

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
ĢEOGRĀFIJAS UN ZĒMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE
VIDES ZINĀTNES NODAĻA

PIEZEMES OZONA PIESĀRŅOJUMA KRITISKO LĪMEŅU
MODELĒŠANA LATVIJĀ
MAGISTRA DARBS

Autore: Vika Zaharova
Stud.apl. nr.: 04046
Darba vadītāja: Iveta Šteinberga
Dr. Ģeogr.

RĪGA 2012

Anotācija

Maģistra darbā „Piezemes ozona piesārņojuma kritisko līmeņu modelēšana Latvijā” par galveno mērķi ir izvirzīta piezemes ozona kritisko slodžu aprēķināšana un kartēšana uz mežu apgabaliem Latvijā, kā arī iegūto rezultātu analīze.

Līdz ar to, ka Latvija ir pievienojusies Ženēvas konvencijai ("Par paskābināšanas, eitrofikācijas un piezemes ozona līmeņa samazināšanu") arvien vairāk tiek diskutēts par kritisko slodžu aprēķiniem uz dažādām ekosistēmām, lai novērtētu vai vismaz mazinātu antropogēnās darbības rezultātā radušos piesārņojumu.

Aprēķinot piezemes ozona kritiskās slodzes, konstatēts, ka nav iespējams viennozīmīgi secināt kritisko slodžu pārsniegšanas faktu, - bioloģiski pamatotas ozona fluktuāciju metodes rezultāti viennozīmīgi traktējami kā kritiskās slodzes pārsniegums, savukārt uz koncentrāciju aprēķiniem balstītās metodes rezultāti un iegūtais AOT40 rādītājs interpretējams kā kritiskās slodzes nepārsniegšanas gadījums.

Atslēgas vārdi: AOT40, kritiskās slodzes, mežu apgabali, piezemes ozons.

Annotation

At masters paper "Critical level modeling of ground – level ozone pollution in Latvia" the main objective is to critical loads (ground-level ozone (O₃)) calculation and mapping of forest areas in Latvian, as well as the results of the analysis.

Thus, the fact that Latvia has joined the Geneva Convention ("The effects of acidification, eutrophication and ground-level ozone") is increasingly being discussed in the calculation of critical loads for various ecosystems, to assess or at least mitigate the anthropogenic activities resulting from pollution.

In calculating the ground-level ozone critical load, found that it is impossible to conclude unequivocally critical loads being exceeded fact - based on biological methods of ozone fluctuations results clearly be treated as a critical load exceedance, while the concentration calculations based methods and results obtained AOT40 index could be interpreted as a case that don't reach critical load.

Keywords: AOT40, critical level, forest areas, ground-level ozone.

SATURS

Anotācija.....	2
Annotation	3
Ievads.....	5
1. LITERATŪRAS APSKATS	7
1.1. Kritisko slodžu raksturojums	7
1.2. Piezemes ozons un tā raksturojums	8
1.3. Piezemes ozona prekursori	9
1.3.1. Slāpekļa oksīda savienojumi	10
1.3.2. Gaistošie organiskie savienojumi	12
1.3.3. Saules intensitāte	13
1.4. Kritisko slodžu modelēšanas matemātiskais pielietojums.....	13
1.4.1. Fluktuācijas modeļa raksturojums	13
1.4.2. AOT40 metodes raksturojums.....	17
1.5. Likumdošana un normatīvi	18
1.6. Mežu raksturojums un to nozīme	20
1.6.1. Meži Latvijā.....	22
1.6.2. Piezemes ozona ietekme uz veģetāciju un mežu apgabaliem.....	27
2. MATERIĀLI UN METODEDES.....	31
2.1. Piezemes ozona monitoringa staciju raksturojums.....	33
2.2. Izstrādātā matemātiskā fluktuācijas modeļa raksturojums	37
2.3. AOT40 metodes aprēķins	46
2.4. Ģeomātikas metodes (GIS).....	46
3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA	47
3.1. Rezultātu ticamības novērtējums un nenoteiktības avoti.....	47
3.2. Piezemes ozona modelēšanas rezultāti	48
SECINĀJUMI	55
Izmantotā literatūra.....	57

Ievads

Lai nodrošinātu labu vides kvalitāti par robežšķērsojošo gaisa piesārņošanu lielos attālumos Latvija 2004. gada 3. martā pievienojās Ženēvas konvencijai, protokolam "Par paskābināšanas, eitrofikācijas un piezemes ozona līmeņa samazināšanu" (Ministru kabineta 20.04.2004. noteikumi Nr.324). 2005. gadā tika veikti kritisko slodžu aprēķini un kartēšana mežu apgabaliem, novērtējot paskābināšanas un eitrofikācijas risku. Aprēķinu rezultātā tika secināts, ka 95 % no mežu apgabaliem ir pakļauti eitrofikācijas riskam, savukārt paskābināšanās risks ir 5 % robežās. Taču „kritiskās slodzes” koncepts skar būtiski plašāku novērtējuma spektru – ozona, smago metālu un citu vielu ietekmes novērtēšana. Katras valsts kompetence un pienākums ir veikt kritisko slodžu novērtēšanu, lai pēc iespējas mazinātu antropogēnās izcelsmes piesārņojuma ietekmi uz dažāda veida ekosistēmām.

Katrai ekosistēmai ir noteikts unikāls kritiskās slodzes līmenis, - piesārņojuma daudzums, ko noteikta tipa ekosistēma spēj uzņemt bez nākotnes degradācijas riska. Pārsniedzot iepriekš minēto kritisko slodzi, sākotnēji sagaidāmas izmaiņas sistēmas ķīmiskā līmenī savukārt pēc noteikta laika perioda iespējama degradācija bioloģiskā līmenī.

Lai noteiktu piezemes ozona koncentrāciju ir iespējams izmantot dažādus modeļus to aprēķināšanai. Viens no šiem modeļiem ir DO₃SE modelis. Tas ir emisiju nogulsnesāšanas modelis, kas izstrādāts, lai novērtētu O₃ kopējo uzkrāšanos. Ar modeļa palīdzību ir iespējams novērtēt O₃ kaitējumu veģetācijai, kā arī, robežlielumu pārsniegšanas gadījumā novērtēt potenciālo prekursoru emisiju samazināšanas mehānismu efektivitāti (Emberson et al., 2000).

Viens no populārākiem un vienkāršākiem modeļiem ir AOT40 modelis, kuru izmanto arī Latvijas likumdošanā. AOT40 ir starpību summa starp vienas stundas koncentrāciju vērtību, kas ir lielāka par 80 µg/m³ (40 ppb) diennakts gaišo stundu noteiktā laikā no maija līdz jūlijam.

Pirms maģistra darba izstrādes tika izvirzīta **hipotēze** – pārrobežu atmosfēras piesārņojuma un specifisku lokālu apstākļu ietekmes rezultātā meža veģetācija Latvijā ir pakļauta paaugstinātiem ozona piesārņojuma līmeņiem un degradācijas riskam.

Darba mērķis – ozona kritisko slodžu aprēķināšana un kartēšana uz meža apgabaliem Latvijā, iegūto rezultātu analīze un novērtējums.

Darba mērķa sasniegšanai izvirzīti šādi **uzdevumi**:

1. Zinātniskās literatūras analīze.
2. Ozona kritisko slodžu noteikšanas metožu apguve.
3. Ozona kritisko slodžu modeļa izveide un modelēšana.
4. Modelēšanas rezultātu apstrāde, analīze, un interpretācija.

5. Modelēšanas rezultātu salīdzināšana EMEP novērtēšanas programmas ietvaros un kartēšana izmantojot ArcGIS.

Darba **novitāte** – ozona kritisko slodžu novērtēšana Latvijā līdz šim nav veikta. Iegūtie rezultāti ļauj kvantitatīvi novērtēt ozona potenciālo radīto kaitējumu, identificējot jutīgās teritorijas un līdz ar to nacionālā līmenī pārvaldīt antropogēno ietekmi. Bez tam, darbā izvirzītās hipotēzes noraidīšanas gadījumā, Latvija var pretendēt uz lielākām gaistošo organisko savienojumu emisiju kvotām.

Darbs satur 62 lappuses, 7 tabulas, 18 attēlus, 1. pielikumu, 33 bibliogrāfiskos nosaukumus, 11 interneta resursus, 4 normatīvos aktus.

1. LITERATŪRAS APSKATS

1.1. Kritisko slodžu raksturojums

Jēdziens *kritiskā slodze* tika definēta 1988. gada Skoklosteras (Skokloster) Kritisko slodžu sanāksmē, ko nedefinēja Jans Nilssons (Jan Nilsson) un Perings Grennfelts (Peringe Grennfelt). Viņi noraksturoja to kā ekosistēmas noturību pret atmosfēras piesārņojumu, jo būtiski ir zināt ekosistēmas noturīgumu un piesārņojošo vielu nosēdumu daudzumu, kas apdraud ekosistēmu konkrētā vietā. Tāpēc, kā pirmā definīcija tika pieņemta, ka kritiskā slodze ir maksimālais skābo nosēdumu daudzums, kādu konkrētā ekosistēma var uzņemt ilgā laikā posmā bez liela kaitējuma (UBA, 1996).

Tā kā kaitīgā viela var ilgstoši iedarboties uz ekosistēmu un to iedarbības spektrs var palielināties, katrai ekosistēmai ir savas kritiskās slodzes līmenis. Šis slodzes līmenis nozīmē to, ka palielinoties piesārņojošai vielas koncentrācijai atmosfērā, tas var būt kaitīgs uz dažādiem receptoriem, piemēram, konkrētiem objektiem, augiem, kokiem, plašākām ekosistēmām un, protams, arī cilvēkiem. Kritiskā slodze galvenokārt parāda piesārņojošo vielu izkrišanu, bet kritiskās slodzes līmenis parāda piesārņojošo vielu koncentrāciju atmosfērā (Department for Environment..., 2010).

Lai labāk raksturotu kritiskās slodzes metodoloģisko koncepciju, tad to iedala četros kritisko slodžu pamatelementos :

1. piesārņojošo vielu saņēmēji jeb receptori. Tie var būt gruntsūdeņi, meža augsnes, virszemes ūdeņi, piemēram, ezers, kā arī kultūrvēsturiskie pieminekļi u.c.;
2. bioloģiskie indikatori. Tie ir objekti vai organismi, uz kuriem bieži vien tiek novēroti un konstatēti bojājumi. Pie tiem var pieskaitīt ūdenī dzīvojošos organismus, mežus, atsevišķus kokus, kā arī cilvēku veselību;
3. ķīmiskie rādītāji. Tie ir parametri, kas izraisa negatīvu ietekmi uz konkrēto bioloģisko indikatoru, skābo nosēdumu rezultātā;
4. kritiskais līmenis. Tas ir līmenis jeb visaugstākā negatīvā ietekme, ko ķīmiskais kritērijs var sasniegt bez ilgtermiņa kaitīgās ietekmes uz ekosistēmu (Barkaman, 1998).

Gadījumos, kad kritiskā slodzes līmenis tiek pārsniegts, konkrētā ekosistēma ir apdraudēta un tajā sākas vides degradācija. Diemžēl arvien vairāk teritoriju tiek pakļautas šai degradācijai.

1.2. Piezemes ozons un tā raksturojums

Ozons ir viegli zilgana gāze, kuras kušanas temperatūra ir $-195,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, tā viršanas temperatūra ir $-111,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, relatīvais blīvums attiecībā pret gaisu 1,6. Ozons tika atklāts 1840. gadā, kad šveiciešu ķīmiķis K. Šēnbeins pētīja ūdens elektrolīzes procesu. Tas ir viens no skābekļa alotropiskajām formām. To veido trīs saistīti skābekļa atomi, kas savā starpā ir vienlīdzīgi. Tas ir spēcīgs oksidētājs (Kļaviņš un Roska, 1998).



Stratosfēras ozons atrodas 30 km līdz 50 km augstumā (stratosfērā). Ozona galvenā funkcija ir absorbēt Saules ultravioleto (UV) starojumu, jo tā tiek pasargāti visi organismi – cilvēki, dzīvnieki un augi no tās kaitīgās ietekmes.

Ozons ir sastopams divos atmosfēras slāņos:

troposfērā – t.s. piezemes ozons, 0 – 10 km;

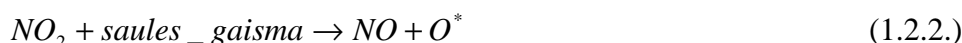
stratosfērā – t.s. ozona slānis, 10 – 50 km.

Troposfērā esošajam ozonam ir pavisam cita nozīme, jo tas jau zemā koncentrācijā ir toksisks un kairinošs, tāpēc nelabvēlīgi ietekmē cilvēkus, dzīvniekus, augus un pat materiālus. Tas ir toksisks un veicina globālo sasilšanu, samazina graudaugu un dārzeņu (t.sk., kartupeļu un tomātu) ražas un mežu augšanas tempus (Latvijas vides, ģeoloģijas..., 2011).

Zemes tuvumā tas rodas dzīvojamās telpās ultravioletā starojuma avota rezultātā, kas var būt rentgenlampas, UV lampas. Rodas arī dažādās elektriskās izlādes laikā, piemēram, akumulatoru uzlādēšanas laikā. Vislielākā nozīme ir Saules starojuma ietekme slāpekļa oksīdu klātbūtnē, kas veido fotoķīmisko smogu. Tas ir process, kas rada visievērojamāko ozona daudzumu veidošanos tieši pilsētu gaisā (Latvijas vides, ģeoloģijas..., 2011).

Troposfēra ozons veidojas dažādu ķīmisku procesu rezultātā:

1. saules gaismas reakcijā ar slāpekļa dioksīdu. Tā rezultātā veidojas slāpekļa oksīds un ļoti reaktīvās skābekļa atoms (Elvingson & Āgren, 2004):



2. brīvā skābekļa atoms reaģē ar skābekli, kā rezultātā rodas ozons (Elvingson & Āgren, 2004):



3. ja nav gaistošie organiskie savienojumi gaisā, ozons reaģē atkal ar slāpekļa oksīdu (Elvingson & Āgren, 2004):



Troposfērā esošais ozons ir vidi piesārņojoša viela, kas ir uzskatāma par bīstamu. Tā būtiski ietekmē cilvēka veselību, kairinot acis, izraisot hroniskas izmaiņas plaušās, kā arī veicina saslimšanu ar astmu un bronhītu. Īpaši tas ietekmē bērnus.

Ozonam ir asa, kodīga smaka, kas jūtama jau koncentrācijā 0,02 mg/m³, tāpēc jau tā toksiski iedarbojas uz cilvēku. Ja gaisā to koncentrācija ir no 1 – 2 mg/m³, tā kairinoši iedarbojas uz gļotādu un pie šādas koncentrācijas ilgstošas iedarbības dēļ var rasties nervu darbības traucējumi, arī bronhīts, visbiežāk galvassāpes (Kļaviņš un Roska, 1998).

Piezemes ozons var kaitēt visu veidu veģetācijai, tostarp arī mežiem. Augi absorbē ozonu un tāpēc tiek kavēta augu augšana. Ozons ir atzīts par visnopietnāko reģionālo gaisa piesārņojuma problēmu lauksaimniecības nozarē Eiropā. Tas samazina graudaugu ražu, tiek kavēta to augšana. 2000. gadā tika lēsts, ka kopējais ozona kaitējums kultūraugiem visā Eiropas Savienības lauksaimniecībai izraisīs ekonomiskos zaudējumus apmēram 2,8 miljardi eiro apmērā (European Environment Agency, 2008).

Ozons negatīvi ietekmē arī augus, ir konstatēts, ka pat nedaudz lielākā koncentrācijā nekā pašreizējā fona līmenī, augiem rodas būtiski bojājumi. Līdz ar to, tas būtiski ietekmē lauksaimniecības ražu, ietekmē mežsaimniecību un arī dabīgās ekosistēmas (Elvingson & Āgren, 2004).

1.3. Piezemes ozona prekursori

Ozons ir dabiska sastāvdaļa atmosfērā, taču bieži vien ar dažādiem ķīmiskiem procesiem, kurus visbiežāk izraisa antropogēnā darbība, ozons arvien vairāk rodas troposfērā, kā rezultātā nelabvēlīgi iedarbojas uz ekosistēmām un arī cilvēkiem. Vielas, kuras veicina piezemes ozona veidošanos, sauc par prekursoriem. Visbiežāk tie ir - NO_x, CO, CH₄, VOC, kā arī meteoroloģiskie apstākļi (saules intensitāte, temperatūra un spiediens) (Atkinson, 2000).

Piezemes ozonam prekursorus var iedalīt divās klasēs:

- tie, kas rodas antropogēnas darbības rezultātā - no transporta, fosilā kurināmā sadedzināšanas, šķīdinātājiem u.c.;
- tie, kas rodas biotisko darbību rezultātā - no meža ugunsgrēkiem, pārmitrām augsnēm, zibens u.c.

2000. gadā autotransports veidoja 33% no antropogēnas darbības dēļ radušās NO_x emisijas, starptautiskā jūras kuģniecība - 19%, bet enerģijas sadedzināšanas spēkstacijas 17% (Cofala et al., 2007). Atmežošana un savannu dedzināšana veido pusi no pasaules antropogēnajām CO emisijām. CH₄ emisijas galvenokārt rodas akmeņogļu ieguves rezultātā, akmeņogļu un gāzes industrijā, no izgāztuvēm, atgremotājdzīvniekiem (pārsvarā govis), no rīsu lauksaimniecības un biomasas dedzināšanas (Olivier et al., 2005).

1.3.1. Slāpekļa oksīda savienojumi

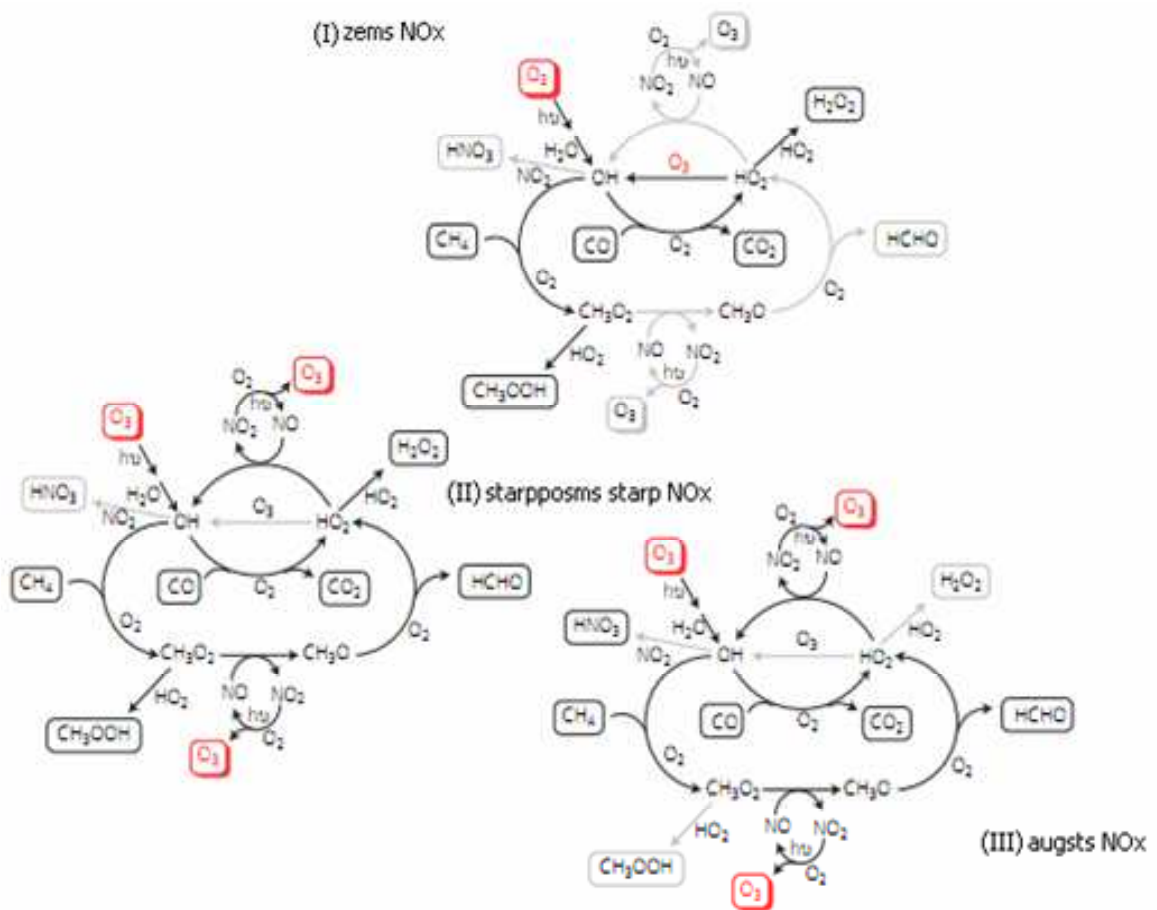
Slāpekļis atmosfērā sastāda 76% no kopējās masas, kā arī tas tajā atrodas daudzu savienojumu veidā, piemēram, N₂O, NO, N₂O₃, NH₃, N₂O₅, amonija sāļi, taču pārējie slāpekļa oksīdi veidojas kā starpprodukti dažādās reakcijās vai arī tie ātri sadalās.

