toga neki dijelovi fotografija cenzurirani. Pretežno su to državne lokacije i objekti u SAD-u. Osnovna rezolucija satelitskih fotografija je 15 m (tačnost, maksimalno odstupanje), fotografije visoke rezolucije se penju do 0.15 m, a neka područja, poput južnoameričkih država su ekstremno niskih rezolucija. Kako se te fotografije dosta često koriste za izradu i poboljšanje digitalnih karata, one su minimalno iste, uglavnom i znatno bolje rezolucije. Stalnim prilivom novih i boljih fotografija, postupno se poboljšava sveukupna rezolucija i preciznost. Zanimljivo je da su neka područja, za koja bi se reklo da su potpuno nevažna, snimljena ekstremno visokim rezolucijama.

Korisnički interfejs je jednostavan za navigaciju. Povlačenje mišem premešta se pogled na druge lokacije, mogući su skokovi na određene koordinate i pretraga po lokacijama, podržano je zumiranje do različitih nivoa virtualnog pogleda na Zemlju putem stvarnih satelitskih

snimaka i stvorenih digitalnih karata različitog kvaliteta, zavisno o važnosti promatranog područja, razne načine prikaza karata, od veštački dodatih geopolitičkih oznaka, raskrsnica, puteva, noćnih snimaka, prikaza važnih lokacija, turističkih odredišta, kulturnih znamenitosti, itd.

Tehničku i izvedbenu bazu sistema čine JavaScript (skriptni jezik), AJAX (Asynchronous JavaScript and XML), dok se za transfer podataka koriste JSON (JavaScript Object Notation) i XML (jezik za označavanje podataka). Kod novijih generacija Google Maps-a, za transfer podataka se intenzivnije koristi JSON zbog svoje veličine, pa se to odražava na performanse. Zbog toga je Google Maps, kao i mnogi drugi softverski proizvodi, bio podvrgnut obrnutom inženjeringu (reverse engineering) zbog razvoja dodatnih skripti i raznih neslužbenih dodataka koji proširuju postojeće ili dodaju nove mogućnosti interfejsu, uz službene nadogradnje i evoluciju softvera. Neki poznatiji dodaci su prikaz nekretnina za iznajmljivanje, karte raširenosti zločina, a postoje i razne klijentske skripte za prilagođavanje podataka koje Google Maps prikazuje.

4.2.3. Open Street Map

OpenStreetMap je projekt u kojem sudjeluje više od milion korisnika diljem svijeta, i to najčešće laici koji ne posjeduju stručna znanja na polju kartografije i geoinformatike u cilju izrade besplatne i slobodne karte svijeta.

Osnivanje i razvoj OpenStreetMapa potaknula je ograničena dostupnost geografskih podataka i njihove daljnje upotrebe. Većina dostupnih web karata kao što su Bing, Google, Yahoo karte i dr., koje su na prvi pogled besplatne, ustvari podliježu raznim autorskim pravima i ograničenjima pri korištenju. Karte su besplatne za pregledavanje, ali ne i podaci koji su osnova za njihovo stvaranje i daljnju obradu.

Poticaj za razvoj OpenStreetMap projekta također je imala povećana dostupnost prijenosnih GPS uređaja koji postaju sve manji i jeftiniji. Podaci prikupljeni OpenStreetMap projektom koriste se za stvaranje tematskih karata bilo koje vrste, kao i prostornih servisa različitih namjena, kao što su OpenRouteService (za izračunavanje rute i planiranje puta), OpenCycleMap (dizajnirane za bicikliste, prikazuju biciklističke staze i infrastrukturu), OpenSeaMap (besplatne nautičke karte) i dr.

OpenStreetMap započinje Steve Coast 2004. godine u Engleskoj, sa željom da napravi slobodnu kartu Ujedinjenog kraljevstva. (URL 2) Jedan od prvih opipljivih rezultata bio je poster Londona koji je nastao u septembru 2005. godine povezivanjem svih podataka prikupljenih GPS-om. Poster je iscrtan na papiru formata A0, a prodavao se u ograničenim količinama, slika 4.9.



Slika 4.9. Poster Londona nastao iz podataka prikupljenih GPS-om [23]

Do Božića 2005. godine projekt je dosegao 1000 registriranih korisnika. 22. januara 2006. je objavljena prva verzija JOSM uređivača (engl. *Java OpenStreetMap Editor*). JOSM je aplikacija za uređivanje OpenStreetMap podataka na stolnom računar, bez potrebe 11 spajanja na Internet. Više o aplikaciji bit će rečeno u poglavlju o programima za uređivanje OpenStreetMap podataka. OpenStreetMap podaci prvi put su uspješno iskorišteni na GPS uređaju 22. marta 2006. godine.

U aprilu 2006. godine osnovana je OpenStreetMap zaklada, kako bi se potaknuo razvoj i distribucija slobodnih geoprostornih podataka. Zatim je 4. decembar 2006. godine Yahoo! dopustio korištenje svojih satelitskih i vazdušnih snimki kao pomoć pri kartiranju. Bio je to velik događaj jer je omogućio bilo kome precrtavanje s Yahoo! satelitskih snimka. Prva OpenStreetMap konferencija pod nazivom “The State of The Map” održana je u Manchesteru 14. i 15. juli 2007. godine. U septembru 2007. godine započet je uvoz cestovnih skupova podataka TIGER (engl. *Topologically Integrated Geographic Encoding and Referencing*) za područje Sjedinjenih Američkih Država. TIGER su prostorni podaci koji se nalaze u javnoj domeni, a proizvodi ih US Census Bureau te uključuju ceste, zgrade, rijeke, jezera, granice itd.

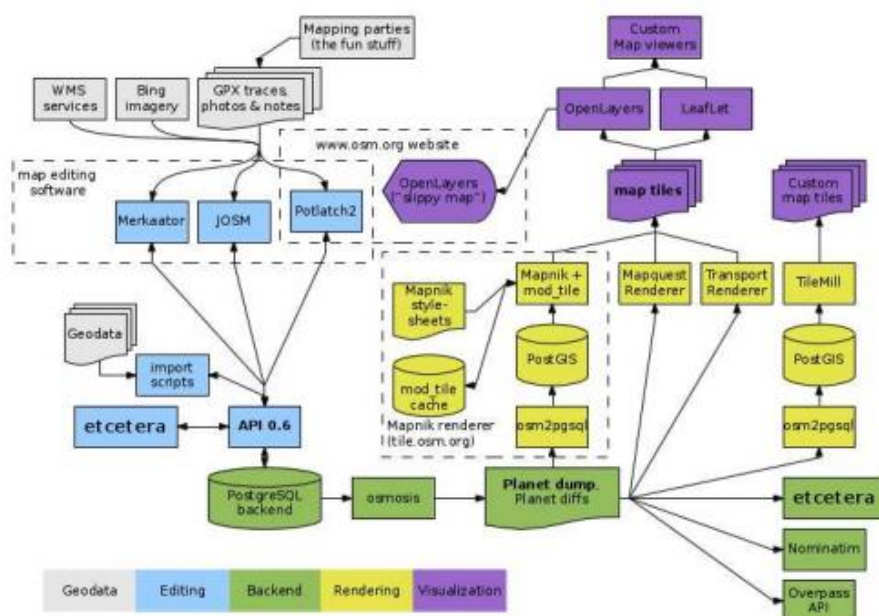
Do aprila 2009. dosegnut je broj od 100000 registriranih korisnika, te je izvršen prijelaz na API verziju 0.6, koja je trenutno u upotrebi. OpenStreetMap API specificira načine komunikacije s bazom podataka, a više o API-ju bit će rečeno u poglavlju o komponentama OpenStreetMap projekta. Sljedeća bitna promjena dogodila se 12. septembra 2012. godine, kada se dogodio prelazak na ODbL licencu (engl. *Open Database Licence*). ODbL je zamijenio do tada korištenu CCBY-SA (engl. *Creative Commons Attribution-ShareAlike*). Razlog za promjenu licence bila je bolja prilagođenost bazama podataka i općenito prostornim podacima, a više o licencama bit će rečeno u poglavlju o licencama. Milioni korisnik registrovan je 6. januara 2013. godine te je broj korisnika u neprestanom porastu, slika 4.10.



Slika 4.10. Prikaz trenda rasta broja registriranih OpenStreetMap korisnika [24]

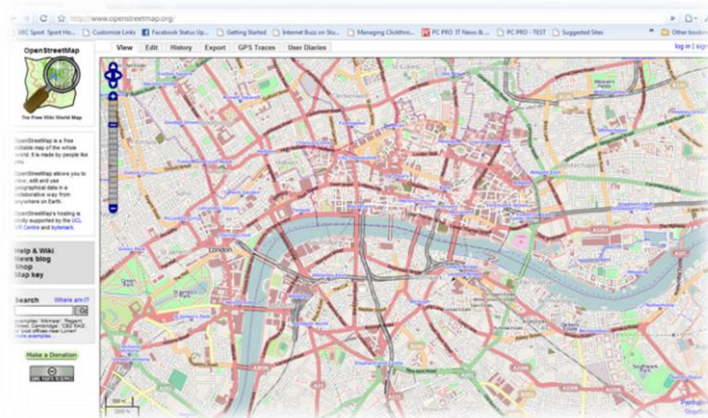
OpenStreetMap projekt sastoji se od mnogo komponenti, a neke od njih su, slika 4.11.:

- API temeljen na HTTP protokolu za čitanje podataka iz baze i zapisivanje u bazu
- XAPI, prošireni API protokol namijenjen samo čitanju podataka iz baze
- Map sistem za iscrtavanje karata na osnovu podataka iz baze
- Web poslužitelj za prikaz i uređivanje karata.
- OpenLayers biblioteka za iscrtavanje karata,
- Potlatch za uređivanje karata
- iD online uređivače - samostalni programi za uređivanje OpenStreetMap podataka (JOSM, Merkaartor i dr.)



Slika 4.11. Dijagram osnovnih komponenti OpenStreetMap projekta

Pristup OpenStreetMap poslužiteljima odvija se preko HTTP API-ja (engl. *Application Programming Interface*). API su specifikacije interakcije različitih softverskih komponenti nekog sistema. Dakle, API određuje koje se operacije mogu izvršiti nad podacima. Najčešće se koristi za uređivanje podataka pomoću raznih OpenStreetMap uređivača. Ograničenje za preuzimanje podataka je područje manje od kvadrata veličine $0,25^\circ$ (engl. latitude/longitude tj. geografske širine i dužine). Ako se žele preuzeti podaci koji obuhvaćaju veće područje primjerice za generiranje karata ili određivanje ruta, treba koristiti druge metode pristupa podacima.



Slika 4.11. OpenStreetMap Interfejs

Može se dogoditi da se žele kartirati objekti na području gdje ne postoje OpenStreetMap podaci, primjerice u udaljenim ruralnim područjima ili u zemljama u razvoju. Za takva područja ne mogu se preuzeti OpenStreetMap podaci, kao ni GPS tragovi, slika 4.12.



Slika 4.12. Područje na kojem ne postoje OpenStreetMap podaci

4.2.4. KML – Keyhole Markup Language

Keyhole Markup Language (KML) je XML (Extensible Markup Language) bazirani jezik za opis trodimenzionalnih geoprostornih podataka i njihov prikaz u aplikativnim programima.

KML je prije svega razvijan za Google Earth koji je na početku nazivan Keyhole. Google Earth je očigledno došao sa svojom ogromnom bibliotekom podataka, informacijskih tačaka i slojeva koji mogu biti prikazani na mapi. Svi ovi podaci se dostavljaju klijentu u obliku fajlova koji koriste KML standarde. Ovaj specijalizovani tip XML-a omogućava da se organizuju i kreiraju tačke, rute i mnoge druge informacije. Format podataka nije preterano zahtjevan za shvatiti niti generisati. Za razliku od Google Maps-a, gdje su se podaci za prikaz na mapi prvo morali kodirati, i prilagoditi prikazu, Google Earth ima ugrađene metode koje čitaju kodirane podatke direktno iz strukture KML fajla.

