

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**OCENA PRISPEVKA RAZLIČNIH DREVESNIH VRST
V URBANEM OKOLJU
K IZBOLJŠANJU KAKOVOSTI ZRAKA**

ANDREJA JOVANOVIĆ

Varstvo okolja in ekotehnologije

VELENJE, 2013

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**OCENA PRISPEVKA RAZLIČNIH DREVESNIH VRST
V URBANEM OKOLJU
K IZBOLJŠANJU KAKOVOSTI ZRAKA**

ANDREJA JOVANOVIĆ

Varstvo okolja in ekotehnologije

Mentorica: doc. dr. Maja Zupančič Justin

VELENJE, 2013

Priloga 2: Sklep o diplomskem delu



Številka: 726-7/2011-2

Datum in kraj: 17. 5. 2012, Velenje

Na podlagi Diplomskega reda

izdajam

SKLEP O DIPLOMSKEM DELU

Študentu-ki VŠVO

Andreji Jovanovič

se dovoljuje izdelati diplomsko delo pri predmetu: Uvod v okoljske tehnologije

Mentor-ica: doc. dr. Maja Zupančič Justin

Somentor-ica: _____ / _____

Naslov diplomskega dela v slovenskem jeziku: Ocena prispevka različnih drevesnih vrst v urbanem okolju k izboljšanju kvalitete zraka

Naslov diplomskega dela v angleškem jeziku: Evaluation of the contribution of different tree species in the urban environment to the improvement of air quality

Diplomsko delo je potrebno izdelati skladno z Navodili za izdelavo diplomskega dela.

Pravni pouk: Zoper ta sklep je možna pritožba na Senat v roku 3 delovnih dni.



Dekanica
doc. dr. Natalija Špeh

Mentorstvo in izjava o avtorstvu

Spodaj podpisana Andreja Jovanović, študentka na Visoki šoli za varstvo okolja v Velenju, sem avtorica diplomskega dela z naslovom: Ocena prispevka različnih drevesnih vrst v urbanem okolju k izboljšanju kakovosti zraka. Diplomsko delo je nastalo pod mentorstvom doc. dr. Maje Zupančič Justin.

S podpisom zagotavljam, da:

- je diplomsko delo rezultat mojega samostojnega dela ob pomoči in usmeritvah mentorice;
- so vsa dela tujih avtorjev ustrezno citirana in navedena v seznamu virov po navodilih diplomskega reda fakultete (maj 2012);
- je diplomsko delo lektorirano in ustrezno urejeno skladno z navodili diplomskega reda fakultete (maj 2012).

Andreja Jovanović

Zahvala

Življenje spremljajo številni vzponi in padci. Ni pomembno, kolikokrat pademo, temveč da se po vsakem padcu poberemo in se nekaj naučimo.

Zaključek študija je čas, ko se lahko zahvalim vsem, ki me podpirajo in mi vedno znova pokažejo, da je lahko vsak dan lep, če ga le vidimo tako.

Naprej bi se rada zahvalila staršem, Aleksandru in Vesni, ter sestri Mateji za vso podporo v življenju. Hvala Vam, da me podpirate pri vseh željah in me usmerjate na poti, ki ji pravimo življenje.

Zahvalila bi se tudi mentorici, doc. dr. Maji Zupančič Justin, za usmeritev in pomoč pri nastajanju diplomskega dela. Posebna zahvala gre tudi ge. Nataši Dolejši, ge. Ireni Ašič, g. Rajku Čaterju, g. Mihi Lamutu in drugim, ki so mi pomagali pri pridobivanju literature in podatkov, potrebnih za pisanje diplomske naloge.

Prav tako pa gre zahvala vsem prijateljem, za katere vem, da se lahko zanesem nanje, in mi pokažejo, da sije sonce, čeprav so na nebu temni oblaki.

Vsak uspeh je nov korak v življenju in hvala Vam, da me podpirate pri teh korakih.

Izvleček in ključne besede

V urbanem okolju se pogosto srečujemo s težavo onesnaženega zraka. Zanj je v največji meri kriv človek s svojimi posegi in dejavnostmi v okolju. Onesnažen zrak negativno vpliva na življenje in okolje ter je danes globalna težava, ki se ji posveča vedno več pozornosti. Onesnažen zrak je tudi posredno in neposredno glavni krivec za številne bolezni in smrti. Še posebej veliko težavo predstavlja obremenjenost zraka s prašnimi delci. V diplomski nalogi sem raziskala pomen dreves v urbanem okolju s poudarkom na njihovem prispevku k zmanjšanju obremenitev v povezavi s prašnimi delci. Nova spoznanja so pokazala, da je vloga drevesne vegetacije v urbanem okolju mnogo širša kot le izboljšanje estetskega videza. Drevesa so nekakšna pljuča planeta, saj proizvajajo kisik in porabljajo ogljikov dioksid, z vezavo onesnaževal prispevajo k zmanjševanju obremenitev zraka, vode in tal, vplivajo na količino zračne vlage, nudijo življenjski prostor številnim živalim ter v končni fazi blažijo učinke podnebnih sprememb. V diplomski nalogi sem se osredotočila na onesnaženost zraka v Celju, ki je zaradi neugodne lege in industrije nadpovprečno onesnaženo. Opravila sem pregled najpogostejših drevesnih vrst v mestu ter s pomočjo literature in pogovorov s poznavalci ocenila prispevek dreves k izboljšanju kakovosti zraka. Ugotovila sem, da imajo različne drevesne vrste različno kapaciteto zadrževanja delcev iz zraka. S pravilnim izborom in z zasaditvijo lahko pripomoremo k povečanju kapacitete zmanjševanja zračnega onesnaženja. Listavci, ki odvržejo liste, tako pozimi ne filtrirajo zraka, medtem ko iglavci zrak čistijo vse leto. Pri zadrževanju prašnih delcev je pomembna struktura listne površine, saj več prašnih delcev zadržijo listi, ki imajo več epidermalnih struktur. Pri zadrževanju grobih prašnih delcev je pomembna lepljivost listne površine, pri zadrževanju finih prašnih delcev pa njihova grobost. Pri izdelavi diplomske naloge sem ugotovila, da na območju mestne občine Celje prevladujejo naslednje drevesne vrste: gorski javor, navadna breza, ostrolistni javor, navadna smreka, lipovec, srebrni javor, ameriški javor, velikolistna lipa, platana in visoki pajesen. Analiza podatkov je pokazala, da bi bilo na obravnavanem območju v nadaljnje načrte saditve smiselno vključiti tudi dvokrpi ginko, različne bore, glog, javorolistno platano in belo vrbo, saj so to drevesa, ki so odporna na onesnažen mestni zrak. Za odstranjevanje prašnih delcev bi bilo umestno, da bi v nadaljnje saditve vključili drevesa, ki imajo dlakave in lepljive listne površine, kot so: črni in rdeči bor, metasekvoja, dvokrpi ginko, tisa, vrbe, gaber, divji kostanj, lipovec, platana, breza, bukev, smreka, glog itd. Kljub temu da ima mestna občina Celje precej zelenih površin, je pregled stanja pokazal možnost dodatnih zasaditev z drevesi na območjih: (1) sprehajalne poti ob Hudinji, (2) drevoreda na Opekarniški cesti (Hudinja–Nova vas) ter na Dečkovi cesti med Cesto na Dobrovo in Opekarniško cesto, (3) na Brodarjevi ulici na Novem trgu pri garažni hiši, (4) med Čopovo in Drapšinovo ulico v obliki dodatne parkovne ureditve, (5) ob pešpoti proti Šmartinskemu jezeru, (6) na obeh straneh pešpoti ob Savinji, (7) med stanovanjskimi bloki ter poslovnimi in drugimi objekti v mestnem jedru z dodatno zasaditvijo posameznih dreves ter (8) znotraj zemljišča Cinkarne in okrog ostalih industrijskih podjetij, ki onesnažujejo zrak.

Ključne besede: onesnaženost zraka, zmanjševanje zračnih obremenitev, vloga dreves v okolju, prašni delci, fitoremediacija, aerofitoremediacija, struktura listne površine.

Abstract and keywords

In urban environment we are often faced with the problem of air pollution. The condition is mostly a consequence of human interventions and activities in the environment. Air pollution negatively affects life and the environment and it is today a global problem, which is being given more and more attention. Air pollution is directly and indirectly the main cause of numerous diseases and deaths. A particularly large problem represents the load of air with dust particles. In the thesis I researched the meaning of trees in an urban environment with emphasis on their contribution to the decrease of the load of air with dust particles. New findings showed that the role of tree vegetation in the urban environment is much wider than just the improvement of the aesthetic look. Trees are some sort of lungs of the planet, since they produce oxygen and use carbon dioxide, with the binding of pollutants they contribute to the decrease of load of air, water and the ground, they influence on the amount of humidity, they provide numerous animals with a habitat and in the end phase they mitigate the effects of climate change. In the thesis I focused on air pollution in Celje, which is due to its unfavourable position and industry polluted above average. I examined the most common tree species in the city and with the help of literature and interviews with experts evaluated the contribution of trees to the improvement of the quality of air. I found out that different tree species have different capacity of retention of air particles. With proper selection and planting we can contribute to an increased capacity and consequently decrease of air pollution. Thus, deciduous trees that dump leaves, in winter do not filter the air, while conifers clean the air the whole year. By the retention of dust particles the leaf structure is important, since most dust particles are retained by leaves, which have more epidermal structures. By the retention of coarse dust particles the adhesion of the leaf area is important and by the retention of fine dust particles their roughness. Through the writing of the thesis I found out that in the area of the municipality of Celje prevail especially the sycamore, silver birch, Norway maple, spruce, small-leaved lime, silver maple, American maple, *Tilia grandifolia*, the plane tree and the tall tree-of-heaven. The data analysis revealed that in the discussed area it would be reasonable to include a *Ginkgo biloba*, pine, hawthorn, London plane tree and white willow in further planting plans, because these trees are resistant to polluted urban air. Regarding tree species, which are especially successful in removing dust particles it would be reasonable to include the following trees, which have hairy and adhesive leaf surfaces, in further planting: Austrian and Scotch pine, the dawn redwood, *Ginkgo biloba*, yew, willows, beech, horse chestnut, Small-leaved Lime, black locust, the London plane tree, birch, beech, fir, hawthorn etc. Although the municipality of Celje has relatively many green areas, the review of the state showed a possibility for further planting of trees in the following areas: (1) the footpath at Hudinja, (2) the avenue in Opekarniška cesta (Hudinja–Nova vas) and Dečkova cesta between Cesta na Dobrovo and Opekarniška cesta, (3) in Brodarjeva ulica in Novi trg next to the garage, (4) between Čopova and Drapšinova ulica in the form of additional park arrangements, (5) at the footpath towards the Lake Šmartin, (6) on both sides of the footpath along Savinja, (7) between the residential blocks, commercial and other buildings in the city core with additional planting of particular trees and (8) on the land of the zinc plant and around other industrial companies that pollute the air.

Keywords: air pollution, reduction of the air load, the role of trees in the environment, dust particles, phytoremediation, aerophytoremediation, structure of the leaf surface.

Kazalo vsebine

1. UVOD IN PREDSTAVITEV PROBLEMA.....	1
1.1. OPIS PROBLEMA	1
1.2. OPIS RAZISKOVALNIH CILJEV	2
1.3. PREDSTAVITEV HIPOTEZ	2
2. PREGLED LITERATURE	3
2.1. ONESNAŽENOST ZRAKA V URBANEM OKOLJU	3
2.1.1. ONESNAŽENOST ZRAKA V NOTRANJIH PROSTORIH.....	4
2.1.2. ONESNAŽENOST ZUNANJEGA ZRAKA	4
2.1.2.1. Najpogostejša onesnaževala zunanjega zraka.....	5
2.2. OPREDELITEV KAKOVOSTI ZRAKA S PREGLEDOM ZAKONODAJE	11
2.2.1. UREDBA O KAKOVOSTI ZUNANJEGA ZRAKA	12
2.2.2. ZAKONODAJA S PODROČJA PRAŠNIH DELCEV – PM	13
2.2.3. ZAKONODAJA S PODROČJA PRAŠNIH USEDLIN	13
2.2.4. OPERATIVNI PROGRAM VARSTVA ZUNANJEGA ZRAKA PRED ONESNAŽEVANJEM S PM ₁₀ ...	14
2.3. DREVESA IN OKOLJE – POMEN DREVES V URBANEM OKOLJU	14
2.3.1. EKOLOŠKA FUNKCIJA	15
2.3.1.1. Vpliv na temperaturo in zračno vlago	15
2.3.1.2. Vpliv na hitrost vetra.....	16
2.3.1.3. Vpliv na hrup	16
2.3.1.4. Vpliv drevja na zmanjšanje zračnega onesnaženja	16
2.3.1.5. Negativen vpliv drevja na kakovost zraka.....	16
2.3.1.6. Ohranjanje čiste vode in tal	17
2.3.1.7. Vezava ogljikovega dioksida	17
2.3.1.8. Proizvodnja kisika	17
2.3.2. DRUŽBENA FUNKCIJA	18
2.3.2.1. Vpliv na zdravje.....	18
2.3.3. OBLIKOVALSKA FUNKCIJA	18
2.3.4. GOSPODARSKA FUNKCIJA.....	18
2.4. OPIS DREVESNIH ORGANOV	18
2.4.1. KORENINE	18
2.4.2. DEBLO	19
2.4.3. KROŠNJA	19
2.4.4. VEJE.....	20
2.4.5. LISTI	20
2.4.5.1. Povrhnjica	22
2.5. VLOGA DREVES PRI ZMANJŠEVANJU OBREMENITEV V TLEH, VODI IN ZRAKU	24
2.5.1. PRINCIPI ZMANJŠEVANJA OBREMENITEV VODE IN TAL	24
2.5.2. PRINCIPI ZMANJŠEVANJA ZRAČNIH OBREMENITEV.....	25
2.5.2.1. Odziv rastlin na zračna onesnaževala	26
2.5.2.2. Reakcija dreves na poškodbe zaradi onesnaženosti ozračja.....	27
2.5.2.3. Rastline, primerne za protiprašne bariere in odstranjevanje prašnih delcev	27
2.5.2.4. Rastline, primerne za odstranjevanje plinastih onesnaževal.....	28
3. MATERIALI IN METODE.....	29
4. REZULTATI IN RAZPRAVA.....	37
4.1. PREGLED STANJA ONESNAŽENOSTI ZRAKA V MESTNI OBČINI CELJE.....	37
4.1.1. ANALIZA STANJA ONESNAŽENOSTI ZRAKA V MESTNI OBČINI CELJE.....	38
4.2. PREGLED IN OPIS NAJPOGOSTEJŠE DREVESNE VEGETACIJE V MESTNI OBČINI CELJE	38
4.2.1. BELI JAVOR (<i>ACER PSEUDOPLATANUS</i>).....	38
4.2.2. DVOKRPI GINKO (<i>GINKGO BILOBA</i>).....	39
4.2.3. NAVADNA BREZA (<i>BETULA PENDULA</i>)	40
4.2.4. LIPOVEC (<i>TILIA CORDATA</i>)	40
4.2.5. LIPA (<i>TILIA X EUROPAEA</i>)	41
4.2.6. NAVADNI BELI GABER (<i>CARPINUS BETULUS</i>).....	42

4.2.7.	BODEČA SMREKA (<i>PICEA PUNGENS</i>).....	42
4.2.8.	PANČIČEVA SMREKA (<i>PICEA OMORIKA</i>).....	42
4.2.9.	NAVADNA SMREKA (<i>PICEA ABIES</i>).....	43
4.2.10.	ČRNI BEZEG (<i>SAMBUCUS NIGRA</i>).....	43
4.2.11.	NAVADNI DIVJI KOSTANJ (<i>AESCLUS HIPPOCASTANUM</i>)	44
4.2.12.	NAVADNA BUKEV (<i>FAGUS SYLVATICA</i>)	44
4.2.13.	AVSTRIJSKI ČRNI BOR (<i>PINUS NIGRA</i>)	45
4.2.14.	TISA (<i>TAXUS BACCATA L.</i>)	45
4.3.	ANALIZA PREGLEDA STANJA DREVESNE VEGETACIJE V MESTNI OBČINI CELJE.....	46
4.3.1.	STANJE DREVES STAREGA MESTNEGA JEDRA CELJA	46
4.3.1.1.	Trg pred Metropolom.....	46
4.3.1.2.	Glavni trg	47
4.3.1.3.	Območje tržnice (Linhartova in Savinova ulica).....	47
4.3.1.4.	Prešernova ulica z delom Savinove ulice	48
4.3.2.	DREVESNA NA OBMOČJU MESTNE OBČINE CELJE	49
4.3.2.1.	Pogoste drevesne vrste v mestnem parku občine Celje	52
4.3.2.2.	Pogoste drevesne vrste ob reki Savinji v Celju.....	53
4.4.	PREDLOGI ZA IZBOLJŠANJE KAKOVOSTI ZRAKA V MESTNI OBČINI CELJE S POMOČJO PRIMERNE SADITVE DREVES.....	55
4.4.1.	IZBOR PRIMERNIH DREVESNIH VRST ZA ZASADITEV NA OBMOČJU CELJA.....	56
5.	POVZETEK	59
5.	SUMMARY	61
6.	LITERATURA.....	63