Īpaša uzmanība jāpievērš slāpekļa (II) oksīdam NO un slāpekļa (IV) oksīdam NO₂. NO viegli oksidējas gaisā par slāpekļa (IV) oksīdu NO₂. Tāpēc bieži vien tiek apskatīta abu šo oksīdu summa NO_x. Šie abi oksīdi ir stipri toksiski. NO oksīds pārsvarā veidojas dažādu augsttemperatūras reakciju rezultātā, skābeklim reaģējot ar slāpekli (Elvingson & Ågren, 2004).



Attēlotās reakcijas ātrums ir atkarīgs no temperatūras. NO gaisā nokļūst no izplūdes gāzēm, kas rodas no automašīnām, rūpniecības un lieliem meža ugunsgrēkiem. Nonākot šīm gāzēm atmosfērā, šie oksīdi iesaistās dažādās ķīmiskās reakcijās. Stratosfērā tie palielina ozona sabrukšanas ciklu.

Piezemes ozona veidošanās galvenokārt saistīta ar NO_x daudzumu troposfērā, līdz ar to var novērot ozona veidošanās daudzumu atkarībā no to koncentrācijas (1.3.1.1. attēls).



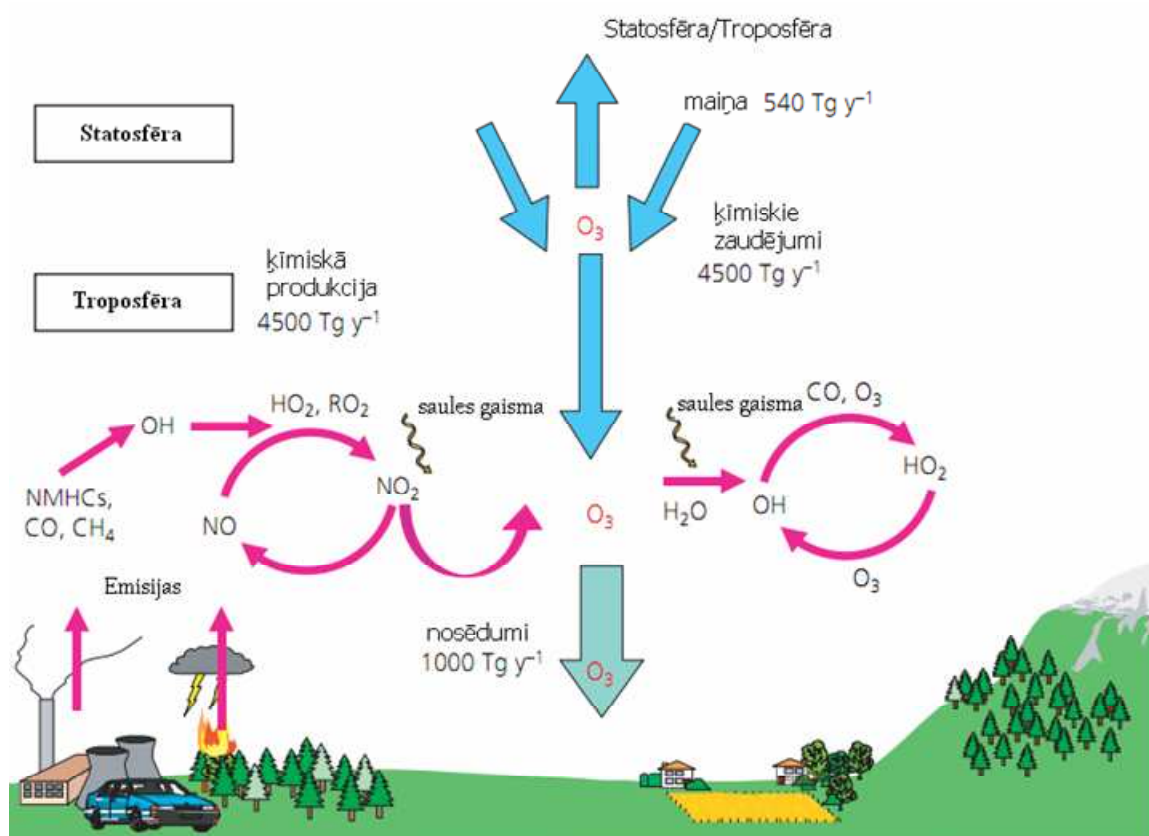
1.3.1.1. attēls. Shematiskais attēls, kas parāda O₃ veidošanā un sabrukšanas procesu atkarībā no NO_x koncentrācijas (izstrādājusi V.Zaharova, izmantojot Fowler, 2008).

Kopumā ņemot slāpekļa oksīdu emisija ir kļuvusi par vienu no bīstamākajiem vides faktoriem Eiropā. Baltijas jūras baseina valstīs slāpekļa savienojumu slodze izraisa daudzus negatīvus procesus.

Kā jau minēju autotransports ir viens no galvenajiem iemesliem, kas izraisa slāpekļa oksīdu veidošanos. Īpaši tas ietekmē gaisu pilsētās. Un pieaugot automašīnu skaitam, pieaug arī slāpekļa oksīdu koncentrācija.

Otra būtiskākā ietekme, kas izraisa piezemes ozona veidošanos ir rūpniecība (1.3.1.2. attēls). Tīram gaisam ir noteikts etalons 78,09 % slāpekļa, 20,95 % skābekļa, 0,93 % argona, 0,03 % ogļskābās gāzes, kā arī mazās devās citas vielas, tostarp arī ozons, taču diemžēl rūpniecības attīstības dēļ arvien vairāk gaisa sastāvs mainās un kļūst piesārņotāks. Pieaugot rūpniecībai arvien straujāk pieaug arī piesārņojuma līmenis pasaulē.

Arī aviācijas attīstība, nepareiza augsnes apstrāde īpaši ietekmē gaisa piesārņošanu (Denman, et al., 2007).



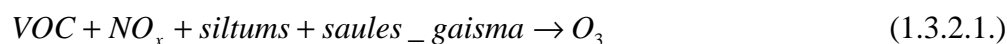
1.3.1.2. attēls. **Ozona veidošanās troposfērā** (izstrādājusi V.Zaharova, izmantojot Denman, et al., 2007).

Arī mežu ugunsgrēkiem ir ļoti liela ietekme uz Zemes klimatu un kā liecina jaunākie pētījumi, CO₂ emisija mežu ugunsgrēkos nodrošina gandrīz piekto daļu no globālās sasilšanas efekta, un šis skaitlis var palielināties. Lai gan pārsvarā lieli meža ugunsgrēki rodas karstā klimata dēļ, arvien vairāk tos izraisa arī antropogēnā darbība, jo tiek veikta atmežošana, lai varētu veikt zemes apstādīšanu (Denman, et al., 2007).

1.3.2. Gaistošie organiskie savienojumi

Gaistošie organiskie savienojumi (VOC) pārstāv homogēnu vielu kategoriju. Vielas, kas pieder pie šīs grupas izraisa nopietnas sekas gan cilvēka veselībai, gan arī apkārtējai videi. VOC galvenokārt izraisa piezemes ozona veidošanos saulainās vasaras dienās, kā arī izraisa sekundāro organisko aerosolu veidošanos (Finlayson-Pitts & Pitts, 1999). Lai gan VOC troposfērā veicina ozona veidošanos, stratosfērā tas gluži otrādi izraisa ozona samazināšanos un veicina globālo sasilšanu. Lielākā daļa no VOC ķīmiskām vielām ir kancerogēnas, teratogēnas un pat mutagēnas (Wickert et al., 2000).

Ozona veidošanās troposfērā (Wickert et al., 2000):



1.3.3. Saules intensitāte

Ozons veidojas galvenokārt sarežģītu fotoķīmisku NO_x un VOC ķīmisko reakciju rezultātā, ko pastiprina temperatūra un saules gaisma (Derwent et al, 2003). Piezemes ozona veidošanās ir atkarīga arī no saules starojuma intensitātes, absolūtās NO_x un VOC koncentrācijas un NO_x un VOC savstarpējās attiecības (Nevers, 2000).

Novērojumi liecina, ka ozona koncentrācija palielinās līdz ar radiācijas un temperatūras pieauguma intensitāti. Ozona koncentrācija ir augstāka skaidrās dienas nekā mākoņainās. Galvenokārt augsta ozona koncentrācija ir novērojama pavasara un vasaras mēnešos (Qin et al., 2004).

1.4. Kritisko slodžu modelēšanas matemātiskais pielietojums

Piezemes ozona kritisko slodžu modelēšanai iespējams izmantot dažādus modeļus, pēc kā noteikt piezemes ozona koncentrāciju, tādējādi pārsniegumu gadījumā nosakot kaitējumu gan apkārtējai videi, gan cilvēkiem.

Galvenokārt tiek izmantotas 2 metodes:

1. modeļi, kuros aprēķina t.s. ozona fototoksisko dozu – fluktuācijas modeļi;
2. koncentrāciju modeļi, kuros tiek aprēķinātas paaugstināta ozona piesārņojuma stundas jeb stundu skaits, kuram noteiktais mērķobjekts (šajā gadījumā meži) ir pakļauti paaugstinātai ozona koncentrācijai gada laikā..

1.4.1. Fluktuācijas modeļa raksturojums

Viens no populārākiem izmantojamiem modeļiem ir DO_3SE (Deposition of Ozone for Stomatal Exchange) modelis. Lai noteiktu kritisko slodžu lielumu, tiek izmantots algoritms, kam nepieciešami sekojoši parametri – apkārtējās vides spiedienu uz atvārsnītēm (f_{VPD}), gaismas pieejamību (fotosintēzes process) – (f_{light} un f_{phen}), temperatūras ietekmi uz augiem (f_{temp}), ūdens pieejamību augiem (f_{SWP}) un veģetācijas spēju pretoties nelabvēlīgos apstākļos, kas ir atkarīgs no auga lapas projektīvā seguma) (g_{max}).

DO₃SE ir emisiju nogulsnešanās modelis, kas izstrādāts, lai novērtētu O₃ kopējo uzkrāšanos. Modelis ļauj novērtēt O₃ kaitējumu veģetācijai, kā arī, robežlielumu pārsniegšanas gadījumā novērtēt potenciālo prekursoru emisiju samazināšanas mehānismu efektivitāti (Emberson et al., 2000).

Modeļa matemātiskais pamatojums:

$$f_{light} = 1 - EXP((-light_a) * PFD), \text{ kur} \quad (1.4.1.1.)$$

f_{light} - raksturo gaismas pieejamību (fotosintēzes process), $\mu\text{mol}/(\text{m}^2*\text{s})$;

$light_a$ – **konstants** skuju koku mežiem - 0,006;

lapu koku mežiem – 0,0042;

PFD – **konstants** 750 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2*\text{s})$ (Chen, 1993).

$$f_{temp} = \max \left\{ f_{min}, \left[\frac{(T - T_{min})}{(T_{max} - T)} \right] * \left[\frac{(T_{max} - T)}{(T_{max} - T_{opt})} \right]^{br} \right\} \text{ kur} \quad (1.4.1.2.)$$

f_{temp} - raksturo temperatūras ietekmi uz augiem, °C;

T – atmosfēras gaisa temperatūra, °C;

T_{min} – minimālā temperatūra, pie kuras iespējama augu augšana, skuju koku mežiem – 0 °C;

lapu koku mežiem – 5 °C;

T_{opt} – optimālā temperatūra, kas ir vislabvēlīgākā augšanas apstākļiem, skuju koku mežiem – 20 °C,

lapu koku mežiem – 20 °C;

T_{max} – maksimālā temperatūra, ko spēj izturēt augi augšanas apstākļiem, skuju koku mežiem – 200 °C,

lapu koku mežiem – 200 °C (Mills, 2011).

$$f_{VPD} = \min \left\{ 1, \max \left\{ f_{min}, \left((1 - f_{min}) * \frac{(VPD_{min} - VPD)}{(VPD_{min} - BPD_{max})} \right) + f_{min} \right\} \right\}, \text{ kur} \quad (1.4.1.3.)$$

f_{VPD} - raksturo apkārtējās vides spiedienu atvārsnītēs, kPa;

f_{min} – **konstants** 0,1

VPD_{min} – minimālais apkārtējās vides spiediens atvārsnītēs, kPa;

VPD – **konstants** 1 kPa;

VPD_{max} – maksimālais apkārtējās vides spiediens atvārsnītēs, kPa (Mills, 2011).

$$g_{sto} = g_{max} * [\min(f_{phen}, f_{O_3})] * f_{light} * \max\{f_{temp} * f_{VPD} * f_{SWP}\}, \text{ kur} \quad (1.4.1.4.)$$

g_{sto} – atvārsnīšu vadītspēja, $\text{mmol O}_3/(\text{m}^2 * \text{PLA} * \text{s})$;

g_{max} – **konstants**, skuju koku mežiem - $112 \text{ mmol O}_3/\text{m}^2$, lapu koku mežiem - $196 \text{ mmol O}_3/\text{m}^2$;

f_{phen} – raksturlielums, kas atkarīgs no veģetācijas perioda, diena;

f_{light} – gaismas pieejamība veģetācijai, $1/(\text{m} * \text{s})$

f_{temp} – temperatūras ietekme uz veģetāciju, 1°C ;

f_{VPD} – apkārtējās vides spiediens uz atvārsnītēm, kPa;

f_{SWP} – ūdens pieejamība augiem, % (Mills, 2011).

$$g_{ext} = \frac{1}{2500} \quad (1.4.1.5.)$$

$$r_c = \frac{1}{(g_{sto} + g_{ext})}, \text{ kur} \quad (1.4.1.6.)$$

r_c – projektīvā seguma pretestība, s/m;

g_{sto} – atvārsnīšu vadītspēja, m/s;

g_{ext} – veģetācijas spēja pretoties nelabvēlīgos apstākļos, m/s (Mills, 2011).

$$r_b = 1,3 * 150 * \sqrt{L} * \text{vēja ātrums}, \text{ kur} \quad (1.4.1.7.)$$

r_b – kvazilaminārā pretestība, s/m;

L – lapu projektīvais segums, cm (Mills, 2011).

$$F_{st} = c(z_1) * g_{sto} * \frac{1}{r_b + r_c}, \text{ kur} \quad (1.4.1.8.)$$

F_{st} – ozona uzņemšanas intensitāte, $\text{nmol O}_3/(\text{m} * \text{PLA} * \text{s})$ (Mills, 2011).

$C(z_1)$ – O_3 koncentrācija noteiktā augstumā;

g_{sto} – atvārsnīšu vadītspēja, m/s;

r_b – kvazilaminārā pretestība, s/m;

r_c – projektīvā seguma pretestība, s/m (Mills, 2011)

$$Y = \frac{F_{st}}{3600}, \text{ kur} \quad (1.4.1.9.)$$

Y – piezemes ozona koncentrācijas lielums, nmol O₃/(m²*PLA*h);

F_{st} – ozona uzņemšanas intensitāte, nmol O₃/(m*PLA*s) (Mills, 2011).

$$POD_y = AF_{st}Y = Y * 3600, \text{ kur} \quad (1.4.1.10.)$$

POD_y - fototoksiskā ozona doza, mmol/(m²*PLA);

Y – piezemes ozona koncentrācijas lielums, nmol O₃/(m²*PLA*h) (Mills, 2011)

Vairāki parametri, kuri modelī tiek izmantoti, ir citu pētījumu ietvaros aprēķināti vai tiek pieņemti modeļa parametrizācijas nolūkos. Iepriekš minētie parametri apkopoti 1.4.1.1. tabulā.

1.4.1.1. tabula

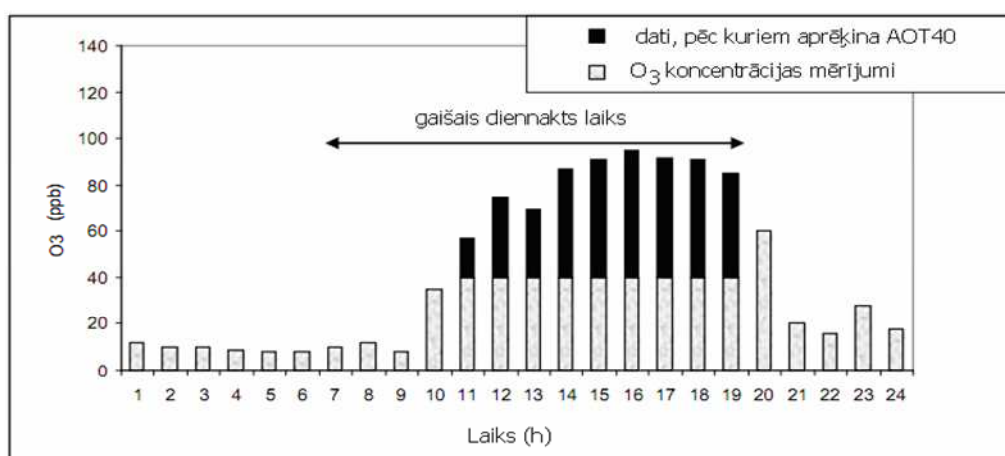
Nepieciešamie parametri modelēšanai (izstrādājusi V. Zaharova, izmantojot Mills, G., 2011)

Parametri	Vienības	Dižskābardis un bērzs	Norvēģijas egle	Dižskābardis un bērzs	Norvēģijas egle
Zemes izmantošana	platība km ²	platlapju meži	skujkoku meži	platlapju meži	skujkoku meži
g _{max}	mmol O ₃ m ⁻² , lapotnēm s ⁻¹	150 (132-300)	125 (87-140)	196 (180-211 diapazonā)	112 (111-118 diapazonā)
f _{min}	daļskaitlis	0,13	0,16	0,1	0,1
SGS	gada diena	Platuma grādu aprēķins	f _{temp}	Platuma grādu aprēķins	Platuma grādu aprēķins
EGS	gada diena	Platuma grādu aprēķins	f _{temp}	Platuma grādu aprēķins	Platuma grādu aprēķins
fphen _a	daļskaitlis	0	0	0	0
fphen _b	daļskaitlis	(1)	(1)	(1)	(1)
fphen _c	daļskaitlis	1	1	1	1
fphen _d	daļskaitlis	(1)	(1)	(1)	(1)
fphen _e	daļskaitlis	0,4	0	0	0
fphen ₁	(dienas)	20	0	20	20
fphen ₂	(dienas)	(200)	(200)	(200)	(200)
fphen ₃	(dienas)	(200)	(200)	(200)	(200)
fphen ₄	(dienas)	20	0	30	30
fphen _{limA}	(dienas)	(0)	(0)	(0)	(0)

Parametri	Vienības	Dižskābardis un bērzs	Norvēģijas egle	Dižskābardis un bērzs	Norvēģijas egle
$f_{phen\ limB}$	(dienas)	(0)	(0)	(0)	(0)
$light_a$		0,006	0,01	0,0042	0,006
T_{min}	°C	5	0	5	0
T_{opt}	°C	16	14	20	20
T_{max}	°C	33	35	200	200
VPD_{max}	kPa	1,0	0,5	0,5	0,8
VPD_{min}	kPa	3,1	3,0	2,7	2,8
SWC_{max} (medium)	% ietilpība			15	15
SWC_{min} (medium)	% ietilpība			1	1
SWP_{max}	MPa	-0,05	-0,05		
SWP_{min}	MPa	-1,25	-0,5		
h	m	25	20	20	20
L	cm	7	0,8	5	0,8

1.4.2. AOT40 metodes raksturojums

Viens no vienkāršākajiem ziemas ozona aprēķināšanas modeļiem ir AOT40. AOT 40 ir starpību summa starp vienas stundas koncentrāciju vērtību, kas ir lielāka par $80\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ (40 ppb), diennakts gaišo stundu noteiktā laikā trīs mēnešu garumā. Aprēķina piemērs attēlots 1.4.2.1. attēlā. AOT40 modelis ir viens vienkāršākajiem ziemas ozona aprēķināšanas modeļiem, jo netiek ņemti vērā receptoru bioloģiskās īpatnības, lokālie meteoroloģiskie apstākļi ievērtēti tikai netieši un ozona piesārņojuma vertikālais profils.



1.4.2.1. attēls. AOT40 aprēķināšana (izstrādājusi V.Zaharova, izmantojot Mills, G., 2011, 24. lpp)

Latvijas likumdošanā gaišais diennakts laiks, kuru izmanto aprēķinam ir no 8.00 līdz 20.00. un noteiktais laiks – no 1. maija līdz 31. jūlijam (Noteikumi par kopējo..., 2011).