- Standardi KML-a su ogromni. Samo Google-ova dokumentacija o KML je na 120 stranica. Osnovna KML struktura je slična kao i kod XML-a, počinje zaglavljem, i to na slijedeći način:
- Glavni KML XML korijeni tag;
- Document tag, koji definiše sadržaj dokumenta, takođe sadrži i globalne informacije o dokumentu, kao i foldere;
- Folder tag, definiše sadržaj svakog foldera, kao i svih ugnežđenih foldera koji se nalaze u njemu, zajedno sa svojim informacijama o tačkama, lokacijskim markerima, rutama ili nekim drugim strukturama. Unutar foldera dodaju se lokacijski markeri sa definicijama i elementima njegovih komponenti, kao i lokacijskih markera koji se nalaze u njemu.

Primjer KML koda dat je u nastavku:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2">
<Document>
<Placemark>
<name>Sarajevo</name>
<description>Sarajevo</description>
<Point>
<coordinates>44.006393,18.714172,0</coordinates>
</Point>
</Placemark>
</Document>
</kml>
```

Keyhole Markup Language (KML) je na XML-u baziran programski jezik za izražavanje geografskih zapažanja i vizualizacija na postojeće ili buduće Web-bazirane, 2D mape i 3D zemaljske preglednike. Ovaj programski jezik mogao bi se usporediti s HTML-om

ili XML-om, samo što umjesto web stranica korisnik mijenja izgled Zemlje. Tako je npr. postavljanje placemark-a ništa drugo nego stvaranje jedne KLM datoteke. KMZ (KML Zipped) je komprimirana KML datoteka. Google je omogućio pristup KML dokumentaciji i priručnicima, stoga svaki korisnik ako želi može naučiti KML programski jezik i napisati složene funkcije koje potom može implementirati u svoj Google Earth.

The KML datoteka specificira skup značajki (mjesto, slike, poligona, 3D modela, tekstualne opise, itd.) za prikaz u Google Earth, Maps i Mobile, ili bilo kojem drugom zemaljskom 3D pregledniku (geobrowser) implementiranjem KML kodiranja. Svako mjesto uvijek ima dužine i širine. S ostalim podacima možete napraviti konkretne preglede, kao što je podrezivanje, zaglavlje, nadmorsku visinu, koji zajedno definiraju "pogled kamere". Neke KML informacije ne mogu se vidjeti u Google Maps ili Mobile. KML datoteke su vrlo često distribuirane kao KMZ datoteke, koje su zapakirane KML datoteke s nastavkom .kmz ekstenzije. Kada je KMZ datoteka otpakirana, jedna "doc.kml" datoteka nalazi se zajedno sa svim slikama referenciranim u KML.

5. Integrirani softverski sistem za simulaciju i GIS vizualizaciju akcidenata prouzrokovanih emisijom opasnih gasova iz proizvodnih transportnih i skladišbenih objekata – XY Plume

S obzirom na prednosti koištenja GIS alata, razmatranih u prethodnom poglavlju, u nastavku se daje prijedlog integrisanog sistem koji se može koristiti za simulaciju i GIS vizualizaciju akcidenata prouzrokovanih emisijom opasnih gasova iz proizvodnih transportnih i skladišbenih objekata. Ovaj sistem treba da bude dizajniran tako da daje brz odgovor i efikasan odgovor, potreban odmah nakon nastanka incidenata službama spašavanja, vatrogascima i drugim profesionalcima koji djeluju na suzbijanju nastalog problema, sa što manjim utjecajem na okolinu i stanovništvo.

Pri realizaciji integrisanog sistema treba da se koriste besplatni i pouzdani, široko dostupni ALOHA i SCREEN softveri za modeliranje preporučenih od strane EPA, kao i Google Earth, Google Maps i OpenStreet Maps Web baziranih GIS browsera za vizuelizaciju. Proračunate zone opasnosti se prikazuju na Web GIS browseru odakle se vrši procjena opasnosti i preduzimaju akcije djelovanja. Kao mehanizam za povezivanje disperzionih modela i Web GIS browsera može da se koristi KML („Keyhole Markup Language“) protokol kojem se može pristupiti preko bilo kojeg internet browser-a (IE, Opera, Google Chrome, Mozilla Firefox) i koristeći mnoštvo uređaja (pametn telefon, tablet, desktop i laptop računar) koji posjeduju internet konekciju.

5.1. Prijedlog integrisanog softverskog sistema

Predloženi integrirani sistem podrazumijeva integraciju postojećih softverskih aplikacija u svrhu rješavanja problema modeliranja i vizualizacije emisije opasnih gasova u slučajevima akcidenata, i to:

- Visual Studio-a,
- Screening aplikacija,
- KML protokola,
- Geografskih informacionih sistema - GIS.

Visual Studio se koristi za implementaciju korisničkog sučelja, Screening aplikacije za modeliranje disperzije opasnih gasova na osnovu mjerenih parametara, a KML protokol koristi se za transformaciju podataka u formu pogodnu za vizualizaciju koristeći dostupne WEBGIS pretraživače i aplikacije.

Integrirani Visual Studio – SCREEN – KML - GIS predloženi sistem potrebno je da se sastoji od slijedećih cjelina:

- Sistem za prikupljanje podataka,
- Sistem za modeliranje, vizualizaciju disperzije, donošenje odluka, za spajanje sa Web poslužiteljima i GIS pretraživačima za vizualizaciju podataka.

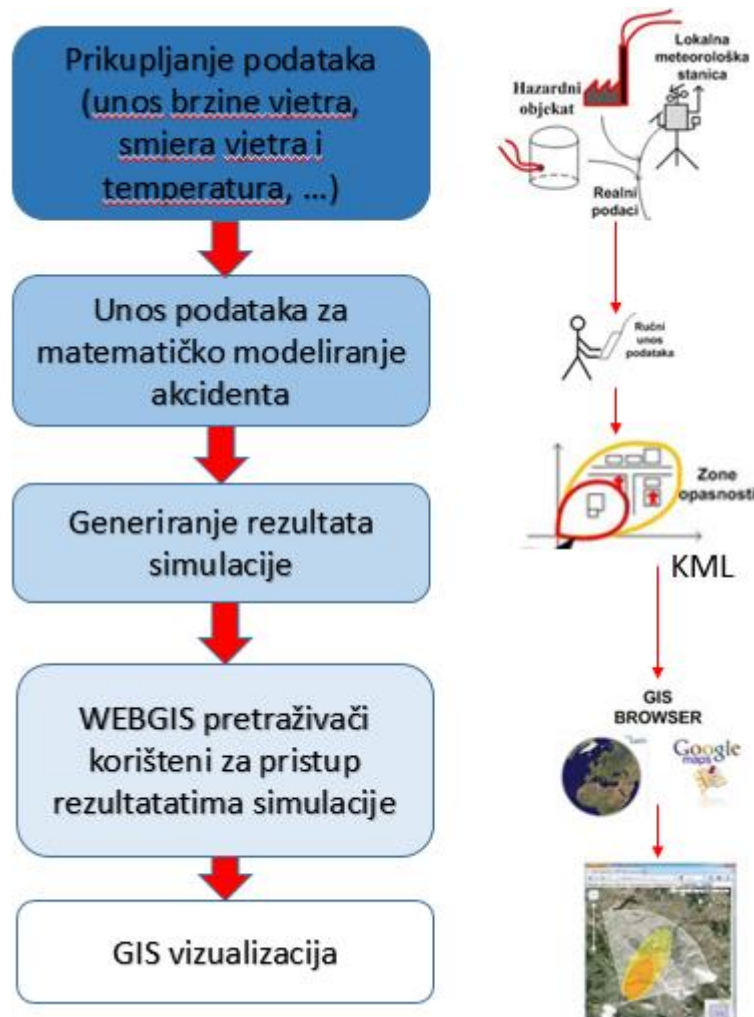
Za dizajniranje i implementaciju ovog sistema neophodna je implementacija različitih modela disperzije koje operativci angažovani u kritičnim situacijama, iako nemaju dovoljno znanja u ovoj oblasti, mogu koristiti za dobijanje neophodnih informacija. U tom slučaju mogu se koristiti postojeći ALOHA i SCREEN3 modeli.

Potrebno je da se što veći broj potrebnih parametara automatski prikuplja i unosi kako bi se u što većoj mjeri smanjio ljudski uticaj i mogućnost greške. Najefikasniji način, s obzirom na prethodno, je da se implementira automatski unos brzine vjeta, smjera vjeta i temperatura s obzirom da ovi parametri najviše utiču na širenje i kretanje zagađivača (a samim tim i na odvijanje kritične situacije) i mogu se relativno lako pribaviti.

Sistem za modeliranje, vizualizaciju disperzije, i donošenje odluka, za spajanje sa Web poslužiteljima i GIS pretraživačima za vizualizaciju podataka mogu da budu integrisani unutar jedne aplikacije sa korisničkim interfejsom (GUI). Hardverski dijelovi koji se koriste za modeliranje, dakle PC, može da se postavi na bezbjednu udaljenost gdje postoji pristup internetu ukoliko je to potrebno. Za sada ta udaljenost iznosi nekoliko km i zavisi prvenstveno od iskorištenih RF modula.

Na osnovu proračunatih koncentracija i predefinisanih kritičnih nivoa (pragova) koncentracije gasa, procjenjuju se zone opasnosti. Ovi nivoi su karakteristični za svaki gas i standardizovani su u različitim direktivama. Zone opasnosti mogu da se prikazuju na geografskim mapama kako bi se imao vizuelni prikaz situacije na terenu.

Takođe potrebno je da se provjeri da li je neki od kritičnih objekata zahvaćen hazardnim gasom. Ukoliko je neki objekat ugrožen, onda se i on, zajedno sa svojim opisom, kontakt telefonom i brojem ugroženih ljudi, prikazuje na mapi. Aplikacija treba da ima mogućnost objavljivanja informacija o zonama opasnosti i ugroženim objektima na internet serveru. Ovim podacima se onda može pristupiti preko Web aplikacije.



Slika 5.1. Blok shema integriranog softverskog rješenja

Blok shema integriranog softverskog rješenja data je na slici 5.1. U nastavku će biti razmatrana svaka od cjelina integriranog sistema.

5.1.1. Prikupljanje podataka

Za prikupljanje podataka neophodnim za modeliranje, potrebno je koristiti odgovarajuće hardverske komponente kao što su:

- lokalna metrološka stanica,
- temperaturni senzor i
- komunikacijski modul.

Ovi hardverski dijelovi postavljaju se u blizini posmatranih objekata, ili terena. Potrebno je obezbijediti da sistem za prikupljanje podataka ima neprekidno napajanje. U tu svrhu mogu se koristiti solarni paneli.

Za upravljanje prikupljanjem podataka i radom hardverskih komponenti potrebno je koristiti mikrokontroler koji će zadovoljiti potrebe hardverskih dijelova. Maksimalna udaljenost na kojoj se može uspješno ostvariti komunikacija upravo zavisi od vrste iskorištenih radio - frekvencijskih modula.

Na tržištu postoji veliki broj dostupnih lokalnih metroloških stanica, i na implementatorima integrisnog softvera je da odluče koju će da koriste s obzirom na potrebe štićenog objekta i geografskog terena.

5.1.2. Modeliranje i vizualizacija disperzije

Prilikom proračuna zona opasnosti u obzir se uzimaju različiti tipovi izvora emitovanja: tačkasti, površinski, zapreminski i cjevovodi. Parametri koje je potrebno unijeti bez obzira na izvor emisije hazardnih gasova su:

- Brzina vjetra,
- smjer vjetra,
- temperatura vazduha,
- klasa stabilnosti,
- geografski položaj izvora (geografska širina i dužina) i
- pragovi zona opasnosti

Mjesta za njihovo unošenje u implementiranom softveru treba da budu nepromijenjena prilikom implementacije aplikacije za svaki tip izvora emisije hazardnih gasova.

Tabela 5.1. *Ulazni parametri za različite vrste izvora emisije hazardnih gasova*

Izvor emisije hazardnih gasova	Ulazni parametri
Industrijski dimnjak	<i>visina dimnjaka (m)</i>
	<i>prečnik dimnjaka(m)</i>
	<i>brzina emisije (g/s)</i>
	<i>temperatura (K) polutanata prilikom izlaska iz dimnjaka</i>
Transportna ili skladišne cisterna	<i>prečnik otvora (m)</i>
	<i>visina na kojoj se nalazi otvor (m)</i>
	<i>koeficijent ispuštanja (bezdimenziona veličina)</i>
	<i>gustina polutanta (kg/m³)</i>
	<i>pritisak u cistijerni (Pa)</i>
	<i>atmosferski pritisak (Pa)</i>
Površinski izvori	<i>odnos toplotnih kapaciteta (bezdimenziona veličina)</i>
	<i>temperatura gasa na izlazu (K)</i>
	<i>brzina polutanta na izlazu(m/s)</i>
	<i>Površina (m²)</i>
	<i>Dužina veće ivice (m)</i>
	<i>Dužina manje ivice (m)</i>
	<i>Visina izvora (m)</i>
	<i>Gustina emisije (m/s²)</i>

Sistem za modeliranje i vizualizaciju disperzije gasnih polutanata na osnovu ulaznih parametara procjenjuje zone opasnosti i prikazuje ih preko digitalnih mapa. Za vizualizaciju u vremenu i prostoru mogu da se koriste neki od “open – source” aplikacija kao što su prethodno opisani *Google Earth* ili *Google Maps* aplikacije.

5.1.3. Donošenje odluka

Na blok shemi u nastavku su prikazane faze kroz koje prolazi aplikacija kako bi izračunala zone opasnosti i vizuelno ih prikazala.

Prvo je potrebno izračunati koncentraciju ispuštenog hazardnog gasa. Potrebno je odrediti oblast posmatranja. Ova oblast se predstavlja matricom čija veličina zavisi od primijenjenog koraka. Potrebno je omogućiti da korisnik može promijeniti veličinu posmatrane oblasti kao i veličinu koraka. Smanjivanjem koraka se povećava rezolucija prikaza i dobija se bolja vizualizacija, međutim to može dovesti do povećanja vremena proračunavanja izlaznih parametara i povećati zahtjeve za memorijom u računaru, što pak može biti negativna posljedica za krajnje korisnike koji zahtjevaju brze i efikasne izlazne podatke. Već u ovom koraku jasno je da se prilikom dizajniranja mora voditi računa o odnosu brzine i efikasnosti izlaznih podataka.



Slika 5.2. Postupak generiranja KML fajla

Za bolju analizu podataka, istraživanja su pokazala da je pored zone opasnosti, dobro prikazati i nesigurnu zonu. Ova zona je u stvari površina kružnog isječka čiji je prečnik 10% veći od najudaljenije tačke, a ugao mu je 90°, 45° u jednom smjeru od te najudaljenije tačke i 45° u drugom smjeru. Broj tačaka luka se može mijenjati.

Nakon proračunavanja zona opasnosti pravi se KML fajl na osnovu podataka o kritičnim zonama, njihovoj dužini dužine i lokacija izvora. Za svaku od zona može se koristiti kodiranje bojom, tako da se zona se prikazuje odgovarajućom bojom u zavisnosti od njene opasnosti:

- Zona3 - crvenom,
- Zona2 - narandžastom
- Zona1 - žutom.

5.1.4. Integracija dodatnih parametara

U integriranog softverskog rješenje mogu se dodati i ostali parametri koje treba vizualizovati, a koji se obično prikupljaju na terenu od strane ekipe za brze intervencije. Obično su to podaci o zdravstvenom stanju ugroženih osoba, npr. povrijeđenih. U tom cilju ekipe hitne pomoći mogu snimati njihove vitalne parameter kao što su temperatura, puls, krvni pritisak, rad srca (EKG), saturaciju kiseonika (SpO2) i direktno ih slati bolničkim timovima koji prave plan ukazivanja hitne pomoći ili zbrinjavanja [25,26,27]. Na taj način izvršiće se markiranje i vizualizacija stanja povrijeđenih osoba.

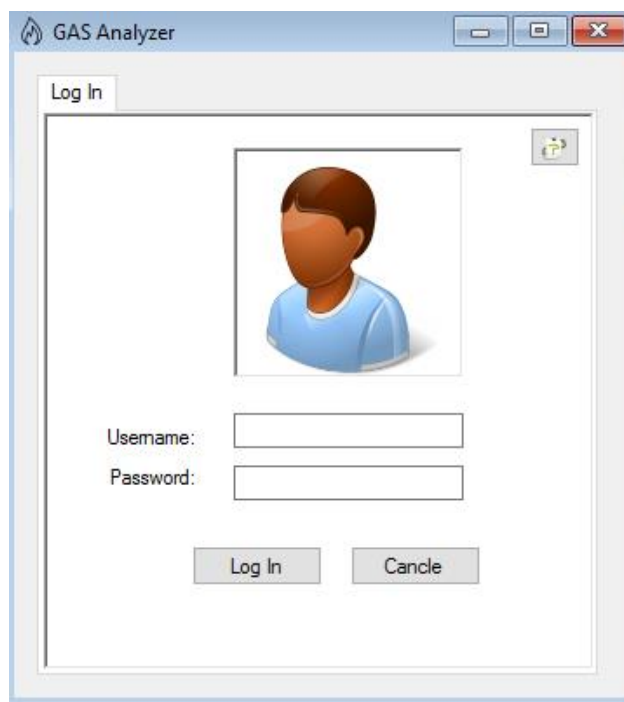
5.1.5. Spajanje sa Web pretraživačima

Proračuni dobijeni u aplikaciji za modeliranje su vidljivi samo na jednom mjestu, na računaru na kojem je i pokrenuta. Predlaže se da se u sklopu integriranog softverskog rješenja koristi i kml fajlovi i podaci učitani sa Google Earth mapa za vizualizaciju terena pogođenog hazardnim gasovima.

5.1.6. Razvijena aplikacija

U ovom poglavlju daje se prijedlog za razvijanje aplikacije za modeliranje disperzije hazardnih gasova i GIS vizualizaciju na bazi Google Earth podataka i rezultata dobijenih korištenjem Screen3 modela. Za razvijanje aplikacije korištena je Visual Studio 2015 .Net platforma i programski jezik C#.

Da bi se osiguralo da pristup aplikaciji ima samo autorizovano osoblje, svakom korisniku dodjeljuje se korisničko ime i lozinka. Na slici 5.3. prikazana je pristupna forma aplikaciji integriranog softverskog rješenja.



Slika 5.3. Autorizacija prava pristupa unošenjem korisničkog imena i lozinke

Aplikacija podržava modeliranje za tri vrste izvora hazardnih gasova: tačkasti, površinski i zapreminski izvor. Na lijevoj strani glavnog prozora aplikacije, korisniku je omogućen unos podataka o stanju u okolini, kao što su temperatura, brzina vjetra, smjer vjetra i geografski podaci o posmatranoj lokaciji kao što su dužina i širina. Na slikama 5.4, 5.5 i 5.6 prikazan je korisnički interfejs koji omogućava unos podataka za svaki tip izvora hazardnih gasova.

GAS Analyzer

Modeliranje izvora hazardnih gasova GIS vizualizacija

Vrijeme: 12:29:32 Operator: Operator 1 Odjava

☐ Urbana sredina ☐ Ruralna sredina

Metrološki uslovi okoline

Brzina vjetra m/s

Smjer vjetra

Temperatura °C

Klasa stabilnosti A

Geografski položaj izvora hazardnog gasa

Geo. dužina

Geo. širina

Potvrdi unos podataka

Poništi unos podataka

Tačkasti izvor Površinski izvor Zapreminski izvor

Visina dimnjaka (m)

Prečnik dimnjaka (m)

Brzina emisije gasa (g/s)

Temperatura hazardnog gasa °C

Kritični nivo 1 Kritični nivo 2 Kritični nivo 3

Modeliranje (Screen3) i vizualizacija

Poništi unos podataka



Slika 5.4. Korisnički interfejs za tačkasti tip izvora emisije hazardnih gasova

GAS Analyzer

Modeliranje izvora hazardnih gasova GIS vizualizacija

Vrijeme: 12:29:32 Operator: Operator 1 Odjava