Kazalo tabel/slik

Tabela 1: Mejne vrednosti za PM ₁₀	12
Tabela 2: Ciljne in mejne vrednosti za PM _{2,5}	12
Tabela 3: Zgornji in spodnji ocenjevalni prag za dušikov dioksid in dušikove okside	12
Tabela 4: Zgornji in spodnji ocenjevalni prag za delce PM ₁₀ in PM _{2,5}	13
Tabela 5: Mejne vrednosti za prašne usedline do 8. 8. 2007	13
Tabela 6: Okoljski učinek odrasle bukve in maksimalna dnevna ksilogeneza (po Shüttu in Kochu 1978).....	17
Tabela 7: Sprejem različnih onesnaževal z listi.....	27
Tabela 8: Stanje dreves.....	29
Tabela 8a: Stopnja vitalnosti dreves.....	30
Tabela 9: Ocenjena učinkovitost pomembnejših drevesnih vrst za zmanjševanje onesnaževal v zraku.....	31
Tabela 10: Občutljivost rastlin na onesnažen zrak	32
Tabela 11: Ekološke lastnosti drevesnih vrst, primernih za prostor celinskega podnebja.....	33
Tabela 12: Podatki meritev onesnaženosti zunanjega zraka s PM ₁₀ v Celju od leta 1998 do leta 2009 v okviru republiške merilne mreže [µg/m ³].....	37
Tabela 13: Stanje dreves na Trgu pred Metropolom	46
Tabela 14: Stanje dreves na Glavnem trgu.....	47
Tabela 15: Stanje dreves na območju tržnice (Linhartove in Savinove ulice).....	47
Tabela 16: Stanje dreves na Prešernovi ulici z delom Savinove ulice	48
Tabela 17: Število dreves na območju Celja.....	49
Tabela 18: Število dreves v mestnem parku občine Celje.....	52
Tabela 19: Število dreves ob reki Savinji v Celju	53
Slika 1: Zrak je onesnažen tudi zaradi prometa in industrije	3
Slika 2: Nastanek kislega dežja	9
Slika 3: Drevesa so tudi življenjski prostor številnih živali	14
Slika 4: Primer učinka drevesne sence	15
Slika 5: Oblike krošenj dreves	20
Slika 6: Deli lista	21
Slika 7: Členjenost listne ploskve	22
Slika 8: Prerez lista.....	23
Slika 9: Ginko	39
Slika 10: Breza	40
Slika 11: Lipovec	41
Slika 12: Lipa.....	41
Slika 13: Smreka	43
Slika 14: Navadni divji kostanj	44
Slika 15: Mlado drevo bora	45
Slika 16: Predlog za park med Čopovo in Drapšinovo ulico	57
Slika 17: Predlog za drevored na Opekarniški cesti	57
Slika 18: Predlog za zasaditev na Dečkovi cesti med Cesto na Dobrovo in Opekarniško cesto	58

1. Uvod in predstavitev problema

Kakovost zraka je ključnega pomena za zagotavljanje ustrezne kakovosti življenja in dobrega stanja ekosistemov, saj onesnažen zrak negativno vpliva na zdravje ljudi in drugih živih organizmov ter na vegetacijo in stanje ekosistemov.

Izpusti v zrak so se v zadnjem desetletju zmanjšali, toda onesnaženost zraka zaradi delcev še vedno ostaja aktualna, saj ima vpliv na zdravje ljudi in na stanje ekosistema. V ekosistemu imajo rastline posebno vlogo pri čiščenju onesnaževal iz okolja. Bolj znana je vloga rastlin pri odstranjevanju in zmanjševanju onesnaževal v zemlji, manj znana pa je vloga pri zmanjševanju onesnaževal iz zraka oziroma pri vezavi prašnih delcev, ki predstavljajo vir onesnaženja v industrializiranih območjih. Znano je, da imajo drevesa številne vloge v okolju – zadrževanje vode, slabenje moči vetra, preprečevanje erozije ter skrb za ogljik in izboljšanje kakovosti zraka, na kar se bom osredotočila v diplomski nalogi. Sposobnost vezave prašnih delcev se med posameznimi drevesnimi vrstami razlikuje. Če se osredotočimo samo na gozdove v Sloveniji, ki prekrivajo približno 60 % njene celotne površine, lahko vidimo, da gozdovi in s tem posamezna drevesa močno vplivajo na stanje okolja.

Diplomsko delo obravnava analizo obstoječega znanja in raziskav na temo odstranjevanja onesnaževal iz zraka s pomočjo dreves ter primerjavo s stanjem v Sloveniji oziroma v mojem domačem kraju.

1.1. Opis problema

V današnjem času je urbano okolje zelo pomemben dejavnik človekovega življenja. Vse več delovnih mest je osredinjenih v mestih, zaradi česar vse večji odstotek ljudi preživi več kot polovico svojega časa v urbanem okolju. Zato je pomembno, v kakšnem urbanem okolju ljudje živimo in delamo. V urbanem okolju se pogosto nahajajo prašni delci, kar slabša kakovost tamkajšnjega zraka. V zraku se poleg stalnih sestavin občasno pojavijo še druge snovi, ki imajo negativen vpliv na živi in neživi svet. Izpostavila bi predvsem onesnaženost s prašnimi delci, kar se odraža na okolju in ima vpliv na živi in neživi svet. Drevesa sodijo med lesne rastline in imajo visok fitoremediacijski potencial za zadrževanje in razgradnjo raznih snovi oziroma onesnaževal v okolju. Delujejo kot filter zraka, saj te delce vežejo nase in tako prečistijo zrak. Prav tako pozitivno vplivajo na življenje v urbanem okolju, saj bolj ali manj uspešno rešujejo težavo pregrevanja mest. Drevesa pripomorejo k zmanjšani porabi električne energije, saj z njihovim pravilnim umeščanjem dosežemo učinek hlajenja. V mestih je tudi drugačna mikroklima, ki pa jo z drevesi lahko izboljšamo.

Celje se je leta 2011 uvrstilo med degradirana območja, saj je bil zrak prekomerno onesnažen s prašnimi delci PM_{10} . Po rezultatih meritev, ki jih je izvajal Zavod za zdravstveno varstvo Celje (ZZV Celje 2011), je v letih med 1998 in 2010 onesnaženost zraka s prašnimi delci PM_{10} občasno preseгла mejne vrednosti. Kljub tem preseženim vrednostim se onesnaženost zraka med leti 2002 in 2010 zmanjšuje, kar pa še vedno ne moremo imeti za uspeh v boju proti onesnaževanju zraka.

Celje si že več let želi zmanjšati onesnaženost zraka. Menim, da bi poleg sanacijskih programov, ki so že bili izvedeni, k temu pripomogli tudi s primerno zasaditvijo dreves. Ker s pravilnim izborom in zasaditvijo zmanjšamo obremenitev okolja zaradi zračnega onesnaženja, menim, da je Celje mesto, ki potrebuje več zelenih površin.

V diplomski nalogi bom predstavila, kako lahko z drevesi pripomoremo k čistejšemu zraku.

1.2. Opis raziskovalnih ciljev

Namen diplomske naloge je:

- opraviti pregled kakovosti zraka v domačem okolju s pomočjo obstoječih podatkov v okviru državnega monitoringa;
- opraviti pregled literature s področja vpliva drevesne vegetacije na kakovost zraka in
- narediti možni izbor najprimernejše drevesne vegetacije za izboljšanje kakovosti zraka.

1.3. Predstavitev hipotez

V diplomski nalogi predpostavljam naslednje:

- drevesna vegetacija lahko pripomore k izboljšanju kakovosti zraka;
- posamezne drevesne vrste so pri odstranjevanju prašnih delcev uspešnejše zaradi specifične strukture listne površine;
- v mestni občini Celje bi lahko z dodatno zasaditvijo z drevesi prispevali k izboljšanju kakovosti zraka.

2. Pregled literature

2.1. Onesnaženost zraka v urbanem okolju

V Sloveniji več kot polovica prebivalstva živi na urbanih območjih – v mestih in predmestjih. Z leti postaja meja med mestom in predmestjem zabrisana prav zaradi večanja gostote poselitve (Pirc 1998).

V današnjem času urbano okolje igra pomembno vlogo. Skoraj vsa delovna sila je osredinjena v mestih, kar pomeni, da so mesta eden glavnih dejavnikov pri onesnaževanju okolja. Mesta spadajo med umetne ekosisteme in so eden najstarejših umetnih ekosistemov v človeškem razvoju. Umetni ekosistem je spremenjen oziroma zamenjan naravni ekosistem kot posledica intenzivnih posegov človeka. Za večino živali in rastlin pa so v mestih neugodne razmere predvsem zaradi onesnaževanja okolja (National Geographic 2012a).

Zrak je zmes plinov, in sicer večino zraka sestavljata dušik in kisik, v manjši meri pa so prisotni še argon, ogljikov dioksid in vodna para. Poleg stalnih sestavin se v zraku občasno pojavijo še druge sestavine, ki imajo škodljiv učinek na živi in neživi svet (ARSO 2012a).



Slika 1: Zrak je onesnažen tudi zaradi prometa in industrije
(Vir: Avtor, 2012)

Za onesnaženost zraka je v večji meri kriv človekov poseg v okolje (prav tam), predvsem z izpuščanjem plinastih snovi in trdnih delcev iz procesa zgorevanja, industrijskih procesov in motornih vozil. Zaradi onesnaževanja zraka se pojavljata kisli dež in smog, onesnaženi zrak pa povzroča škodo na objektih, vodah, gozdovih in drugi vegetaciji, vodnih rastlinah in živalih ter ogroža zdravje prebivalstva (Statistični urad RS) in povzroča škodo na ekosistemih (ARSO 2012b).

Najpogostejši viri sodobnih onesnaževal so plinske postaje, kemična industrija, sežigalnice odpadkov, odlagališča komunalnih odpadkov, rafinerije nafte, bencinske črpalke, odlagališča smeti, proizvodni obrati, ki uporabljajo čistilna sredstva in topila, ter druge tovarne z izpušnimi plini, elektrarne, avtomobili, požari in drugi sežigi ter z njimi povezane emisije prahu. Poleg onesnaževal, prisotnih v naravi, pa poznamo tudi onesnaževala iz gospodinjstev, kamor prištevamo predvsem sredstva za čiščenje kanalizacijskih odtokov, sredstva za čiščenje prevlek, zaves in preprog, sredstva za čiščenje tal in pohištva, pesticide, barve in lake (Zunanji zrak ... 2012).

Na kakovost zunanjega zraka v Sloveniji v največjem deležu vplivajo emisije snovi v zraku v državi, delno pa je zrak onesnažen tudi zaradi transporta onesnaženja čez meje. Za pojavljanje povišanih koncentracij snovi v zunanjem zraku so pomembni še drugi dejavniki, kot so klimatske značilnosti, meteorološki pojavi, fizikalno-kemijski procesi pretvorbe snovi v zraku in topografija (Bolte idr. 2008).

Dejstvo je, da je zunanji zrak najbolj onesnažen v mestih, kjer se nahaja vrsta onesnaževalcev – od vidnih in očitnih do manj vidnih, a vseeno nevarnih (EPA 2012a).

Po podatkih Inštituta za varovanje zdravja RS so otroci do 15. leta v povprečju izpostavljeni letnim koncentracijam 30–40 $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$, kar je nad priporočeno vrednostjo Svetovne zdravstvene organizacije, ki znaša 20 $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$.

Na boljšo ohranjenost gozdov in nižjo stopnjo zračnega onesnaženja v višjih nadmorskih višinah kaže pokrivnost z epifitskimi lišaji. Nekoliko povečane vrednosti kovin in dušika so v okolici večjih mest ter industrijskih in termoenergetskih objektov, kar nam kaže biomonitoring z mahovi. V zahodni Sloveniji so vrednosti povečane predvsem zaradi daljinskega transporta, v severovzhodni Sloveniji pa zaradi prometa in kmetijstva. Povišane koncentracije ozona se v veliki meri odražajo v zmanjšani količini pridelka, v zmanjšani rasti trajnic in tvorbi semen pri enoletnicah ter v slabi rasti gozdnih dreves (Urbančič in Žarnić 2010).

2.1.1. Onesnaženost zraka v notranjih prostorih

Ljudje zmotno mislimo, da smo v varnem zavetju doma, za tesno zaprtimi vrati in nepredušno zatesnjenimi okni na varnem. Zatiskamo si oči pred dejstvom, da je lahko onesnaženost zraka v notranjih prostorih resna težava, ki predstavlja nevarnost za zdravje (EPA 2012a).

Po definiciji Ministrstva za okolje in prostor RS (2003) so za onesnaženje zraka v zaprtih prostorih kriva raznovrstna onesnaževala različnega izvora, ki v naravnem okolju niso prisotna v večjih količinah: »/.../ kemična, mehanska ali biološka onesnaževala zraka v notranjosti zgradb in drugih zaprtih prostorih, kjer se nahajajo ljudje. Onesnaženje ima lahko izvor v tobačnem dimu, pesticidih, sredstvih za čiščenje, plinih, ki izhlapevajo iz gradbenih materialov, prahu v preprogah, gospodinjskih izdelkih itd.«

Dogajanja v naravi, kot so dež, veter, sonce, neprestano čistijo zrak v odprtem prostoru. Ti naravni pojavi, ki za kakovost zraka skrbijo zunaj, v zaprtih prostorih niso prisotni. Po raziskavah sodeč, so elementi zunanjega onesnaženja v večini prisotni tudi v notranjem ozračju, vendar z razlikami v razmerju in količini. Poleg zunanjega onesnaženja pa večinski delež notranjega onesnaženja prispevajo še onesnaževala, značilna za notranje ozračje (EPA 2012a).

Dejstva, ki se navezujejo na onesnaženost zraka v zaprtih prostorih (Vsi zdravi 2012):

- onesnaževalo, sproščeno v zaprtem prostoru, ima tisočkrat večjo možnost, da bo doseglo človekova pljuča, kot onesnaževalo, sproščeno na prostem;
- v mnogih domovih so ravni onesnaževal v zraku 25–100-krat višje od ravni v zraku na prostem;
- ljudje preživijo približno 90 % svojega časa v notranjih prostorih;
- onesnaževala v zraku, ki jih prispevajo čistilna sredstva in sredstva za osebno nego, ki jih uporabljamo doma, predstavljajo trikrat večjo nevarnost za razvoj raka kot onesnaževala na prostem;
- v povprečni hiši najdemo do 1500 nevarnih spojin;
- tobačni dim v okolju (t. i. pasivno kajenje), ki je glavni onesnaževalec zraka v zaprtih prostorih, vsebuje okoli 4000 kemikalij, vključno z 200 znanimi strupi, kot sta formaldehid in ogljikov monoksid kot tudi 43 rakotvornih snovi.

Zaradi neverjetnih koncentracij strupenih snovi, ki lahko nastanejo zaradi konstantnega in postopnega nalaganja v zaprtih prostorih, predstavlja notranje onesnaženje veliko težavo. Svetovna zdravstvena organizacija (WHO) je notranje onesnaženje zaradi tega razglasila za eno izmed glavnih svetovnih medicinskih težav (EPA 2012a).

2.1.2. Onesnaženost zunanjega zraka

Zunanji zrak je zrak v troposferi in sega v naši geografski širini do okoli 12 km nad zemeljsko površino. V troposferi je zbrane okoli 80 % vse mase zraka, v njej se odvija tudi večina vremenskih pojavov.

Snovi, ki lahko škodljivo učinkujejo na zdravje ljudi in na okolje, izpušča v zrak človek s svojo neposredno ali posredno aktivnostjo (Ministrstvo za ... 2003).

Največji vpliv na kakovost zraka imajo emisije snovi v zrak blizu mesta njihovega nastanka, delno pa tudi transport onesnaženega zraka čez meje. Za pojavljanje povišanih koncentracij onesnaževal v zunanjem zraku so pomembni še drugi dejavniki, med katerimi so klimatske značilnosti, meteorološki pojavi, fizikalno-kemijski procesi pretvorbe snovi v zraku in topografija (Žlebir idr. 2007). Rezultati kakovosti zraka se iz leta v leto spreminjajo in

razlikujejo glede na merilno mesto in glede na letni čas, v katerem se izvajajo meritve. Ker se je z leti spremenila tudi struktura onesnaževal, se danes ne srečujemo več z onesnaževali, s katerimi so se srečevali naši predniki. Nekoč so bili ljudje večinoma izpostavljeni velikim sajastim delcem ali delcem prahu zemlje in naravne okolice. Danes pa smo izpostavljeni strupenim plinom, kemikalijam in sajastim ter prašnim delcem nano in mikro velikostnega razreda, ki lahko že v nizkih koncentracijah povzročajo širok spekter zdravstvenih težav.

Onesnaženje ozračja je po raziskavah WHO postalo ena izmed glavnih svetovnih zdravstvenih težav in ocenjuje se, da povzroči skoraj 2 milijona prezgodnjih smrti na leto, od tega 130.000 samo v Evropi. Prav tako onesnažen zrak v povprečju Evropejcu skrajša življenje za eno leto. Tako je WHO leta 2005 razglasila onesnaženje ozračja za največjo svetovno zdravstveno težavo.

Onesnaževal v zraku je veliko. Študije potrjujejo, da lahko iz množice onesnaževal, ki imajo uničujoč vpliv na zdravje, izpostavimo predvsem prašne delce PM_{10} in $PM_{2.5}$ ter ozon, ki so predstavljeni v naslednjem poglavju (WHO 2012).