1.5. Likumdošana un normatīvi

1979. gada 13. novembrī Ženēvā tika pieņemta konvencija "Par paskābināšanas, eitrofikācijas un piezemes ozona līmeņa samazināšanu". Latvija tai pievienojās 2004. gada 3. martā.

Ženēvas protokols tika pieņemts ar mērķi kontrolēt un samazināt antropogēnas darbības dēļ radušo sēra, slāpekļa oksīdu, amonjaka un gaistošo organisko savienojumu emisiju, kas atstāj nevēlamas sekas cilvēka veselībai, dabiskajām ekosistēmām, materiāliem un lauksaimniecības kultūrām paskābināšana, eitrofikācijas vai piezemes ozona dēļ, galvenokārt, kas radusies robežšķērsojošās gaisa piesārņošanas gadījumā. Tiek pausts satraukums par to, ka daudzās Eiropas valstīs joprojām tiek pārsniegtas paskābināšanas kritiskās slodzes, biogēnā slāpekļa kritiskās slodzes un ozona kritiskie līmeņi cilvēka veselībai un veģetācijai. Kā arī emitētie slāpekļa oksīdi, sēra savienojumi, gaistošie organiskie savienojumi un sekundārie piesārņotāji - ozons un amonjaka reakcijas produkti atmosfērā pārvietojas lielos attālumos, izraisot nelabvēlīgās izmaiņas apkārtējā vidē daudz plašākā teritorijā. Līdz ar to, katrai dalībvalstij ir noteikts emisijas maksimums, kuru tā nedrīkst pārsniegt. Nacionālā līmenī rūpējas par šo emisiju samazināšanu un kontrolē sava gada piesārņojošo vielu emisijas daudzumu (Par konvenciju..., 2004).

Ministru kabineta noteikumos Nr.419 „Noteikumi par kopējo valstī maksimāli pieļaujamo emisiju gaisā” ir noteikts emisiju maksimums konkrētām gaisu piesārņojošajām vielām un vielu grupām. Kopējā valstī maksimāli pieļaujamā emisija gaisā:

- gaistošajiem organiskajiem savienojumiem, kuri ir antropogēnas izcelsmes un kuri gaisā spēj veidot fotoķīmiskus oksidantus, saules gaismā reaģējot ar slāpekļa oksīdiem, noteiktais emisijas daudzums ir 136 kilotonnas gadā;
- piezemes ozona slodze (pārsniedz cilvēka veselības aizsardzībai kritisko gaisa piesārņojuma līmeni (AOT 60 = 0)), ģeogrāfiskā sadalījuma vienībā nepārsniedz 2,9 ppm stundā;
- piezemes ozona slodze (pārsniedz kultūraugiem vai daļēji neskartai augu valstij kritisko gaisa piesārņojuma līmeni (AOT 40 = 3 ppm stundā)), ģeogrāfiskā sadalījuma vienībā nepārsniedz 10 ppm stundā, kas izteikta kā kritiskās slodzes 3 ppm stundā pārsniegums.

Valsts katru gadu nodod emisijas pārskatu un prognožu sagatavošanu nākamajam gadam par sēra dioksīda, slāpekļa oksīdu, oglekļa oksīdu un gaistošo organisko savienojumu emisiju gaisā (Noteikumi par kopējo..., 2011).

POD noteiktais robežlielums skuju kokiem ir 8 mmol/(m²*PLA), bet lapu kokiem - 4 mmol/(m²*PLA) (Mills, 2011).

1997. gada 11. decembrī Japānā tika pieņemts Kioto protokols ar mērķi samazināt klimatam kaitīgo gāzu izmešus atmosfērā. Taču tas stājās spēkā 2005. gada 16. februārī. Līdz 2011. gada septembrim parakstījušas un ratificējušas 191 valstis. To ratificējušajām 35 rūpnieciski attīstītajām valstīm un Eiropas Kopienai tika noteikts, ka no 1990. gadam līdz 2012. gadam oglekļa dioksīda emisija jāsamazina par 5%.

ASV atteicās ratificēt protokolu un ir ļāvusi oglekļa dioksīda emisijām palielināties, savukārt Kanāda 2011. gadā izstājās no protokola (English, 2010).

Nacionālā līmenī ir noteikti Kioto protokola elastīgie mehānismi, kas kopīgi īstenojami, lai mazinātu emisijas daudzumu.

Kioto protokola projektu mehānismi:

- KĪP – kopīgi īstenojamie projekti;
- TAM – tīras attīstības mehānismi;
- SET – starptautiskā emisiju tirdzniecība.

Ja emisiju daudzums nepārsniedz noteikto, iespējama starptautiskā emisiju tirdzniecība.

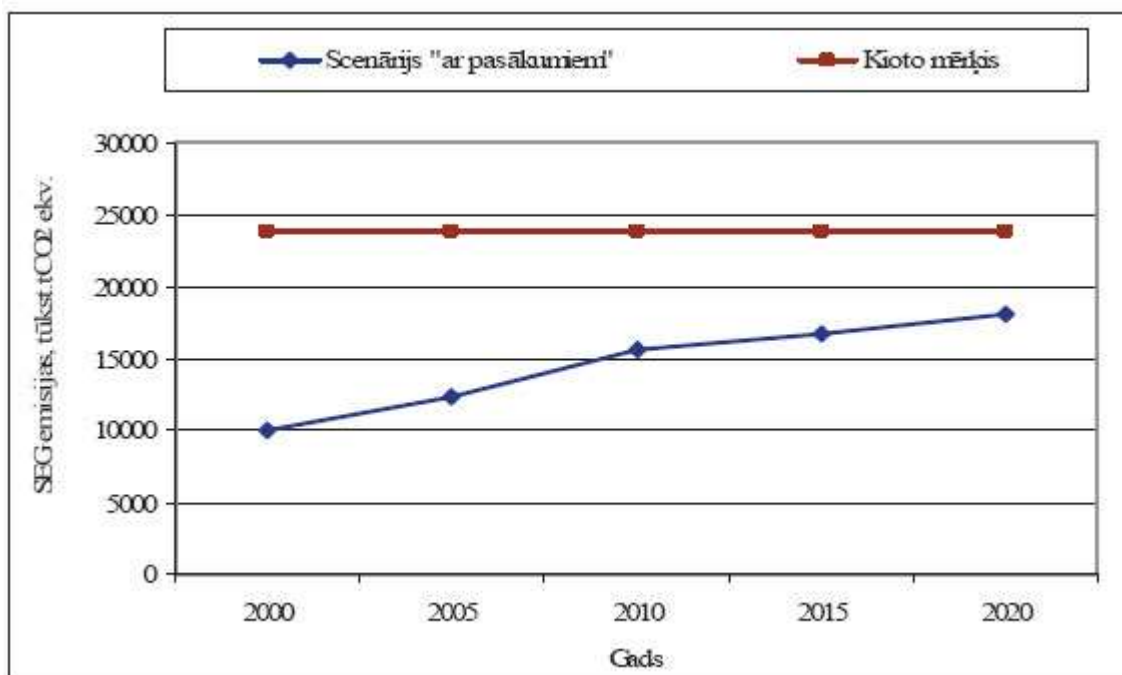
Likuma mērķis ir veicināt globālo klimata pārmaiņu novēršanu, pielāgošanos klimata pārmaiņu radītajām sekām. Latvijas Republikai saskaņā ar Kioto protokolu noteikts kopējais siltumnīcas gāzu emisijas apjoms pirmajam saistību periodam no 2008. gada 1. janvāra līdz 2012. gada 31. decembrim.

Noteiktā daudzuma jeb kvotu īpašumtiesības ir valsts īpašums, kura tiesiskais vadītājs ir Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrija. Latvija var tās pārdot noteiktā daudzuma vienības, kuras potenciāli netiks izmantotas.

Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs siltumnīcas gāzu emisijas reģistrā atver kontus valstij piederošo siltumnīcas gāzu emisijas vienību uzkrāšanai. Pēc Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrijas rīkojuma pārskaita siltumnīcas gāzu emisijas vienību pircējam saskaņā ar noslēgto līgumu par siltumnīcefekta gāzu emisijas vienību tirdzniecību pārdotās valsts (Par konvenciju..., 2004).

1990.gadā Latvija emitēja 25,909 milj. tonnu CO₂ ekvivalentu, lai pildītu Kioto protokolā noteiktās saistības, Latvija laikposmā no 2008.-2012.gadam ik gadu nedrīkst emitēt vairāk par 23,836 milj. tonnām CO₂ ekvivalentu. 2005.gadā izstrādātās SEG emisiju

prognozes rāda, ka Latvija varēs izpildīt Kioto protokolā emisiju samazināšanas saistības (1.5.1. attēls).



1.5.1. attēls. Prognozētais SEG emisiju apjoms Latvijā līdz 2020. gadam (Par Emisijas kvotu..., 2007).

Kopējais ikgadējais emisijas kvotu apjoms Latvijai noteikts saskaņā ar šādu aprēķinu:

$$Emisijas\ kvotas = 2,854492 * 1,5 * 0,8008 = 3,428116\text{ milj. ,kur} \quad (1.5.1.)$$

2,854492 - 2005.gadā verificētās emisijas Latvijā,

1,5 - iekšzemes kopprodukta pieaugums 2005.-2010.gadā,

0,8008 - oglekļa intensitātes samazinājuma faktors 2005.-2010.gadā (Par Emisijas kvotu..., 2007).

1.6. Mežu raksturojums un to nozīme

Mežu platības pasaulē aizņem apmēram 30 % no sauszemes teritorijas. Tie atrodas visos kontinentos, izņemot Antarktīdu. Mežs ir vislielākā ekosistēma uz Zemes sauszemes daļā. tiem pasaulē ir galvenā loma skābekļa ražošanā, oglekļa dioksīda asimilācijā, ūdens un gaisa tīrības veicināšanā. Viens no dabas daudzveidības saglabātājiem ir meži. Vairākas sugas,

kurās lielākajā Eiropas daļā ir apdraudētas, ir tuvu iznīkšanai vai pat vispār izzudušas. Liela loma mežiem ir arī cilvēku veselībā un atpūtā. Meži aug visās klimata joslās (Znotiņa, 2006).

Mežs ir ekosistēma, tajā galvenā organiskās vielas ražotāja ir mežaudze. Mežs būtiski ietekmē abiotisko vidi, jo tam ir neatņemama loma gan dabas, gan cilvēku dzīvē, jo tie ir skābekļa producenti. Tie fotosintēzē izmanto oglekļa dioksīdu, kas vidē nonāk no dažādiem piesārņojuma avotiem.

Mežiem ir arī sanitāri higiēniska un kulturāli estētiskā loma. Tie nodrošina cilvēkus ar nepieciešamajiem koksnes resursiem. Apmēram pusi no pasaulē iegūstamās koksnes izmanto par kurināmo (Liepa u.c., 1991).

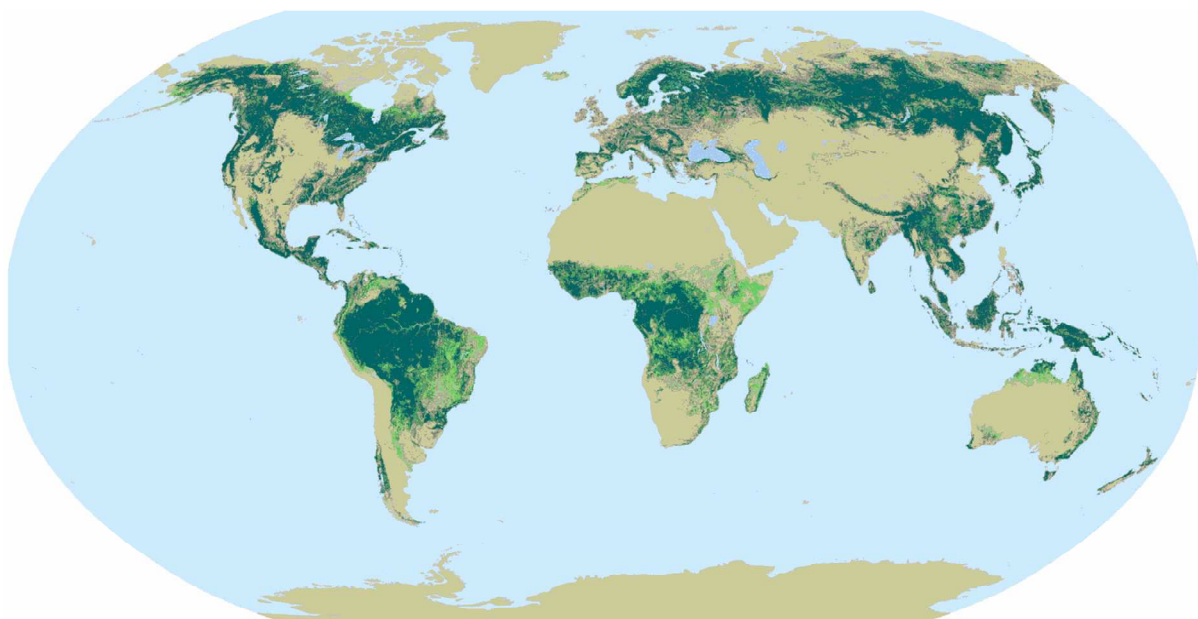
Mežiem ir ļoti liela ekoloģiskā vērtība, jo tie:

- regulē oglekļa gāzes un skābekļa daudzumu,
- producē organiskās vielas,
- ir dzīves vide citām augu sabiedrībām, patvērums dzīvniekiem un augiem,
- saglabā bioloģisko daudzveidību (Priedītis, 1999).
- ietekmē nokrišņu sadalījumu telpā un laikā, kā arī gaisa masu pārvietošanos, klimatisko un edafisko daudzveidību,
- novērš augsnes eroziju, kalnainā reljefā noslīdeņu un nogrūvumu mazināšanu,
- stabilizē noteces baseina hidroloģisko režīmu (Broks, 2003).

Ar mežiem visvairāk klāta ir Eiropa, otrā vietā ir Dienvidamerika (1.6.1. attēls). Un kā liecina statistika, diemžēl mežu platība pasaules reģionos turpina samazināties, visstraujāk tas notiek Dienvidamerikā un Āfrikā. Tomēr Eiropā un Āzijā meža platības pieaug. Pasaulē arvien vairāk pieaug bažas par mežu izciršanu, klimata pārmaiņu un emisiju ietekmi uz mežiem, tāpēc 2010. gadā vispasaules valstis un Apvienotā Nāciju organizācija izstrādāja monitoringu, kas aizsargās un uzraudzīs mežus. Tika plānots izstrādāt kopīgu Pasaules meža resursu novērtēšanu.

Meži dabiskā veidā emitē oglekļa dioksīdu (CO₂) un arī to absorbē, tāpēc uzskata, ka meži ir milzīgas oglekļa krātuves. Līdz ar to īpaša uzmanība jāpievērš mežu saglabāšanai un mērenai to izciršanai. Eiropa vēlas panākt, lai pēc 2012. gada valstīm būtu obligāts likums, kas paredz uzskaitīt emisijas un absorbcijas saistībā ar meža apsaimniekošanu (Environmental Expert.com, 2008).

Tika organizētas G-8 augstākā līmeņa sanāksmes, kurās piedalījās pasaules valstu līderi, kuri mudināja ieviest darbības, kas samazinātu emisiju daudzumu un mežu degradāciju jaunattīstības valstīs, tostarp izstrādāt arī starptautisku meža monitoringu tīklu balstoties uz esošajām iniciatīvām (Environmental Expert.com, 2008).



1.6.1. attēls. Mežu izplatība Pasaulē, shematisks attēlojums (Environmental Expert.com, 2008)

1.6.1. Meži Latvijā

Latvijā meži aizņem 2 984 192 ha, no tiem valstij pieder 1 495 830 ha mežs (50,3 % no kopējās), pārējiem īpašniekiem mežu kopplatība ir 1 488 362 ha (49,7 % no visu mežu platības).

Pēc VMD datiem, kas apkopoti MVR (par inventarizētajām platībām, kas tiek pakļautas saimnieciskajai darbībai, kuru regulē Meža likums). Mežainums sastāda 50,5 % (meža zemju platības (3 264 643 ha) procentuālā attiecība pret valsts teritorijas kopējo platību). Latvija pieskaitāma pie tām Eiropas valstīm, kas ir ar mežiem bagāta (Eiropā meži vidēji aizņem 33 % no sauszemes teritorijas) (Valsts meža dienests, 2012).

Meža zemes sastāv no:

- meža 2 984 192 ha (91.4 %);
- purviem 177 958 ha (5.6 %);
- laucēm 34 285 ha (1.0 %);
- pārplūdušiem klajumiem 14 260 ha (0,4 %);
- infrastruktūras objektiem 53 942 ha (1.6 %) (Valsts meža dienests, 2012).

Neatkarīgi no meža aizņemtās platības, konfigurācijas, valdošās koku sugas, mežs ir viens no valsts nozīmīgākajiem ainavas elementiem. Izšķir vairākus galvenās ainavas elementus:

- meža masīvi,
- mazie savrupie meža masīvi,
- sīkie meža masīvi,
- koku grupas un puduri,
- savrupi koki.

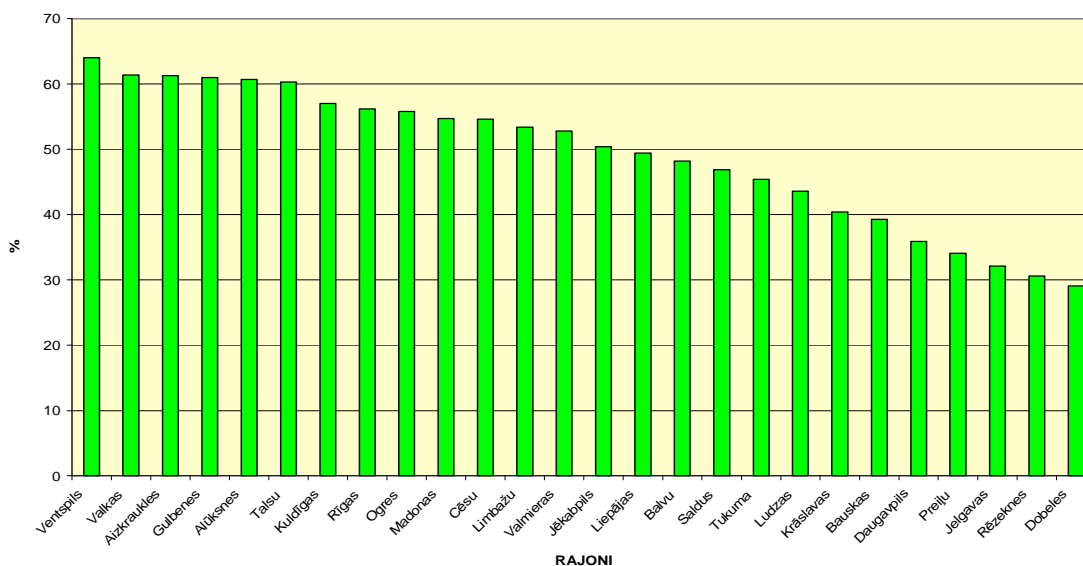
Meža masīvi un mazie savrupie meža masīvi veido tik ļoti raksturīgo meža ainavu Latvijā. Taču sīkie meža masīvi, koku grupas un puduri veido mozaikveida ainavu. Estētiski augstvērtīgākie ir priežu sila, mētrāju un lāna meži, tie izmantojami arī iedzīvotāju atpūtai un rekreācijā (Broks, 2003).

Pēc mežu zonējuma Latvija atrodas boreālo skujkoku mežu un Viduseiropas platlapju mežu saskares joslā. Tāpēc arī Latvijas mežos sastopamas to lakstaugu un sūnu raksturīgās sugas. Boreālos mežos sastopamākās sugas ir:

- brūklene *Vaccinium vitisidaea*,
- parastā mellene *Vaccinium myrtillus*,
- parastā zilene *Vaccinium uliginosum*,
- melnā vistene *Empetrum nigrum*,
- Šrēbera rūšaine *Pleurozium schreberi*,
- no koku audzes dominē parastā priede *Pinus sylvestris*,
- parastā egle *Picea abies* (Bušs u.c., 1995).

Latvijā vismežainākais ir bijušais Ventspils rajons, kur to platība sasniedz 64% no rajona teritorijas. Arī citos rajonos kā Valkas, Aizkraukles, Gulbenes Alūksnes, Talsu, u.c. meži klāj vairāk nekā pusi no rajona teritorijas. Privātmeži vairāk atrodas Latgalē – bijušajos Preiļu un Krāslavas rajonos., kur to platība sastāda pat 70 – 66 %, bet bijušajos Jelgavas un Ventspils rajonos tie aizņem tikai 13 – 16% no kopējās meža platības (1.6.1.1. attēls) (Centrālās statistikas pārvaldes datu bāzes, 2008).