☐ Urbana sredina ☐ Ruralna sredina

Metrološki uslovi okoline

Brzina vjetra m/s

Smjer vjetra

Temperatura °C

Klasa stabilnosti A

Geografski položaj izvora hazardnog gasa

Geo. dužina

Geo. širina

Potvrdi unos podataka

Poništi unos podataka

Tačkasti izvor Površinski izvor Zapreminski izvor

Brzina emisije m/s²

Visina

Dužina površine

Dužina manje strane

Kritični nivo 1 Kritični nivo 2 Kritični nivo 3

Modeliranje (Screen3) i vizualizacija

Poništi unos podataka



Slika 5.4. Korisnički interfejs za površinski tip izvora emisije hazardnih gasova

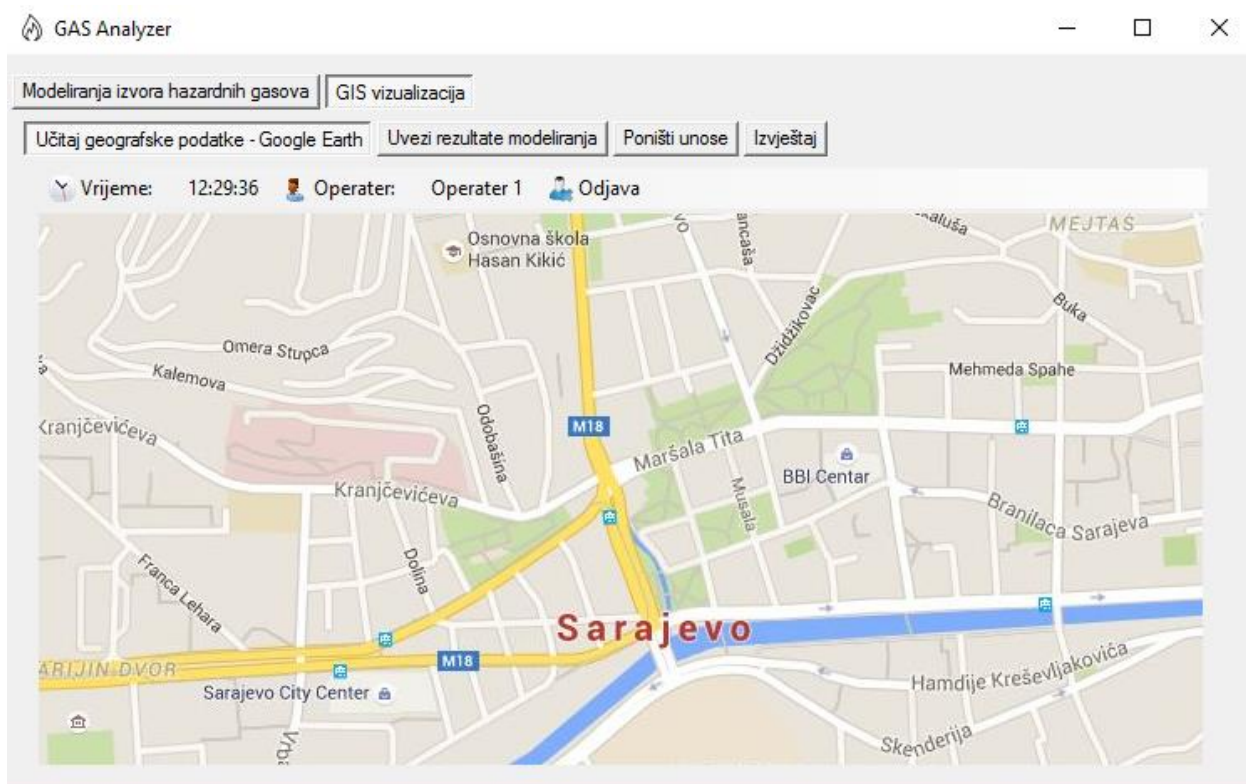
The screenshot shows the 'GAS Analyzer' application window. It has two tabs: 'Modeliranje izvora hazardnih gasova' (selected) and 'GIS vizualizacija'. The interface is divided into several sections:

- Top Bar:** Displays 'Vrijeme: 12:33:45', 'Operator: Operator 1', and 'Odjava' (Logout).
- Environment Settings (Metrološki uslovi okoline):** Includes checkboxes for 'Urbana sredina' and 'Ruralna sredina', input fields for 'Brzina vjetra' (m/s), 'Smjer vjetra', 'Temperatura' (°C), a dropdown for 'Klasa stabilnosti' (set to 'A'), and input fields for 'Geo. dužina' and 'Geo. širina'.
- Source Type Selection:** Three tabs: 'Tačkasti izvor', 'Površinski izvor', and 'Zapreminski izvor' (selected).
- Storage Tank Parameters (Zapreminski izvor):** A list of input fields: 'Prečnik izvora (m)', 'Visina (m)', 'Koeficijent ispuštanja', 'Gustina hazarda (kg/m³)', 'Unutrašnji pritisak', 'Atmosferski pritisak', 'Odnos toplotnih kapaciteta', 'Temperatura gasa', and 'Brzina na izlazu'.
- Visualization and Actions:** A button 'Modeliranje (Screen3) i vizualizacija' and a red 'X' button 'Poništi unos podataka'. To the right, there is a photograph of a large industrial storage tank and three input fields for 'Kritični nivo 1', 'Kritični nivo 2', and 'Kritični nivo 3'.
- Bottom Buttons:** 'Potvrdi unos podataka' and a red 'X' button 'Poništi unos podataka'.

Slika 5.5. Korisnički interfejs za zapreminski tip izvora emisije hazardnih gasova

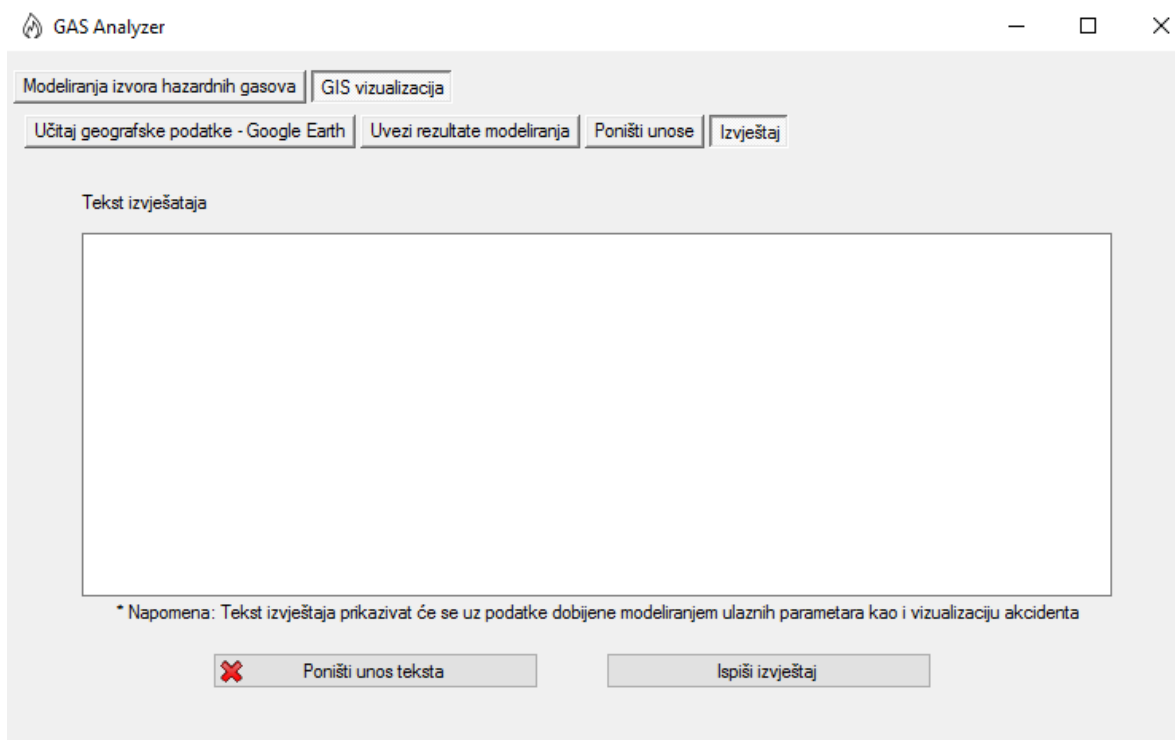
Kao što je i u prethodnim poglavljima navedeno parametri kao što su brzina vjetra, temperatura zraka, klasa stabilnosti i drugi parametri koji su stalni za sve vrste izvora emisije hazardnih gasova nalaze se na istom mjestu u slučaju unosa. Kao što je vidljivo na slici aplikacija se sastoji od izborne trake, unosa vrijednosti za parametre koji se ne mijenjaju u ovisnosti od izvora emisije, kao i parametre specifične za određene izvore: industrijski dimnjak, skladišta.

Za razliku od postojećih aplikacija koje se oslanjaju na korištenje WEB GIS browsera za predstavljanje rezultata modeliranja disperzije hazardnih gasova, ova aplikacija omogućava nanošenje zona opasnosti na mape posmatranog područja, slika 5.6. Ovaj koncept može biti koristan u slučaju implementacije mobilne verzije aplikacije (Android, IOS platforma).



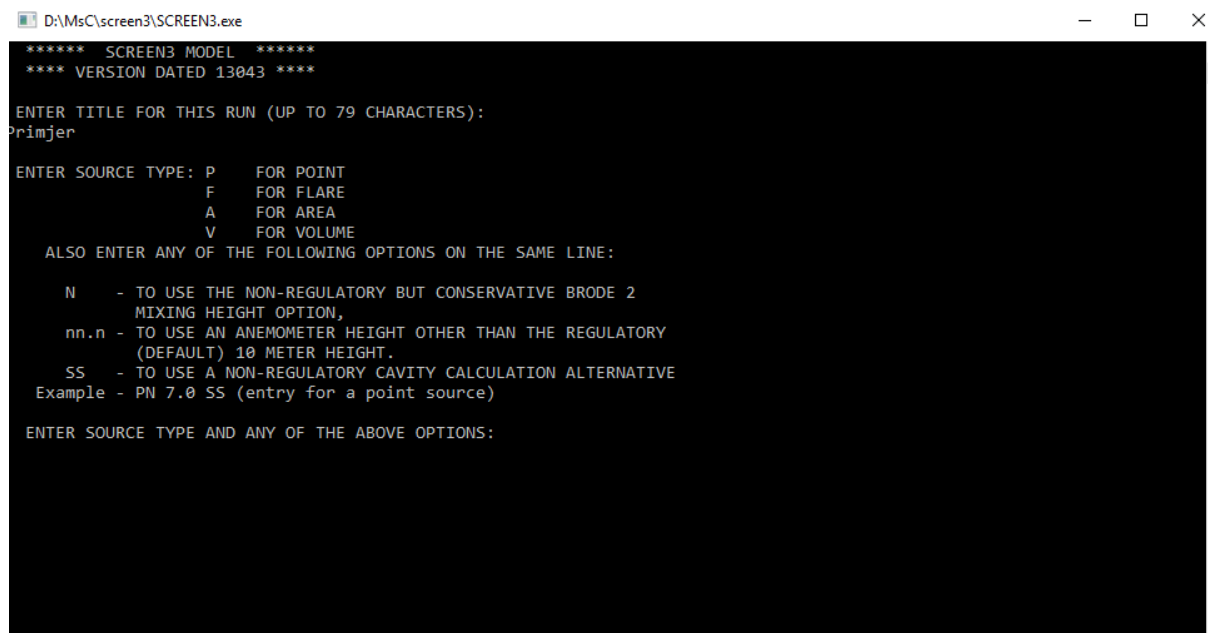
Slika 5.6. Vizualizacija podataka dobijenih modeliranjem ulaznih parametara

Na kraju postupka modeliranja i analize rezultata modeliranja, operateru se nudi mogućnost kreiranja izvještaja, slika 5.7.



Slika 5.7. Ispisivanje izvještaja o rezultatima modeliranja i analize ulaznih parametara

Aplikacija modeliranja ulaznih parametara zasniva na SCREEN3 modelu, čiji je izvorni kod dostupan besplatno. Korisnički interfejs za upotrebu ovog modela je jednostavan i intuitivan, slika 5.8, i zahtjeva unošenje istih parametara koji su specificirani u predloženom softverskom rješenju Priiskom na tipku „Modeliranje (Screen3) i vizualizacija“ aplikacija pokreće izvorni kod Screen3 modela, uzima ulazne parametre i vrši modeliranje na osnovu Gausovog modela.



Slika 5.8. Korisnički interfejs Screen3 modela

6. Predlog sistema za modeliranje i simulaciju u slučajevima kompleksnog terena – XYZ plume

Kada se hazardni gasovi ispuštaju u atmosferu, bez obzira da li slučajno ili uslijed terorističkih napada, službe hitne intervencije i drugi nadležni organi zahtijevaju brze i relevantne informacije o ugroženom stanovništvu i infrastrukturi. Ovaj zahtjev u mnogo čemu ovisi o vremenu, posebno u urbanim područjima, zbog gustoće naseljenosti stanovništva i posljedice kašnjenja odgovora.

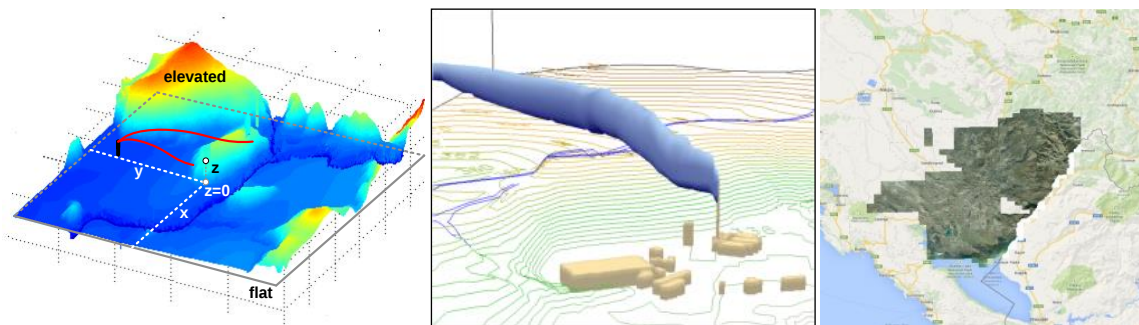
Veliki smog '52, Seveso katastrofa '76, Island eksplozija nuklearne elektrane '79, Bhopal katastrofa '84, požar ulja u Kuvajtu '91, eksplozija nuklearne elektrane u Černobilu '86, Phillips katastrofa '89 su samo nekoliko od primjera čovjekom izazvanih katastrofa koje su rezultirale nekontrolisanom emisijom zagađivača i gubitaka života i štete na nekretninama. Dakle, postoji hitna potreba iz hitnih službi i drugih aktera civilne zaštite da imaju pristup, između ostalog, da podrže sisteme za modeliranje, simulaciju i vizualizaciju ospanih gasova u prostoru i vremenu. Takvi sistemi treba da sadrži sve dostupne nove tehnologije, uključujući različite hardverske i softverske alate. Nedavno su razvijeni brojni softveri za modeliranje hazardnih gasova kao što su ALOHA, MEMPLEX, Breeze, SAFER, SAM, i TRACE koji mogu integrirati u sebi različite modele disperzije kao što su SCREEN3, AERSCREEN, AERMOD, ISC3, CALPUFF, ROADS, HISPLIT, DEGADIS, SLAB i drugi. Međutim, oni pružaju samo parcijalno rješenje, uz neke od nedostataka kao što su:

1. Oni uglavnom služe za off-line modeliranje disperzije hazardnih gasova preko jednostavnih terena (2D prostor).
2. Grafički prikaz proračunate zone opasnosti (plume) su uglavnom statički i ne razmatraju u realnom vremenu promjene atmosfere (vremenski) i izvora (snage, tip, itd).
3. Kompleksni teren, nadmorska visina i urbane infrastrukture nisu uzeti u obzir.

Ideja modeliranja disperzije hazardnih gasova je stara gotovo 100 godina. Glavni cilj je bio da se procijeni širenja otrovnih hemikalija otpuštenih na ratištima. Svrha je proširena i na disperzije opasnih plinova u industrijskim područjima. U početku, proračun je rađen ručno, koristeći jednostavne tabele i grafikone dok se danas većinom koriste kompjuteri i procesori. Postoji veliki broj različitih vrsta modela za modeliranje disperzije hazardnih gasova. Izbor odgovarajućeg zavisi od specifičnih aplikacija, prostora i atmosferske prilike i dimenzija problema, kao i dostupnih ulaznih i izlaznih parametara i brzina proračuna. Generalno, modeli disperzije mogu se podijeliti u dvije grupe: fizičke modele i matematičke modela. Fizički modeli simuliraju pravi fenomen u značajno smanjenima uvjetima u laboratoriji (kao što su modeli tunela vjetra, itd). Oni otkrivaju mehanizme disperzije i osiguravaju validaciju podataka dobivenih matematičkim modelima. Matematički modeli su skup analitičkih numeričkih algoritama koji opisuju fizičke i hemijske aspekte problema i mogu se dalje dijeliti na determinističke modele i statističke modele. Difuzija zagađivača gasa se može numerički simulirati, u determinističkom pristupu, koristeći Ojlerov, Langranžov i Gausov model.

6.1. XYZ-plume pristup [28]