2.1.2.1. Najpogostejša onesnaževala zunanje zraka

Med onesnaževala zunanje zraka v največji meri prištevamo prašne delce in ozon, poleg pa sodijo tudi žveplov dioksid, znan tudi kot povzročitelj kislega dežja, dušikovi oksidi, ogljikov monoksid, hlapne organske spojine (VOC), vodikov sulfid, vodikov fluorid, nevarni plini in svinec. V mestih pa k onesnaženemu zraku pripomore tudi smog. Med obremenitve zraka štejemo tudi UV-žarke in toplogredne pline (Kovačič 2009).

1) Prašni delci

V Sloveniji in drugje po Evropi ter svetu prašni delci v zadnjih letih predstavljajo veliko težavo v okolju (Žlebir idr. 2007).

Za zagotavljanje ustrezne kakovosti življenja ljudi je bistvenega pomena zagotavljanje ustrezne kakovosti zunanje zraka. Onesnaženost zraka zaradi prašnih delcev PM_{10} in ozona, kljub temu da so se izpusti v zadnjem desetletju precej znižali, ostaja še vedno aktualna, predvsem zaradi negativnega vpliva na zdravje ljudi in stanja ekosistemov (Urbančič in Žarnič 2010). Po mnenju Urbančiča in Žarniča (2010) je onesnaženost zraka zaradi prašnih delcev PM_{10} aktualna predvsem zaradi teže delcev, saj se lahko hitreje in v večji količini usedajo na določeno lokacijo. Prašni delci $PM_{2.5}$ so lažji, prepotujejo večje razdalje in njihova koncentracija se manjša z razdaljo.

Atmosferski delci oziroma aerosoli so drobni trdni in tekoči delci, ki so suspendirani v plinski fazi, zaradi česar pravimo, da je aerosol disperzni sistem. Določitev velikosti aerosola je ključnega pomena tako za meritve kot modeliranje dinamike aerosola. Z izrazom aerodinamični premer se največkrat opiše premer delcev. Delci z enako obliko in velikostjo, toda različno gostoto, imajo različen aerodinamični premer. Na osnovi velikosti premera ločimo delce PM_{10} in delce $PM_{2.5}$. Delci PM_{10} imajo aerodinamični premer pod 10 μm , delci $PM_{2.5}$ pa imajo aerodinamični premer pod 2,5 μm . Poznamo pa tudi delce $PM_{1.0}$, ki imajo aerodinamični premer pod 1 μm (ARSO 2012c).

V veliki večini prašnih delcev je glavna komponenta ogljik, na katerega se lahko vežejo še številne primesi, kot so: kovine, organska topila in reaktivni plini (Inštitut za ... 2012).

a) Viri prašnih delcev

K onesnaženju z delci največ prispevajo vremenske razmere in individualna kurišča, deloma pa tudi promet, industrija in vnovični dvig ter lebdenje trdnih delcev v ozračju.

Glede na izvor ločimo:

- primarne delce, ki izvirajo iz virov na površini, in
- sekundarne delce, ki so posledica različnih pretvorb v onesnaženi atmosferi.

Delci so lahko:

- naravnega izvora kot na primer cvetni prah, prah, morska sol, dim gozdnih požarov, meteorski prah, vulkanski pepel ali
- antropogenega izvora kot na primer posledica izpustov iz energetskih objektov, industrije, prometa, kmetijstva, individualnih kurišč.

Glede na izvor so delci tudi različne kemijske sestave, oblike in fizikalnih stanj.

Grobi delci PM_{10} so posledica erozije zemlje, resuspenzije s cest in izpustov iz industrijskih objektov. Sulfat in organski material sta glavni kemijski komponenti delcev PM_{10} . Njun delež je odvisen od vira onesnaženja in meteoroloških razmer. Izjema so le močno prometno obremenjene lokacije, kjer je prisoten velik delež mineralnega prahu.

Viri delcev $PM_{2.5}$ so promet (vendar ne neposredni izpusti iz prometa), naravni viri, vnovični dvig in lebdenje trdnih delcev v ozračju ter daljinski transport. Delci $PM_{2.5}$ so v primerjavi z delci PM_{10} lažji in manjši ter se v zraku običajno zadržujejo dlje časa in prepotujejo večje razdalje (ARSO 2012c).

b) Stopnja onesnaženja zraka s prašnimi delci

V primerjavi z ostalimi državami v Evropi, ki spremljajo evidence o gibanju izpustov skupnih delcev PM, se Slovenija uvršča med države, ki imajo visoke izpuste prašnih delcev na prebivalca. Najvišje izpuste na prebivalca imajo v Estoniji, Latviji in na Portugalskem, najnižje pa imata Velika Britanija in Nizozemska (ARSO 2012č).

Nižje koncentracije delcev PM_{10} poleti in višje pozimi so očitne zlasti na prometnih merilnih mestih, saj se pozimi zaradi temperaturnih inverzij onesnažen zrak zadržuje v bližini cestišč, ki so izvor emisije. Jutranji in večerni maksimum onesnaženosti sta predvsem posledica prometnih konic, pri čemer je vpliv popoldanske prometne konice premaknjen na večerni čas, ko se hitrosti vetrov zmanjšajo. Precej višje koncentracije se pojavljajo ob delovnih dnevih kot ob koncu tedna (Šegula idr. 2009).

Na področju onesnaževanja okolja predstavlja onesnaženost zraka z delci eno najbolj perečih težav. Čeprav se izpusti delcev v zrak zmanjšujejo, ostaja onesnaženost zraka z delci nad dopustnimi in v zakonodaji predpisanimi mejami (ARSO 2012č).

Koncentracije PM_{10} , še zlasti v urbanih središčih, presegajo dovoljeno dnevno mejno koncentracijo več kot 35 dni v letu. K povišanim koncentracijam največ prispevajo cestni promet, daljinski transport in resuspenzija, v zimskih časih pa tudi soljenje cest, individualna kurišča in neugodne meteorološke razmere. Koncentracije PM_{10} so praviloma v zimskem času višje kot poleti, v notranjosti Slovenije tudi 70–100 % višje, na Primorskem pa do 20 % višje (Urbančič in Žarnić 2010).

Vremenske razmere v veliki meri vplivajo na gibanje koncentracije delcev. Temperaturne inverzije otežujejo mešanje in gibanje zraka, zaradi česar pride do akumuliranja onesnaževal pri tleh. Najvišje koncentracije in preseganja mejne dnevne vrednosti PM_{10} se zato pojavljajo v zimskem času (ARSO 2012c).

c) Nevarnost prašnih delcev za zdravje

Vdihavanje delcev lahko povzroči pogostejše in težje bolezni dihal, kar povečuje možnost prezgodnje smrti, vpliva pa lahko tudi na razvoj kardiovaskularnih bolezni (ARSO 2012č). Dolgotrajna izpostavljenost prašnim delcem v zunanjem zraku pomeni povečano tveganje za zdravje predvsem pri ranljivejših skupinah, kot so otroci. V razvitih državah je na področju okolja in zdravja v ospredju reševanje javno-zdravstvene težave vpliva onesnaženega zraka na zdravje. Nemogoče je doseči takšno kakovost zraka, ki bi stalno ustrezala predpisanim zakonskim vrednostim, prav tako je nemogoče odstraniti vzroke onesnaženja zraka, med katerimi je glavni promet (Inštitut za ... 2012).

Drobni delci $PM_{2.5}$ imajo znatne negativne posledice za zdravje ljudi. Za zdaj še ni določljivega praga, pod katerim delci $PM_{2.5}$ ne bi predstavljali tveganja za zdravje (Šegula idr. 2009).

Onesnaženemu zraku, ki je dejavnik tveganja za nastanek bolezni, je stalno ali občasno izpostavljen vsak prebivalec velikih mest v Evropi, kjer je približno 90 % mestnega prebivalstva izpostavljenega prekomernim vrednostnim prašnim delcem (Inštitut za ... 2012).

Prašni delci lahko zaradi vstopa v dihalni sistem povzročajo številne zdravstvene težave, kot so (ARSO 2012c):

- draženje oči,
- astma,
- bronhitis,

- poškodbe pljuč,
- razvoj rakavih obolenj.

Posamezne študije, ki so bile izvedene, nakazujejo na obolenja dihal, in sicer predvsem pri otrocih, ki živijo na prometno bolj obremenjenih lokacijah, ter na poškodbe ekosistemov, ki so izrazitejšje v okolici industrijskih in termoenergetskih objektov.

Po podatkih Inštituta za varovanje zdravja RS predstavlja število sprejemov otrok v bolnišnico zaradi diagnoze bolezni dihal dobrih 15 % vseh sprejemov. Obolenost dihalnega sistema se večinoma povezuje z onesnaženostjo zraka z delci PM_{10} . Ti delci lahko po nekaterih študijah vplivajo tudi na razvoj astme kot najbolj razširjene kronične bolezni pri otrocih. Ker so lahko delci PM_{10} vzrok za razvoj ali poslabšanje astmatskih obolenj, se v Sloveniji spremlja tudi delež sprejemov otrok do 14. leta zaradi astme.

Prašni delci delujejo na celoten organizem preko sistemskega delovanja citokinov, ki nastanejo pri vnetni reakciji na mestu vstopa delcev v pljuča. Prašni delci namreč na mestu vstopa v telo oziroma v pljučih povzročajo oksidativni stres, ki vodi v vnetje. Ta stres povzroča poslabšanje obstoječih bolezni dihal in ob dolgotrajnem delovanju kronično vnetno reakcijo, ki povzroči zmanjšanje pljučne funkcije. Prašni delci povzročajo tudi spremembe v koagulabilnosti krvi, motnje v hemostazi in vplivajo na avtonomni živčni sistem. Spremembe zaradi povečane koncentracije koagulacijskih dejavnikov in nastanka krvnih strdkov lahko vodijo v možgansko ali srčno kap. Na srce delujejo prašni delci tako, da povzročajo motnje ritma, večajo odzivnost srca na kateholamine, vplivajo na repolarizacijo srčne mišice in večajo ishemijo miokarda. Prašni delci v zraku večajo umrljivost pri ljudeh z boleznimi dihal, srca in ožilja (Inštitut za ... 2012), prav tako pa prašne delce povezujemo s porastom bolezni respiratornega in kardiovaskularnega sistema pri ljudeh (ARSO 2012č). Dolgotrajna izpostavljenost prašnim delcem prispeva k večjemu tveganju za nastanek srčno-žilnih bolezni in umrljivost. V študiji v Združenih državah Amerike so ugotovili, da je dolgotrajna izpostavljenost prašnim delcem $PM_{2.5}$ povezana z večjim tveganjem za ishemično bolezen srca, aritmije, srčno popuščanje in zastoj srca. Življenje v okolju s prašnimi delci PM_{10} poveča tveganje za umrljivost za boleznimi dihal in boleznimi srca in ožilja za 1,01 za vsakih 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Inštitut za ... 2012), zato je zmanjševanje koncentracije prašnih delcev v zunanjem zraku nujno (ARSO 2012č).

Od velikosti prašnih delcev je odvisna njihova sposobnost, da povzročijo oksidativni stres. Prašni delci, manjši od 2,5 μm , so bolj toksični. Manjši prašni delci v večji meri povzročajo nastanek vnetnih reakcij v ostalih delih telesa. Poizkusi na živalih kažejo, da manjši prašni delci ne povzročajo pomembnih vnetnih reakcij pri vstopu v pljuča, ampak delujejo predvsem sistemsko – povzročajo sistemsko vnetje, povečane koncentracije fibrinogena, nevtrofilija. Vzrok za to je v lažjem prehodu prašnih delcev skozi pljučno bariero in njihovem lažjem potovanju po telesu. Majhni prašni delci lahko vstopajo že preko nazofarinksa in olfaktornega živca v možgane (Inštitut za ... 2012). Prašni delci, ki vsebujejo težke kovine, so bolj toksični. Prisotnost cinka v prašnih delcih po raziskavi sodeč poveča moč vnetja, stopnjo nekroze in preobčutljivosti pljuč.

Iz študij, ki so bile opravljene, je razvidno, da je učinek prašnih delcev PM_{10} na zdravje odvisen od koncentracije in časa izpostavljenosti. Dolgotrajna stalna izpostavljenost ima neprimerno večji vpliv na zdravje kot občasna kratkotrajna izpostavljenost večjim koncentracijam. Prav tako je razvidno, da je odnos med dolgotrajno izpostavljenostjo in povečano stopnjo umrljivosti za boleznimi pljuč ter srca in ožilja linearen. Zato kakršno koli zmanjšanje prašnih delcev v ozračju predstavlja pomembno izboljšanje za zdravje prebivalcev (Inštitut za ... 2012).

č) Vpliv prašnih delcev na ekosisteme

Poleg negativnega vpliva na zdravje pa prašnim delcem pripisujejo tudi negativne vplive na okolje, kot so (ARSO 2012c):

- zmanjšanje vidljivosti zaradi onesnaženosti s $PM_{2.5}$;
- zakisovanje ekosistemov;
- evtrofikacija ekosistemov.

Prav tako so možne tudi poškodbe na materialnih predmetih (prav tam).

Poškodovanost ekosistemov, ki posledično vpliva tudi na kakovost zdravja tamkajšnjega prebivalca, se kaže v prekomernih obremenitvah tal zaradi zakisovanja, kar je posledica delcev PM_{2.5} (Urbančič in Žarnić 2010).

2) Ozon

Ozon se nahaja v dveh delih atmosfere, in sicer v stratosferi in troposferi. Ozon v stratosferi je znan kot ozonski plašč in je nujno potreben za absorpcijo ultravijoličnega sevanja (Eržen idr. 2010) in varovanje pred kožnim rakom (Likar 1998). Ozon v troposferi pa nastane kot posledica onesnaževanja zraka in sončnega sevanja (Eržen idr. 2010).

Ozon v troposferi spada med sekundarna onesnaževala, kar pomeni, da nastaja iz drugih onesnaževal (Likar 1998). Največje koncentracije ozona najdemo v krajih z visokimi letnimi temperaturami in veliko prometa. Onesnaženje z ozonom se z vetrovi širi tudi na podeželje (Eržen idr. 2010), zato je lahko onesnaženje z njim krajevni ali lokalni problem. Ozon nastaja ob kemičnih reakcijah med hlapljivimi organskimi spojinami in dušikovim dioksidom. Za nastanek pa mora biti prisotna tudi sončna svetloba (Likar 1998). Molekula ozona je zgrajena iz treh atomov kisika, zaradi česar je manj stabilen in hitreje reagira (Eržen idr. 2010). Ozon je strupen, saj drugim molekulam jemlje elektrone in tako začneja verižno reakcijo. S to reakcijo v celicah uničuje bistvene sestavine. Koncentracije ozona so tekom dneva različne. Najmanjše so ob sončnem vzhodu, kasneje se koncentracija poveča zaradi prometa in višjih temperatur. Ozon je ponekod nacionalni problem (Likar 1998), povzroča pa tudi škodljive učinke na zdravje vseh živih organizmov ter poškodbe na raznih materialih (Eržen 2010).

Simptomi, ki nam pokažejo povečano koncentracijo ozona v zraku, so bolečine v prsih, kašelj, kopičenje krvi v pljučih in nosu, oteženo ali pospešeno dihanje, vneto grlo, navzea¹ in draženje nosu. Pri povečani telesni dejavnosti se v primeru povišanih koncentracij ozona zmanjša normalno delovanje pljuč.

Ozon negativno vpliva tudi na posevke, gozdove in ostali material, ki je delo človeka. Pri rastlinah so najhujše prizadeti listi, deluje pa tudi na rast rastlin in pridelek (Likar 1998). Ozon spremeni hitrost rasti rastline, zmanjšuje število plodov, velikost in vsebnost maščobe v plodovih ter njihovo maso, zmanjšuje rast korenin in učinkovitost fotosinteze. Ozon tudi negativno vpliva na notranje dogajanje v rastlini. Najnovejše raziskave so pokazale, da 250 ppb ozona po dveh urah opazno zmanjša rastlinsko aktivnost (Lampič 2004).