Arvien vairāk iedzīvotājus satrauc situācija, ka meži tiek strauji izcirsti un nenotiek jauna meža veidošanās, taču ir vērojama pretēja situācija, jo ar gadiem mežainums ir tikai pieaudzis un tiek prognozēts, ka arī turpmāk tas pieaugs, jo turpinās lauksaimniecībā neizmantojamo zemju dabiska aizaugšana. Situācija rāda Laika posmā no 1923. – 2005. gadam mežainums no 23 % palielinājies līdz 45,2 %, kas ir gandrīz divkārtšojies (1.6.1.2. attēls) (Valsts meža dienests, 2012).



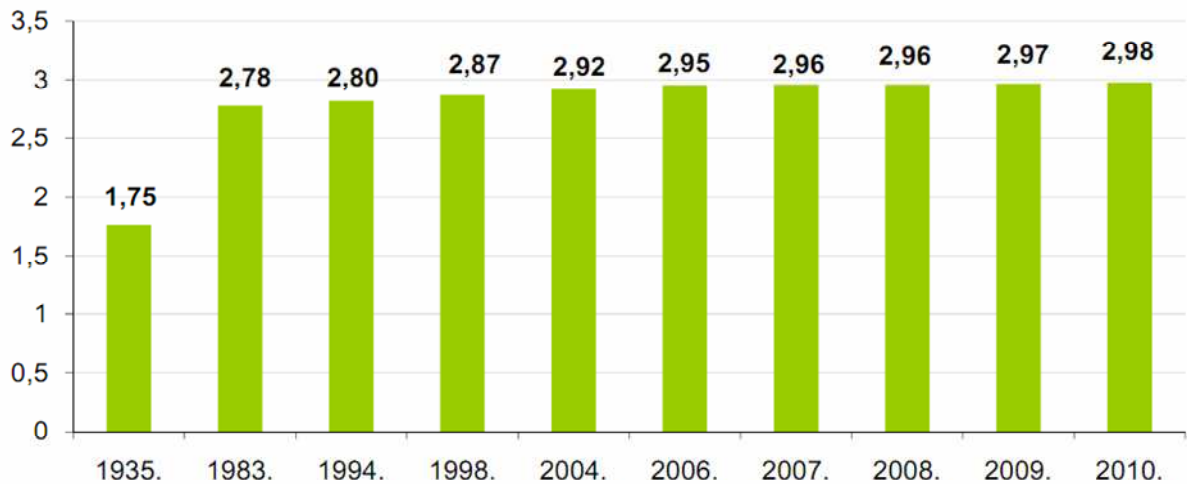
1.6.1.1. attēli. Mežainums Latvijas bijušajos rajonos 2008. gadā (izstrādājusi V.Zaharova izmantojot Centrālās statistikas pārvaldes datu bāzi, 2011)

Latvijā atrodas 11 meža biotopi, kas ir aizsargājami netikai Latvijā, bet arī Eiropas Savienības mērogā. Visi ES nozīmes aizsargājami biotopi ir apdraudēti, daļa no tiem ļoti reti sastopami. Latvijā tādi ir:

- veci vai dabiski boreāli meži (aizņem 0,3 % no Latvijas teritorijas),
- veci jaukti platlapju meži (aizņem 0,04 % no Latvijas teritorijas),
- skujuoku meži uz osveida reljefa formām (aizņem 0,02% no Latvijas teritorijas),
- staignāju meži (aizņem 0,3 % no Latvijas teritorijas),
- ozolu meži (aizņem 0,08 % no Latvijas teritorijas),
- nogāžu un gravu meži (aizņem 0,1 % no Latvijas teritorijas),
- purvaini meži (aizņem 3 % no Latvijas teritorijas),
- aluviāli krastmalu un palieņu meži (aizņem 0,05 % no Latvijas teritorijas),
- jaukti ozolu, gobu, ošu meži gar lielām upēm (aizņem 0,1 % no Latvijas teritorijas),
- mežainas piejūras kāpas (aizņem 1 % no Latvijas teritorijas),
- parkveida pļavas un ganības (aizņem 0,006 % no Latvijas teritorijas) (Auniņš, 2010).

Šie Eiropas Savienības noteiktie aizsargājami meži Latvijā ir unikāli gan ar savām nozīmīgajām platībām, gan ar tajos esošo floru un faunu. Aizsargājami ir gan paši meži, gan tajos mītošās sugas, jo šo aizsargājamo sugu klātbūtne liecina par biotopa augstāku kvalitāti, t.i. vietas augstāku nozīmīgumu bioloģiskās daudzveidības aizsardzībā. Visi šie aizsargājami meži tiek uzskatīti ar augstu dabiskuma pakāpi (Auniņš, 2010).

Meža platību dinamika, milj.ha



1.6.1.2. attēls. Mežu platības izmaiņas no 1935. – 2010. gadam (izstrādājusi V.Zaharova izmantojot, Mežu apsaimniekošanas datus, 2011)

Vairāk Latvijas mežus veido skuju koki, taču ievērojamu daļu aizņem arī lapu koki un bieži vien šie lapu koki meži ir aizsargājami. Priežu, egļu audzes aizņem 54 %, bērzu audzes – 30 %, baltalkšņu audzes – 7 % un apšu audzes – 4 % no visu audžu platībām (Valsts meža dienests, 2012).

Latvijā meži tiek iedalīti tipos:

- Sausieņi (pie tā pieder sils, mētrājs, lāns, vēris, damaksnis, gārša);
- Slapjaini (pie tā pieder grīnis, slapjais mētrājs, slapjais damaksnis, slapjais vēris un slapjā gārša);
- Purvaini (purvājs, niedrājs, dumbrājs, liekņa)
- Āreņi (viršu ārenis, mētru ārenis, šaurlapu ārenis, platlapju ārenis);
- Kūdreņi (viršu kūdrenis, mētru kūdrenis, šaurlapu kūdrenis, platlapju kūdrenis) (Broks, 2003).

Sausieņu meži:

Tie ir vērtīgi meži, kas aug sausās, labi aerētās minerālaugsnēs. Šie meži aizņem apmēram 55 % no Latvijas mežu kopplatības. Pat slapjās vasarās šajos mežos neuzkrājas ūdens. Sili un mētrāji aug nabadzīgās minerālaugsnēs un tajos aug priedes, kas ir nepārāk garas un pamežs ir nabadzīgs. Tomēr lāni, damaksņi un vēri aug jau vidēji bagātās augsnēs, tāpēc arī koku izmērs ir lielāks. Šie meži ir ļoti vērtīgi. Kūdras biezums nepārsniedz 5 cm (Broks, 2003).

Slapjainu meži:

Šie meži aug slapjās minerālaugsnēs, kur kūdras slāņa biezums nepārsniedz 30 cm, sastopami apmēram 11 % no Latvijas mežu kopplatības. Audzes ir vēja nenoturīgas, īpaši tas skar egles. Ja vasaras ir sausas, šajos mežos ir palielināta uguns bīstamība. Ja bijuši degumi vai izcirtumi, tie strauji pārpurvojas. Slapjainos galvenokārt sastopama parastā jeb Eiropas egle *Picea abies*, parastā priede *Pinus sylvestris* un arī purva bērzs *Betula pubescans*. Šajā mežu tipā koku pieaugums ir atkarīgs no laika apstākļiem, - slapjās vasarās augšanas gaita kokiem ir lēnāka nekā sausās vasarās. Zemsegas biezums vairāk par 30 cm (Broks, 2003).

Purvainu meži:

Šie meži aug slapjās kūdras augsnēs. Kūdras slāņa biezums ir no 30 cm un var sasniegt pat dažus metrus biezumu, sastopami apmēram 12 % no Latvijas mežu kopplatības. Veidojas vietās, kur ir ieplakas, palienes, augsto vai pārejas purvu malās, jo šajās vietās uzkrājas virszemes ūdeņi vai arī šajās vietās ieplūst gruntsūdens. Purvaini, neatkarīgi no sausas vasaras, pārpurvojas. Spriežot pēc koksnes ražas, šie meži nav īpaši vērtīgi. Šajā mežu tipā ūdens periodiski appludina koku saknes un ūdens līmenis pārsvarā ir augsts, neatkarīgi no tā vai vasara ir sausa vai slapja. Mežu ražība ir zema. Šie meži nav piemēroti pastaigām. Šeit sastopamas sīkas, nīkulīgas un retas eglītes un bērziņi (Broks, 2003).

Āreņu meži:

Šie meži izveidojas pēc slapjainu mežu nosusināšanas, sastopami susinātās minerālaugsnēs, kur jēlkūdras un kūdras nepārsniedz 20 cm, sastopami apmēram 12 % no Latvijas mežu kopplatības. Ūdens daudzums pakāpeniski mazinās, kā rezultātā mainās arī meža veģetācija. Šajos mežos vairs nenotiek aktīva sakņu aplūšana, augsne nepārpurvojas, turpinās podzelēšanās un glejošanās procesi. Notiek atpurvošanās, kā rezultātā palielinās mežaudžu ražība (Broks, 2003).

Kūdreņu meži:

Šie meži izveidojas pēc purvainu mežu vai pārejas un zemo purvu nosusināšanas, sastopami apmēram 10 % no Latvijas mežu kopplatības. Galvenais, kas atšķir šos mežus no citiem ir funkcionējošā nosusināšanas sistēma un zemsegas biezums, kura biezums ir vairāk par 20 cm. Šiem mežiem nepieciešama regulāra susināšanas sistēmas kopšana. Vasarās nenotiek vairs sakņu aplūšana, uzlabojas augsnes aerācija. Zemsega pakāpeniski saplok. Egļu audzes šajos mežos ir vēju nenoturīgas. Sausās vasarās ir paaugstināta uguns bīstamība (Broks, 2003).

1.6.2. Piezemes ozona ietekme uz veģetāciju un mežu apgabaliem

Arvien vairāk, pētījumu rezultātā, tiek pierādīta troposfēras ozona kaitīgā ietekme uz veģetāciju, it īpaši paaugstinātu koncentrāciju gadījumos. Tāpēc ievērojamas bažas ir par teritorijām, kur ir paaugstināts piezemes ozons vai atrodas tuvu šim sliksnim (Felzer et al., 2004; Solberg et al., 2005).

Tiek veikti pētījumi par piezemes ozona ietekmi uz lauksaimniecības kultūrām un ekosistēmām, kādas sekas tas izraisa un kā ar to cīnīties. Pētījumi ir vajadzīgi, lai izstrādātu reģionālas emisiju samazināšanas stratēģijas, ar mērķi palielināt stabilitāti lauksaimniecības zemes apsaimniekošanā (Karnosky et al., 2007).

Piezemes ozona fona koncentrācija ir palielinājusies par 36 % kopš attīstījās rūpniecība. Galvenokārt ir palielinājusies emisijas daudzums, - oksidētā slāpekļa (NO_x) un gaistošie organiskie savienojumi no fosilā kurināmā, kas izraisa piezemes ozona veidošanos (Karnosky et al., 2007).

Katrai veģetācijas grupai ir noteikti kritiskās slodzes robežlielumi, kuru pārsniegšana būtiski ietekmē veģetāciju:

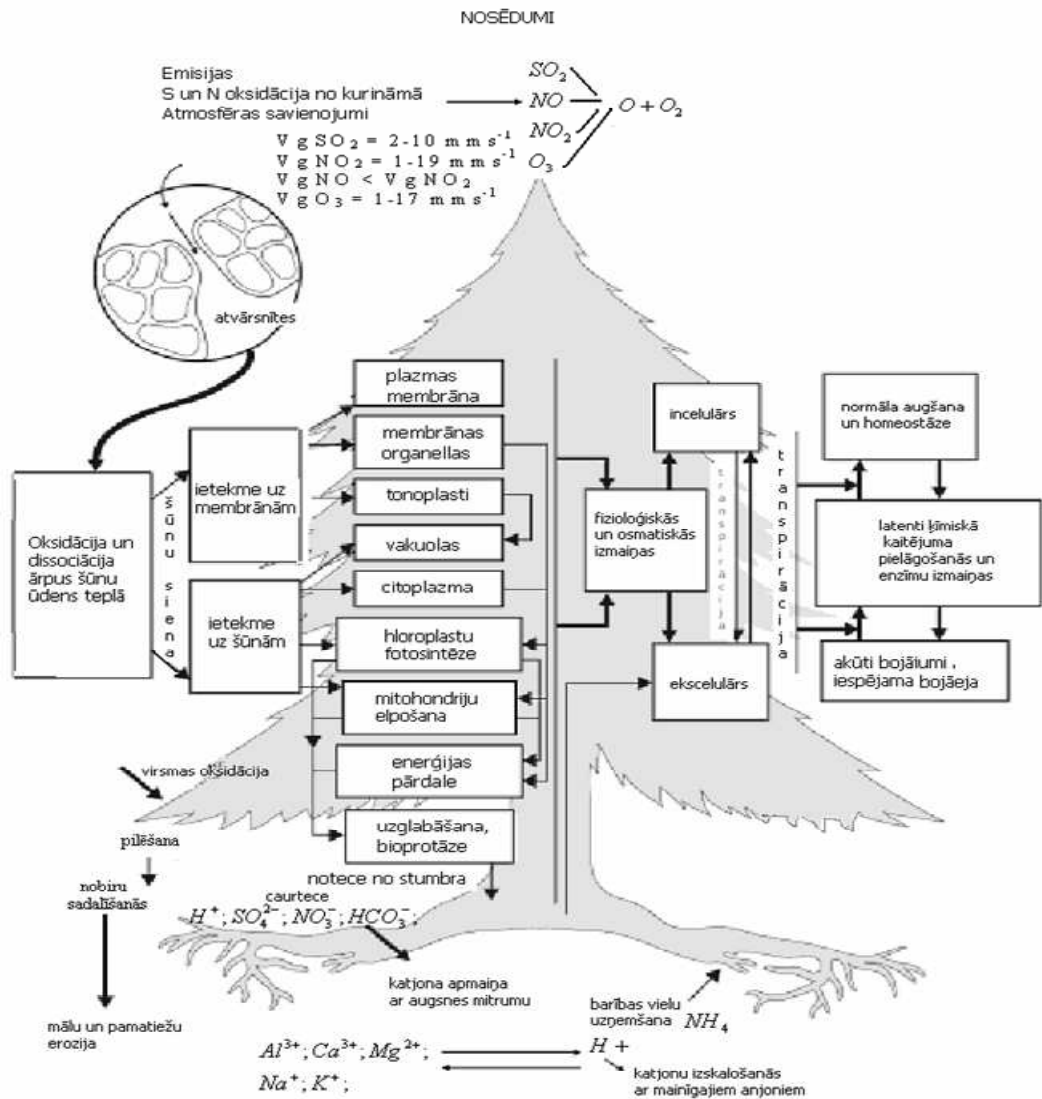
- kviešiem noteiktais kritisko slodžu robežlielums ir $2 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{PLA})$, ja tas tiek pārsniegts, kviešu masa un olbaltumvielu saturs tajos samazinās par 5 %;
- kartupeļiem noteiktais kritisko slodžu robežlielums ir $5 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{PLA})$, gadījumos, kad tas tiek pārsniegts kartupeļu lielums samazinās par 5 %;
- tomātiem noteiktais kritisko slodžu robežlielums ir $2 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{PLA})$, ja tas tiek pārsniegts tomātu lielums samazinās arī par 5 %;

Skatoties uz meža veģetāciju:

- skuju kokiem noteiktais kritisko slodžu robežlielums ir $8 \text{ mmol m}^{-2} \text{ PLA}$, pārsniegumu gadījumā skujkoku biomasa samazinās par 2 %;
- lapu kokiem, kam kritisko slodžu robežlielums ir $4 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{PLA})$, biomasa samazinās par 4% (Mills, 2011).

Piezemes ozons ietekmē koku lapotnes, samazinot tā hlorofila saturu, paātrina lapu novecošanos, samazina fotosintēzes procesu, izmaina oglekļa sadali, ūdens bilanci un lapu vaska sastāvu un struktūru, kas ietekmē kaitēkļu uzbrukumus kokiem, kā arī samazina koka izaugsmi un ražīgumu (1.6.2.1. attēls).

Piezemes ozona ietekme var būt atšķirīga atkarībā no koka sugas, genotipa, vecuma. Ietekmi var mainīt arī vides faktori, augsnes mitrums, temperatūra, gaismas intensitāte un barības vielu pieejamība (Karnosky et al., 2007).



1.6.2.1.attēls. Piesārņojuma ietekme uz kokiem (izstrādājusi V. Zaharova izmantojot, Evans, 2001, 289. lpp.)

Piezemes ozons traucē augu augšanu un to attīstību. Tika uzskatīts, ka visvairāk piesārņojums ietekmē skuju kokus, bet vēlāk atklājās, ka arī lapu koki cieš no atmosfēras piesārņojuma. Pētījumi atklāja, ka bojāti tiek gan skujkoki, gan lapkoki, jo kā liecināja pētījumi, gan skujkoki, gan lapkoki uzrādīja skuju un lapu iecirkņu atmiršanu, nodzeltēšanu vai nobrūnēšanos, turklāt pasliktinājās arī sakņu augšana.

Skujkokiem tika novērotas skuju nodzeltēšana vai nobrūnēšanās (1.6.2.2. attēls). Vairāk nodzeltēšana vai nobrūnēšanās novērotas jauno koku skujām un novērota to priekšlaicīga novecošanās. Vairāki koki ir ar panīkušām skujām un ar gadiem, to izmērs nemainās. Tika novērotas arī koku stumbra augšanas ātruma samazināšanās un koku bojājumu palielināšanās no insektu uzbrukumiem (Rademacher, 2003



1.6.2.2. attēls. **Piezemes ozona izraisītās sekas skujkokiem** (Karnosky et al., 2007, 3).

Lapkociem novērota lapu rūsa (1.6.2.3. attēls), kas izskaidrojama ar to, ka piezemes ozons nelabvēlīgi ietekmē lapu vaska kārtiņu, tādējādi izraisot lapu inficēšanos ar augu sēnītēm, kā arī insektu uzbrukumiem, kas izraisa koku bojājumu. Citiem lapu kokiem piezemes ozons izraisa lapu nokalšanu un to nokrišanu. Ietekme novērojama arī uz koku saknēm un stumbra, jo samazinās augšanas ātrums un mazākās koka saknes noplicinās un atmirst (Karnosky et al., 2007).

Ja koks ir bojāts, tas var uzrādīt vairākus simptomus. Grūti ir noteikt cēloņsakarību starp veidu un pašu cēloni. Jo kaitējums var būt dažādu faktoru dēļ:

- kaitējums no klimatisko apstākļu ietekmes;
- kaitējums no kaitēkļu uzbrukuma;
- kaitējums gaisa piesārņojuma dēļ.

Tā kā piesārņots gaiss var koku ietekmēt gan tieši, gan netieši, tad tiešā veidā tiek bojātas koku lapas vai skujuas, bet netieši tiek bojātas šūnas, jo jau niecīgā daudzumā lapu atvārsnītēs tiek ierosināti kanāliņi, kas atrodas pastāvīgi atvērtā stāvoklī un piezemes ozons viegli izkļūst cauri šūnas membrānai, kur tie tālāk iedarbojas uz mitohondrijām un hloroplastiem. Šīs iedarbības rezultātā samazinās fotosintēzes procesa intensitāte. Kā arī iedarbojoties uz auga šūnām rodas fizioloģiskās un osmatiskās izmaiņas, kas var izraisīt latentus ķīmiskā kaitējuma pielāgošanos vai enzīmu izmaiņas, kā arī sliktākā gadījumā var izraisīt akūtus bojājumus, kas bieži vien noved pie auga bojāejas (1.6.2.2. attēls) (Hanneberg, 1993).



1.6.2.3. attēls. Piezemes ozona izraisītās sekas lapu kokiem (Karnosky et al., 2007, 5)

Tāpēc īpaši svarīgi ir veikt piesārņojošo vielu modelēšanu, lai laicīgi spētu novērst problēmas, kuras šī negatīvā ietekme varētu radīt.

2. MATERIĀLI UN METODEDES

Maģistra darba izstrādei tika izmantotas šādas metodes:

- Zinātniskās literatūras analīze;
- Matemātiskās modelēšanas metode;
- Rezultātu vizualizācija izmantojot ĢIS.

Un izmantoti šādi materiāli:

- Meteoroloģiskie dati:
 - Vēja ātrums (m/s), laikā no 2009. gada 1. janvāra līdz 31. decembrim, izmantojot LVĢMC novērojumus,
 - Gaisa temperatūra (faktiskā), laikā no 2009. gada 1. janvāra līdz 31. decembrim, izmantojot LVĢMC novērojumus,
- Piezemes ozona dati ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) periodā no 2009. gada 1. janvāra līdz 31. decembrim, izmantojot LVĢMC novērojumus,
- Zemes apauguma dati – Corine Land Cover (2006), ģeotelpiskās informācijas aģentūra.