Iako izvođenje Gaussian-Plume modela pretpostavlja idealne uslove kao što je beskonačno, ravno, homogeno područje, Gaussian-Plume model se može koristiti za predviđanje koncentracije na receptorima u složenom, povišenom terenu, kao što je ilustrovano na slici u nastavku (lijevi panel). Složenost terena treba da sadrži usponi urbanu infrastrukturu, kao što je ilustrovano na slici u nastavku (srednji panel), ili oboje (desni panel). Postoji nekoliko načina na koji se ovi efekti mogu uzeti u obzir. Modeli SCREEN3 i ISC3 su slični u svom pristupu modeliranja terena. Pristup koji se koristi u AERMOD je sofisticiraniji. U svim ovim modelima, vertikalna funkcija distribucije se uzima u obzir. Model CALPUFF omogućava mehanizam za bočno skretanje proračunatog širenja hazardnog gasa zbog terena. GEPSUS je modificirao ovaj pristup u odnosu na ISC3.



Slika 7.1. Kompleksni teren, karta nadmorske visine, karta nadmorska visina + urbana arhitektura, LIDAR podaci

Općenito Gausova disperzija može se izraziti kao:

$$C(x,y,z)=A*V*H \quad (1)$$

gdje je:

$$A=(Q*CORR*K)/(2\pi u\delta_y\delta_z), \quad (2)$$

$$H = e^{-\frac{y^2}{2\delta_y^2}}, \quad (3)$$

$$V = \left(e^{-\frac{(z-H)^2}{2\delta_z^2}} + e^{-\frac{(z+H)^2}{2\delta_z^2}} \right) \quad (4)$$

$$CORR = (400 - (z - H_{ef})) / 400 \text{ for } z > H_{ef}; \text{ } CORR = 1 \text{ for } z \leq H_{ef}; \quad (5)$$

$$H_{ef} = z_0 - (1 - f_t) * (z - z_s) = H + d_h - (1 - f_t) * (z - z_s); \quad (6)$$

- $f_t = 0.5$, A-D;
- $f_t = 0$, za kategoriju stabilnosti E, F..

i:

Q – stopa emisije hazardnog gasa

K- koeficijent skaliranja

X- udaljenost receptora od centra izvora mjerena duž osovine oblaka hazardnog gasa niz vjetar

Y - lateralna udaljenost oblaka hazardnog gasa od receptora

Z – visina receptora

z_s – visina baze

δ_y, δ_z – koeficijent disperzije

H – visina dimnjaka

d_h – visina oblaka

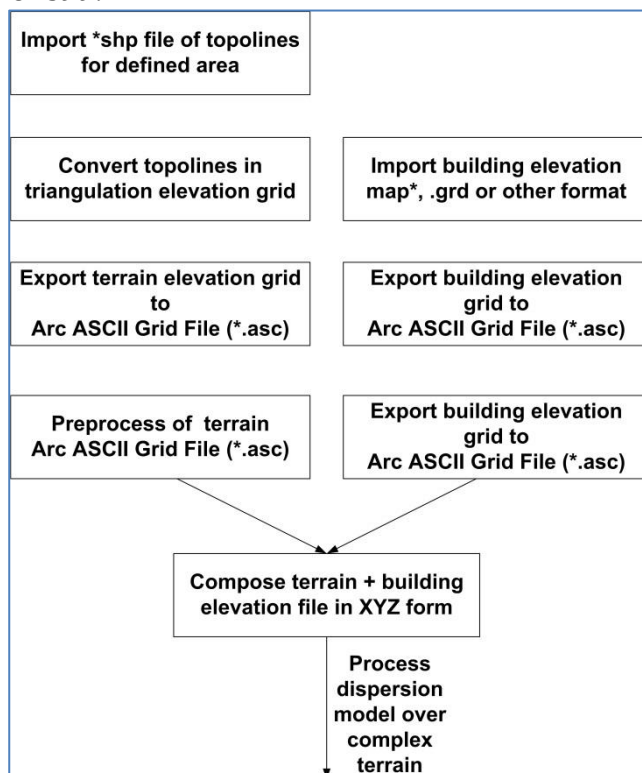
f_t – faktor prilagodbe terena

Navedeni termini su izvedeni iz modifikovanog Gausovog modela jednačina uzimajući u obzir složene prilagodbe terena prema modelu ISC3. Kao što se vidi V i CORR su termini koji zavise od z.

6.2. Softversko predprocesiranje za XYZ-plume model

Kako bi se usvojio XYZ-plume pristup za samostalne aplikacije nekoliko modifikacija treba obaviti. One se odnose na uvoz slika visine terena pomoću dizajniranih pretprocesorskih

softvera. Slika 7.5 prikazuje zadatak preprocesora koji su potrebni za pripremu slike visine. Krajnji cilj je bio da se sastavi matrica terena uključujući i naznake urbane arhitekture u obliku XYZ, gdje Z je nadmorska visina u metrima i XY projekcije. Za predobradu GUI MATLAB pogodno je koristiti.



Slika 7.5. Predobrada za sastavljanje kompleks terena u XYZ obliku

7. Rezultati testiranja

U ovom poglavlju se prikazuju rezultati testiranja oba rješenja koja su predložena, rješenja za prosti teren i rješenja za kompleksni teren.

- XY plume
- XYZ plume

XY plume softversko rješenje validirano je simulacijom akcidenata emisije hazarnih gasova u tri slučaja koja će biti predstavljena u nastavku. Rezultati modeliranja i vizualizacije podataka validirani su korištenjem ALOHA softvera.

XYZ plume rješenje je validirano na primjeru kompleksnog terena urbanog područja kakvo je oblast Podgorice.

7.1. Emisija hazardnih gasova iz termoelektrane Kakanj

Oksidi sumpora, naročito sumpor dioksid (SO_2), nastaju kao rezultat vulkanskih erupcija i raznih industrijskih procesa. Sa obzirom da ugalj i nafta sadrže komponentu sumpora, u procesu njihovog sagorijevanja za zagrijavanje domaćinstava, proizvodnju električne energije i u motornim vozilima, nastaje sumpor dioksid.

SO_2 je toksičan, bezbojni gas oporog i iritirajućeg mirisa. Teži je od vazduha. Sumpor dioksid utiče na respiratorni sistem i funkcije pluća i može izazvati iritaciju očiju. Zapaljenje respiratornog trakta izaziva kašalj, sekreciju sluzi, pogoršavanje astme i hroničnog bronhitisa i čini ljude podložnim raznim infekcijama respiratornog sistema.

Molekularna masa SO_2 je 64.06 g/mol. Kritični nivoi koncentracije sumpor dioksida, na osnovu tabele 14, su 0.2, 0.75 i 30 ppm ili 0.524, 1.965 i 78.601 mg/m³.

U ovom scenariju, u Termoelektrani Kakanj, je zbog nedostataka filtera došlo do ispuštanja štetnih gasova u vazduh. Jedan od tih gasova je i SO_2 . Iz dimnjaka, visine 200 m i 7.5 m u prečniku, se ispušta gas brzinom 6.3 m/s temperature 140 °C. Brzina emisije je 918 g/s. Temperatura vazduha je 14 °C.

Mjerena brzina vjetrova je 3 m/s iz pravca jugozapada (220°). Atmosferska stabilnost je klase B. Sve navedene vrijednosti je potrebno unijeti u aplikaciju i modelirati akcident, slika 6.1. Ulazni parametri su prikazani u tabeli 6.1.

Tabela 6.1. Ulazni parametri za ispuštanje sumpor dioksida

Parametar	Vrijednost
Vrsta gasa	Sumpor dioksid
Hemijska oznaka	SO ₂
Prečnik otvora[m]	7.5
Visina dimnjaka [m]	200
Brzina ispuštanja gasa [m/s]	6.3
Brzina emisije [g/s]	918
Temperatura gasa[°C]	22
Spoljašnja tempera vazduha[°C]	22
Brzina vjetra[m/s]	13
Smjer vjetra[°]	180
Klasa atmosferske stabilnosti	B
Teren	Urbano područje
Refleksija	Od zemlje
Kritični nivoi za sumpor dioksid	1.8, 22, i 100
Lokacija izvora [geografska širina, geografska dužina]	44.08709 i 18.11405

GAS Analyzer

Modeliranje izvora hazardnih gasova | GIS vizualizacija

Vrijeme: 18:13:21 Operator: Operator 1 Odjava

☐ Urbana sredina ☐ Ruralna sredina
 Metrološki uslovi okoline

Brzina vjetra: 13 m/s

Smjer vjetra: 180

Temperatura: 22 °C

Klasa stabilnosti: B

Geografski položaj izvora hazardnog gasa

Geo. dužina: 44.08709

Geo. širina: 18.11405

Potvrdi unos podataka

Poništi unos podataka

Tačkasti izvor Površinski izvor Zapreminski izvor

Visina dimnjaka (m): 200
 Prečnik dimnjaka (m): 7.5
 Brzina emisije gasa (g/s): 500
 Temperatura hazardnog gasa °C: 22

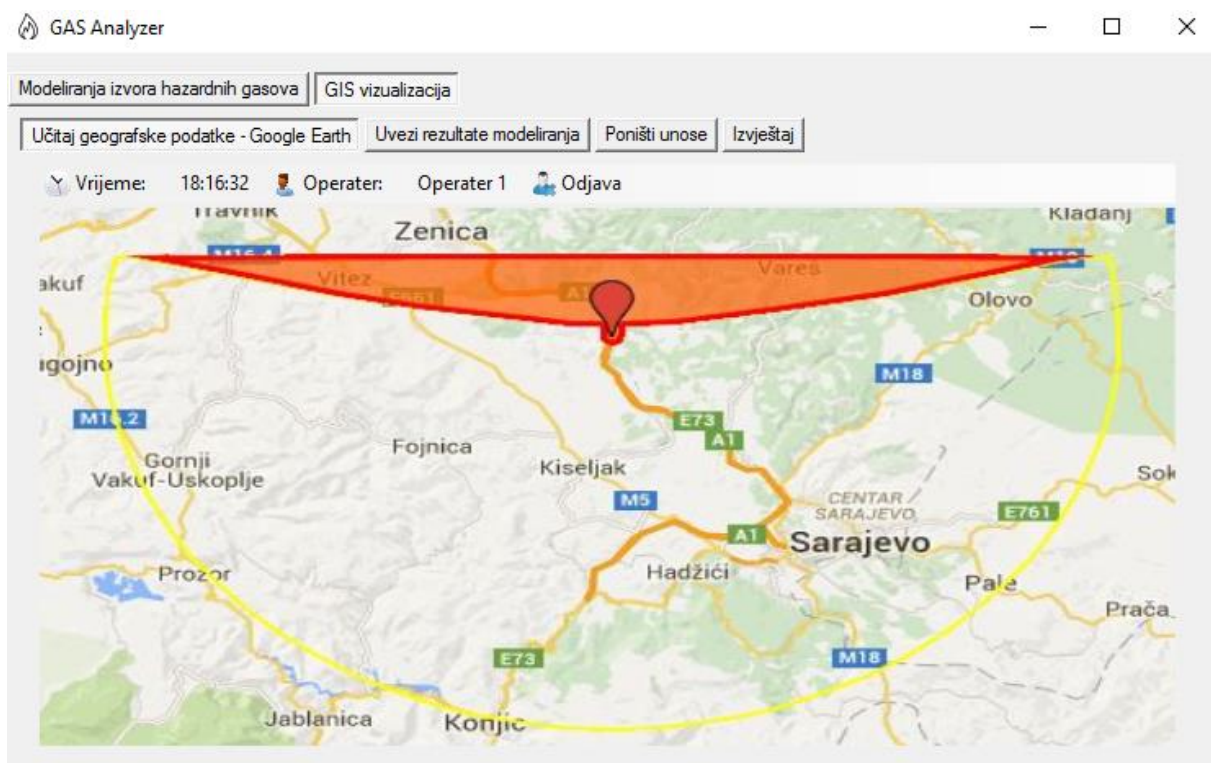
Kritični nivo 1: 1.8 Kritični nivo 2: 22 Kritični nivo 3: 100

Modeliranje (Screen3) i vizualizacija

Poništi unos podataka



Slika 6.1. Unošenje parametara akcidentne situacije u aplikaciju



Slika 6.2. Vizualizacija rezultata

7.2. Nekontrolisana emisija iz transportnih sredstava

Upotreba hlor (Cl_2) je veoma velika. Koristi za proizvodnju širokog spektra kako industrijskih, tako i proizvoda široke potrošnje. Koristi se za izradu plastike, preparata za čišćenje, metalne odmašćivače, tekstila, agrohemikalija, lijekova, insekticida, za hlorifikaciju vode i slično. Stoga, sa aspekta rasprostranjenosti, postoji velika vjerovatnoća da dođe do nekog ekscesa koji bi bio izazvan ispuštanjem hlora. Senzori mogu izmjeriti koncentraciju hlora čak od 0.2 čestice od milion (ppm). Koncentracija od 3 ppm se može namirisati. Kašalj i povraćanje može izazvati koncentracija od 30 ppm a 60 ppm oštećenje pluća. Oko 1000 ppm može biti fatalna koncentracija ako se samo nekoliko puta udahne ovaj gas. Molarna masa molekula hlora je 70.9 g/m^3 . Iz tabele 14 pragovi kritičnih koncentracija su: 0.5, 2, 20 ppm ili 1.45, 5.8 i 58 mg/m^3 .

Cisterna je usljed kvara izazvala nesreću na najprometnijoj saobraćajnici u glavnom gradu Bosne i Hercegovine. Cisterna sadrži hlor pod pritiskom i oštećena je prilikom nesreće. Sada iz rupe od 3 cm i na visini od 0.5 m curi gas.