3) Žveplov dioksid in nastanek kislega dežja

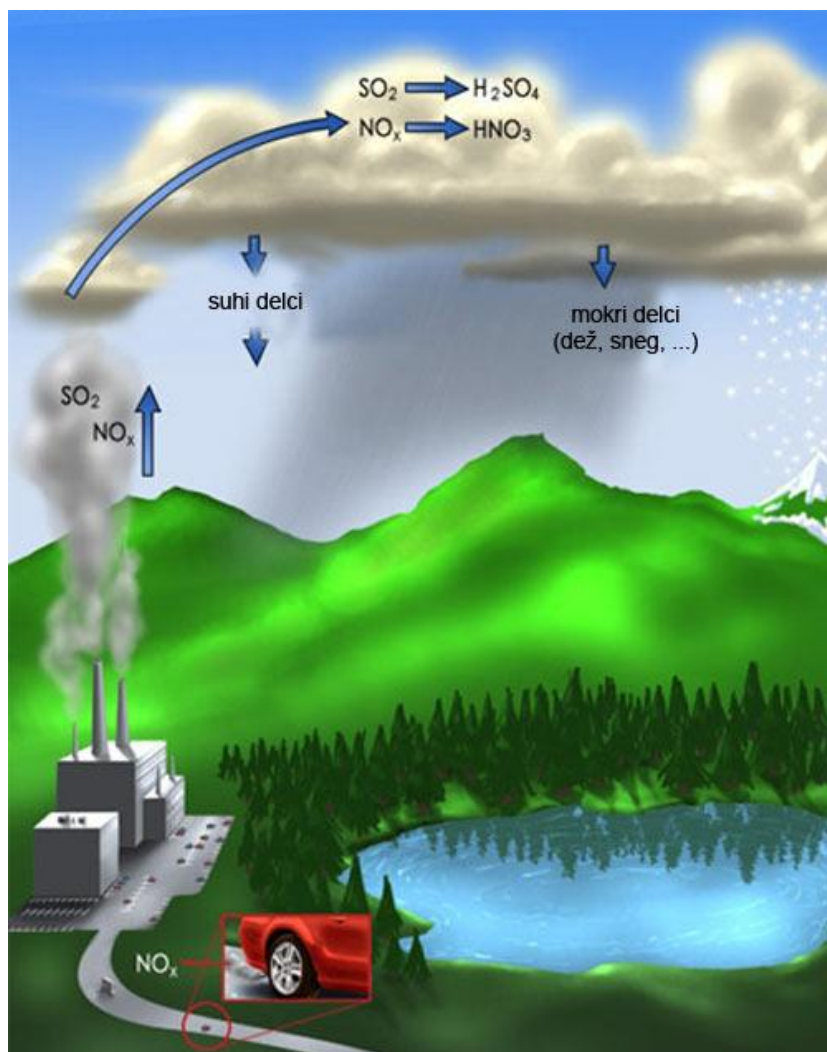
Med najhujšimi onesnaževalci zraka v tem stoletju so žveplov dioksid in njegove spojine. Tisoče let so žveplov dioksid uporabljali kot razkužilo v obliki dima za grozdje in vinske sode ter za namakanje grozdja, sadja in sočivja. Največja izpostavljenost žveplu je v okolici elektrarn na premog in ob tovarnah s predelavo neželezne kovinske rude. Žveplov dioksid ima veliko negativnih učinkov na zdravje – povzroča na primer zadebelitev sluznice v sapniku in skrčenje sapnic. Kot na zdravje pa ima žveplov dioksid vpliv tudi na vegetacijo, saj poškoduje in razbarva liste. V ozračju žveplov dioksid reagira z oksidanti ali delci in tako nastajajo sulfati in delci žveplove kisline, ki je poglavitna sestavina kislega dežja (Likar 1998).

Kislina pri kislem dežju je rezultat transformacije dušikovega oksida in žveplovega dioksida ob stiku z vlažnimi in mokrimi sekundarnimi onesnaževali, kot so na primer žveplova kislina, amonijev nitrat in dušikova kislina (Bodi eko 2012). Žveplova kislina nastaja pri izgorevanju goriv, ki vsebujejo žveplo. Žveplov dioksid ob reakciji z vodo ($\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$) povzroča nastanek kislega dežja. Nastala kislina se spaja tudi z Na^+ , Ca^{2+} in NH_4^+ ioni v sulfate, kjer lahko voda izhlapi in v zraku pogosto ostanejo sulfatni delci aerosola. Ti delci se ob dežju usedajo na tla in se kemično preoblikujejo ter vračajo nazaj v ozračje. Žveplove spojine so zelo agresivne in povzročajo razjede na vegetaciji (Boljka 2010).

Žveplov dioksid v rastlino vstopa z difuzijo preko dihalnih por. Na količino plina, ki se absorbira, vplivajo število por, velikost por, zunanja temperatura, vlažnost zraka, svetloba in hitrost vetra. Žveplov dioksid, ki vstopi v liste, se hitro razširi po celotni rastlini in negativno vpliva na fotosintezo, dihanje rastline in na izhlapevanje vode iz rastline. Na dovzetnost za

¹ Neprijeten občutek siljenja na bruhanje.

okužbo z žveplovim dioksidom vplivajo manjše razlike v biokemičnih in fizioloških procesih v rastlinah (Lampič 2004).



Slika 2: Nastanek kislega dežja
(Vir: Bodi eko 2012).

a) Kisli dež

Kisli dež nastane kot posledica kurjenja fosilnih goriv, izpušnih plinov pri prevoznih sredstvih, tovarn, delovanja gnojil itd. (Kovačič 2009). Kisli dež je torej vsaka oblika padavine, ki vsebuje velike koncentracije dušikove in žveplove kisline. Na okolje ima številne vplive, predvsem na vode. Škodo povzroča tudi na drevesih, predvsem v višjih legah (National Geographic 2012b). Popolnoma lahko uniči ali onemogoči rast drevesnih vrst. Posebej občutljivi so iglavci, saj jim začno odpadati iglice. Uniči lahko tudi kemijsko ravnovesje v tleh. Če se koncentracija kislin v kislem dežju ne bo zmanjšala, se lahko škoda v tem stoletju poveča za desetkrat, nekatere drevesne in živalske vrste pa bodo izumrle (EPA 2012b).

4) Dušikovi oksidi

Dušikovi oksidi nastajajo pri izgorevanju goriv in pri reakcijah v ozračju po izgorevanju, kot reaktanti pa so prisotni tudi v kislem dežju. Najpomembnejši vir je onesnažen mestni zrak, predvsem v dopoldanskih urah zaradi izpustov iz prometa in sončne svetlobe, ki omogoči fotokemične reakcije. Dušikovi oksidi imajo različne učinke na zdravje. Simptome povzročijo le, kadar so njihove koncentracije velike. Po raziskavah sodeč, je nevarnejša kratkotrajna izpostavljenost onesnaženemu zraku z velikimi koncentracijami. Ko se pojavijo glavoboli,

vrtočlance in simptomi na dihalih, se moramo nemudoma odstraniti iz nevarne okolice (Likar 1998). Dušikovi oksidi vplivajo tudi na onesnaženost zraka, predvsem pri zakisovanju, evtrofikaciji in tvorbi fotokemičnega smoga (ARSO 2012d). Dušikovi oksidi v rastline vstopijo preko listnih rež, kar povzroči zmanjšano delovanje fotosinteze (Lampič 2004). V urbanih predelih je njihova koncentracija odvisna od prometa, vremenskih razmer in ozona (Okolje info 2012a).

5) Ogljikov monoksid

Ogljikov monoksid se nahaja v izpuhkih v transportu ter pri nepopolnem zgorevanju lesa, premoga in organskih odpadkov (Samec 2006). Ogljikov monoksid je navzoč tudi tam, kjer je zgorevanje izdatno kot na primer pri gozdnih požarih. Zaradi razredčitve z vetrovi ni tako nevaren. Ljudje smo mu najbolj izpostavljeni v mestih in na območjih z gostim prometom. Pri večjih koncentracijah izpostavljenosti ogljikovemu monoksidu so najhujše prizadeti telesni sistemi, ki so odvisni od preskrbe s kisikom. Vdihan ogljikov monoksid se veže na hemoglobin in na mestu vezave zamenja kisik (Likar 1998). Ogljikovemu monoksidu so najbolj izpostavljeni možgani, srce in pri nosečnicah razvijajoči se plod. Ljudje s slabšim delovanjem srca in pljuč, starejši ljudje z boleznijo zoženih arterij, ljudje s kroničnim bronhitisom in slabokrvni ljudje so najbolj ranljivi in dovzetni za bolezni, ki jih povzročajo (Okolje info 2012b). Ogljikov monoksid je onesnaževalo zraka, ki ga je treba nadzorovati in sproti odpravljati (Likar 1998).

6) Hlapne organske spojine – VOC

Hlapne organske spojine so plini, ki nastanejo iz nekaterih trdnih ali tekočih snovi. Gre za skupino različnih spojin, ki imajo lahko kratkoročni ali dolgoročni vpliv na zdravje. Te spojine najpogosteje najdemo v barvah, lakih, odstranjevalcih barv, pesticidih, čistilih, gradbenem materialu idr. Hlapne organske spojine imajo veliko negativnih vplivov na zdravje, ki se kažejo kot draženje oči, nosu, grla, glavobol, izguba koordinacije, slabost, poškodbe jeter in ledvic ter centralnega živčevja. Znano je, da hlapne organske spojine pri živalih povzročajo tudi raka, pri ljudeh pa obstaja ta možnost, ni pa še raziskana. Kakšne posledice bo izpostavljenost pustila na posamezniku, je odvisno predvsem od časa izpostavljenosti in koncentracije (USGS science ... 2012).

7) Vodikov sulfid

Vodikov sulfid nastaja pri procesih biološkega razpada, predvsem v močvirjih, zemlji in oceanih (Samec 2006). Vodikov sulfid je brezbarven plin, ki je zelo strupen in vnetljiv, z vonjem po gnilih jajcih. Vodikov sulfid ob prisotnosti kisika gori z modrim plamenom. V vodi, v kateri je prisoten, daje videz motnosti. Vodikov sulfid je težji od zraka, zato se kopiči v njegovih nižjih plasteh. Ima širok spekter strupenosti. Izpostavljenost prevelikim koncentracijam najbolj prizadene živčni sistem. Vodikov sulfid je eden izmed krivcev za številna izumrtja na Zemlji v preteklosti (Hydrogen sulfide 2012).

8) Vodikov fluorid

Vodikov fluorid je kemična spojina, ki vsebuje fluor. Obstaja v treh fazah, in sicer kot brezbarven plin, dimljena tekočina ali pa kot raztopina v vodi. Uporablja se predvsem za izdelavo hladil, herbicidov, v farmaciji, pri visokooktanskem bencinu, raznih izdelkih iz aluminija in plastike ter električnih izdelkih in fluorescentnih žarnicah. Uporablja se tudi za jedkanje stekla in kovine. Vodikov fluorid prihaja v telo skozi kožo in tako poškoduje celice, da ne delujejo pravilno. Že pri majhnih koncentracijah lahko povzroči draženje oči, nosu in dihalnih poti. Izpostavljenost oziroma posledice izpostavljenosti se največkrat ne pokažejo takoj (CDC center ... 2012).

9) Svinec

Svinec je kovina, ki je splošno razširjena v zraku, zemlji, vodi in hrani. Nevaren je že v majhnih količinah. Včasih so ga uporabljali v bencinu, vendar je povzročil hudo onesnaževanje okolja. Svinec se v telesu kopiči v kosteh in prehaja v kri. Ljudje smo mu v

največji meri izpostavljeni s hrano, v manjših količinah pa tudi z vdihavanjem onesnaženega zraka in v vodi. Okoljsko škodo povzroča predvsem ob zgorevanju bencina in sežiganju trdnih odpadkov. Nalaga se v prst, rastline in vodo. Živčevje, krvotvorni organi, ledvice, rodila in sečila so le nekateri človeški organi, ki jih prizadene svinec. Simptomi, ki kažejo na preveliko koncentracijo svineca, pa so bledica, bljuvanje, bolečine v trebuhu, zapeka itd. (Likar 1998).

10) Smog

Smog je kopičenje emisij toplogrednih plinov, plinov v zraku ter emisij iz prometa, industrije itd. Zmanjšuje vidljivost in ovira dihalne poti (National Geographic 2012c). Smog je tip zračnega onesnaženja, ki je sprva nastajal z zgorevanjem velikih količin premoga. Smog nastaja tudi pri požarih, sežiganju odpadkov, izgorevanju različnih fosilnih goriv itd. Danes pod besedo smog poznamo predvsem onesnaženost zraka v nižjih plasteh ozračja, ki jo vidimo kot meglo oziroma meglico (Smog 2012).

Smog je škodljiv za vse žive organizme. Zrak, ki je onesnažen s smogom, dobi značilno rjavosivo barvo (National Geographic 2012d).

a) Fotokemični smog

Danes je največ smoga, ki ga vidimo, t. i. fotokemičnega smoga. Fotokemični smog nastane z reakcijo dušikovega oksida z vsaj eno hlapno organsko spojino ob sončni svetlobi (National Geographic 2012d). Fotokemične reakcije so reakcije, kjer s pomočjo energije svetlobe pride do prehoda atomov in molekul v višje energijsko stanje. Ti atomi in molekule nato reagirajo med seboj (Boljka 2010). Fotokemični smog povzroča draženje dihal in oči, zmanjša produktivnost rastlin in povzroča razpad gradbenih materialov zaradi oksidacije. Fotokemični smog se največkrat pojavlja v vročih in suhih podnebnih (Fotokemični smog 2012).

2.2. Opredelitev kakovosti zraka s pregledom zakonodaje

Zaradi onesnaženega zraka v Evropi vsako leto umre več kot 360.000 ljudi. Največ težav zaradi onesnaženega zraka je v velikih mestih in industrijskih območjih v Nemčiji, na Nizozemskem, v Srednji Evropi in severni Italiji (Evropski parlament 2012).

Septembra leta 2005 je Evropska komisija predstavila strategijo za zmanjšanje števila smrti v povezavi z onesnaženostjo zraka za vsaj 40 % do leta 2020 in vložila Predlog Direktive o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo (Direktiva 2008/50/ES). Evropski parlament je leta 2006 sprejel Osnutek Direktive o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo, leta 2008 pa je bila direktiva sprejeta (Evropski parlament 2012).

Zgornji ocenjevalni prag za PM_{10} (prašni delci premera do 10 μm) znaša 28 $\mu g/m^3$, dnevna mejna vrednost pa 35 $\mu g/m^3$. Koncentracija ne bi smela preseči mejnih vrednosti več kot 35-krat v letu (Directives 2013).

Predpisi, ki urejajo kakovost zunanjega zraka v Sloveniji, so (Uršič in Gobec 2011, str. 14):

- Uredba o arzeniu, kadmiju, živem srebru, niklju in policikličnih aromatskih ogljikovodikih v zunanjem zraku (Ur. l. RS, št. 56/06);
- Uredba o kakovosti zunanjega zraka (Ur. l. RS, št. 9/11);
- Odredba o določitvi območja in razvrstitvi območij, aglomeracij in podobmočij glede na onesnaženost zunanjega zraka (Ur. l. RS, št. 51/11);
- Sklep o določitvi podobmočij zaradi upravljanja s kakovostjo zunanjega zraka (Ur. l. RS, št. 58/11);
- Uredba o prenehanju veljavnosti Uredbe o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih snovi v zraku (Ur. l. RS, št. 66/07).

2.2.1. Uredba o kakovosti zunanjega zraka

Uredba o kakovosti zunanjega zraka (Ur. l. RS, št. 9/2011) skupaj z Direktivo o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo določa:

- standarde kakovosti zunanjega zraka, zlasti ciljne, mejne, opozorilne, kritične in alarmne vrednosti glede kakovosti zunanjega zraka, da bi se izognili škodljivim učinkom na zdravje ljudi in okolje, jih preprečili ali zmanjšali;
- način obveščanja javnosti ob preseganju opozorilne in alarmne vrednosti za določena onesnaževala;
- obveznost priprave načrtov za ohranjanje in izboljšanje kakovosti zunanjega zraka.

V nadaljevanju so predstavljeni podatki za prašne delce PM₁₀ in PM_{2,5}.

Tabela 1: Mejne vrednosti za PM₁₀

Čas povprečenja	Mejna vrednost
1 dan	50 µg/m ³ , ne sme biti presežena več kot 35-krat v koledarskem letu
Koledarsko leto	40 µg/m ³

(Vir: Ur. l. RS, št. 9/2011)

Kjer so mejne vrednosti za PM₁₀ v zraku presežene zaradi resuspenzije delcev po zimskem posipanju ali soljenju cest, se takšno preseganje ne šteje za preseganje mejnih vrednosti po tej uredbi.

Ciljne in mejne vrednosti za PM_{2,5} so podane v tabeli 2.

Tabela 2: Ciljne in mejne vrednosti za PM_{2,5}

Čas povprečenja	Ciljne vrednosti	Mejne vrednosti
Koledarsko leto	25 µg/m ³	I. stopnja: 25 µg/m ³ II. stopnja: 20 µg/m ³

(Vir: Ur. l. RS, št. 9/2011)

Tabela 3: Zgornji in spodnji ocenjevalni prag za dušikov dioksid in dušikove okside

	Urna mejna vrednost za varovanje zdravja ljudi (NO ₂)	Letna mejna vrednost za varovanje zdravja ljudi (NO ₂)	Letna kritična vrednost za varstvo rastlin in naravnih ekosistemov (NO _x)
Zgornji ocenjevalni prag	70 % mejne vrednosti (vrednost 140 µg/m ³ ne sme biti presežena več kot 18-krat v koledarskem letu)	80 % mejne vrednosti (32 µg/m ³)	80 % kritične vrednosti (24 µg/m ³)
Spodnji ocenjevalni prag	50 % mejne vrednosti (vrednost 100 µg/m ³ ne sme biti presežna več kot 18-krat v koledarskem letu)	65 % mejne vrednosti (26 µg/m ³)	65 % kritične vrednosti (19,5 µg/m ³)

(Vir: Ur. l. RS, št. 55/2011)

Tabela 4: Zgornji in spodnji ocenjevalni prag za delce PM₁₀ in PM_{2,5}

	24-urno povprečje PM₁₀	Letno povprečje PM₁₀	Letno povprečje PM_{2,5}
Zgornji ocenjevalni prag	70 % mejne vrednosti (vrednost 35 µg/m ³ ne sme biti presežena več kot 35-krat v koledarskem letu)	70 % mejne vrednosti (28 µg/m ³)	70 % mejne vrednosti (17 µg/m ³)
Spodnji ocenjevalni prag	50 % mejne vrednosti (vrednost 25 µg/m ³ ne sme biti presežena več kot 35-krat v koledarskem letu)	50 % mejne vrednosti (20 µg/m ³)	50 % mejne vrednosti (12 µg/m ³)

(Vir: Ur. I. RS, št. 55/2011)

2.2.2. Zakonodaja s področja prašnih delcev – PM

Področje delcev PM₁₀ opredeljujeta Uredba o žveplovem dioksidu, dušikovih oksidih, delcih in svincu v zunanjem zraku (Ur. I. RS, št. 52/2002) in Pravilnik o monitoringu kakovosti zunanjega zraka (Ur. I. RS, št. 36/2007). Doseganje mejnih vrednosti delcev PM₁₀ v zunanjem zraku za varovanje zdravja ljudi je v veljavi od 1. 1. 2005 in določa:

- dnevno mejno koncentracijo 50 µg/m³; preseganje te koncentracije je dovoljeno 35-krat v koledarskem letu;
- letno mejno koncentracijo 40 µg/m³.