No lietojumprogrammām darba izstrādei tika izmantotas:

- ArcView GIS, lai apstrādātu datus grafiski, vizuāli un telpiski;
- MS Excel – modeļa izstrādei un aprēķinu veikšanai.

Piezemes ozona fluktuāciju modelēšanai nepieciešamie parametri apkopoti 2.1. tabulā.

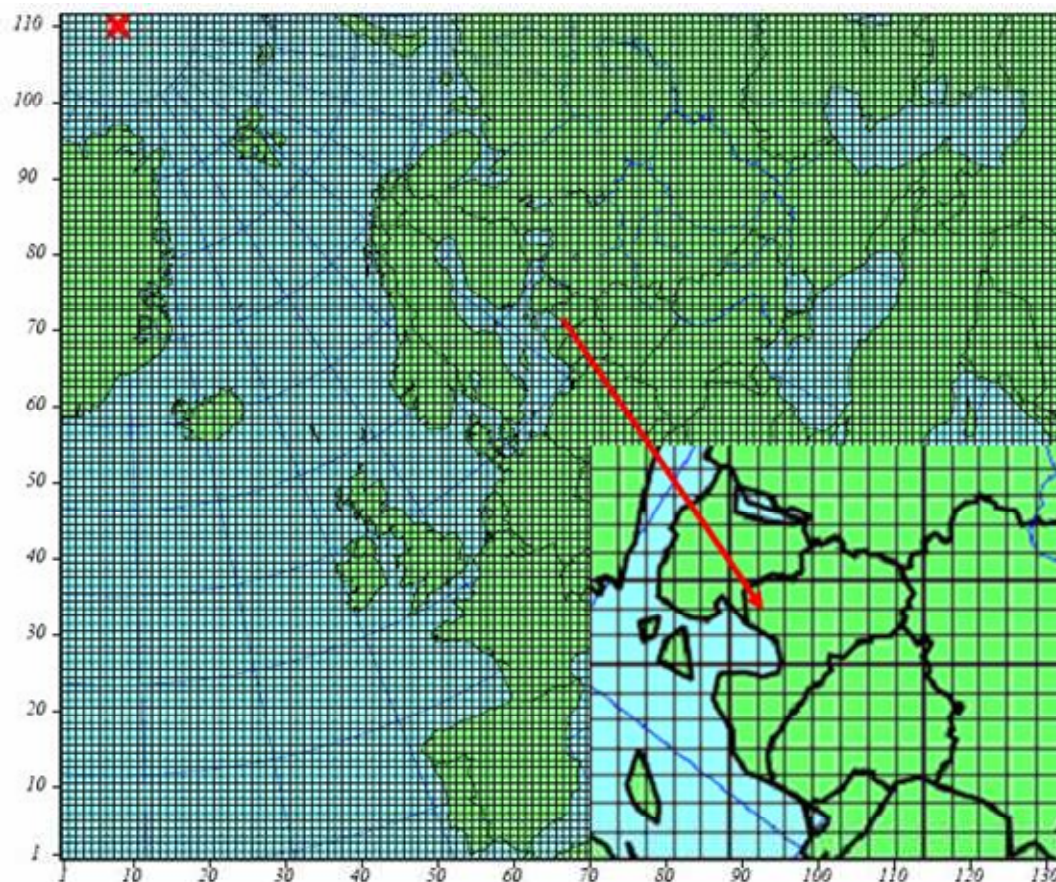
2.1. tabula

Izejas dati un pieņēmumi piezemes ozona fluktuāciju modelēšanai

PARAMETRI	PRECIZITĀTE, VĒRTĪBA	RAKSTUROJUMS	DATU AVOTS
piezemes ozona monitoringa dati	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		www.emep.int
vēja ātrums	0,1 m/s		www.meteo.lv
gaisa temperatūra	0,01 °C		www.meteo.lv
f_{phen}	0,3 – 1 (atkarībā no gada dienas (veģetācijas perioda))	raksturo gaismas pieejamību (fotosintēzes process);	(Mills, 2011)

PARAMETRI	PRECIZITĀTE, VĒRTĪBA	RAKSTUROJUMS	DATU AVOTS
f_{light}	$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\text{s})$		
f_{min}	0,1		(Mills, 2011)
T_{min}	lapu kokiem – 5 °C skuju kokiem – 0 °C	raksturo temperatūras režīmu dažādos augšanas apstākļos	(Mills, 2011)
T_{opt}	lapu kokiem – 20 °C skuju kokiem – 20 °C		
T_{max}	lapu kokiem – 200 °C skuju kokiem – 200 °C		
f_{temp}	°C	raksturo temperatūras ietekmi uz augiem	(Mills, 2011)
VPD_{max}	lapu kokiem – 0,5 kPa skuju kokiem – 0,8 kPa	raksturo apkārtējās vides spiedienu atvārsnītēs	(Mills, 2011)
f_{VPD}	kPa		
g_{sto}	$\text{mmol O}_3/(\text{m}^2*\text{PLA}*s)$	atvārsnīšu vadītspēja	(Mills, 2011)
g_{ext}	s/m	raksturo pretošanos nelabvēlīgos apstākļos (atkarībā no lapu projektīvā seguma)	(Mills, 2011)
g_{max}	lapu kokiem – 196 $\text{mmol O}_3/\text{m}^2$ skuju kokiem - 112 $\text{mmol O}_3/\text{m}^2$		
r_c	s/m	projektīvā seguma pretestība	(Mills, 2011)
L	lapu kokiem – 5 cm skuju kokiem – 0,8 cm	lapu projektīvais segums	(Mills, 2011)
r_b	s/m	kvazilaminārā pretestība	(Mills, 2011)
F_{st}	$\text{nmol O}_3/(\text{m}^2*\text{PLA}*s)$	ozona uzņemšanas intensitāte	(Mills, 2011)
Y	$\text{nmol O}_3/(\text{m}^2*\text{PLA}*h)$	piezemes ozona koncentrācijas lielums	(Mills, 2011)
POD_y	$\text{mmol}/(\text{m}^2*\text{PLA})$	fototoksiskā ozona doza	(Mills, 2011)
f_{SWP}	%	raksturo ūdens pieejamību augiem	(Mills, 2011)

Kritiskās slodzes tiek aprēķinātas EMEP ģeogrāfiskā tīkla sadalījuma vienībās, kur katra kvadrāta izmēri ir 50 km × 50 km. Tīkls ir nemainīgs laikā un tā koordinātes ir stingri noteiktas (2.1. attēls) (Posch et al., 2003a un Posch et al., 2003b).



2.1. attēls. EMEP ģeogrāfiskā sadalījuma vienību tīkls (Posch et al., 2003a un Posch et al., 2003b)

Gaisa kvalitātes monitoringa, ilgtermiņa klimatiskie rādītāji, nokrišņu kvalitātes mērījumu rezultāti ņemti no Rucavas un Zosēnu novērojuma stacijām (LVĢMC novērojumi). Abu monitoringa staciju raksturojums dots 2.1.sadaļā.

2.1. Piezemes ozona monitoringa staciju raksturojums

Rucavas meteoroloģijas stacija:

Meteoroloģiskās stacijas kods: LV10 (SU10)

Ģeogrāfiskās koordinātes – 56° 13'N, 21° 13'E

EMEP koordinātes (50km) – 100.81, 77.77

Augstums virs jūras līmeņa – 18 m
 Darbojas kopš – 1985. gada jūnija
 Mērīšanas programma (2.1.1. tabula):

2.1.1. tabula

Mērīšanas programma Rucavas meteoroloģijas stacijā (Hjellbrekke, 2006a)

Komponenti	Mērījumu laiks	Periods, no kura tiek veikti mērījumi
Gaiss		
O_3	1h	1994-
SO_2	24h	1985-
$SO_4^{2-}, NO_2, NO_3^-, NH_4^+$	24h	1986
NH_3, HNO_3^-	24h	1997-
$HNO_3^- + NO_3^-, NH_3 + NH_4^+$	24h	1994-
<i>Cd, Cu, Pb, Zn</i>	1m	1993-
Nokrišņi		
<i>Nokrišņu daudzums</i>	24h	1985-
<i>pH</i>	24h	1985-
$SO_4^{2-}, NH_4^+, Na, Ca$	24h	1985-
NO_3^-	24h	1986-
<i>Mg</i>	24h	1996-
<i>K</i>	24h	1990-
<i>Cl</i>	24h	1997-
<i>Cd, Cu, Pb, Zn</i>	1m	1993-

Rucavā vidējais ilggadējais nokrišņu daudzums integrālajā monitoringā ir 772 mm, kas ir lielāks nekā valstī reģistrētais vidējais nokrišņu daudzums (600-650 mm gadā), no tiem 11% izkrīt sniega veidā. Valdošais vēja virziens ir DR, DA, taču vidējā ilggadējā gaisa temperatūra – 6,3 °C. Veģetācijas periods ilgst 198 dienas (Tērauda, 2008).

Zosēnu meteoroloģiskā stacija:

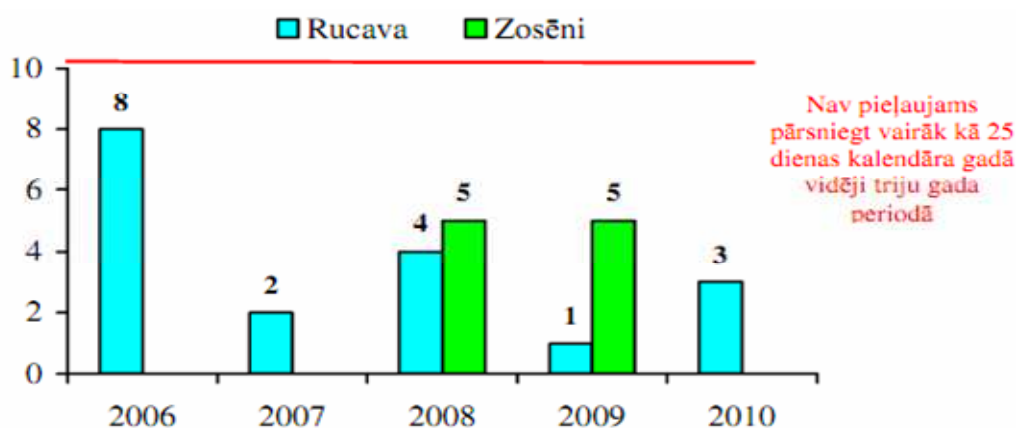
Meteoroloģiskās stacijas kods: LV16
 Ģeogrāfiskās koordinātes – 57° 08'N, 25° 55'E
 EMEP koordinātes (50km) – 102.40, 83.77
 Augstums virs jūras līmeņa – 183 m
 Darbojas kopš – 1994. gada jūnija
 Mērīšanas programma (2.1.2. tabula):

Mērīšanas programma Zosēnu meteoroloģijas stacijā (Hjellbrekke, 2006b)

Komponenti	Mērījumu laiks	Periods, no kura tiek veikti mērījumi
Gaiss		
O_3	1h	1994-
SO_2	24h	1994-
$SO_4^{2-}, NO_2, NO_3^-, NH_4^+$	24h	1997-
NH_3, HNO_3^-	24h	1997-
$HNO_3^- + NO_3^-, NH_3 + NH_4^+$	24h	1996-
<i>Cd, Cu, Pb, Zn</i>	1m	1994-
Nokrišņi		
<i>Nokrišņu daudzums</i>	24h	1996-
<i>pH</i>	24h	1996-
$SO_4^{2-}, NH_4^+, Na, Ca$	24h	1996-
NO_3^-	24h	1996-
<i>Mg</i>	24h	1996-
<i>K</i>	24h	1996-
<i>Cl</i>	24h	1996-
<i>Cd, Cu, Pb, Zn</i>	1m	1994-

Zosēnos vidējais ilggadējais nokrišņu daudzums integrālajā monitoringā ir 727 mm, kas arī ir lielāks nekā valstī reģistrētais vidējais nokrišņu daudzums. Lielākā daļa izkrīt lietus veidā, no tiem 14% izkrīt sniega veidā. Valdošais vēja virziens ir DR, taču vidējā ilggadējā gaisa temperatūra – 4,5 °C. Veģetācijas periods ilgst 186 dienas (Tērauda, 2008).

Pārskatā par „Gaisa kvalitātes novērtējumu Latvijā no 2008 līdz 2010. gadam” tika novēroti ilgtermiņa mērķa astoņu stundu vērtības pārsniegšanas gadījumi (2.1.1. attēls).



2.1.1. attēls. Ozona maksimālās astoņu stundu vidējās diennakts vērtības pārsniegšanas gadījumu skaits, novērojumu stacijās „Rucava” un „Zosēni” (Gaisa kvalitātes novērtējums..., 2011).

Lai arī ir novēroti piezemes ozona pārsniegšanas gadījumi, tomēr MK noteikumos noteiktos mērķlielumus cilvēka veselības aizsardzības pieļaujamo skaitlisko vērtību (25 dienas vidēji 3 gadu laikā) (2.1.3., tabula) (Gaisa kvalitātes novērtējums..., 2011).

2.1.3. tabula

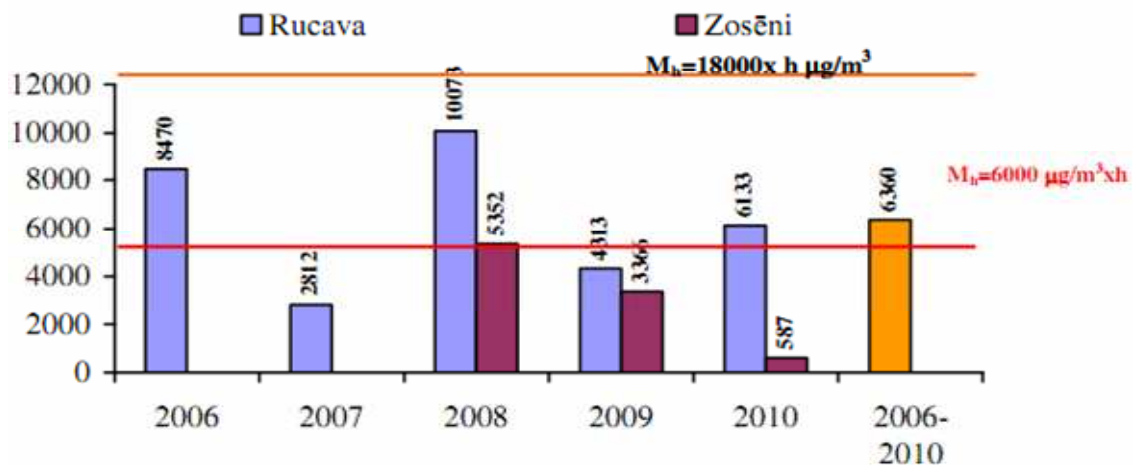
Gaisa kvalitātes robežlielumu pārsniegšanas gadījumu skaits zonā „Latvija” 2006. – 2010. g. (Rucavas un Zosēnu fona līmeņa stacijās) (Gaisa kvalitātes novērtējums..., 2011)

Gads	Stacijas nosaukums	Sēra dioksīds			PM ₁₀		Slāpekļa oksīds	B(a)P	Benzols	Ozons			PM _{2,5}	
		R _g =20 µg/m ³	R _g *=20 µg/m ³	R _d =125 µg/m ³	R _d =50µg/m ³	R _g =40µg/m ³	R _g =30 µg/m ³	R _g =1.0 ng/m ³	R _g =5µg/m ^{3x}	M _d =120µg/m ³ *	R _h =180µg/m ³ **	M _h =18000 µg/m ³ ·h	R _g <25 µg/m ³	R _g +PR
2006	Rucava	0	0	0	n	n	0	0	0	8	0	0	-	-
	Zosēni	0	0	0	n	n	0	0	0	-	-	-	-	-
2007	Rucava	0	0	0	n	n	0	0	0	2	0	0	0	0
	Zosēni	0	0	0	n	n	0	0	0	-	-	-	0	0
2008	Rucava	0	0	0	16	0	0	0	0	4	0	0	0	0
	Zosēni	0	0	0	18	0	0	0	0	3	0	n	0	0
2009	Rucava	0	0	0	9	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	Zosēni	0	0	0	11	0	0	0	0	5	0	n	0	0
2010	Rucava	n	n	n	1	0	n	0	0	3	0	0	0	0
	Zosēni	n	n	n	5	0	n	n	n	0	0	n	0	0

Piezīmes:

R_d – diennakts robežlielums; R_g – gada robežlielums; R_g* - gada robežlielums (ziemas periodā); M_d – maksimālā astoņu stundu vidējā diennakts vērtība; n – mērījumi netika veikti; + - normatīvs pārsniegts; 0 – normatīvs nav pārsniegts; ^x – indikatīvie mērījumi ar difūzijas ierīcēm paraugu noņemšanai; * - mērķlielums, kuru atļauts pārsniegt vidēji 25 reizes gadā 3 gadu periodā; dots pārsniegumu skaits; ** - iedzīvotāju informēšanas rādītājs; M_h – mērķlielums veģetācijas aizsardzībai.

Rucavas novērojuma stacijā 2006., 2008. un 2010. gadā ozona vienas stundas vērtības laika posmā no 1. maija līdz 31. jūlijam AOT40 (M_h) indekss pārsniedza ilgtermiņa mērķi veģetācijas aizsardzībai (6000 µg/m³·h) (2.1.2. attēls).



2.1.2. attēls. Ozona ilgtermiņa mērķis veģetācijas aizsardzībai, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Gaisa kvalitātes novērtējums..., 2011)

Taču piecu gadu periodā no 2006. līdz 2010. gadam ozona piesārņojuma līmeņa AOT40 (M_n) indekss $6360 \mu\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ nepārsniedza noteikto robežlielumu veģetācijas aizsardzībai ($18000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$) (2.1.2. attēls) (Gaisa kvalitātes novērtējums..., 2011).

2.2. Izstrādātā matemātiskā fluktuācijas modeļa raksturojums

Visi aprēķini tika veikti MS Excel un, lai noteiktu ozona koncentrāciju Latvijā. Tam bija nepieciešami ozona mērījumi, kas tika iegūti no EMEP.int. Ozona mērījumu rezultāti tika analizēti un modelī iekļauti katrai stundai gada (2009) garumā, trūkstošie dati tika aizvietoti izmantojot lineārās interpolācijas metodi (nelielu iztrūkumu gadījumā, līdz 2 stundām), pārējos gadījumos trūkstošie dati aizvietoti izmantojot analogijas metodi.

Sākotnēji, pirms modelēšanas uzsākšanas, tika:

1. definēts lapu augšanas sezonas sākums (SGS)

Latvijas ģeogrāfiskā platuma grādos

$$105 + (50 - 37) * 1,5 = 124,5 \text{ diena}, \text{ kur} \quad (2.2.1.)$$

105 – lapu augšanas perioda sākums 37 N platuma grādos;

50 – vidējie ģeogrāfiskie platuma grādi Latvijā;

1,5 – pārrēķina koeficienta (Manual on Methodologies and Criteria for Modelling and Mapping Critical Loads & Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends)

2. definēts augšanas sezonas beigas (EGS)

$$297 + (50 - 37) * 8 = 271 \text{ diena}, \text{ kur} \quad (2.2.2)$$

297 – lapu augšanas perioda sākums 37 N platuma grādos;

50 – vidējie ģeogrāfiskie platuma grādi Latvijā;

8 – pārrēķina koeficienta (Manual on Methodologies and Criteria for Modelling and Mapping Critical Loads & Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends)

Latvijas likumdošanā SGS pieņemts no 1. maija, bet EGS līdz 31. jūlijam.

3. noteikta O₃ koncentrācija mežu virsotnē – 25 m (lapu), 20 m (skuju)

O₃ koncentrācijas aprēķini pēc tabulas metodes (2.2.1. tabula):

2.2.1. tabula

Piezemes ozona gradienti koncentrāciju pārrēķiniem dažādos augstumos (izstrādājusi

V. Zaharova, izmantojot Mills, 2011)

Mērīšanas augstums virs zemes [m]	O ₃ koncentrācijas gradienti mežiem (kur $z_1=0,1\text{m}$, $g_{\max}=270$ $\text{O}_3 / (\text{m}^2 * \text{PLAS} * \text{s})$)
25	1,04
20	1,0
10	0,99
5	0,97
4	0,97
3	0,96
2	0,95
1	0,92
0,5	0,89
0,2	0,83
0,1	0,74

Tā kā piezemes ozona koncentrācija ir dota mērvienībās $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 2m augstumā, vispirms tas jāpārrēķina uz *ppb* pēc formulas:

$$ppb = O_3 * \frac{T + 273,15}{0,57 * P}, \text{ kur} \quad (2.2.3)$$

O_3 – ozona koncentrācija, $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

T – atmosfēras gaisa temperatūra, $^{\circ}\text{C}$;

P – atmosfēras spiediens, hPa.