Hlor je skladišten pod pritiskom od 2 bara ($200\,000 \text{ Pa}$) na atmosferskoj temperaturi. Temperatura vazduha je 17°C . Gustina gasa na osnovi jednačine 3.20 iznosi 5.8 kg/m^3 . Vjetar duva brzinom 2.5 m/s iz pravca jugo-istoka. Dan je sunčan. Na osnovu datih parametara, zaključuje se da je u pitanju B klasa stabilnosti (Tabela 16).

Tabela 6.2. Ulazni parametri za ispuštanje hlora

Parametar	Vrijednost
Vrsta gasa	Hlor
Hemijska oznaka	Cl_2
Prečnik otvora[cm]	3
Visina na kojoj se nalazi otvor[m]	0.5
Gustina gasa[kg/m^3]	5.8
Pritisak gasa[Pa]	200 000
Temperatura gasa[$^\circ\text{C}$]	17
Atmosferski pritisak[Pa]	101 325
Spoljašnja tempera vazduha[$^\circ\text{C}$]	17
Brzina vjetra[m/s]	2.5
Smjer vjetra[$^\circ$]	135

Klasa atmosferske stabilnosti	B
Teren	Urbano područje
Refleksija	Od zemlje
Kritični nivoi za hlor[mg/m^3]	1.45, 5.8 i 58
Lokacija izvora [geografska širina, geografska dužina]	43.858919 i 18.415925

GAS Analyzer

Modeliranje izvora hazardnih gasova GIS vizualizacija

Vrijeme: 12:35:45 Operator: Operator 1 Odjava

☒ Urbana sredina ☐ Ruralna sredina

Metrološki uslovi okoline

Brzina vjetra 2,5 m/s

Smjer vjetra 135

Temperatura 17 °C

Klasa stabilnosti B

Geografski položaj izvora hazardnog gasa

Geo. dužina 43.858919

Geo. širina 18.415925

Potvrdi unos podataka

Poništi unos podataka

Tačkasti izvor Površinski izvor Zapreminski izvor

Prečnik izvora (m) 0,03

Visina (m) 0,5

Koeficijent ispuštanja 1,2

Gustina hazarda (kg/m^3) 5,8

Unutrašnji pritisak 200000

Atmosferski pritisak 101325

Odnos toplotnih kapaciteta 1:1

Temperatura gasa 17

Brzina na izlazu 2,5

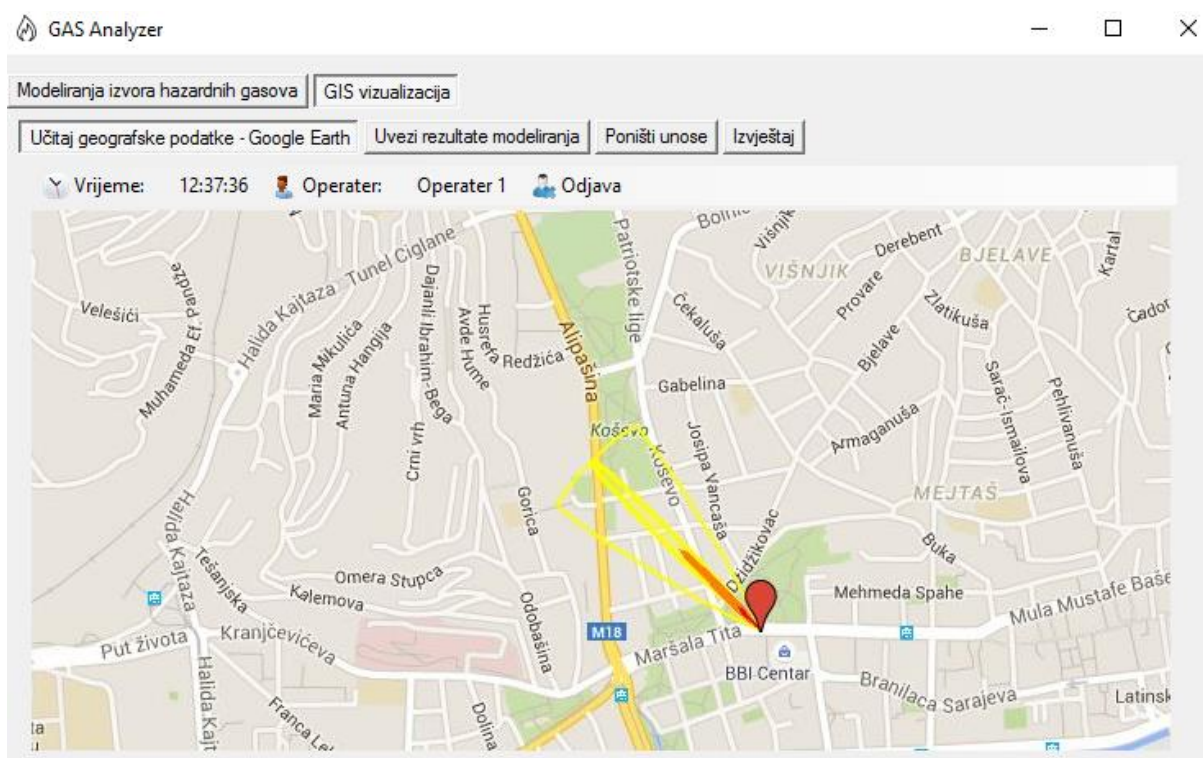
Modeliranje (Screen3) i vizualizacija

Poništi unos podataka

Kritični nivo 1 1,45 Kritični nivo 2 5,8 Kritični nivo 3 58



Slika 6.3. Unošenje parametara akcidentne situacije u aplikaciju



Slika 6.4. Vizualizacija rezultata

7.3. Nekontrolisana emisija iz površinski izvora

NO_2 predstavlja jedan od najznačajnijih vazdušnih zagađivača. U malim količinama može da iritira pluća i da smanji njihovu otpornost na respiratorne infekcije. Kontinualno i učestalo izlaganje koncentracijama koje su znatno veće od onih u prirodi može da prouzrokuje povećanu učestalost respiratornih oboljenja kod djece.

Molarna masa NO_2 iznosi 46 g/mol. Na osnovu tabele 14, kritični pragovi ovog jedinjenja su 0,5, 12 i 20 ppm ili 0,9, 22,5 i 37,6 mg/m³.

U industrijskoj zoni Ilijaš se zapalilo skladište nafte što je uzrokovalo ispuštanja povećane količine azot dioksida. Izmjerena količina NO_2 u neposrednoj blizini pumpe iznosi 1500 g/m³. Smatra se da je visina izvora 1m i otvor mu je prečnika 0,5 m. Brzina izlaznog gasa je 3 m/s i temperature 400 °C.

Spoljašnja temperatura je 20°C, vjetar puše iz pravca jugo-zapada brzinom 4,5 m/s i oblačno je. Na osnovu vremenskih prilika i tabele 6.3 je procijenjeno da je u pitanju atmosferska klasa stabilnosti D.

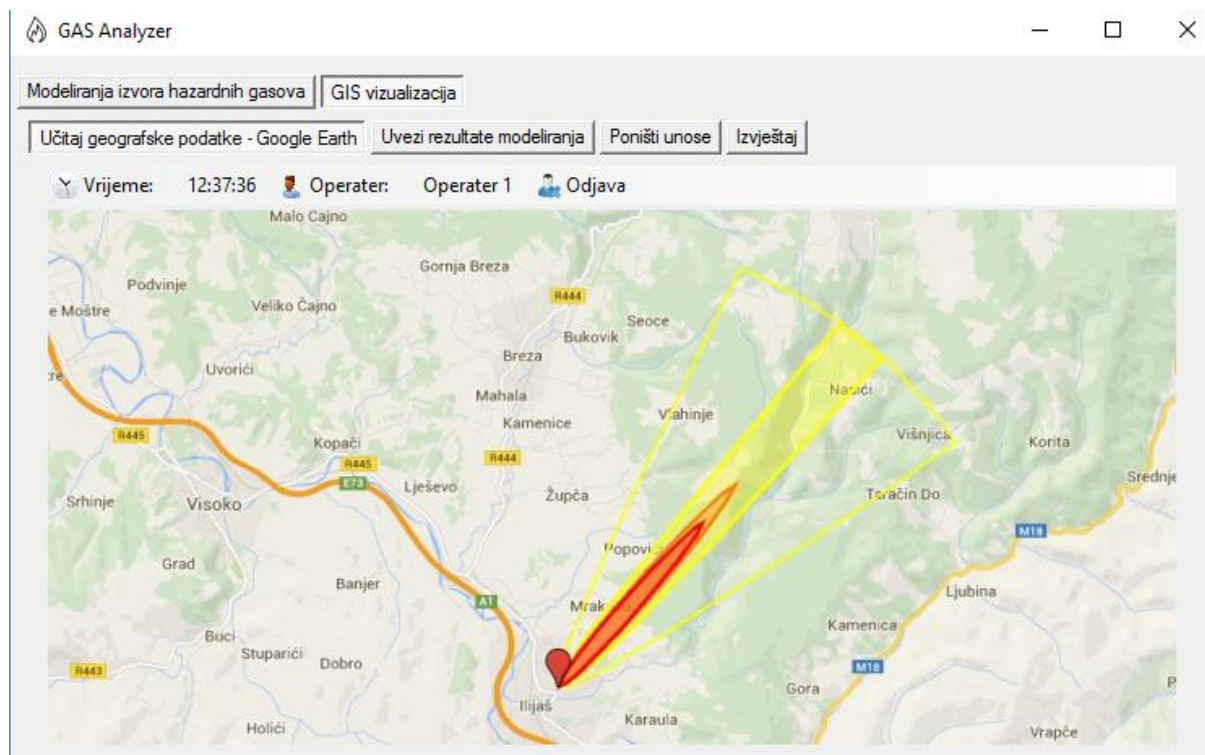
Tabela 6.3. Ulazni parametri za ispuštanje azot dioksida

Parametar	Vrijednost
Vrsta gasa	Azotdioksid
Hemijska oznaka	NO ₂
Brzina emisije[g/s]	1500
Brzina gasa na izlazu[m/s]	3
Temperatura izlaznog gasa[°C]	150
Visina izvora[m]	1
Prečnik izvora[m] volumen m kubnih	1.9
Spoljašnja temperatura vazduha[°C]	14
Brzina vjetra[m/s]	4.5
Smjer vjetra[°]	220
Klasa atmosferske stabilnosti	D
Refleksija	Odzemlje
Kritični nivoi za azot dioksid[mg/m ³]	0.9, 22.5 i 37.6
Lokacija izvora [geografska širina, geografska dužina]	44.9522, 18.27103

Unošenjem datih parametara u aplikaciju, dobija se sljedeće:

The screenshot shows the 'GAS Analyzer' application window. It has two tabs: 'Modeliranje izvora hazardnih gasova' (selected) and 'GIS vizualizacija'. The interface includes a header with 'Vrijeme: 12:35:45', 'Operator: Operater 1', and 'Odjava'. Below the header, there are three radio buttons for 'Tačkasti izvor' (selected), 'Površinski izvor', and 'Zapreminski izvor'. The left panel contains input fields for 'Brzina vjetra' (4.5 m/s), 'Smjer vjetra' (220), 'Temperatura' (14 °C), 'Klasa stabilnosti' (B), 'Geo. dužina' (43.9522), and 'Geo. širina' (18.27103). The right panel contains input fields for 'Brzina emisije' (1.9 m/s²), 'Visina' (10), 'Dužina površine' (20), 'Dužina manje strane' (15), and three 'Kritični nivo' fields (0.9, 22.5, 37.6). At the bottom, there are buttons for 'Modeliranje (Screen3) i vizualizacija', 'Potvrdi unos podataka', and 'Poništi unos podataka'.

Slika 6.5. Unošenje parametara akcidentne situacije u aplikaciju



Slika 6.6. Vizualizacije akcidentne situacije

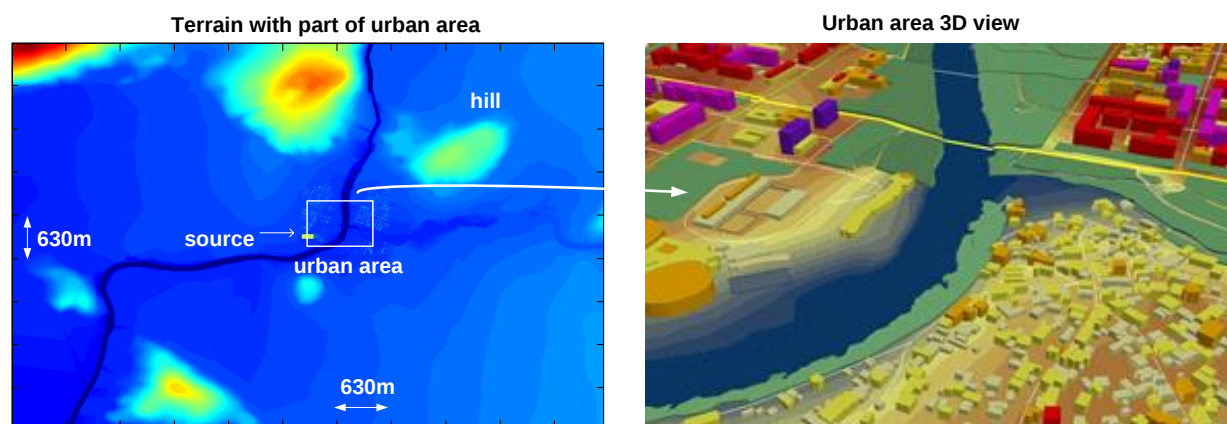
Pouzdanost razvijene aplikacije, kao i bilo kog drugog sistema, uveliko zavisi od preciznosti unešenih podataka. Stoga je potrebno obezbijediti što tačnije podatke. Također, za procjenu disperzije hazardnih gasova se koriste informacije o vremenu. Ako dođe do neke znatne promjene u atmosferskim uslovima (npr. brzina vjetera), potrebno je modelovati nove zone opasnosti sa novim podacima jer ranije više nisu tačne. Ukoliko postoje precizni podaci, neki rezultati mogu biti nepouzdana pod određenim uslovima i postoje neki aspekti koje sistem ne uzima pri proračunu, kao npr. veoma mala brzina vjetera, promjene vjetera i uticaj terena, grupisanje koncentracije i promjena jačine izvora i sl.

7.4. Testiranje upotrebe Z-plume pristupa

U cilju poboljšanja model Z-plume precizne informacije o nadmorskoj visini terena, uključujući urbane karakteristike područja (zgrade, ulice i sl.) su razmotrene. Na slici u nastavku prikazani su detalji grada Podgorice u Crnoj Gori. Osim karakteristika izvora, sljedeće atribute GIS koristi kao ulazne parametre:

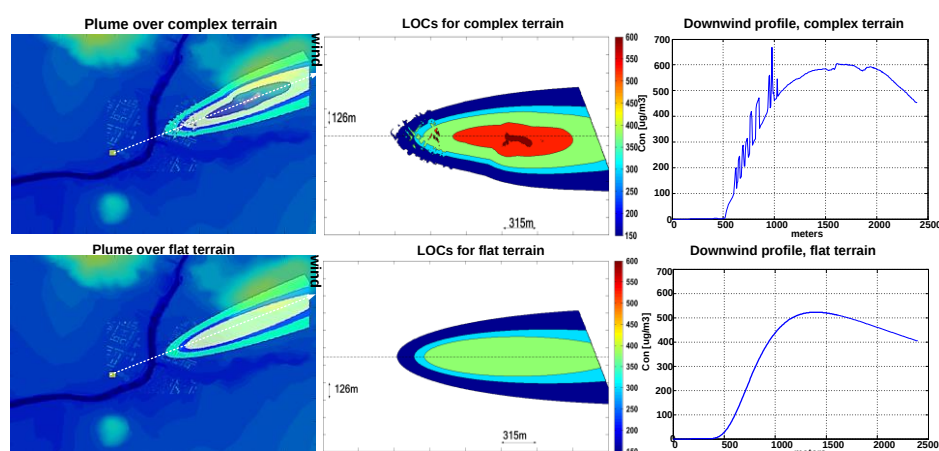
- Visina svake tačke (Z),
- Projekcije,
- Sjevero-zapadni ugao terena (Long, Lat),
- Pixel Razmak-X (m),
- Pixel Razmak-Y (m),
- X veličina terena prostora (m),
- Y veličina terena prostora (m),
- X veličina gradskog područja (m),

- Y veličina gradskog područja (m).



Slika 7.2. Karta terena Podgorice sa visine (lijevo) i gradsko područje (desno)

Analiza efekata disperzije preko složenog i ravnog terena su izvršena pomoću jednačine (1), naravno, nakon implementacije test softver u MATLAB-u. Slika 7.3. prikazuje neke od rezultata. Pod-figure u lijevoj koloni predstavljaju različite geometrijske oblike Nivo zabrinutosti (LOCS) za ravan i povišen teren. Kada se razmatra složen teren, pet nivoa LOCS su otkrivene. U LOCS za ravan teren pokazuju se samo LOC1 da LOC3 (plava, svijetlo plava i svijetlo zelena boja). Podfigure u desnom stupcu predstavljaju profile ‘niz vjetar’ za složen teren i ravan teren.



Slika 7.3. Poređenje disperzije zagađenja zraka u slučaju kompleksnog i ravnog terena. Efekti dobijeni poboljšanom verzijom Z-Plume softvera

Zatim se ispituje kombinovani teren u smislu područja u kvadratnim metrima pogođenog označenim nivom zabrinutosti. Razlike se mogu vidjeti u tabelama u nastavku koje pokazuju numeričke izlaz Z-plume sistem za LOC1-LOC5 gdje se nivo zabrinutosti pojavio za ravan teren, kao i kompleksni teren. Kada, se u modelu, razmatra ravan teren, područje zahvaćeno sa LOC1 i LOC2 je 0 m², a kada se koristi razvijen model za kompleksni terena, ovo područje je prilično značajan za LOC1, 11,790 m² i LOC2 164.320 m². LOC3 područje kada se koristi model za ravan teren je 361.620 m² i veći nego u slučaju kada se koriste modeli za kompleksni teren, 309.700 m², zbog neotkrivenih LOC1 i LOC2 područja. LOC4 (crvena) i LOC5 (caffe) također se uglavnom razlikuju zbog različitih preciznost primjenjenog modela.