Doseganje mejnih vrednosti delcev PM_{2,5} v zunanjem zraku za varovanje zdravja ljudi določa (ARSO 2012c):

- letno mejno koncentracijo, ki mora biti dosežena do 1. 1. 2015 in je 25 µg/m³;
- letno mejno koncentracijo, ki mora biti dosežena do 1. 1. 2020 in je 20 µg/m³.

2.2.3. Zakonodaja s področja prašnih usedlin

Gobec in drugi (2011) prašne usedline definirajo kot vse delce, večje od 10 µm, ki se posedajo na površino tal.

Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih snovi v zraku (Ur. I. RS, št. 73/94), ki ne velja od 8. 8. 2007, določa mejne vrednosti za prašne usedline.

Tabela 5: Mejne vrednosti za prašne usedline do 8. 8. 2007

Snov	Časovni interval merjenja	Mejna vrednost, preračunana na en dan usedanja prahu
Skupne prašne usedline	En mesec	350 mg/(m ² *dan)
Skupne prašne usedline	Eno leto	200 mg/(m ² *dan)
Svinec v prašnih usedlinah	Eno leto	100 µg/(m ² *dan)
Kadmij v prašnih usedlinah	Eno leto	2 µg/(m ² *dan)
Cink v prašnih usedlinah	Eno leto	400 µg/(m ² *dan)

(Vir: Gobec idr. 2011)

Danes mejne vrednosti s področja prašnih usedlin niso določene z zakonodajo. Kljub temu da mejne vrednosti niso določene, nikjer ne prihaja do prekoračitve vrednosti, ki so bile veljavne do 8. 8. 2007.

2.2.4. Operativni program varstva zunanjega zraka pred onesnaževanjem s PM_{10}

Operativni program za PM_{10} se nanaša na izvedbo programov ukrepov preprečevanja onesnaženosti zunanjega zraka v skladu s strateškimi usmeritvami, in sicer iz Resolucije o nacionalnem programu varstva okolja za obdobje od leta 2005 do leta 2012. Operativni program za PM_{10} se nanaša tudi na izvedbo načrtov za kakovost zraka zaradi izvrševanja obveznosti iz predpisov in strategij Evropske unije na področju varstva zraka.

Komisija v Sporočilu SEC(2008)2132 meni, da bo sprejemanje in izvajanje ukrepov Skupnosti, ki se nanašajo na vire emisije PM_{10} , omogočilo izboljšanje kakovosti zraka danes in v prihodnje, čeprav zgolj ukrepi Skupnosti ne morejo zagotoviti ustrezne oziroma pravočasne skladnosti z mejnimi vrednostmi po vsej Evropski uniji. Nadaljnji ukrepi so potrebni predvsem na nacionalni, regionalni in lokalni ravni, zlasti na mestnih območjih. V skladu z Direktivo 2008/50/ES je treba načrte za kakovost zraka izdelati na nacionalni, regionalni in lokalni ravni (Operativni program ... 2009).

2.3. Drevesa in okolje – pomen dreves v urbanem okolju

V preteklosti je bila večina dreves v mestih posajena zaradi estetskega videza in osenčenosti, danes pa je jasno, da drevesa opravljajo še druge pomembne funkcije – vplivajo na mikroklimo, blažijo hrup, zadržujejo padavinske vode, blažijo ekstremne temperature, blažijo vpliv UV-sevanja in količin ozona ter drugih onesnaževal. Z razvojem mesta se njihova vloga povečuje, saj drevesa strukturno in ekološko prispevajo k podobi in kakovosti mestnega okolja (Šiftar idr. 2011). Od dreves prejemamo nešteto darov, med katerimi je tudi čistejši zrak, zato skrb za gozdove in drevesa ne sme biti prepuščena samo upravljavcem oziroma gozdarjem, ampak celotni družbi (Perko in Pogačnik 1996).



Slika 3: Drevesa so tudi življenjski prostor številnih živali
(Vir: Avtor, 2012)

Drevesa proizvajajo kisik in porabljajo ogljikov dioksid ter imajo v urbanem okolju še številne druge pozitivne vplive: dajejo senco, zmanjšujejo izhlapevanje vode, zmanjšujejo hitrost vetra, filtrirajo oziroma zadržujejo prah in plinasta onesnaževala. Drevesa imajo pozitiven vpliv tudi na telesno in duševno zdravje ljudi ter ustvarjajo oziroma nudijo prostor za sprostitvev in rekreacijo (Menke idr. 2008).

En hektar gozda proizvede od 7 do 10 ton kisika – povedano drugače, en hektar bukovega gozda na leto pridela za 100 ljudi kisika, akumulira do 2 milijona litrov deževnice, iz ozračja odstrani 68 ton prahu ter ozračju odvzame 30 ton ogljikovega dioksida (Perko in Pogačnik 1996). Po podatkih Nowaka (2002) so drevesa leta 1994 v New Yorku iz zraka odstranila 1821 ton onesnaževal; drevesa s premerom od 77 cm pa odstranijo tudi 1,4 kg onesnaževal na leto.

V urbanih območjih velja izpostaviti učinek filtriranja in s tem povezano zmanjševanje onesnaženega zraka. Pri izbiri dreves pa moramo biti pozorni, saj le zdrave in vitalne rastline razvijejo svoje čistilne sposobnosti v celoti (Menke idr. 2008).

2.3.1. Ekološka funkcija

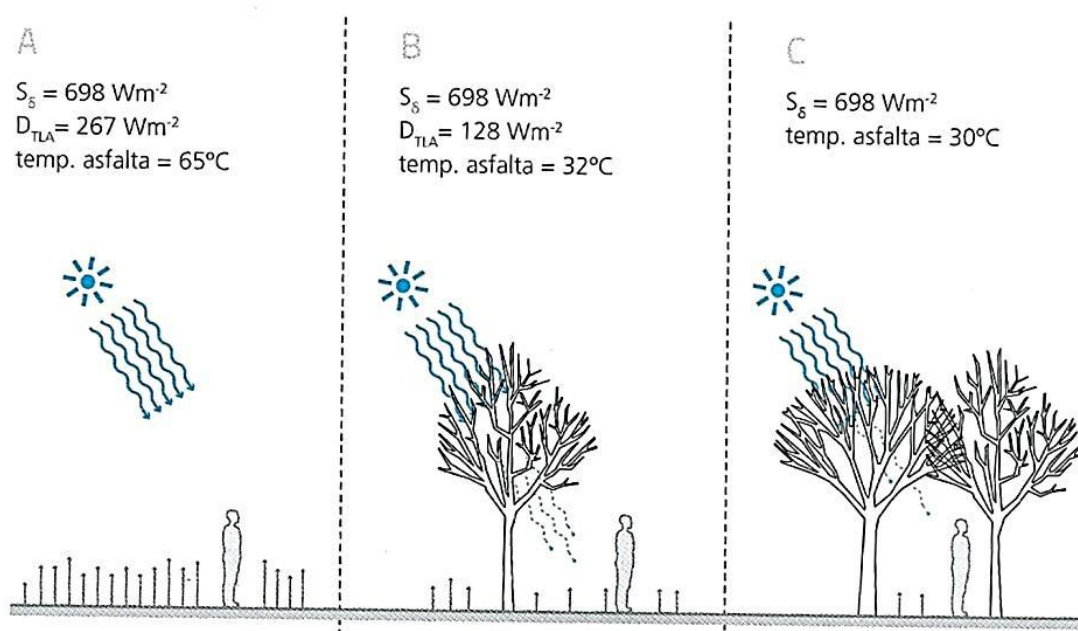
Drevesa blažijo učinke podnebnih sprememb (vezava CO₂ v času rasti), izboljšujejo kakovost zraka, shranjujejo zaloge vode in predstavljajo življenjski prostor številnim živalskim vrstam.

Ekološka funkcija predstavlja predvsem (Šiftar idr. 2011):

- ohranjanje biotske raznovrstnosti,
- zmanjšanje stopnje UV-sevanja, hrupa in onesnaženosti zraka,
- proizvodnjo kisika,
- vezavo CO₂,
- vzdrževanje normalnega vodnega krogotoka,
- zagotavljanje protivetrne zaščite in
- vzpostavljanje ekoloških povezav.

2.3.1.1. Vpliv na temperaturo in zračno vlago

Drevesa lahko v svoji neposredni bližini zagotovijo od 5 do 15 °C nižjo temperaturo kot drugod, kjer ni dreves.



S_g = gostota toka sončnega sevanja, D_{TLA} = gostota energetskega toka sevanja tal

Slika 4: Primer učinka drevesne sence
(Vir: Šiftar idr. 2011)

Drevo omogoča postopno izhlapevanje vode v zrak in s tem vpliva na boljše počutje. 30 % padavin se zadrži v krošnji dreves, 30 % pa v koreninah – ta voda nato postopno izhlapeva v zrak.

V poletnih mesecih drevesa dajejo občutek hladu, pozimi pa povečujejo občutek mraza in vplivajo na daljšo poledenost – predvsem zimzelena drevesa (Šiftar idr. 2011). Razlog, da drevesa vplivajo na temperaturo zraka, je predvsem v tem, da drevesa absorbirajo sončne žarke in preprečujejo segrevanje površin. Pomen dreves v urbanih območjih je poleg čiščenja zraka tudi dotok svežega hladnega zraka (Menke idr. 2008).

2.3.1.2. Vpliv na hitrost vetra

Drevesa vplivajo na smer in hitrost vetra – na površinah z drevesi je lahko hitrost vetra zmanjšana za 15 do 50 %, pri šibkem vetru pa tudi do 100 %. Uspešnost je odvisna predvsem od gostote listja in razporeditve dreves (Šiftar idr. 2011). Učinek je večji, če so nasadi večji in si po velikosti sledijo od grmovne do drevesne plasti. Drevesa so v mestih tudi nekakšen ščit pred vetrom, saj zmanjšujejo mešanje zraka in s tem tudi mešanje onesnaževal. Največjo vetrno zaščito predstavlja gozd – včasih se močni vetrovi v gozdu ne zaznajo (Menke idr. 2008).

2.3.1.3. Vpliv na hrup

Kakšen vpliv imajo drevesa na zmanjševanje hrupa, je odvisno predvsem od listov, in sicer od njihove velikosti in položaja. Pri protihrupni zaščiti velja naslednje (Šiftar idr. 2011):

- večje listne površine s trdo strukturo in dlakavostjo so primernejše,
- pravokotna postavitev listov glede na vir zvoka,
- velika gostota listov tudi znotraj krošnje,
- daljši čas olistanja.

2.3.1.4. Vpliv drevja na zmanjšanje zračnega onesnaženja

Listi za potrebe rasti absorbirajo ogljikov dioksid, pri tem pa tudi različna onesnaževala, kot so ozon, ogljikov monoksid in žveplov dioksid. V procesu fotosinteze tako nastaja kisik. Prav tako drevesa filtrirajo prašne delce, ki se usedajo na listno površino in se kasneje vračajo v okolje, predvsem s spiranjem ob dežju ali pa odpadanjem listja. Za odstranjevanje prašnih delcev so najprimernejši iglavci oziroma pri listavcih drevesa, ki imajo grobo in dlakavo površino (Šiftar idr. 2011).

Drevesa na obrobju sklenjene zarasti so v večji meri udeležena pri čiščenju zraka kot drevesa v notranjosti – kar velja predvsem za gozdove. Stik onesnaževala z listom je namreč bistvenega pomena za učinkovito čiščenje zraka. Manjša sklopljenost krošenj v drevesnem sestoju tako ugodneje vpliva na čiščenje zraka, kar pa ne velja v primeru drevoreda ob večjih mestnih prometnicah, kjer je sklenjenost krošenj posameznih dreves pomembna (Menke idr. 2008).

Povprečno 100 let staro drevo vsebuje približno 2500 kg čistega ogljika, ki ga je pridobilo s filtriranjem 18 milijonov m³ zraka. To drevo je v svojih letih iz zraka odstranilo in fotokemično vezalo 9100 kg ogljikovega dioksida in 3700 litrov vode, v zrak pa sprostito 6600 kg kisika. Prav tako je v teh letih v zrak sprostito najmanj 2500 ton vode (Šiftar idr. 2011).

2.3.1.5. Negativen vpliv drevja na kakovost zraka

Kljub temu da imajo drevesa predvsem pozitiven vpliv na kakovost zraka, pa lahko na kakovost vplivajo tudi negativno. Do negativnega učinka prihaja pri nekaterih drevesnih vrstah, ki oddajajo hlapne organske snovi, ki so katalizatorji pri tvorbi ozona in sekundarnih organskih aerosolov. Drevesa oddajo različne hlapne organske snovi, ki pa niso enako obremenjujoče za okolje. Pomembni so predvsem derivati izoprena in monoterpeni, ki so katalizatorji pri tvorbi ozona. Oddajanje teh snovi je odvisno od temperature – pri nižjih temperaturah je manjše. Najbolj problematične so vrste, ki izločajo nad 35 µg C/g listne mase na uro. Prav tako drevesa v slabem zdravstvenem stanju oddajajo več hlapnih organskih snovi. Drevesa, ki oddajajo te snovi, so predvsem smreka, hrast, topol, vrba in razni citrusi (Šiftar idr. 2011).

2.3.1.6. Ohranjanje čiste vode in tal

Odpadlo listje bogati tla z organsko snovjo, korenine povečujejo prevodnost tal in zmanjšujejo površinski odtok vode v času nalivov. Prav tako se zmanjšata erozija tal in nalaganje sedimentov v vodotokih. Drevesa pripomorejo tudi k bogatenju podtalnice in zmanjšujejo odtok onesnaževal v vodotoke (Zupancič 2009). Poglobljeno je to področje predstavljeno v naslednjem poglavju.

2.3.1.7. Vezava ogljikovega dioksida

Koncentracija ogljikovega dioksida v atmosferi se je od predindustrijskih časov do danes dvignila za skoraj 30 %. Večanje koncentracije ogljikovega dioksida v atmosferi ima dva pomena. Ogljikov dioksid povečuje učinek tople grede, kar vodi k segrevanju ozračja, na drugi strani pa ima stimulativen učinek na rast in razvoj rastlin. V primeru povišanih koncentracij ogljikovega dioksida lahko omenimo še tretji vpliv, in sicer njegovo raztapljanje v vodi. To vodi v nastanek ogljikove kisline (H_2CO_3), ki je sicer šibka kislina, a pripomore k zakisanju sladkovodnih vodnih teles kot tudi morja.

Rastline so najboljši organizmi za upočasnitev naraščanja ogljikovega dioksida v ozračju. Pri procesu, ki ga imenujemo fotosinteza, rastline ogljikov dioksid spremenijo v organske spojine. Za ta proces je potrebna sončna energija, prihaja pa tudi do sproščanja kisika. Vse rastline absorbirajo ogljikov dioksid, vendar so drevesa zaradi svoje velikosti in strukture korenin v prednosti. Sposobnost absorpcije je odvisna tudi od svetlobe, temperature, površine listov in stopnje rasti. Prav tako se absorpcija razlikuje med posameznimi vrstami – najprimernejša drevesa so vrbe, macesni, topoli in breze, manj primerni pa so javor, angleški brest in leska (Baraldi idr. 2011).

2.3.1.8. Proizvodnja kisika

Drevesa v procesu fotosinteze proizvajajo kisik. Če se osredotočim na gozdove Slovenije, ti porabijo na leto 6 milijonov litrov vode, 7,5 milijonov ton ogljikovega dioksida in 78 PJ sončne energije, s tem pa proizvedejo 5 milijonov ton organskih snovi in 5,5 milijonov ton kisika (Eleršek in Urbančič 2001). Edina pot, po kateri energija vstopa v biosfero, je fotosinteza in ves atmosferski kisik je produkt fotosinteze (Torelli 2007). Fotosinteza je proces, pri katerem se ogljikov dioksid reducira do sladkorja in voda oksidira do kisika. S formulo se fotosinteza ponazori: $6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$.

Bistvo fotosinteze je torej pretvorba svetlobne energije v kemijsko ter oksidacija vode v procesu fotolize v kisik. Fotosinteza ima več faz. Kisik nastaja v prvi fazi, ki se imenuje svetlobna faza in poteka na tilakoidnih membranah kloroplasta (Batič 2005, 2006). CO_2 , ki je nekoč nastal ob gorenju lesa, je s fotosintezo in asimilacijo postal del poljščine, po zaužitju pa del našega telesa in se tako vrnil v atmosfero z našim dihanjem (Torelli 2007).