Pēc šī aprēķina var veikt piezemes ozona pārrēķinu 20m un 25m augstumā atkarībā no meža tipa pēc dotās tabulas un formulas:

$$O_3 \text{ konc}20\text{m} = \frac{O_3 \text{ konc}2\text{m} * 0,95}{O_3 \text{ konc.gradient}}, \text{ kur} \quad (2.2.4.)$$

Piemērs: Piezemes ozona konc 2m augstumā – 45,3ppb

Skuju koku mežiem - 20m:

$$O_3 \text{ konc}20\text{m} = 45,3 * 0,95 / 1 = 43 \text{ ppb}$$

Lapu koku mežiem - 25m:

$$O_3 \text{ konc}25\text{m} = 45,3 * 0,95 / 1,04 = 41,4 \text{ pbb}$$

Tā kā vēja ātrums arī noteikts 2m augstumā, tas jāpārrēķina 20m un 25m augstumā attiecīgajam meža tipam pēc formulas:

$$U_z = U_o * \left(\frac{z}{10}\right)^k, \text{ kur} \quad (2.2.5)$$

U_z – vēja ātrums pie z m augstuma, m/s;

U_o – vēja ātrums 2m augstumā, m/s;

z – m, pie kuriem jāveic pārrēķins (20m un 25m) (Mills, 2011),

k – **konstante** 0,125 (Manual on Methodologies and Criteria for Modelling and Mapping Critical Loads & Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends).

Piemērs: vēja ātrums 2m augstumā - 1 m/s

Skuju koku mežiem – 20m:

$$U_z = 1 * \left(\frac{20}{10}\right)^{0,125} = 1,1 \text{ m/s}$$

Lapu koku mežiem – 25m:

$$U_z = 1 * \left(\frac{25}{10}\right)^{0.125} = 1,12m / s$$

Lai noteiktu f_{light} , to aprēķina pēc formulas:

$$f_{light} = 1 - EXP((-light_a) * PFD), \text{ kur} \quad (2.2.6.)$$

light_a – **konstants** skuju koku mežiem - 0,006

lapu koku mežiem – 0,0042 (Manual on Methodologies and Criteria for Modelling and Mapping Critical Loads & Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends);

PFD – **konstants** 750 μmol/(m²*s) (Chen, 1993).

Piemērs: skuju koku mežiem:

light_a – konstants 0,006;

PFD – konstants 750 μmol/(m²*s)

$$f_{light} = 1 - EXP((-0,006) * 750) = 0,988m^2 / s$$

lapu koku mežiem:

light_a – konstants 0,0042;

PFD – konstants 750 μmol/(m²*s)

$$f_{light} = 1 - EXP((-0,0042) * 750) = 0,957m^2 / s$$

f_{temp} tiek aprēķināts pēc formulas:

$$f_{temp} = \max \left\{ f_{min}, \left[\frac{(T - T_{min})}{(T_{max} - T)} \right] * \left[\frac{(T_{max} - T)}{(T_{max} - T_{opt})} \right]^{bt} \right\} \text{ kur} \quad (2.2.7)$$

T – atmosfēras gaisa temperatūra, °C;

T_{min} – minimālā temperatūra, pie kuras iespējama augu augšana, skuju koku mežiem – 0 °C,

lapu koku mežiem – 5 °C;

T_{opt} – optimālā temperatūra, kas ir vislabvēlīgākā augšanas apstākļiem, skuju koku mežiem – 20 °C,

lapu koku mežiem – 20 °C;

T_{max} – maksimālā temperatūra, ko spēj izturēt augi augšanas apstākļiem, skuju koku mežiem – 200 °C,

lapu koku mežiem – 200 °C; (Mills, 2011).

Piemērs: skuju koku mežiem;

f_{\min} – konstants 0,1

T – 14,9 °C

T_{\min} – 0 °C

T_{opt} – 20 °C

T_{\max} – 200 °C

$$f_{temp} = 14,9 < 0;0,1; ((14,9 - 5)/(20 - 5)) * (((200 - 14,9)/(200 - 20))^9 = 1^{\circ} C$$

lapu koku mežiem;

f_{\min} – konstants 0,1

T – 14,9 °C

T_{\min} – 5 °C

T_{opt} – 20 °C

T_{\max} – 200 °C

$$f_{temp} = 14,9 < 5;0,1; ((14,9 - 5)/(20 - 5)) * (((200 - 14,9)/(200 - 20))^{12} = 0,92^{\circ} C$$

f_{VPD} aprēķina pēc formulas:

$$f_{VPD} = \min \left\{ 1, \max \left\{ f_{\min}, \left((1 - f_{\min}) * \frac{(VPD_{\min} - VPD)}{(VPD_{\min} - BPD_{\max})} \right) + f_{\min} \right\} \right\}, \text{ kur} \quad (2.2.8.)$$

f_{\min} – konstants 0,1

VPD – konstants 1 kPa; (Manual on Methodologies and Criteria for Modelling and Mapping Critical Loads & Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends);

VPD_{\min} – minimālais apkārtējās vides spiediens atvārsnītēs, kPa;

VPD_{\max} – maksimālais apkārtējās vides spiediens atvārsnītēs, kPa (Mills, 2011).

Piemērs: skuju koku mežiem;

f_{\min} – konstants 0,1

VPD_{\min} – 2,8 kPa

VPD – konstants 1 kPa

VPD_{\max} – 0,8 kPa

$$f_{VPD} = ((1 - 0,1) * ((2,8 - 1)/(2,8 - 0,8))) + 0,1 = 0,91 kPa$$

lapu koku mežiem;

$$f_{\min} = 0,1$$

$$VPD_{\min} = 2,7 \text{ kPa}$$

VPD – konstants, 1 kPa

$$VPD_{\max} = 0,5 \text{ kPa}$$

$$f_{VPD} = ((1 - 0,1) * ((2,7 - 1) / (2,7 - 0,5))) + 0,1 = 0,795 \text{ kPa}$$

g_{sto} aprēķina pēc formulas:

$$g_{sto} = g_{\max} * [\min(f_{phen}, f_{O_3})] * f_{light} * \max\{f_{temp} * f_{VPD} * f_{SWP}\}, \text{ kur} \quad (2.2.9)$$

g_{\max} – **konstants**, skuju koku mežiem - 112 mmol O_3/m^2 , lapu koku mežiem - 196 mmol O_3/m^2 (Manual on Methodologies and Criteria for Modelling and Mapping Critical Loads & Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends);

f_{phen} – raksturlielums, kas atkarīgs no veģetācijas perioda, diena;

f_{light} – gaismas pieejamība veģetācijai, $1/(m^2*s)$;

f_{temp} – temperatūras ietekme uz veģetāciju, $1^\circ C$;

f_{VPD} – apkārtējās vides spiediens uz atvārsnītēm, kPa;

f_{SWP} – ūdens pieejamība augiem, % (Mills, 2011).

Piemērs: skuju koku mežiem;

$$g_{\max} = 112 \text{ mmol } O_3/m^2$$

$$f_{phen} = 0,8 \text{ dienas}$$

$$f_{light} = 0,988 \text{ } 1/(m^2*s)$$

$$f_{temp} = 1^\circ C$$

$$f_{VPD} = 0,910 \text{ kPa}$$

$$f_{SWP} = 0,55 \%$$

$$g_{sto} = 112 * 0,8 * 0,988 * 1 * 0,910 * 0,55 = 44,3 \text{ mmol } O_3 / (m^2 * PLA * s)$$

lapu koku mežiem;

$$g_{\max} = 196 \text{ mmol } O_3 / m^2$$

$$f_{phen} = 0,8 \text{ dienas}$$

$$f_{light} = 0,957 \text{ } 1/(m^2*s)$$

$$f_{temp} = 0,92^\circ C$$

$$f_{VPD} = 0,795 \text{ kPa}$$

$f_{\text{SWP}} = 0,55 \%$

$$g_{\text{sto}} = 196 * 0,8 * 0,957 * 0,92 * 0,795 * 0,55 = 65,6 \text{mmolO}_3 / (\text{m}^2 * \text{PLA} * \text{s})$$

Tā kā aprēķins g_{sto} tika veikts mērvienībās $\text{mmolO}_3 / (\text{m}^2 * \text{PLA} * \text{s})$, tās jāpārrēķina uz $\text{m/s} - g_{\text{sto}} / 41000$.

Piemērs: skuju koku mežiem;

$$\frac{44,3 \text{mmolO}_3 / (\text{m}^2 * \text{PLA} * \text{s})}{41000} = 0,001 \text{m/s}$$

Lapu koku mežiem;

$$\frac{65,5 \text{mmolO}_3 / (\text{m}^2 * \text{PLA} * \text{s})}{41000} = 0,002 \text{m/s}$$

g_{ext} aprēķina pēc formulas:

$$g_{\text{ext}} = \frac{1}{2500} \quad (2.2.10.)$$

Piemērs:

$$g_{\text{ext}} = \frac{1}{2500} = 0,0004 \text{m/s}$$

r_c aprēķina pēc formulas:

$$r_c = \frac{1}{(g_{\text{sto}} + g_{\text{ext}})}, \text{ kur} \quad (2.2.11)$$

g_{sto} – atvārsnīšu vadītspēja, m/s ;

g_{ext} – veģetācijas spēja pretoties nelabvēlīgos apstākļos, m/s (Mills, 2011)

Piemērs: skuju koku mežiem;

$g_{\text{sto}} = 0,001 \text{m/s}$

$g_{\text{ext}} = 0,0004 \text{m/s}$

$$r_c = 1 / (0,001 + 0,0004) = 714 \text{s/m}$$

Lapu koku mežiem;

$g_{\text{sto}} = 0,002 \text{m/s}$

$g_{\text{ext}} = 0,0004 \text{m/s}$

$$r_c = 1 / (0,002 + 0,0004) = 416 \text{s/m}$$

r_b aprēķina pēc formulas:

$$r_b = 1,3 * 150 * \sqrt{L} * \text{vēja ātrums, kur} \quad (2.2.12)$$

L – lapu projektīvais segums, cm

Piemērs: skuju koku mežiem;

Vēja ātrums – 1,1 m/s

L – 0,8 cm

$$r_b = 1,3 * 150 * \sqrt{0,8 * 1,1} = 181,3 \text{ s/m}$$

Lapu koku mežiem;

Vēja ātrums – 1,12 m/s

L – 5 cm

$$r_b = 1,3 * 150 * \sqrt{5 * 1,12} = 460,2 \text{ s/m}$$

F_{st} aprēķina pēc formulas:

$$F_{st} = c(z_1) * g_{sto} * \frac{1}{r_b + r_c}, \text{ kur} \quad (2.2.13.)$$

$c(z_1)$ – **konstants 1** (Manual on Methodologies and Criteria for Modelling and Mapping Critical Loads & Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends);

g_{sto} – atvārsnīšu vadītspēja, m/s;

r_b – kvazilaminārā pretestība, s/m;

r_c – projektīvā seguma pretestība, s/m (Mills, 2011)

Piemērs: skuju koku mežiem;

$c(z_1)$ – konstants 1

g_{sto} – 0,001 mmol O₃ / (m² * PLA * s)

r_b – 181,3 s/m

r_c – 714 s/m

$$F_{st} = 1 * 0,001 * \frac{1}{181,3 + 714} = 0,002 \text{ nmol O}_3 / (\text{m}^2 * \text{PLA} * \text{s})$$

Piemērs: lapu koku mežiem;

$c(z_1)$ – konstants 1

g_{sto} – 0,002 mmol O₃ / (m² * PLA * s)

$r_b - 460,2 \text{ s/m}$

$r_c - 416 \text{ s/m}$

$$F_{st} = 1 * 0,002 * \frac{1}{460,2 + 416} = 0,003 \text{ nmol O}_3 / (\text{m}^2 * \text{PLA} * \text{s})$$

Y aprēķina pēc formulas:

$$Y = \frac{F_{st}}{3600}, \text{ kur} \quad (2.2.14.)$$

F_{st} – ozona uzņemšanas intensitāte, $\text{nmol O}_3 / (\text{m}^2 * \text{PLA} * \text{s})$ (Mills, 2011)

Piemērs: skuju koku mežiem;

$F_{st} - 0,002 \text{ nmol O}_3 / (\text{m}^2 * \text{PLA} * \text{s})$

$$Y = 0,002 / 3600 = 5^{-7} \text{ nmol O}_3 / (\text{m}^2 * \text{PLA} * \text{h})$$

Piemērs: lapu koku mežiem;

$F_{st} - 0,003 \text{ nmol O}_3 / (\text{m}^2 * \text{PLA} * \text{s})$

$$Y = 0,003 / 3600 = 8^{-7} \text{ nmol O}_3 / (\text{m}^2 * \text{PLA} * \text{h})$$

$POD_y = AF_{st}Y$ aprēķina pēc formulas:

$$POD_y = AF_{st}Y = Y * 3600, \text{ kur} \quad (2.2.15.)$$

Y – piezemes ozona koncentrācijas lielums, $\text{nmol O}_3 / (\text{m}^2 * \text{PLA} * \text{h})$ (Mills, 2011)

Piemērs: skuju koku mežiem;

Y – $5^{-7} \text{ nmol O}_3 / (\text{m}^2 * \text{PLA} * \text{h})$

$$POD_y = AF_{st}Y = 5^{-7} * 3600 = 0,0018 \text{ mmol} / (\text{m}^2 * \text{PLA})$$

Piemērs: lapu koku mežiem;

Y – $8^{-7} \text{ nmol O}_3 / (\text{m}^2 * \text{PLA} * \text{h})$

$$POD_y = AF_{st}Y = 8^{-7} * 3600 = 0,00288 \text{ mmol} / (\text{m}^2 * \text{PLA})$$

Par normu tiek uzskatīts $1,6 \text{ mmol} / (\text{m}^2 * \text{PLA})$, iegūtie rezultāti pēc piemēra rāda, ka piezemes ozona kritiskā slodze nav pārsniegta ne skuju koku mežos, ne lapu koku mežos.

2.3. AOT40 metodes aprēķins

Darbā tika izmantota arī ATO40 metode, kuru aprēķina laika posmā no 1. maija līdz 31. jūlijam, kas ir starpību summa starp vienas stundas koncentrāciju vērtību, kas ir lielāka par $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (40 ppb) un koncentrācijas vērtību $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, izmantojot tikai vienas stundas vērtības, ko mēra katru dienu laikposmā no plkst. 8.00 līdz 20.00 pēc Viduseiropas laika (izsaka $\mu\text{g}/\text{m}^3 \times \text{h}$) (Noteikumi par kopējo..., 2011).

Latvijas likumdošanā noteikts, ka ATO40 koncentrācija nedrīkst pārsniegt 5 ppb, pēc piemēra redzams, ka piezemes ozona koncentrācija ir tuvu noteiktajam robežlielumam.

2.4. Ģeomātikas metodes (GIS)

Ar ģeogrāfiskās informācijas sistēmas ESRITM ArcGIS (10. versija) programmatūras palīdzību tika izveidotas kartes, kurās attēlotas piezemes ozona koncentrācijas dažādos meža apgabalos, kā kartes pamatne izmantota - Corine Land Cover (2006).

Corine land Cover ir ģeogrāfisks zemes pārklājums / zemes izmantojuma datubāze, kas aptver lielāko daļu Eiropas valstis. Ar šīs programmas palīdzību ir plānots apkopot un izvērtēt informāciju par galvenajām ar vidi saistītām problēmām, piemēram, gaisa piesārņojums, piekrastes erozija, u.c.

Eiropas Komisija 1985. gadā ierosināja uzsākt precīzu un viegli pieejamu informāciju par zemes segumu Eiropā. Corine Land Cover raksturo zemes seguma un zemes izmantošanu saskaņā ar nomenklatūras 44 klasēm, kas sadalīti līmeņos:

1. līmenis atbilst galvenajai zemes seguma / zemes izmantošanai, kas ir – mākslīgās teritorijas, lauksaimniecības zemes, meži, mitrenes, ūdens virsmas.
2. līmenis aptver fizisko un fizionomisko subjektu augstāku detalizācijas pakāpi (pilsētas zonas, meži, ezeri, u.c.)

Corine Land Cover tika izstrādāts balstoties uz vizuālo interpretāciju satelītattēlu (SPOT, LANDSAT TM un MSS). Kartes precizitāte ir 1 m (The European Commission, 2002).

3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

3.1. Rezultātu ticamības novērtējums un nenoteiktības avoti

1. modelēšanas rezultātu salīdzināšana veikta izmantojot EMEP novērojumus un modelēšanas rezultātus.
2. modeļa izstrādes gaitā konstatēti vairāki iespējamie kļūdu avoti, kā arī nepilnības
 - jaukta tipa mežu klase;
 - modeli nepieciešams testēt uz dažādiem parametriem, lai novērtētu modeļa precizitāti;
 - visi aprēķina piemēri tika ņemti pēc vienas publikācijas (Mills, 2011), taču tā kā nebija publikācijā uzrādīts PFD – fotonu plūsmas blīvuma lielums, tas tika pieņemts no citas publikācijas (Chen, 1993);
 - tā kā netika izdalīti un veikti aprēķini jauktu koku mežiem, tika pieņemti normatīvi starp skuju un lapu koku mežiem. Tā kā lapu koku mežiem normatīvajos aktos noteiktais robežlielums ir $4 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{PLA})$, bet skuju koku mežiem $8 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{PLA})$, tika pieņemts, ka lapu koku mežiem tas ir $6 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{PLA})$, jo modeli ir grūti pielietot jaukto tipu mežiem;
 - Corine Land Cover precizitāte ir 1 m;
 - Ozona piesārņojuma ietekmes novērtēšanā parasti tiek lietotas dažādas metodes un kritēriji, piemēram, AOT40 kritērijs, SOMO35 kritērijs un citi. Populārākās un biežā izmantotās metodes ir:
 - o ozona fototoksiskās dozas kritērija metode;
 - o AOT40 metode;
 - o redzamo bojājumu novērtēšanas metode (Mills, 2011).

Ozona fototoksiskās dozas kritērija metodes raksturojums:

Novērtējot ozona piesārņojuma radīto ietekmi tiek ņemta vērā apkārtējā gaisa temperatūra, mitruma iztvaikošanas intensitāte, saules intensitāte, augsnes ūdens potenciāls vai veģetācijai pieejamais ūdens daudzums, ozona koncentrācijas un augu attīstības (fenoloģijas) fāzes. Šāda veida modelēšanas metode ļauj noteikt katrai sugai raksturīgu unikālu kritisko ozona piesārņojuma daudzumu, kas var iekļūt caur apvārsnītēm. Vidējā tūlītējā ozona plūsma apvārsnītēs tiek projicēta visas lapas laukumā, tā tiek raksturota izmantojot rādītāju F_{st} ($\text{nmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{PLA} \cdot \text{s})$). Uzkrātā fitotoksiskā ozona doza, kas pārsniedz

ozonam noteikto kritisko līmeni tiek raksturota ar rādītāju POD_Y (dažkārt tiek izmantots arī rādītājs $Afst_Y$, kurš praktiski apzīmē to pašu), kurš noteikts konkrētam laika periodam. Ozona kritiskais līmenis ir noteikts dažādām veģetācijas formām (dažāda tipa mežiem, daļēji dabiskai veģetācijai), arī kultūraugiem - kviešiem, kartupeļiem, tomātiem. Metodes pielietojums ir visai plašs, gan vietējā, gan reģionālā mērogā ir iespējams noteikt apdraudējumu dažādiem kultūraugiem, ikgadējo masas pieauguma samazinājumu koksnei, lokālu meteoroloģisko apstākļu un ozona piesārņojuma ietekmi uz zālājiem un to pieejamību lopbarībai. Bez tam, šī metode nereti tiek izmantota ekonomisko zaudējumu aprēķiniem..

Ozona koncentrāciju (AOT40) metodes raksturojums:

Metodes pamatā ir pieņēmums, ka ozona piesārņojuma koncentrācijas nedrīkst pārsniegt noteiktu sliekšni definētā laika periodā. Atkarībā no receptora tipa, šie koncentrāciju sliekšņi ir noteikti katram tipam unikāli, visbiežāk tiek izmantoti šādi normatīvie lielumi – 30 ppb, 40 ppb, attiecīgi ieviešot novērtēšanas kritēriju AOT30 vai AOT40. Attiecīgi gada laikā tiek vērtēts stundu skaits, kad novērots noteiktais ozona kritiskā līmeņa pārsniegums. Šāda veida metodes bieži tiek pielietotas potenciālo postījumu risku noteikšanai, gadījumos, kad nav pieejami meteoroloģiskie rādītāji, bet tos nevar pielietot ekonomisko zaudējumu novērtēšanai.