Tabela 7.1. Numerički izlaz GEPSUS sistema kao površina za specifično LOC područje

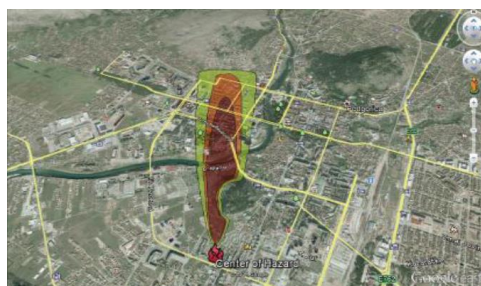
LOC	Ravni teren, pogođena zona [m ²]	Kompleksni teren, pogođena zona [m ²]
LOC1	0	11790
LOC2	0	164320
LOC3	361620	309700
LOC4	169640	141260
LOC5	354310	324550

Tabela 7.1 i 7.2 prikazuje veličinu gradskog područja pogođenog emisijom hazardnog gasa. Površina urbanog teritorija 1000 m x 1000 m se razmatra. U gradskom području, što je veća zabrinutost zbog izloženog stanovništva, na području LOC1 i LOC2 je prijavljeno 0 m². Kada se koristi model kompleksnog terena, na području LOC1 je data površina od 516 m² i na području LOC2 1310 m². Područje LOC3 se također navodi kao veći u slučaju modela složenog terena što ukazuju na veću površinu izloženih nivoa LOC3. LOC4 i LOC5 u ovom slučaju uglavnom se razlikuju zbog različitih preciznost primjenjenog modela.

Tabela 7.2. Numerički izlaz GEPSUS sistema kao površina za specifično LOC područje samo kada se razmatra urbano područje

LOC	Ravni teren, pogođena zona [m ²]	Kompleksni teren, pogođena zona [m ²]
LOC1	0	516
LOC2	0	1310
LOC3	11748	20559
LOC4	19805	20321
LOC5	59217	57471

Rezultati Z-plume modela (LOCS) mogu se izvoziti u KML formatu i integrirati u bilo koji GIS preglednik, kao što je Google Earth. Slika 7.4 prikazuje primjer disperzije u gradskom području i utjecaj brda.

**Slika 7.4.** Z-plume model izvoz u KML podatke i vizualizacije preko Google Earth

7.5. SWOT analiza

Tabela 6.4. SWOT analiza sistema



U slučaju predloženog sistema implementacijom moraju biti zadovoljeni slijedeći zahtjevi:

- Predloženo rješenje je ekonomski prihvatljivo;
- Predloženo rješenje je sigurno i jednostavno za upotrebu;
- Predloženo rješenje nije štetno po okolinu.

SWOT analiza je analiza snaga i slabosti predloženog rješenja, te prilika i prijetnji iz okruženja, a njen naziv, je skraćenica od engleskih riječi Strength - snaga rješenja, Weaknesses – slabost rješenja, Opportunities – prilike iz okruženja, Threats - prijetnje iz okruženja. Za realizovani sistem SWOT analiza dana je u tabeli 6.4.

7.6. Analiza upotrebljivosti

Jedan od formalnih iskaza, koji se temelji na pristupu mjerenjem, opisuje upotrebljivost sistema kao atribut kvalitete kojim se procjenjuje koliko dobro i lako korisnici mogu upotrijebiti funkcionalnost sistema, odnosno korisničke aplikacije.

Upotrebljivost u skladu sa ISO 9126 modelom kvaliteta softvera, koji je prikazan na slici 4.18, temelji se na četiri atributa, koji pobliže opisuju upotrebljivost kao komponentu modela kvalitete softvera:

- razumljivost,
- mogućnost učenja - mogućnost pamćenja,
- operativnost,
- atraktivnost.



Slika 7.7. ISO IEC 9126 model kvaliteta softvera

Pod razumljivosti se podrazumijeva dizajn aplikacije koja je lagana za učenje i korištenje, a to znači da korisnik može brzo započeti raditi i efikasno rješavati zadatke, čak i u slučaju pristupa potpuno novom dizajnu. Aplikacija koja se razvija treba da bude veoma jednostavna za razumijevanje, što se postiže izborom dizajna, i grupisanjem funkcionalnosti na razumljiv način.

Mogućnost učenja – pamćenja se odnosi na povremene korisnike koji bi, nakon izvjesnog razdoblja nekorištenja sistema, trebali biti u mogućnosti vrlo brzo, na temelju vlastitog iskustva, uspostaviti do tada stečenu razinu vještina korištenja. Svi podaci koji se unose trebaju biti jasno i logično označeni labelama tako da je korisniku odmah jasno šta se traži od njega (ne mora da uči napamet način korištenja aplikacije). Također, upotreba logičnih grafičkih elemenata ubrzava i olakšava sam proces učenja.

Operativnost podrazumijeva dizajn aplikacije koja ima efikasne mehanizme za oporavljanje od grešaka. Poruke trebaju da su jasne i za sve operacije je potreban manji broj koraka.

Subjektivno zadovoljstvo korisnika aplikacije koristi se kao ocjena atraktivnosti aplikacije. Svi elementi korišteni pri dizajnu aplikacije treba da odgovaraju namjeni, da budu jasni i korišteni na odgovarajući način kako bi se poboljšala atraktivnost aplikacije.

Zaključak i budući rad

Sistemi za modeliranje disperzije gasnih zagađivača igraju značajnu ulogu u regulatornim agencijama za kontrolu kvaliteta vazduha kao i službama za vanredne situacije. Oni, na osnovu meteoroloških podataka, vrste izvora, jačine izvora, geometrije terena, hemijskih karakteristika zagađivača kao i nekih drugih faktora, nastoje da procijene koncentraciju gasova u određenoj oblasti. Ovi sistemi se najčešće koriste kako bi se odredilo da li postojeća ili predložena nova idustrijska postrojenja zadovoljavaju propise o kvalitetu vazduha. Takođe, oni nastoje da pomognu u kreiranju efikasne kontrolne strategije za smanjenje emisije štetnih zagađivača u vazduhu. Također, ove sisteme koriste službe za reagovanje u kriznim situacijama, jer nekontrolisana emisija štetnih gasova može biti rezultat prirodom ili čovjekom izazvanih incidentnih situacija ili u gorem slučaju katastrofa. Obično su sistemi za modelovanje i simulaciju dosta složeni i skupi, tako da ih ne mogu posjedovati službe zemalja u razvoju, a da ne pričamo o regionalnim ili opštinskim jedinicama civilne zaštite.

Međutim, razvoj informatičkih tehnologija, a posebno onih tipa „open source“ daje mogućnost projektovanja dosta pouzdanog i po cijeni veoma jeftinog sistema za modeliranje i simulaciju disperzije vazdušnih polutanata izazvanih nekontrolisanom emisijom, Takav sistem je bio i predmet ovog rada.

U tom cilju su predložena dva rješenja koja se odnose na prosti, „ravni“ i kompleksni teren, nazvana „XY plume“ i „XYZ plume“.

Predloženo rješenje, nazvano „XY plume“, se sastoji u korišćenju besplatnih i pouzdanih ALOHA i SCREEN softvera za modeliranje i simulaciju kao i Google Eartha, Google Maps i OpenStreet Maps Web baziranih GIS browsera za vizuelizaciju. Prilikom proračuna zona opasnosti u obzir se uzimaju različiti tipovi izvora emitovanja (tačkasti, površinski, zapreminski i cjevovodi), meteorološki uslovi na mjestu incidenta (brzina vjeta, smjer vjeta i temperatura) kao i različite vrste terena (urbani i ruralni). Proračunate zone opasnosti se prikazuju na Web GIS browseru odakle se vrši procjena opasnosti i preduzimaju akcije djelovanja. Kao mehanizam za povezivanje disperzionih modela i Web GIS browsera koristi se KML („Keyhole Markup Language“) protokol kojem se može pristupiti preko bilo kojeg internet browser-a (IE, Opera, Google Chrome, Mozilla Firefox), kao i koristeći mnoštvo uređaja kao što su pametan telefon, tablet, desktop i laptop računarkoji posjeduju internet konekciju. „XY plume“ je razvijen u Visual Studiu sa svim „user friendly“ karakteristikama. Kao takvo, veoma je pogodno za jedinice različitog novoa, od državnog do nivoa opština, pa čak i individualnih kompanija.