Tabela 6: Okoljski učinek odrasle bukev in maksimalna dnevna ksilogeneza (po Shüttu in Kochu 1978)

115-letna bukev ima:	V enem sončnem dnevu:
200.000 listov	asimilira 9,4 m ³ CO ₂
1200 m ² listne površine	proizvede 9,4 m ³ O ₂
10 ¹⁴ kloroplastov	obnovi 45 m ³ zraka
180 g klorofila	proizvede 12 kg ogljikovih hidratov

(Vir: Torelli 2007)

Listna površina, ki jo ima 115-letna bukev (1200 m²), teoretično zadostuje za obnovitev kisika, ki ga letno potrebuje en človek (Torelli 2007). Po drugih podatkih bukev v 80 letih zraste v 25 m visoko drevo, doseže premer 15 m in prostornino 2700 m³ ter ima 800.000 listov s skupno površino 1600 m². Ta bukev vsako uro porabi 2,3 kg CO₂ in 1 kg vode ter proizvede 1,6 kg grozdnega sladkorja in 1,7 kg kisika, ki zadostuje za dihanje 10 ljudi. Bukev tako v 80 letih pridela 40 milijonov m³ zraka (Dolejši 2010).

2.3.2. Družbena funkcija

Drevesa imajo že iz zgodovine tudi simbolni pomen. Danes drevesa delujejo pomirjujoče, spodbujajo zadrževanje na prostem, vplivajo na koncentracijo itd. Dokazano je, da drevesa vplivajo tudi na hitrost okrevanja v bolnišnicah, prav tako je v urejenem zelenem okolju manj nasilja in kriminala. Svetovna zdravstvena organizacija priporoča 9 m² zelenih površin na prebivalca (Šiftar idr. 2011).

Drevesa prispevajo tudi k ekonomski in gospodarski stabilnosti mesta. Zelena območja so privlačnejša za turizem in držijo višjo ceno nepremičninam (Menke idr. 2008).

2.3.2.1. Vpliv na zdravje

Zrak vsebuje številne plinaste in trdne sestavine, izmed katerih so nekatere škodljive tako za okolje kot tudi za zdravje ljudi. Posebej onesnažen in škodljiv je zrak v mestih, kjer je zelo visoka koncentracija onesnaževal. Za zmanjšanje onesnaženja v mestih so učinkovit ukrep tudi zelene strehe in ozelenjene fasade. Kakršno koli doseganje standardov ne pomeni, da okolje ni obremenjeno, temveč da se zmanjša tveganje za razne poškodbe na ekosistemih ter bolezni pri ljudeh in živalih. Prašni delci danes po vsej Srednji Evropi predstavljajo težavo onesnaženja zraka (Menke idr. 2008). Drevesa tako dajejo občutek sprostitve in dobrega počutja ter nudijo zasebnost in občutek varnosti (Šiftar idr. 2011).

2.3.3. Oblikovalska funkcija

Drevesa v urbanih območjih prispevajo k estetskemu videzu, saj zagotavljajo zasebnost, poudarjajo ali zakrivajo poglede, vodijo promet, dopolnjujejo arhitekturne podrobnosti itd. (Šiftar idr. 2011).

2.3.4. Gospodarska funkcija

Pri gospodarski funkciji dreves gre predvsem za vrednost dreves oziroma tržno vrednost lesa in oceno koristi, ki jo daje (Šiftar idr. 2011).

2.4. Opis drevesnih organov

Drevo ima podzemni in nadzemni del. Podzemni del je koreninski sistem, s katerim drevo dobi snovi, potrebne za razvoj in rast. Nadzemni del je del, ki ga vidimo, in sicer deblo ter krošnja, ki jo tvorijo veje z listi (Brus 2005).

Pri drevesnih vrstah ločimo vegetativne organe, kot so korenine, steblo in listi, ter generativne oziroma razmnoževalne organe, kot so cvetovi in plodovi (Brus 2008). V diplomski nalogi sem se osredotočila predvsem na opis organov drevesa, ki imajo vpliv na onesnažen zrak. To so korenine, deblo, krošnja, veje in listi (Brus 2005).

2.4.1. Korenine

Rastlina je na podlago pritrjena s korenino. Kljub temu da so drevesa največje rastline, njihove korenine segajo v zemljo največ 2 m. V širino lahko korenine zrastejo toliko, kot je visoko drevo (Brus 2005). Korenine v naših podnebnih razmerah predstavljajo 20–30 % skupne mase drevesa, največja masa pa je na globini med 50 in 60 cm (Brus 2008). Globina, struktura, zračnost, vlažnost, rodovitnost in temperatura tal so talne razmere, ki vplivajo na razvoj korenin.

Drevo s koreninami pridobiva vodo in rudninske snovi, ki so nujno potrebne za rast in razvoj drevesa. Glavna korenina se razvije prva in s stranskimi koreninami tvori koreninski sistem. Laski, ki so na koncu korenin, so celice, ki živijo le nekaj dni in črpajo vodo in rudninske snovi (Brus 2005).

Koreninski sistem opravlja več nalog (Brus 2008):

- vpenjanje drevesa v tla oziroma zagotavljanje stabilnosti drevesa,
- sprejemanje in prevajanje vode in raztopljenih hranilnih snovi,
- sinteza regulatorjev rasti in drugih spojin,
- shranjevanje rezervnih snovi.

Poznamo tri tipe koreninskih sistemov (Brus 2005):

- srčasti tip,
- plitvi tip in
- koreninski tip z glavno korenino.

Koreninski sistem z glavno korenino je sistem, pri katerem glavna korenina raste strmo v globino, stranske korenine pa vodoravno ali poševno v zgornjih plasteh zemlje. Pri srčastem sistemu glavna korenina preneha rasti že v mladosti drevesa. Iz koreninskega vratu poženejo močne stranske korenine, ki se razvrščajo v vse smeri. Pri plitvem koreninskem sistemu se iz koreninskega vratu razraščajo stranske korenine, iz katerih se nato razraščajo tanjše oziroma ponikujoče korenine. Glavna korenina pri tem sistemu skoraj ni razvita (Brus 2008).

2.4.2. Deblo

Deblo daje drevesu oporo in trdnost ter je osrednji del drevesa, ki povezuje koreninski sistem in krošnjo (Cuerda 2006) ter omogoča, da se drevo razvije v višino (Brus 2008). Deblo je iz lesa, ki ga obdaja drevesna skorja. Drevesna skorja je zunanji del debla in ščiti njegovo notranjost pred zunanjimi vplivi. Kambij je notranja plast, ki je sestavljena iz deljivih živih celic. Če je oskrba z vodo onemogočena, te celice odmrejo in takrat postane lubje zaščita pred zunanjimi vplivi. Beljava, ki je tudi v notranjosti debla, je sestavljena iz živih celic, črnjava pa je v večjem delu sestavljena iz mrtvih celic.

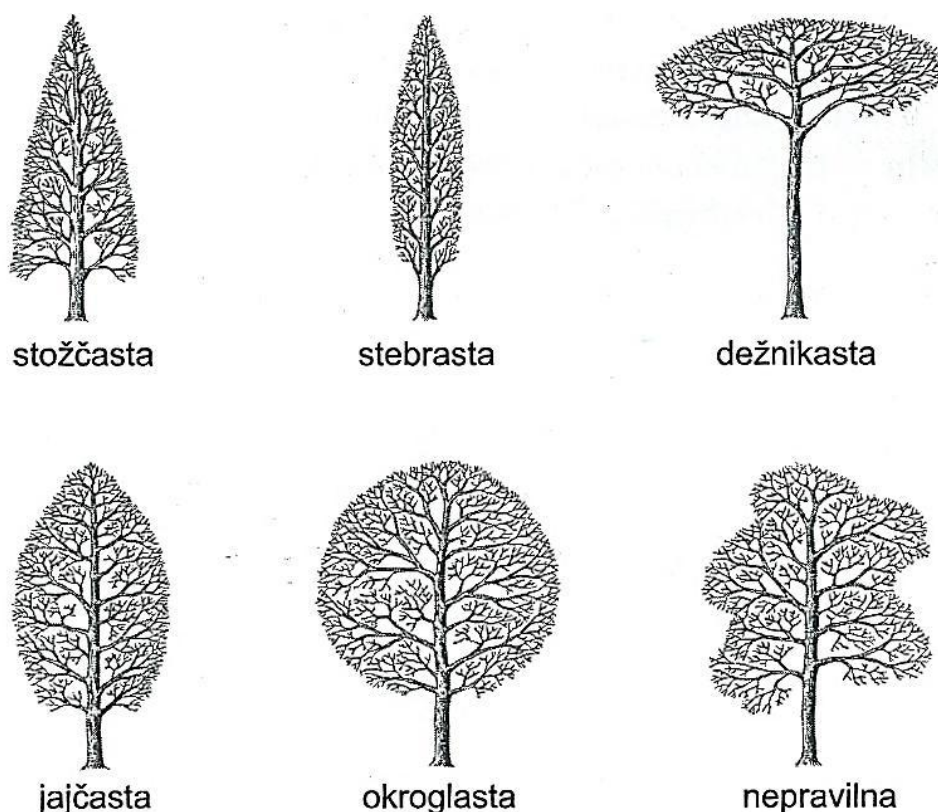
Pod drevesno skorjo so tudi tokovi, po katerih se prenašajo voda in rudninske snovi iz koreninskega sistema navzgor in rezervna hranila iz listov navzdol (Burnie 1990).

2.4.3. Krošnja

Krošnjo tvorijo veje, njena oblika pa je v veliki meri odvisna od okolja, v katerem raste drevo. Drevo razvije svojo značilno obliko krošnje le, če ima dovolj prostora in pogojev za rast.

Poznamo več oblik krošnje (Brus 2005):

- jajčasto,
- okroglo,
- nepravilno,
- dežnikasto,
- stebrasto in
- stožčasto.



Slika 5: Oblike krošenj dreves
(Vir: Brus 2008)

Krošnja omogoča pretok vode iz tal v atmosfero ter transportira v vodi raztopljene rudninske snovi iz tal v listje (Kotar 2005). Da je zrak onesnažen, se najprej pokaže na krošnji, saj začne spreminjati barvo in se redčiti. Krošnja zrcali dogajanje v koreninskem sistemu in je odgovor drevesa na okolje, v katerem raste (Dolejši 2010).

2.4.4. Veje

Pri lesnatih rastlinah ni enotno definirane meje med vejami in poganjki. Poganjki so po definiciji enoletne vejice, ki še niso olesenele. Dvoletne in večletne poganjke pa se že imenuje vejice. Ti se lahko razraščajo na dva načina, in sicer monopodialno ali simpodialno (Brus 2005). Monopodialno rast imajo na primer smreka, jelka, bukev, topol, simpodialno pa kostanj, lipa, hrast idr. (Cuerda 2006).

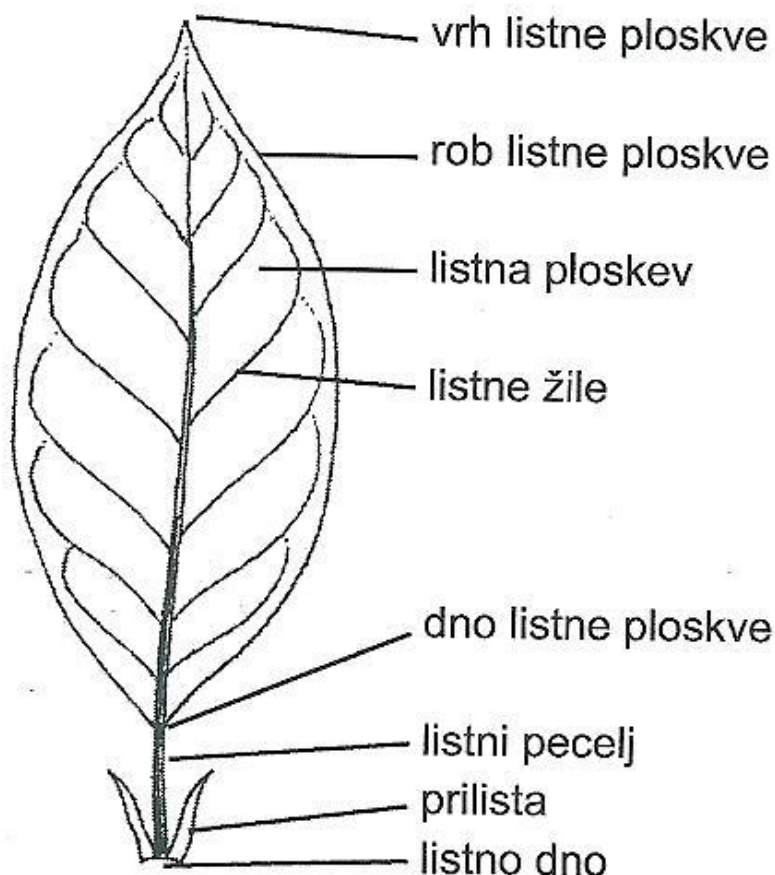
2.4.5. Listi

Listi so organ drevesa, ki skrbi za glavne življenjske funkcije drevesa, razlika med fotosintezo in dihanjem pa predstavlja rast drevesa (Dolejši 2010). Listi so na stebelu oziroma vejah razporejeni tako, da ujamejo največ svetlobe. Listi pri listavcih opravljajo fotosintezo in imajo veliko listno ploskev. Njihova rast je omejena in so razpoznavni znak med posameznimi drevesnimi vrstami (Brus 2005).

Vse celice v notranjosti lista sestavljajo listno sredico. Ta absorbira energijo sončne svetlobe, jo skozi proces fotosinteze spremeni v kemično energijo in veže v organsko hrano (Burnie 1998). Listi opravljajo fotosintezo, transpiracijo in izmenjavo plinov (Brus 2008). Osnovna naloga listov je fotosinteza in s tem povezano proizvodnjo organskih snovi in proizvodnjo kisika za celično dihanje rastline. Listi pa imajo tudi druge naloge, kot so obramba pred herbivori, zaloga vode, shranjevanje snovi itd. (Vilhar 2007).

List je sestavljen iz listne ploskve, ki je na zgornji strani predvsem zaradi večje vsebnosti klorofila temnejša kot na spodnji strani, listnega peclja in listnega dna. Na listni ploskvi je kutikula, ki preprečuje izhlapevanje vode, prav tako pa listna ploskev opravlja večino funkcij – fotosintezo, transpiracijo in izmenjavo plinov. Z listnimi žilami je preprejena notranjost listne

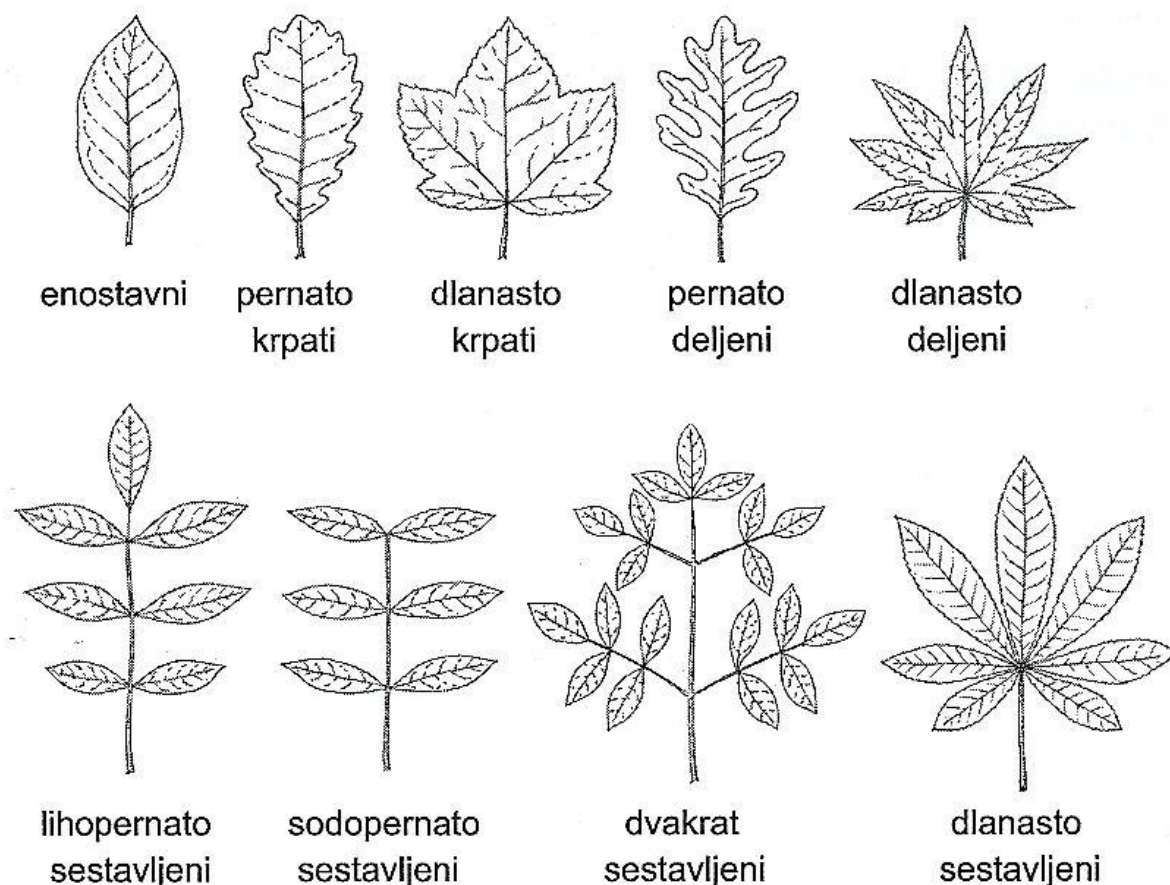
ploskve. Te žile oskrbujejo listno ploskev z raztopljenimi organskimi in anorganskimi snovmi ter ji dajejo trdnost in oporo. Listna ploskev je pritrjena na listni pecelj, katerega naloga je prevajanje anorganskih in organskih snovi med listno ploskvijo in stebлом. Listno dno pa predstavlja povezavo oziroma vez med listom in stebлом oziroma vejo. Nosilec listne ploskve je listni pecelj, ki ima pomembno vlogo pri prilagajanju vetru in različnim vremenskim razmeram, omogoča prodiranje svetlobe globlje v krošnjo in pospešuje transpiracijo. List je na drevo pripet z listnim pecljem, ta pa z listnim dnom (Brus 2005, 2008).