Redzamo bojājumu novērtēšanas metode:

Metode tiek izmantota tikai gadījumos, lai noteiktu īstermiņa kritisko līmeni redzamu kultūras augu bojājumus. Šī metode faktiski ir modificēta AOT_x metode, kura papildināta ar bioloģiskiem rādītājiem, tā pielietojama iespējamo redzamo ozona kaitējumu novērtēšanā veģetācijā, jo īpaši lapu un dārzeņu kultūrām, lai noteiktu ekonomiskos zudumus. Metode nav pielietojama ozona piesārņojuma ietekmes vērtēšanai uz mežiem.

3.2. Piezemes ozona modelēšanas rezultāti

Veicot piezemes ozona piesārņojuma kritisko līmeņu modelēšanu Latvijā pēc fototoksiskā ozona dozas kritērija, iegūtie rezultāti apliecināja, ka pārrobežu piesārņojuma un specifisku lokālu apstākļu rezultātā meža veģetācija Latvijā ir pakļauta paaugstinātam ozona piesārņojuma riskam.

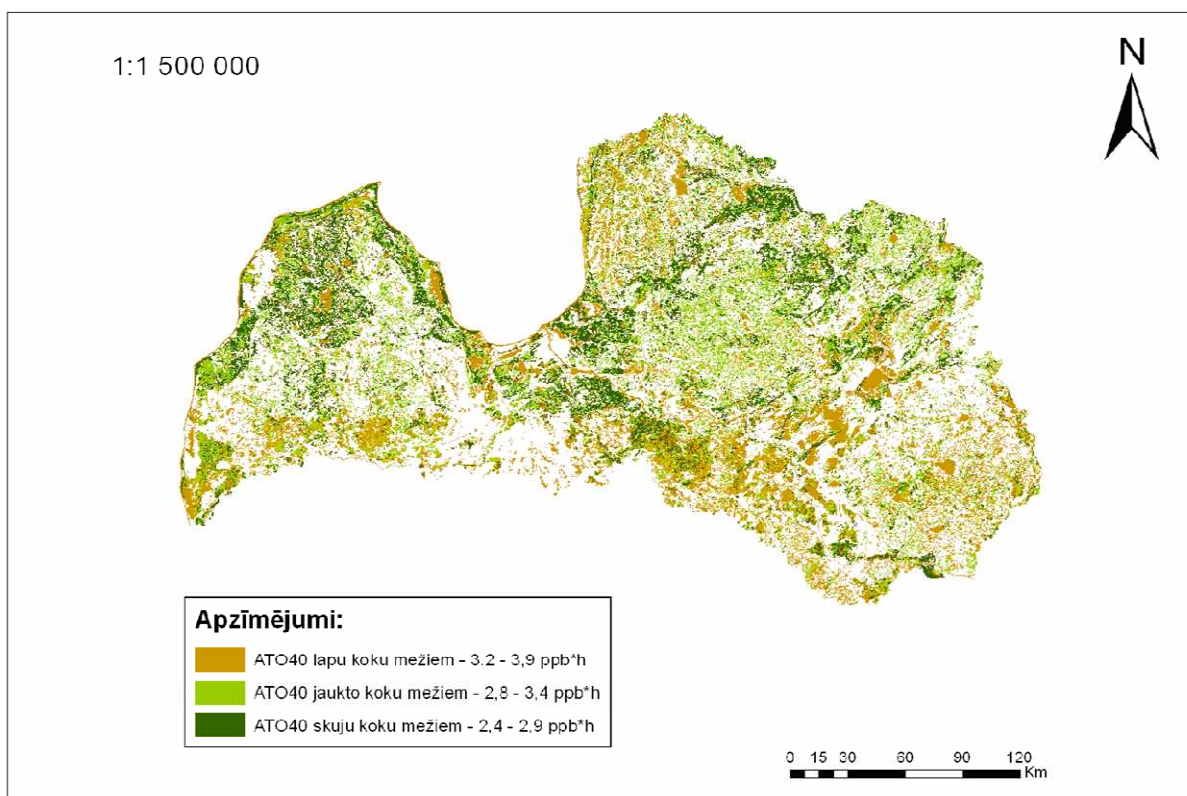
Latvijas meža veģetācija tika sadalīta 3 klasēs, atbilstoši Corine Land Cover klasifikācijas sistēmai:

1. skuju koku meži;
2. lapu koku meži;
3. jaukta tipa meži.

Modelēšanā ievērtēto skuju koku poligonu izmēri mainījās robežās no 8,36 līdz 14750,5 ha, kopumā modelēšana veikta 5671 poligonam, kuru kopējā platība ir 929174 ha. Lapu koku poligonu gadījumā apgabalu platība bija robežās no 11,7 ha līdz 21615 ha, kopējā platība 1069713,4 ha, bet kopumā izvērtēti 10039 poligoni. Jaukta tipa mežiem poligonu robežas mainās no 9,8 ha līdz 9503 ha, to kopējā platība 1180246,6 ha, poligonu skaits – 9542. Izvērtējot meža poligonu sadalījumu, konstatēts, ka jaukta tipa meža poligoniem raksturīga liela sadrumstalotība, savukārt to kopējā platība aizņem aptuveni 37 % no kopējās mežu platības.

Pēc AOT40 metodes rezultātiem redzams, ka ozona piesārņojums ir robežās no 2,4 ppm*h līdz 3,9 ppm*h (3.2.1. attēls). Tātad, salīdzinot ar noteikto normatīvu (5 ppm*h), meži nav pakļauti paaugstinātam ozona piesārņojumam un situācija vērtējama kā apmierinoša. Analizējot iegūtos rezultātus redzams, ka augstākai ozona piesārņojuma ietekmei pakļauti lapu koku meži, savukārt zemākā ietekme novērojama uz skuju koku mežiem. Šī novērtēšana metode uzskatāma par vienu no vienkāršākajām metodēm, tomēr, jāņem vērā, ka šādi novērtēta ozona ietekme nebūtu uzskatām par pietiekami precīzu, jo netiek ņemti vērā dažādi faktori:

- receptoru bioloģiskās īpatnības;
- lokālie meteoroloģiskie apstākļi ievērtēti tikai netieši;
- AOT40 rādītāja aprēķiniem netiek ņemts vērā ozona piesārņojuma vertikālais profils, novērtējums bieži vien tiek veikts izmantojot ozona koncentrāciju mērījumus 2 m augstumā, lai gan korektāk būtu izmantot ozona koncentrācijas 20 m un 25 m augstumā;
- atšķiras ekspozīcijas periodu izvēle, saskaņā ar Latvijas likumdošanu AOT40 rādītājs tiek noteikts ekspozīcijas periodam no maija līdz jūlijam, savukārt starptautiskā līmenī šis periods atšķiras, bieži vien tiek izmantots laika periods no maija līdz septembrim, kas apgrūtinā rezultātu salīdzināšanu un vērtēšanu.



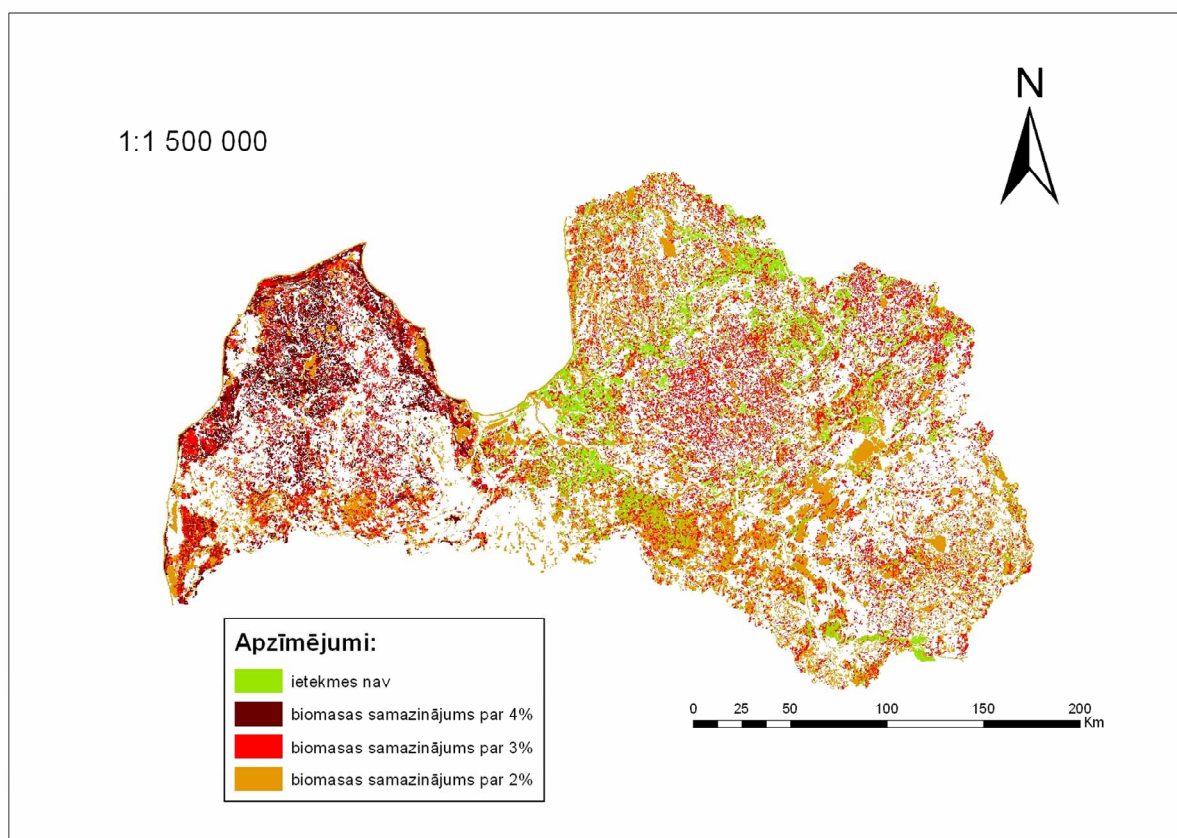
3.2.1. attēls. AOT40 modeļēšanas rezultāti (izstrādājusi V.Zaharova, kartes pamatne – Corine Land Cover, 2006)

Izvērtējot rezultātus pēc fototoksiskā ozona dozas kritērija, redzams, ka paaugstinātam piezemes ozona piesārņojumam riskam ir pakļauti lapu koku apgabali (3.2.2. attēls). Cita veida situācija vērojama skuju koku mežu apgabalos, - paaugstinātam ozona piesārņojuma riskam šie meža apgabali nav pakļauti Latvijas centrālajā un austrumu daļā.

Modelēšanas rezultāti izvērtēti vadoties no šādiem noteiktiem robežlielumiem:

- skuju koku mežu apgabaliem - $8 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{PLA})$;
- lapu koku mežu apgabaliem - $4 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{PLA})$
- jaukta tipa mežu apgabaliem - $6 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{PLA})$.

Prognozējams, ka paaugstināta ozona piesārņojuma ietekme izpaužas kā ikgadējs koku biomasas pieauguma samazinājums, pārsniedzot noteiktos normatīvus tas ir 2 % un 4 % attiecīgi skuju un lapu kokiem. Jaukta tipa meža poligonu gadījumā pieņemts vidējais biomasas samazinājuma rādītājs – 3 %.



3.2.2. attēls. **Piezemes zona pārsniegumi** (izstrādājusi V. Zaharova, kartes pamatne – Corine Land Cover, 2006)

Konstatēts, ka ozona piesārņojuma dēļ lielākais biomasas samazinājums sagaidāms Latvijas rietumu daļā, neatkarīgi no meža klases. Izvērtējot ozona piesārņojuma ietekmi ilgtermiņā, prognozējams, ka faktiski ozona koncentrācijas atmosfēras gaisā nav mainījušās (pēc EMEP novērtējuma rezultātiem) (3.2.1. tabula), līdz ar to iespējams secināt, ka mežu veģetācija jau ilgtermiņā ir bijusi pakļauta paaugstinātam ozona piesārņojuma līmenim, līdz ar to biomasas pieauguma samazinājums varētu būt pat lielāks.

Starptautiskā līmenī ozona piesārņojuma ietekme bieži vien tiek kartēta lielākā mērogā, biežāk izmantotais ir EMEP ģeogrāfiskais tīkls, kur katra kvadrāta izmēri ir 50 km × 50 km. Līdz ar to ozona fototoksiskās dozas pārrēķins tika veikts vadoties no ozona piesārņojuma daudzuma un dažādu klašu mežu sadalījuma, aprēķinu rezultāti doti Pielikumā (Pielikums Nr.1), kartēšanas rezultāti - 3.3. attēlā.

Veicot kartēšanu pēc EMEP ģeogrāfiskā tīkla sadalījuma vienībās, var skaidri redzēt piezemes ozona pārsnieguma teritorijas (3.2.3. attēls).

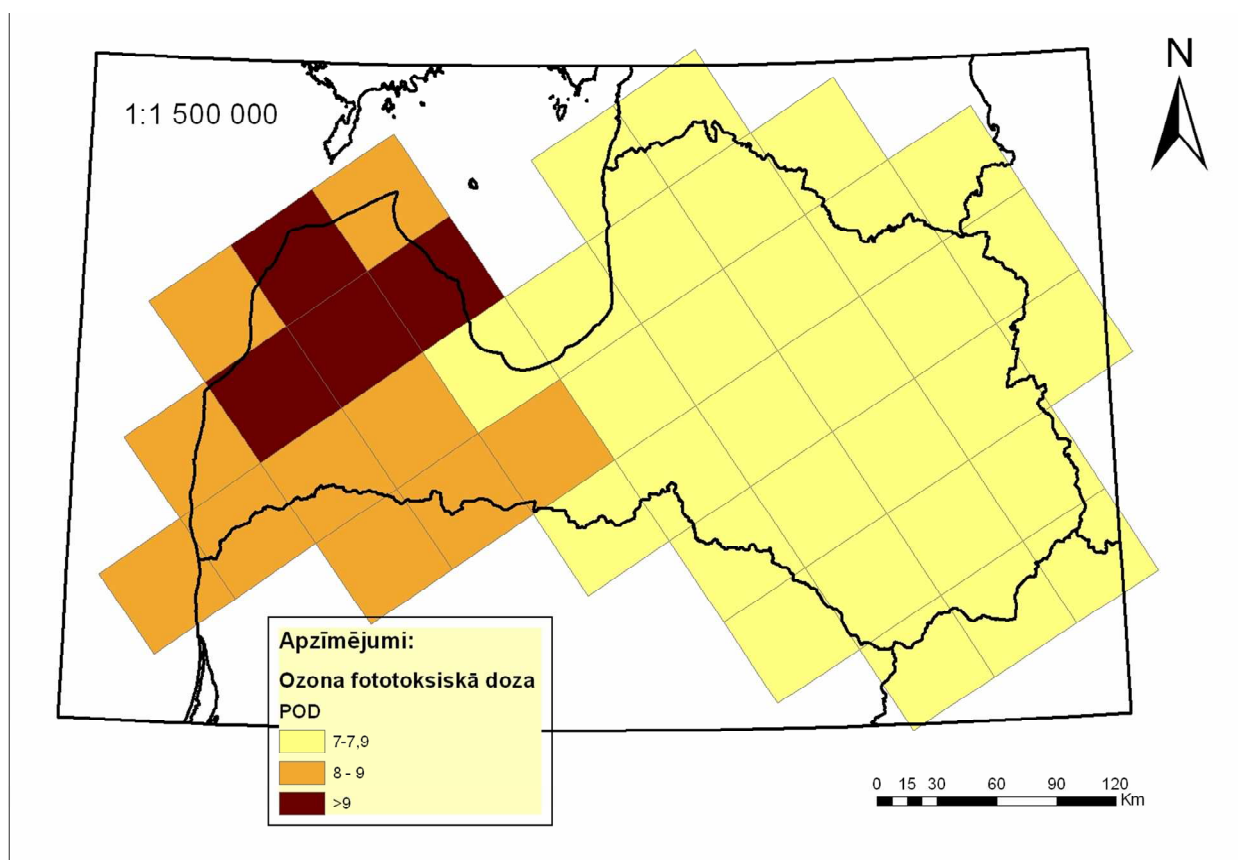
Ikgadējās gaisa kvalitātes rādītāji Latvijā (Klein et al., 2011)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Vidējā piezemes ozona koncentrācija	32	31	32	31	31	31	31	31	31	31
Maksimālā piezemes ozona koncentrācija	38	38	38	38	38	37	37	37	37	37
AOT40_f^{uc}	9865	9368	9257	9110	9084	8890	9085	8957	8654	7991
POD_{1.0,gen-DF}	28	28	28	28	28	28	28	28	28	27

Mērvienības:

vidējā piezemes ozona koncentrācija – ppb, maksimālā piezemes ozona koncentrācija – ppb;

AOT40_f^{uc} - ppb*h, POD_{1.0,gen-DF} – mmol/m².

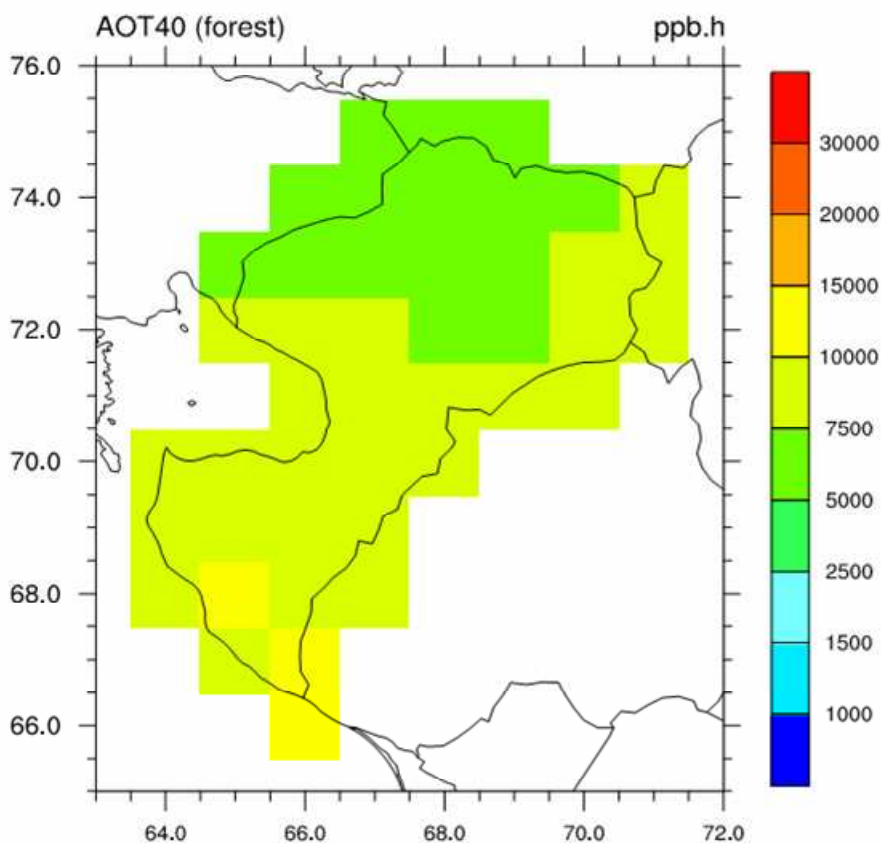


3.2.3. attēls. Piezemes ozona pārsnieguma kartēšana pēc EMEP (izstrādājusi V. Zaharova, kartes pamatne Corine Land Cover, 2006)

Vislielākie piezemes ozona pārsniegumi ir novērojami Kurzemē (EMEP kvadrāti 64/69, 65/68, 65/69 un 65/70), bijušajos Ventspils, Talsu un Kuldīgas rajonos.

Pēc EMEP nav pieņemts, ka piezemes ozona kritiskās dozas kartē uz atsevišķiem poligoniem, bet EMEP noteiktu kvadrātu tīklu. Karšu veidošana tiek balstīta izmantojot aprēķinātās kritiskās slodzes nacionālā līmenī. Salīdzinot iegūtos ATO40 metodes datus ar EMEP datiem var redzēt, ka arī EMEP kartē (3.2.4. attēls) tiek attēlots, ka piezemes ozona koncentrācijas arī netiek pārsniegtas.