Softversko rješenje „XY plume“ se nadograđuje na kompleksan (urbani) teren pomoću rješenja „XYZ plume“, gdje se daje veoma praktičan i u nekim elementima orginalan pristup simulacije i vizualizacije, baziran na ekstenziji SCREEN3 modela na elevacioni teren koji uključuje i urbane komponente (zgrade i gradsku infrastrukturu). Ovaj model je implentiran u MATLABu. Jedinstvena mapa terena + urbane arhitekture se pravi na osnovu raspoloživih

mapa i urbanističkih podataka i na taj način dobijena elevaciona matrica ugrađuje u sistem SCREEN baziranog modeliranja.

Rezultati testiranja predloženih softverskih sistema uzimaju u obzir odgovarajuće realne scenarije akcidenata u vidu nekontrolisane emisije iz industrijskih postrojenja, dimnjaka, transportnih sredstava (cistijerni), uređaja za skladištenje (tankova) na pozicijama poznatog terena. Podudaranje sa skupljim rješenjima su očigledna.

Pored gore navedenih rezultata u vidu praktičnih rješenja u radu se daje pregled potencijalnih hazarda sa kojima se srećemo u svakodnevnom životu. Također se opisuje problem disperzije vazdušnih polutanata iz različitih izvora u realnim vremenskim i terenskim uslovima kao i matematički modeli disperzije koji se najčešće koriste. Elaboriraju se ALOHA i SCREEN softveri za modeliranje kao i formati geo-prostornih podataka koji se koriste i GIS brovseri za njihovu vizuelizaciju.

Pošto se radi o veoma kompleksnoj i brzo razvijajućoj naučno-tehnološkoj oblasti sasvim je logično da se predložena rješenja moraju usavršavati. Pretpostavljamo da će se to desiti u sljedećim pravcima:

- povećanje preciznosti simulacije,
- povećanje broja ulaznih paarmetara (različiti izvori emisije i različiti uslovi atmosfere),
- uvođenje 3D interaktivne vizuelizacije,
- nadovezivanje sistema odluka „decision making“ baziranog na postojećim planovima i procedurama reagovanja.
- mogućnost on-line unošenja ulaznih parametara,
- dodavanje parametara o zdravstvenom stanju povrijeđenih i ugroženih,
- povećana brzina odziva sistema i smanjeni memorijski resursi,
- itd.

Literatura

- [1] Definicija hazardnih gasova, *Gas Detection Systems*, web:<https://gasdetectionsystems.wordpress.com/2012/05/17/hazardous-gas-definition/>
- [2] Akcidentni slučaj emisije hazardnih gasova, *Asian News*, web:<http://www.asianews.it/news-en/Poisonous-gas-in-Guangxi:-18-dead,-10-thousand-evacuated,-toxic-rivers-13065.html>
- [3] Pontiggia M, Derudi M, Alba M, Scaioni M, Rota R, „*Hazardous gas releases in urban areas: Assessment of consequences through CFD modeling*“, *Journal of Hazardous Materials*, Volume 176(1–3), 589–596, 2010.
- [4] Holmes N.S, Morawska L, „*A Review of Dispersion Modelling and its application to the dispersion of particles: An overview of different dispersion models available*“, International Laboratory for Air Quality and Health, Queensland University of Technology, Australia, 2006.
- [5] Baumann-Stanzer K, Stenzel S, „*Uncertainties in modeling hazardous gas releases for emergency response*“, *Meteorologische Zeitschrift*. Volume 20(1), 19–27., 2011.
- [6] De Amicis R, Stojanovic R, Conti G, „*GeoSpatial Visual Analytics: Geographical Information Processing and Visual Analytics for Environmental Security*“, Springer.
- [7] NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, 2009.
- [8] Stojanović R, Škraba A, De Amicis A, Conti G, Elhanani D, Berkowitz S, Knežević J, Nikolić J, Vujačić I, Djurašković P, „*Development of Real-Time Response System for Air Pollution Dispersion Accidents in Urban Areas*“, 16th International Symposium on Environmental Pollution and its Impact on Life in the Mediterranean Region, Ioannina , Greece, September 24 to 27, 2011
- [9] Chitumalla K.P, Harris D, Thuraisingham B, Khan L, „*Emergency response applications dynamic plume modeling and real-time routing*“ *IEEE Internet Computing*. Volume 12 (1). 38–44, 2008.
- [10] Zimmer C, "Earth's Oxygen: A Mystery Easy to Take for Granted". New York Times. Retrieved 3 October 2013.
- [11] Wallace J. M, Hobbs P.H, *Atmospheric Science; An Introductory Survey*.Elsevier. Second Edition, 2006. ISBN 978-0-12-732951-2. Chapter 1
- [12] EPA, USA, *Acute Exposure Guideline Levels for Airborne Chemicals*, web: <http://www.epa.gov/aegl>
- [13] AIHAGuidelineFoundation, EmergencyResponsePlanningGuidelines, web: <https://www.aiha.org/get-involved/AIHAGuidelineFoundation/EmergencyResponsePlanningGuidelines/Pages/default.aspx>
- [14] Reynolds M.R. (1992). *ALOHA Theoretical Description*, NOAA Technical Memorandum NOS ORCA-65 (DRAFT). National Oceanic and Atmospheric Administration, Seattle, Washington 98115. Snow, E. (2011).

- [15] Reynolds M.R. (1992). *ALOHA Theoretical Description*, NOAA Technical Memorandum NOS ORCA-65 (DRAFT). National Oceanic and Atmospheric Administration, Seattle, Washington 98115. Snow, E. (2011).
- [16] Turner, D.B. (1970). Workbook of atmospheric dispersion estimates. Environmental Protection Agency, Environmental Health Series, Air Pollution, North Carolina USA
- [17] Kartografija, FER, web:
https://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/Kartografija_13_14_15.pdf
- [18] J. Baumann. "Future of Web GIS: An Interview with Pind Fu". GeoConnection International Magazine, April 2011.
- [19] ShunfuH. "Web-Based Multimedia GIS for the analysis and visualization of spatial environmental database". Proc. Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, 2002.
- [20] Frehner M., Brandli M. "Virtual database: Spatial analysis in a Web-based data management system for distributed ecological data". Environmental Modelling & Software, vol. 21, 2006, pp. 1544-1554, doi:10.1016/j.envsoft.2006.05.012.
- [21] Zongyao S, Yichun X. "Design of Service-Oriented Architecture for Spatial Data Integration and Its Application in Building Webbased GIS Systems". Geo-spatial Information Science. vol. 3, n. 1, 2010, pp. 8-15,
- [22] Luqun L., Jian L., Yu T, „The study on Web GIS Architecture based on JNLP“, Computer Center of Shandong University of Science and Technology, Ta'an, China 271019
- [23] Slika – web: <http://wiki.openstreetmap.org/w/images/a/ab/Londonposter1.jpg>,
- [24] Prikaz trenda rasta broja registriranih OpenStreetMap korisnika, <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Stats>
- [25] Kovačević J, Stojanović R, Karadaglić D, Asanin B, Kovačević Ž, Bundalo Z. Softic, Ferid, FPGA low-power implementation of QRS detectors, 2014 3rd Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), pp: 98- 101
- [26] Stojanović R, Čaplánová A, Kovačević Ž, Filipović N, Bundalo Z. Alternative approach to addressing infrastructure needs in biomedical engineering programs (Case of emerging economies), Folia Medica 50(1):29-33, 2015
- [27] Stojanovic R, Nikolić N, Ašanin B, Lutovac B, Kovačević Ž, Popović P. Primjer korišćenja mikrokontrolera opšte namjene u mjerenjima osnovnih fizioloških parametara na bazi frekventnog spektra. Infoteh-jahorina, Volume: Vol. 8, Ref. E-IV-11, p. 685-689, 2009.
- [28] Kovačević Ž, Stojanović R, Nikolić G. Modelling and Simulation of Accidental Air Pollutant Dispersion in Urban Areas – an Approach Suitable for Developing Countries, Works in Progress in Embedded Computing, Vol2, No1, June 2016, ISSN 2337-0343