Slika 6: Deli lista
(Vir: Brus 2008)

Poznamo več vrst listov (Brus 2005):

- enostavni listi so listi, ki imajo en pecelj in celo listno ploskev;
- krpasti listi so listi, ki imajo listno ploskev izraženo kot krpe, med katerimi zareze niso globlje od tretjine širine lista;
- deljeni listi imajo listno ploskev, ki ima izražene krpe z zarezami, globljimi od tretjine širine lista;
- sestavljeni listi so listi, ki so na skupnem peclju in imajo več kot 3 lističe.



Slika 7: Členjenost listne ploskve
(Vir: Brus 2008)

Ko drevo odvrže liste, se znebi tudi strupenih razkrojkov, ki bi utegnili rastlini škodovati (Dolejši 2010).

2.4.5.1. Povrhnjica

Povrhnjica, imenovana tudi epidermis, je najbolj zunanja plast listov, nad njo je le kutikula. Na povrhnjico delujejo različni dejavniki iz okolja, saj je povrhnjica vmesna površina med rastlino in okoljem. Povrhnjica je sestavljena iz različnih vrst celic in opravlja več nalog. Regulira vstop vode v rastlino, zbira svetlobo za potek fotosinteze, zaščiti tudi pred nevarnimi sončnimi žarki in drugimi organizmi ter dejavniki okolja (Dermastia 2007).

a) Kutikula

Kutikula je plast kutina in voskov na zunanji steni povrhnjice in ščiti rastlino pred izgubljanjem vode ter pred patogeni in žuželkami. Kutin nastane s polimerizacijo oksigeniranih maščobnih kislin C16 in C18 in je visokomolekularen lipidni poliester. Kutikula se nalaga v vzorcih prog, vzboklin, vijug ali mrež, ki so značilne za posamezno rastlino. Kutikula zadržuje vodo, odbija presežke sončnega sevanja in ščiti spodnje plasti lista. Kutin predstavlja zaščito pred patogeni, saj je neprebavljiv in težko razgradljiv. Kutikula je gladka in spore organizmov se je ne morejo oprijeti (Dermastia 2007).

b) Vosek

Vosek je univerzalno povezan s kutikulo na zunanji steni povrhnjice. Vosek je heterogeni polimer dolgoveržnih maščobnih kislin, alkoholov, ketonov, aldehydov in estrov, ki so pri sobni temperaturi v trdnem agregatnem stanju. Monomeri voskov nastajajo iz maščobnih

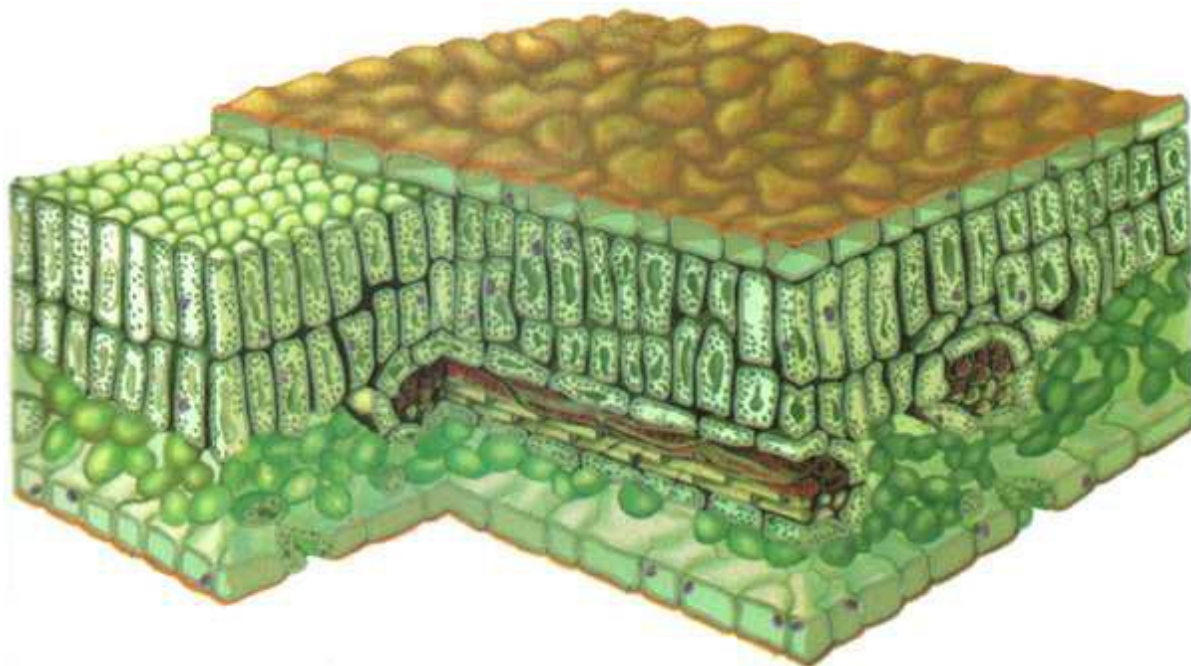
kislin C16 in C18 v posebnem delu ER. Monomere verjetno prenašajo prenosni proteini za lipide, saj so glavne komponente voskov popolnoma netopne v vodnih raztopinah.

Vosek se pojavlja v obliki delcev v kutikuli ali kot enotna plast na njeni površini. Vosek naredi površino lista hidrofobno in vodoodporno, učinkovit je tudi proti žuželkam in je učinkovit sončni zaslon. S pravo sestavo je vosek lahko lepljiv in gumijast, zaradi česar se prašni delci ujamejo na površino lista (Dermastia 2007).

c) Listne reže

Vosek in kutin omejujeta izgubljanje vode iz rastline in preprečujeta vstop ogljikovega dioksida. Povrhnjice listov zaradi tega niso popolnoma neprepustne. Listne reže so odprtine na povrhnjici in so ločene z vsaj eno navadno celico povrhnjice. Listne reže omogočajo prenos plinov in vlage. Posamezno listno režo obdajata dve celici zapiralke, ki odpirata ali zapirata listno režo. Listne reže so lahko na obeh straneh lista, vendar so v zmernem podnebnem pasu v večjem številu na spodnji strani lista, kjer jih je lahko tudi 100 na 1 mm². Listi listopadnih dreves imajo več teh rež.

Velikost listne reže določajo celice zapiralke. Obdane so z obroči celuloznih mikrofibril, ki so odgovorne za odpiranje listnih rež. Naloga listnih rež je izmenjava plinov in vlage med okolico in notranjostjo lista. Listne reže se odprejo ob dovolj veliki sončni svetlobi in oskrbi z vodo (Dermastia 2007).



Slika 8: Prerez lista
(Vir: Botanika 2012)

Na sliki 8 vidimo prerez zelenega lista. Z rjavo barvo je zgoraj in spodaj obarvana kutikula.

2.5. Vloga dreves pri zmanjševanju obremenitev v tleh, vodi in zraku

Okolje, v katerem živimo, je čedalje bolj onesnaženo. Znano je, da imajo rastline pozitiven vpliv na kakovost bivalnega okolja, zaradi česar je pomembno poznati njihovo vlogo v okolju.

2.5.1. Principi zmanjševanja obremenitev vode in tal

Rastline imajo različne strategije za preživetje v onesnaženem okolju in se na to odzivajo na več načinov. Rastline iz okolja sprejemajo strupene snovi in s tem očistijo zrak, prst, vodo in drugo. Pojem, pri katerem gre za uporabo rastlin za odstranjevanje onesnaženja, se imenuje fitoremediacija (White 2000).

Pri fitoremediaciji gre za odstranjevanje onesnaževal iz vode in tal s pomočjo rastlin in z njimi povezanih mikroorganizmov (Dushenkov idr. 1997). S pomočjo fitoremediacije se tako lahko odstrani in stabilizira različna onesnaževala, med katerimi so tudi kovine, pesticidi, topila, naftni derivati, razstreliva itd. Čiščenje s pomočjo fitoremediacije je primerno tudi za odstranjevanje onesnaževal iz točkovnih in razpršenih virov (Phytotechnology Technical and ... 2009).

Rastline, ki so primerne za fitoremediacijo, imajo naravno sposobnost razgradnje ali pretvorbe nekaterih škodljivih spojin in kovin v manj nevarne oblike. Rastline prevzamejo onesnaževala iz vode ali tal in jih kopičijo v svojih podzemnih in nadzemnih delih (Renee idr. 2009). Lesne rastline, kamor sodijo tudi drevesa, imajo velik fitoremediacijski potencial za razgradnjo raznih snovi. Prav tako imajo globoke korenine ter veliko produkcijo biomase in s tem tudi večjo sposobnost akumulacije onesnažil (Chappell 1997).

Fitoremediacija se uporablja v primerih, kjer koncentracije onesnaževal nimajo negativnega oziroma strupenega vpliva na rast rastlin in še omogočajo uspešno rast in s tem vezavo snovi. Onesnaževala morajo biti biološko dostopna in na dosegu korenin (Phytotechnology Technical and ... 2009).

Ena glavnih prednosti fitoremediacije je relativno nizek strošek v primerjavi z drugimi metodami. V mnogo primerih je bilo ugotovljeno, da je čiščenje s fitoremediacijo tudi za več kot 50 % cenejše od drugih alternativnih metod. Med ostalimi prednostmi fitoremediacije v primerjavi z alternativnimi metodami se omenja njihov (prav tam):

- manj moteč videz za okolje in
- potencial čiščenja več vrst onesnaževal hkrati.

Slabosti fitoremediacije v primerjavi z alternativnimi metodami so (prav tam):

- potreba po vzpostavitvi pogojev za rast rastlin (podnebje, geologija itd.);
- onesnaževala, ki so zbrana v nadzemnih delih rastline, se lahko sprostijo nazaj v okolje (listje jeseni odpade, les, namenjen kurjavi, itd.);
- daljši čas, potreben za remediacijo;
- onesnaževala v rastlinah lahko vstopijo v prehranjevalno verigo.

Posamezne rastlinske vrste se med seboj razlikujejo v kapaciteti akumulacije in premeščanja težkih kovin kot tudi drugih snovi. V nekaterih primerih se privzete spojine zadržijo le v koreninah, v drugih primerih pa poteče transport v nadzemne dele rastline, kar je pomembno z vidika odstranjevanja onesnažil iz sistema. Težke kovine, ki jih rastline črpajo, se vežejo predvsem na celično steno, na površino plazmaleme, vakuolo, organske kisline in anorganske komplekse (Blaylock in Huang 2000). Pri tej vezavi se tvorijo kompleksi, ki omogočajo transport kovinskih ionov v vakuole in druge celične organele celice (Kochler idr. 2004).

Fitoremediacija poteka v več stopnjah. V primeru na primer kovinskih ionov poteka v prvi fazi imobilizacija kovin v območju ozkega koreninskega dela rastlin ali rizosfere. Kovinski ioni postanejo v tem procesu manj mobilni s tvorbo različnih kovinskih kompleksov s spojinami, ki jih v tla izločajo korenine. V naslednji stopnji lahko poteče privzem kovinskih ionov v korenine in od tam transport v nadzemne dele. V nadzemnih delih rastline pa se lahko kovinski ioni vežejo oziroma odložijo v posamezna rastlinska tkiva, kot so listi, lubje itd., ali prehajajo skozi listne reže nazaj v ozračje. V primeru različnih organskih spojin pa lahko poteče poleg vezave teh spojin v različna rastlinska tkiva tudi njihova metabolna razgradnja (Phytotechnology Technical and ... 2009).

Glede na način privzema in pretvorbe onesnaževal ločimo različne načine fitoremediacije.

Fitoekstrakcija, imenovana tudi fitoakumulacija (Phytoremediation 2012), je postopek, pri katerem rastline čistijo onesnažena tla s pomočjo dejavnosti korenin (Ambrožič 2007), tako da preko koreninskega sistema črpajo iz vode in tal različne spojine. Po navadi govorimo o fitoekstrakciji predvsem v povezavi z akumulacijo kovinskih ionov (Derman 2007).

Rizofiltracija je način, pri katerem filtracija vode poteka skozi korenine rastlin, s čimer dosežemo zadrževanje, privzemanje in obarjanje onesnažil iz odpadne vode (Ensley 2000).

Za ta način so primerne vodne rastline, kot je vodna hijacinta in druge vodne in vlagoljubne rastline z močno razrastjo korenin kot tudi tvorbo zelene biomase (Ambrožič 2007).

O fitostabilizaciji govorimo, ko gre za preprečevanje širjenja onesnažil oziroma njihovo zadrževanje na onesnaženih mestih. Rastline tako omejujejo razširjanje onesnažila v globlje plasti tal, podtalnico in zrak (Petkovšek idr. 2010).

Rastline, primerne za fitoremediacijo, morajo imeti globok in obsežen koreninski sistem (Petkovšek idr. 2010).

Pri procesu fitovolatizacije rastline črpajo onesnaževala skozi korenine in jih izločajo skozi liste nazaj v ozračje (Vovk in Janškovec 2009). Pri fitovolatizaciji gre torej za uporabo rastlin za biološko transformacijo onesnažil v hlapne snovi v metabolizmu rastline (Derman 2007). Fitovolatizacija je najbolj sporna med vsemi procesi fitoremediacije, saj se določen odstotek strupenih onesnaževal vrača nazaj v okolje skozi listne reže (Ambrožič 2007). V primeru posameznega onesnaženja moramo zato poznati vrsto onesnaženja in upoštevati, da se določena onesnažila, kot je na primer živo srebro, lahko preko rastlin sproščajo v ozračje. V takih primerih onesnaženja je zato smiselno izbrati druge primerne metode remediacije (Phytotechnology Technical and ... 2009).

Fitodegradacija, imenovana tudi fitotransformacija, je biološka razgradnja onesnaževal s pomočjo rastlin, ki lahko poteka v rastlini (interno) ali zunaj koreninskega sistema (eksterno) s pomočjo encimov, ki jih rastlina sprosti v okolje (prav tam). O fitodegradaciji govorimo tudi v primeru razgradnje različnih spojin v neposrednem okolju koreninskega sistema, v kateri sodelujejo tudi mikroorganizmi, prisotni v tleh in rastlinskih koreninah. V tem primeru se uporablja tudi izraz rizadorgradnja.

2.5.2. Principi zmanjševanja zračnih obremenitev

Rastline imajo pomembno vlogo pri filtriranju zraka z adsorpcijo prašnih delcev na listne površine. Drevesa, ki imajo večjo skupno površino listov, so primernejša za čiščenje zraka, ki je onesnažen s prašnimi delci, saj njihova struktura omogoča lažje usedanje prašnih delcev na površino listov. Sposobnost vezave prašnih delcev je odvisna od kemijske sestave in strukture listne površine. Listi, ki imajo grobo strukturo listne površine, so primernejši od listov z gladko strukturo. Prav tako so primernejše zimzelene rastline, ki imajo sposobnost vezave prašnih delcev skozi vse leto (Dzierżanowski idr. 2011).

Vse rastline filtrirajo prah in plinasta onesnaževala iz zraka, vendar so nekatere pri tem procesu učinkovitejše. Odlaganje prahu v gozdu je 2–16-krat večje kot na nižji vegetaciji. Prednost dreves je predvsem v njihovi velikosti, saj imajo večjo površino in so posledično večja ovira za prehod zraka (Menke idr. 2008). V študiji, ki je bila izvedena v Veliki Britaniji, je bilo ugotovljeno, da sajenje dreves na četrtno razpoložljivih mest v urbanih območjih uspe zmanjšati koncentracijo prašnih delcev za 2–10 %, kar bi imelo neposreden pozitiven učinek na zdravje ljudi (Dzierżanowski idr. 2011).

Rastline lahko onesnaževala absorbirajo skozi listne reže ali kutikulo celic listov. Najbolj zunanja plast lista je povrhnjica ali kutikula, ki je sestavljena iz maščobnih snovi in rastlino ščiti pred izsušitvijo. Listne reže so samozapiralne odprtine v listih in omogočajo neprekinjeno izmenjavo plinov med listom in okolico. Listne reže so odprte podnevi in zaprte ponoči, zato je filtriranje plinastih onesnažil iz zraka večje podnevi. Plinasta onesnažila, kot sta na primer dušikov oksid in ozon, se večinoma absorbirajo skozi listne reže v list.

Za mnoge hlapne organske spojine je povrhnjica glavna absorpcijska pot, saj so te spojine topne v maščobah v povrhnjici. Proces v povrhnjici so dejavni tudi ponoči, medtem ko so listne reže zaprte. Snovi se po prevzemu skozi povrhnjico postopno sprostijo v

notranjost lista. Listi, ki imajo debelo povrhnjico, so zelo primerni za odstranjevanje organskih onesnaževal (na primer iglavci) (Menke idr. 2008).