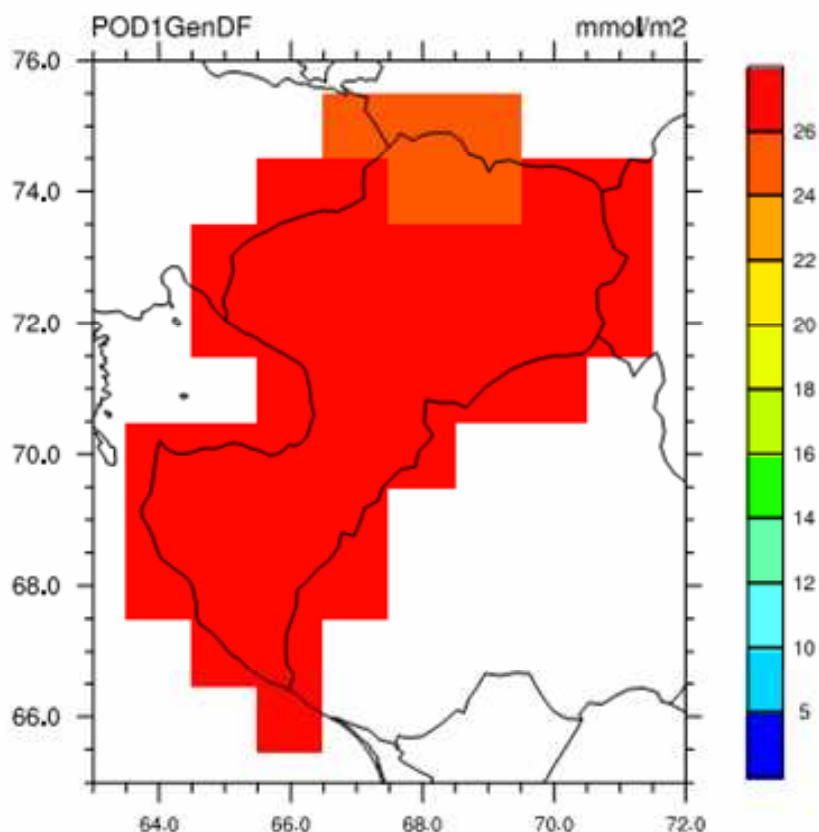
Ir grūti salīdzināt iegūtos datus ar EMEP datiem, jo Latvijas likumdošanā augšanas sezona ir no 1. maija līdz 31. jūlijam, bet EMEP noteiktā augšanas sezona ir jau no 1. aprīļa līdz pat 30. septembrim. Salīdzinot iegūtos rezultātus ar EMEP rezultātiem, var secināt, ka EMEP rezultāti rāda piezemes ozona koncentrācijas pārsniegumus. Diemžēl netiek uzrādīts kāds diennakts laiks ir ņemts aprēķinos.



3.2.4. attēls. AOT40 modelēšanas rezultāti pēc EMEP datiem (Klein et al., 2011)

Kā arī var redzēt, ka pārsniegumi ir gandrīz visā teritorijā, taču grūti izšķirt uz kādu meža tipu iegūtie rezultāti attiecas. Pēc manas veiktās kartēšanas metodes ir skaidri izdalītas mežu klases un šajās meža klasēs konkrētās piezemes ozona koncentrācijas. Taču pēc EMEP datiem šādi apzīmējumi netiek izdalīti, bet attēlots, ka gandrīz visa Latvijas teritorija ir

pakļauta piezemes ozona koncentrācijas paaugstināšanai. Līdz ar to uzskatu, ka lielāka precizitāte ir piezemes ozona kartēšanai uz atsevišķiem meža poligoniem.



3.2.5. attēls. Piezemes zona pārsniegumi pēc EMEP datiem (Klein et al., 2011).

Taču salīdzinot DO₃SE metodes modelēšanas rezultātus ar EMEP dotajiem rezultātiem (3.2.5. attēls) konkrēti uz skuju koku mežiem, rezultāti rāda, ka visa teritorija ir pakļauta piezemes ozona pārsniegumam. Pēc maniem iegūtajiem rezultātiem šī robeža svārstās no 7,15 – 8,56 mmol/(m²*PLA). Kā arī savā darbā izmantoju jaunākos User Manual ievades datus (2009), bet EMEP izmanto novecojošāku variantu (2003). Līdz ar to, ka ievades lielumi mainās, tāpēc arī rezultātos ir ievērojamas šādas atšķirības.

Apkopojot iegūtos rezultātus var secināt, ka vajadzētu īpaši izvērtēt situāciju Latvijā par piezemes ozona pārsniegumiem, jo pārsniegumi būtiski ietekmē meža biomasu.

SECINĀJUMI

1. Pārrobežu piesārņojuma problēma ir novērojama visā Eiropā, tomēr nereti (kā tas ir piezemes ozona gadījumā) piesārņojuma izcelsmes avots ir ārpus konkrētās valsts robežām. Galvenie ozona piesārņojumu veicinošie faktori ir slāpekļa un gaistošo organisko savienojumi, kas tiek saukti par ozona prekursoriem. Latvijas gadījumā šo prekursoru izcelsme ir Centrāleiropas valstis.
2. Ozona piesārņojuma ietekmes novērtēšanai tiek izmantotas vairākas atšķirīgas metodes, kuru rezultāti nereti ir pretrunīgi un atšķirīgi traktējami.
3. Saskaņā ar modelēšanas rezultātiem konstatēts, ka mežu veģetācija paaugstinātam ozona piesārņojuma riskam pakļauta praktiski visā Latvijas teritorijā (pēc ozona fototoksiskās dozas kritērija principa). Augstākam ozona piesārņojuma riskam pakļautas praktiski visas mežu teritorijas Ziemeļkurzemē. Saskaņā ar zināšanām par ozona piesārņojuma ietekmi uz mežu veģetāciju un modelēšanas rezultātiem, var secināt, ka ikgadējais biomasas pieauguma samazinājums lapu koku mežos sasniegs 4 %, bet skuju koku mežos 2 %.
4. Atšķirīgi ir AOT40 metodes rezultāti, konstatēts, ka ozona piesārņojuma līmenis ir normas robežās un nepārsniedz noteikto robežlielumu 5000 ppb*h, lai arī Kurzemes reģionā lapu koku apgabalos noteiktā ozona koncentrāciju ir relatīvi tuvu normatīvam.
5. Modelēšanā iegūto rezultātu salīdzinājums ar EMEP novērtējuma (mērījumu un modelēšanas) rezultātiem ir praktiski neiespējams atšķirīgo metodoloģisko nostādņu dēļ, jo nereti tiek izmantoti atšķirīgi ekspozīcijas laiki, netiek ņemts vērā ozona koncentrāciju vertikālais profils, netiek ņemtas vērā sezonālās īpatnības, dažkārt EMEP publicētajos materiālos pat netiek uzrādīti modeļu ievades kritēriji.
6. Konstatētas vairākas problēmas modeļu izstrādes un rezultātu apstrādes gaitā, - mežu klasifikācija ir pārāk robusta, t.i. tiek izdalītas tikai 3 klasēs:
 - skuju koku meži;
 - lapu koku meži;
 - jaukta tipa meži, bez tam jaukta tipa mežu klase ir grūti aprakstāma, tai nav zināms kvantitatīvais sastāvs.
7. Veicot šāda tipa modelēšanu nav pieņemts, ka piezemes ozona kritiskās dozas kartē uz atsevišķiem poligoniem, bet gan EMEP noteiktu poligonu tīklā. Šāds pieņēmums nereti var veicināt reālās situācijas dramatisēšanu, jo ja kādā poligonā ir vismaz 50 % normatīva pārsniegumu, šis pārsniegums attiecināms uz visu poligonu.

8. Pēc EMEP novērojumiem piezemes ozona piesārņojuma ietekmes ilgtermiņā nav būtiski mainījušās. Līdz ar to var secināt, ka mežu veģetācija jau ilgtermiņā ir bijusi pakļauta paaugstinātam piezemes ozona piesārņojumam.
9. Turpmākai sekmīgai ozona piesārņojuma novērtēšanas metožu izmantošanai lietderīgi būtu novērtēt dažādu parametru ietekmi uz rezultātu, veikt jutības testēšanu.

Izmantotā literatūra

Atkinson, R., 2000. *Atmospheric chemistry of VOC and NOx*. Atmospheric Environment 34, 2063-2101

2101Auniņš, A., 2010. *Eiropas Savienības aizsargājami biotopi Latvijā*. Noteikšanas rokasgrāmata. Latvijas Dabas fonds, Rīga, 229.-273.

Barkman, A., 1998. *Critical loads – assessment of uncertainty*. Lund University, Department of Chemical Engineering II. Doctoral thesis, Lund, Sweden, 48.

Broks, J., 2003. *Meža enciklopēdija*. 1.sēj. Apgāds "Zelta grauds", Rīga, 32; 153; 189; 266; 282 - 283; 300; 368.

Bušs M., Laiviņš M., 1995. *Enciklopēdija „Latvija un Latvieši, Latvijas Daba*. Izdevniecība „Latvijas enciklopēdija”, 244. – 245.

Chen, J.M., Black, T.A., Price, D.T., Carter, E.R., 1993. *Model for Calculating Photosynthetic Photon Flux Densities in Forest Openings on Slopes*. Journal of Applied Meteorology. Volume 32,

Cofala, J., Amann, M., Klinton, Z., Kupiainen, K., and Höglundlsaksson, L., 2007. *Scenarios of global antropogenic emissions of air pollutants and methane until 2030*. Atmospheric Environment 41, 8486 – 8499.

Denman, K.L., Solomon, S.D., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. and Miller, H.L., 2007. *Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry*. In Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, UK.

Derwent, R.G., Jenkin, M.E., Saunders, S.M., Pilling, M.J., Simmonds, P.G., Passant, N.R., Dollard, G.J., Dumitrescu, P., Kent, A., 2003. *Photochemical ozone formation in North West Europe and its control*. Atmospheric Environment 37 (14), 1983–1991.

Finlayson-Pitts, B.J., Pitts, J.N., 1999. *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere*. Academic Press, Canada.

Elvingson P., Ågren C., 2004. *Air and the Environment*. The Swedish NGO secretariat on acid rain. 115.-119.

Emberson, L.D., Simpson, D., Tuovinen, J.-P., Ashmore, M.R., Cambridge, H.M., 2000. *Towards a model of ozone deposition and stomatal uptake over Europe*. Norwegian Meteorological Institute, Oslo. EMEP MSC-W Note 6/2000, 57

Evan, J., 2001. *Environmental Stress to Forests*. An Overview of Forest Science. The Forests Handbook. Volume 1, 289

Felzer, B.S., Reilly, J.M., Melillo, J.M., Kicklighter, D.W., Wang, C., Prinn, R.G., Sarofim, M., Zhuang, Q., 2004. *Past and future effects of O₃ on net primary production and C*

sequestration using a global biogeochemical model. MIT joint programme on the science and policy of global change, Report 103.

Fowler, D., 2008. *Graund –level ozone in the 21st century: future trends, impacts and policy implications*. Science Policy, Report 15/08

Hanneberg, P., 1993. *Acidification and air pollution*. A Brief Guide, Swedish Environmental Protection Agency, Solna, 96

Karnosky D.F., Skelly J. M., Percy K. E., Chappelka A. H., 2007. *Perspectives regarding 50 years of research on effects of tropospheric ozone air pollution on US forests*. Environmental Pollution 147, 489-506

Klein, H., Gauss, M., Nyíri, Á., Steensen, B.M., 2011. Transboundary air pollution by main pollutants (S, N, O₃) and PM Latvia. Norwegian Meterological Institutue.

Kļaviņš M., Roska A., 1998. *Toksiskās vielas vidē*. Rīga, 94.

Kļaviņš M., 2009. *Vides piesārņojums un tā iedarbība*. LU Akadēmiskais apgāds. 74. – 78.

Liepa I., Mauriņš A., Vimba E., 1991. *Ekoloģija un dabas aizsardzība*. Rīga, Zvaigzne, 255.-258.

Mills, G., 2004. *Mapping Critical Levels for Vegetation*. Manual on Methodologies and Criteria for Modelling and Mapping Critical Loads & Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends.

Nevers, N.D., 2000. *Air Pollution Control Engineering*, second ed. McGraw-Hill Companies. Inc., New York, pp. 571–573.

Olivier, J.G.J., Van Aardenne, J.A., Dentener, F., Ganzeveld, L. and Peters, J.A.H.W., 2005. *Recent trends in global greenhouse gas emissions: regional and spatial distribution of key sources*. In Non-CO2 Greenhouse Gases (NCGG-4) (coord. van Amstel., A.) 325-330

Posch, M., Hettelingh, J.-P., Slootweg, J., 2003. *Manual for dynamic modelling of soil response to atmospheric deposition*. Coordination Center for Effects, RIVM Rep. 259101012, Bilthoven, Netherlands, 71.

Posch, M., Hettelingh, J.-P., Slootweg, J., Downing, R.J., 2003. *Modelling and mapping of critical thresholds in Europe*. Coordination Center for Effects, RIVM Rep. 259101013, Bilthoven, Netherlands, 71.

Priedītis, N. 1999. *Latvijas mežs: daba un daudzveidība*. WWF, Rīga, 209.

Qin, Y., Tonnesen, G.S., Wang, Z., 2004. *One hour and eight hour average ozone in California south coast Air Basin: trends in peak values and sensitivity to precursors*. Atmospheric Environment 38, 2197–2207.

Rademacher, P., 2003. *Atmospheric heavy metals and forest ecosystems*. Work report of Institute for World Forestry, Federal research centre for forestry and forest products, Hamburg, 19.

Solberg, S., Derwent, R.G., Øysten, H., 2005. *European abatement of surface ozone in a global perspective*. *Ambio* 34 (1), 47 – 53

Tērauda, E., 2008. *Ķīmisko vielu plūsmas Latvijas priežu mežu ekosistēmās*. Latvijas Universitāte, 11-14

UBA, 1996. *Manual on Methodologies and Criteria for mapping critical levels/ loads and geographical areas where they are exceeded*. Umweltbundesamt, Berlin.

Wickert, B., Pregger, T., Theloke, J., Friedrich, R., 2000. *Emissionen gesundheitsschadlicher Stoffe bei Produktionsprozessen, im Verkehr und im privaten Bereich*. In: *Jahresbericht 1999, gesundheitsschadigende Luftverunreinigungen, Entstehung-Wirkung-Minderung*, Hrsg: Arbeitsgruppe Luftreinhal-tung der Universität Stuttgart (ALS), Stuttgart. Fowler, D., 2008. *Ground-level ozone in the 21st century: future trends, impacts and policy implications*. Science Policy, Report 15/08, 13

Elektroniskie resursi

Centrālās statistikas pārvaldes datu bāze, 2008. *Mežainums un koku veidu struktūra statistiskajos reģionos un rajonos*. Sk. 03.04.2011. Pieejams <http://data.csb.gov.lv>
Atsauce tekstā (Centrālās statistikas pārvaldes datu bāze, 2008).

Department for Environment Food and Rural Affairs, 2010. *Critical loads modelling and mapping*. UK National Focal Centre. Sk. 03.04.2011. Pieejams <http://critloads.ceh.ac.uk>
Atsauce tekstā (Department for Environment..., 2010).

English, J., 2010. *Kyoto Protocol*. OneWord Guides, inside the global divide. Sk. 23.12.11. Pieejams http://uk.oneworld.net/guides/climate-change?gclid=CMfmoq674a8CFYUw3wodHUufBw#Kyoto_Protoco.
Atsauce tekstā (English, 2010).

Environmental Expert.com, 2008. *FAO place the spotlight on forest monitoring*. Sk. 15.04.2011. Pieejams <http://www.environmental-expert.com/news/fao-place-the-spotlight-on-forest-monitoring-34414>,
Atsauce tekstā (Environmental Expert.com, 2008).

European Environment Agency, 2008. *Environmental impacts*. Sk. 11.04.2011. Pieejams <http://www.eea.europa.eu/maps/ozone/impacts/bad-for-agriculture>.
Atsauce tekstā (European Environment Agency, 2008).

Hjellbrekke, 2006. LV16 Rucava. Sk. 17.01.2012. Pieejams <http://www.nilu.no/projects/ccs/sitedescriptions/lv/lv10.html>
Atsauce tekstā (Hjellbrekke, 2006a)

Hjellbrekke, 2006. LV16 Zosēni. Sk. 17.01.2012. Pieejams <http://www.nilu.no/projects/ccs/sitedescriptions/lv/lv16.html>
Atsauce tekstā (Hjellbrekke, 2006b)

Latvijas vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs, 2011. *Piezemes ozons*. Sk. 08.04.2011. Pieejams http://www.meteo.lv/public/piezemes_ozons.html
Atsauce tekstā (Latvijas vides, ģeoloģijas..., 2011).

The European Commission, 2002. *About Corine Land Cover*. Sk. 22.03.2012. Pieejams <http://ec.europa.eu/agriculture/publi/landscape/about.htm>
Atsauce tekstā (The European Commission, 2002).

Valsts meža dienests, 2012. *Meža apsaimniekošana*. Sk. 16.04.2011. Pieejams <http://www.vmd.gov.lv/?sadala=2>
Atsauce tekstā (Valsts meža dienests, 2012).

Znotiņa, V., 2006. *Meži*. Latvijas Daba. Sk. 15.04.2011. Pieejams <http://latvijas.daba.lv/biotopi/mezi.shtml>
Atsauce tekstā (Znotiņa, 2006).

Normatīvie akti

Noteikumi par kopējo valstī maksimāli pieļaujamo emisiju gaisā. Latvijas Republikas Ministru kabineta noteikumi Nr. 419. Pieņemti 31.05.11.
Atsauce tekstā (Noteikumi par kopējo..., 2011).

Par Emisijas kvotu sadales plānu 2008.-2012.gadam. Latvijas Republikas Ministru kabineta noteikumi Nr.809. Pieņemti 17.12.2007.
Atsauce tekstā (Par Emisijas kvotu..., 2007).

Par Ženēvas konvencijas par robežšķērsojošo gaisa piesārņošanu lielos attālumos pamatnostādņēm 2004.–2010.gadam. Latvijas Republikas Ministru kabineta noteikumi Nr.131. Pieņemti 03.03.2004.
Atsauce tekstā (Par konvenciju..., 2004).

Pārskats „Gaisa kvalitātes novērtējums Latvijā, 2008. – 2010. gads”. Latvijas Republikas vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrija.
Atsauce tekstā (Gaisa kvalitātes novērtējums..., 2011).

Pielikumi

Ozona fototoksiskās dozas aprēķinu rezultāti EMEP poligonos (izstrādājusi V. Zaharova)

Poligona kods	Poligona platība (ha)	Lapu koku meži	Skuju koku meži	Jaukto koku meži	POD
64/68	2429,564453	3965	3230	1436	8,994063
64/69	2436,182617	37867	13346	28659	9,082801
64/70	2442,666748	9500	8447	16849	8,972105
65/67	2413,886719	5722	16360	8778	8,822113
65/68	2420,598633	37126	11141	42214	9,074875
65/69	2427,179443	58530	18870	34888	9,10128
65/70	2433,628174	23767	12792	27145	9,028912
65/72	2446,119873	10367	15827	15431	7,20213
65/73	2452,159180	10735	15710	15813	7,202936
66/66	2398,048096	12	17	90	8,943193
66/67	2404,850098	11918	29417	17032	8,840076
66/68	2411,524658	17395	37481	30032	8,865375
66/69	2418,068359	14354	27722	45308	8,898808
66/70	2424,480713	24244	21298	19139	7,212733
66/71	2430,758545	7441	5064	5455	7,217941
66/72	2436,901856	18528	42913	40178	7,195602
66/73	2442,907471	26922	33635	35589	7,205811
66/74	2448,774414	7426	1358	4359	7,237701
67/68	2402,344727	149	216	32	8,892494
67/69	2408,851318	4101	18923	12953	8,795206
67/70	2415,227051	17572	20849	27536	8,940126
67/71	2421,469238	53682	21189	31574	7,228315
67/72	2427,577148	25383	11382	62671	7,218448
67/73	2433,547852	33449	14221	55171	7,221218
67/74	2439,381348	20443	8102	30550	7,22253
67/75	2445,074707	646	128	251	7,240322
68/70	2405,869141	2149	14605	3294	7,172721
68/71	2412,075195	36589	48890	35839	7,203916
68/72	2418,147217	23559	26957	48437	7,20794
68/73	2424,083984	28406	23198	45033	7,213234
68/74	2429,883545	29280	21341	49191	7,214772
68/75	2435,543457	11468	7715	19643	7,2158
69/71	2402,579346	4966	30250	12780	7,178392
69/72	2408,615723	16497	69042	28138	7,182266
69/73	2414,517334	12606	45521	23347	7,18576
69/74	2420,282471	15085	20536	27266	7,204799
69/75	2425,908936	221	939	929	7,189378
70/71	2392,983887	212	1176	912	7,184852
70/72	2398,984619	18119	40474	23876	7,193736
70/73	2404,850098	10762	9149	41887	7,211566
70/74	2410,580811	9850	49560	22488	7,180908
71/72	2389,255127	3577	11917	6532	7,187281
71/73	2395,085938	9552	53887	11204	7,174362
71/74	2400,780762	2505	9539	5631	7,186122