Pri zmanjševanju prašnih delcev iz zraka imajo rastline pomembno vlogo. Med izrastke na listnih ploskvah se ujamejo prašni delci, lahko pa se prilepijo tudi v voskasto kutikulo (Vrhovšek idr. 2011). Količina površinskih depozitov kovin in prevzem preko listov sta odvisna od (Podgorelc 2007):

- relativne zračne vlage,
- smeri vetra,
- moči in količine padavin,
- temperature,
- razporeditve listov in vej,
- vrste kovine,
- morfologije listov.

Več prašnih delcev zadržijo listi, ki imajo več epidermalnih struktur oziroma izrastkov, in listi, ki imajo večje listne ploskve v primerjavi z listi, ki imajo gladko površino in manjše listne ploskve (Vrhovšek idr. 2001). Pri zadrževanju grobih prašnih delcev je pomembna lepljivost listne površine, pri zadrževanju finih prašnih delcev pa njihova grobost (Baraldi idr. 2011). Večina prašnih delcev, ki so se nabrali na listnih površinah, se ob padavinah spere na tla, kjer so podvrženi biološki razgradnji in akumuliranju, izjema so delci, ki so se prilepili na voskasto kutikulo – ti delci se ob padavinah ne sperejo in preidejo v tla z odpadom listov.

Način zasaditve vegetacije, s katero preprečujemo širjenje kot na primer obremenitev s prašnimi delci, so vegetacijski pasovi. To je pas drevesne in grmovne vegetacije in sodi v širši sklop ekoremediacijskih blažilnih območij (Vovk in Vrhovšek 2007).

Protiprašne bariere preprečujejo prehod prašnih delcev in se uporabljajo za preprečevanje točkovnega ali razpršenega vira prašnih delcev. Protiprašna bariera mora biti postavljena skladno z najpogostejšo smerjo vetra, ki prinaša prašne delce (Vrhovšek idr. 2011). Protiprašne bariere opravljajo nalogo fizičnih zaprek z namenom, da se izognemo škodljivim in nezaželenim dejavnikom v okolju (Vrhovšek idr. 2009).

2.5.2.1. Odziv rastlin na zračna onesnaževala

Danes se rastline uporablja tudi kot bioindikatorje. To so rastline, ki se odzivajo na vplive iz okolja. Odziv vidimo kot spremembe vitalnih funkcij ali spremembo kemične sestave rastline (Schubert 1985).

Rastline zaradi različnih dejavnikov, kot so zračna onesnaževala, težke kovine itd., doživijo oksidativni stres. Do tega pride, saj dejavniki, kot so različna onesnaževala, v rastlinah povzročajo nastanek oksidantov (Alscher in Cumming 1990). Zračna onesnaževala lahko na rastlinah pustijo akutne ali kronične posledice. Do akutnih posledic pride, ko so rastline kratkotrajno izpostavljene visokim koncentracijam zračnih onesnaževal. Pri tem pride do kloroze in nekroze listnega tkiva, odpadanja listov, cvetov in plodov (Batič idr. 1996). Če so rastline dolgoročno izpostavljene manjšim koncentracijam zračnih onesnaževal, govorimo o kroničnih posledicah. V tem primeru pride do upočasnjene rasti in razvoja rastline, kar vodi v njen počasen razpad (Holland idr. 2006). Poškodbe, ki nastanejo, se pogosto lahko dokažejo le s fiziološkimi in z biokemičnimi metodami (Steubing 1982).

Zračna onesnaževala lahko vstopijo v rastlino preko listnih rež. V medcelični tekočini nato reagirajo z molekulami, kot so beljakovine (proteini) in lipidi. Posledica tega je verižna reakcija, v kateri proteini in lipidi v celični steni in membrani oksidirajo in lipidi peroksidirajo. Pri tem nastajajo prosti radikali, ki povzročajo povečano prepustnost celičnih membran. Posledica tega je več metaboličnih motenj in genskih poškodb (Pell idr. 1997).

Odziv rastline na škodljiv vpliv zračnih onesnaževal se kaže v spremembah na biokemični, fiziološki ali morfološki ravni (Iqbal in Yunus 1996). Rastline lahko regulirajo vstop plinastih molekul skozi listno režo z zapiranjem in odpiranjem rež in tako omejijo vstop zračnih onesnaževal. S tem obvarujejo tudi pomembne fiziološke procese.

Do poškodb lahko pride zaradi absorpcije onesnaževala ali pa zaradi snovi, ki nastanejo z reakcijo oziroma pretvorbo onesnaževala. Ko se koncentracija onesnaževal povečuje ali pa je njihovo zadrževanje v tkivih dalj časa, pride do poškodb. Sistemi notranje obrambe celic

odpovedo in pride do poškodb membrane. To vodi v motnje transporta, čemur sledi propad celičnih organelov (Batič 1994).

Odziv rastlin na določeno onesnaževalo je odvisen od doze onesnaževala, od fiziološkega stanja rastline in od dejavnikov neživega okolja (Batič 1992). Rastline lahko zato pripomorejo k zmanjševanju zračnih obremenitev le v okviru koncentracij onesnaževal, ki še dopuščajo njihovo zdravo rast oziroma v okviru njihovega območja tolerance na onesnaževalo.

2.5.2.2. Reakcija dreves na poškodbe zaradi onesnaženosti ozračja

Abiotski in biotski vplivi nemalokrat povzročajo poškodbe in okužbe dreves. Drevesa zmorejo za določen čas omejiti te rane in poškodbe – takrat govorimo o samoobrambi drevesa. Slednja je odvisna od drevesne vrste, vrste in lege poškodbe, letnega časa poškodovanja, mikroorganizmov v okolju in njihove številčnosti, temperature ter drugih vplivov iz okolja.

Drevo poškodb ne pozdravi samo, temveč jih le omeji za določen čas.

Drevesa lahko na grobo razdelimo na drevesa, ki so dobri kompartmentalizatorji, in drevesa, ki so slabi kompartmentalizatorji. Drevesa, ki so dobri kompartmentalizatorji, so drevesa, ki zmorejo uspešno omejiti mesto poškodbe za daljši čas, drevesa, ki so slabi kompartmentalizatorji, pa so drevesa, ki omejujejo mesto poškodbe za krajši čas, zaradi česar je nadaljnje propadanje tkiv od mesta poškodbe hitrejše (Dolejši 2010).

2.5.2.3. Rastline, primerne za protiprašne bariere in odstranjevanje prašnih delcev

V nadaljevanju je naštetih nekaj rastlin, ki so primerne za zadrževanje prašnih delcev (Vrhovšek idr. 2011):

- tisa kot zimzeleni iglavec omogoča zadrževanje prahu vse leto, prav tako pa zadržuje hidrofobne delce, saj ima izrazito kutikulo;
- navadna kalina raste v listnatih gozdovih in grmiščih. Primerna je za zadrževanje hidrofobnih delcev, saj ima kljub majhnim listom debelo kutikulo;
- puhasti hrast zraste v visoko drevo, zaradi česar omogoča lovljenje prašnih delcev v višjih plasteh. Prav tako ima tudi odlačene liste, s katerimi lahko lovi prašne delce;
- navadni mokovec ima razmeroma velike liste, ki so na spodnji strani porastli z dlačicami, s čimer lovi prašne delce;
- dobrovita je grmovnica, ki ima razmeroma velike liste, ki so odlačeni na obeh straneh;
- brogovita ima tako kot navadni mokovec razmeroma velike liste, ki so odlačeni na spodnji strani, s čimer uspešno lovi prašne delce, ter
- puhastolistno kosteničevje je grmovnica, ki ima liste na obeh straneh gosto odlačene.

V tabeli 7 je predstavljen način sprejema oziroma zadrževanja različnih onesnaževal na površini listov.

Tabela 7: Sprejem različnih onesnaževal z listi

Onesnaževalo	Mehanizem/potek	Primerni listi
Ozon, dušikovi oksidi	Absorpcija	Ploščati in široki listi
Hlapne organske spojine	Absorpcija	Iglavci z debelo in mastno povrhnjico
Prašni delci	Usedanje	Iglavci in kosmati, lepljivi listi

(Vir: Menke idr. 2008)

2.5.2.4. Rastline, primerne za odstranjevanje plinastih onesnaževal

Za odstranjevanje plinastih onesnaževal so po podatkih Šiftarja (2011) najprimernejša naslednja drevesa:

- bela vrba,
- dob,
- javorolistna platana,
- močvirski hrast,
- navadni ambrovec in
- topol.

3. Materiali in metode

Pri izdelavi diplomske naloge sem uporabila različne metode dela:

- a) zbiranje podatkov s študijo literature in pogovori s poznavalci obravnavane tematike;
- b) terensko delo s pregledom obstoječe zasaditve in predlogi za dodatno zasaditev drevesnih vrst na območju Celja;
- c) urejanje podatkov, kjer sem podatke, pridobljene iz literature in pogovorov s poznavalci, vključila v posamezna poglavja in jih analizirala ter primerjala z videnji na terenskem delu.

V poglavjih sem se osredotočila na različne metode, in sicer:

1. poglavje: urbano okolje

Podatke sem pridobila predvsem s pregledovanjem literature, ki sem jo povezala z znanjem, pridobljenim tekom študija. Za pomoč sem prosila tudi Boštjana Gaberška, zaposlenega na Inštitutu za okolje (IOP) v Celju.

2. poglavje: opredelitev kakovosti zraka s pregledom zakonodaje

Podatke, potrebne za pisanje tega poglavja, sem pridobila predvsem s pregledom zakonodaje Republike Slovenije. Nekaj podatkov o zakonodaji sem dobila tudi v publikacijah oziroma letnih poročilih Agencije Republike Slovenije za okolje ter Zavoda za zdravstveno varstvo Celje.

3. poglavje: drevesa in okolje – pomen dreves v urbanem okolju

Podatke, ki sem jih potrebovala za to poglavje, sem prav tako pridobila ob preučevanju različne literature. Izhodišče sem dobila ob pogovoru z Natašo Dolejši, zaposleno v podjetju za urejanje prostora v Velenju, ki mi je pomagala tudi pri pridobivanju tuje strokovne literature.

4. poglavje: opis drevesnih organov

Pisanje poglavja je potekalo ob proučevanju literature in opazovanju dreves v naravi.

5. poglavje: vloga dreves pri zmanjševanju obremenitev v okolju

Podatke sem pridobila s proučevanjem slovenske in tuje literature. Za pomoč in izhodišče sem prosila tudi Natašo Dolejši, Miloša Milovanoviča, zaposlenega pri Simbio Celje, Ireno Ašič, zaposleno pri Vrtovi drugače, ter Rajka Čaterja, zaposlenega v Mestni občini Celje.

č) vrednotenje podatkov



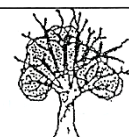

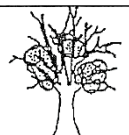
Za namen vrednotenja stanja dreves glede na njihovo vitalnost in poškodovanost sem uporabila delitev, ponazorjeno s tabelo 8.

Tabela 8: Stanje dreves

Vitalnost		Poškodovanost	
0	zdravo drevo	1	nepoškodovano
1	rahlo poškodovano	2	rahlo poškodovano
2	srednje poškodovano	3	močno poškodovano
3	močno poškodovano	4	hirajoče
4	odmrlo drevo	5	odmrlo drevo

(Vir: Mestna občina Celje)

Tabela 8a: Stopnja vitalnosti dreves

Galk, 2002		Stopnja poškodbe	Splošno stanje drevesa	Krošnja	Veje in deblo	Korenine
	Zdravo do rahlo poškodovano drevo	0-10%	Rast in razvoj sortno specifična. Izpolnjena funkcija. Dobra vitalnost	Polna rast, vrstna značilna oblika krošnje. Vrstno značilno razvejanje. Polno vrstno značilno olistanje.	Rast je vrstno specifična in starosti primerna. Pri poškodbah se rane dobro zarastejo.	Zadovoljivo velik koreninski prostor. Ni prepoznavnih poškodb korenin.
	Rahlo do srednje močno poškodovano drevo	10-25%	Rast in razvoj zadovoljiva. Omejena funkcija. Upadanje vitalnosti.	Drobne veje na zunanem delu krošnje manjkajo. Omejena intenziteta razvejanja. Prezgodnje odpadanje listja.	Rahle omejitve zgornjih kriterijev. Možne rahle poškodbe lubja.	Koreninski prostor rahlo omejen. Začetek močnejšega obraščanja na koreninah, korenine rahlo poškodovane.
	Srednje močno do močno poškodovano drevo	25-60%	Rast in razvoj motena. Funkcija omejena.	Odmiranje vej, Slaba rast. Redka krošnja. Majhni listi. Zgodnje odpadanje listja.	Do 30% poškodb lubja. Slabša sposobnost zaraščanja po poškodbah. Upadanje rasti in zaraščanje ran.	Poškodbe korenin. Močno zgoščen koreninski prostor. Močnejše obraščanje na koreninah.
	Močno do zelo močno poškodovano drevo	60-90%	Rast in razvoj močno motena. Vitalnost ni več zadovoljiva. Funkcija zelo prizadeta.	Posamezni deli krošnje so odmrli. Uspevajo le posamezni deli krošnje. V spodnjem delu drevesa zelo slaba rast. Napredovanje trohnenja.	Do 45% izgube skorje. Zelo slaba sposobnost zaraščanja. Rast komaj zaznavna.	Poškodbe korenin. Močno zgoščen koreninski prostor. Močnejše obraščanje na koreninah.
	Zelo močno poškodovano do odmrlo drevo	90-100%	Vitalnost komaj ali nič več opazna.	Krošnja skoraj povsem do povsem odmrta. Ni olistanja oziroma je olistanje zelo slabo.	Več kot 50% izgube lubja. Ni sposobnosti zaraščanja. Ni rasti.	Koreninski splet močno zmanjšan oziroma odmrli. Močno zgoščen koreninski prostor. Močnejše obraščanje na koreninah.

(Vir: Mestna občina Celje)

Skladno s predstavljenimi lestvico je bilo opredeljeno stanje dreves na območju starega mestnega jedra Celja.

Primernost drevesnih vrst za odstranjevanje onesnaževal sem ovrednotila s pomočjo tabele 9. V njej so podane drevesne vrste in njihova primernost za odstranjevanje posameznih onesnaževal – prašnih delcev PM₁₀, dušikovih oksidov, ozona, hlapnih organskih spojin.

Tabela 9: Ocenjena učinkovitost pomembnejših drevesnih vrst za zmanjševanje onesnaževal v zraku

Drevo	Prašni delci PM ₁₀	Dušikovi oksidi	Ozon	Hlapne organske spojine
bela vrba	00	000	000	000
beli gaber	00	000	000	0
beli javor	0	000	000	
brest	00	000	000	0
črna breza	00	000	000	0
črna jelša	0	000	000	/
črni bor	000	0	0	0
divji kostanj	00	000	000	/
dob	0	000	000	000
dvokrpi ginko	0	000	000	0
evkalipt				000
glog križanec	0	000	000	/
himalajska breza	00	000	000	0
italijanska jelša	0	000	000	/
jablana	00	000	000	/
japonska magnolija	0	00	00	0
japonska sofora	00	000	000	/
japonski cercedifil	00			000
javorolistna platana	00	000	000	000
jerebika	00	000	000	0
latnati mehurnik	0	00	00	000
lipa križanec	0	000	000	0
lipovec	00	000	000	0
maklura				000
mali jesen	0	000	000	/
metasekvoja	000	0	0	0
močvirski hrast	00	000	000	000
navadna breza	00	000	000	0
navadna bukev	00	000	000	/
navadna robinija				000
navadni ambrovec	00	000	000	000
okrasna hruška – calleryjeva hruška	0	000	000	/
ostrolistni javor	0	000	000	0
pajesen	0	000	000	0
papirjevka	00			000
parocija	00	0	0	
pensilvanski jesen	00	000	000	/
poljski jesen	0	000	000	/
rdeči bor	000	0	0	0

Drevo	Prašni delci PM ₁₀	Dušikovi oksidi	Ozon	Hlapne organske spojine
rdeči hrast				ooo
sliva	oo	ooo	ooo	/
smreka				ooo
špetova jelša	oo	ooo	ooo	/
tisa vrste in sorte	ooo	o	o	o
topol	oo	ooo	ooo	ooo
trnata gledičija	oo	ooo	ooo	/
tulipanovec	o	ooo	ooo	/
tupelo	oo			ooo
turška leska	oo	oo	oo	/
veliki jesen	o	ooo	ooo	/
zlata breza	oo	ooo	ooo	o

(Vir: Šiftar idr. 2011)

Iz tabele 9 je razvidno, kako določena drevesna vrsta pripomore k vezavi onesnaževal v zraku. Pri vsakem onesnaževalu je znakovno označena učinkovitost, in sicer (Šiftar idr. 2011):

- o – nizka učinkovitost,
- oo – srednja učinkovitost,
- ooo – visoka učinkovitost.

Za vrednotenje občutljivosti drevesnih vrst sem upoštevala delitev, prikazano v tabeli 10.

Tabela 10: Občutljivost rastlin na onesnažen zrak

Zelo odporne	Odporne	Zmerno odporne	Malo odporne	Neodporne
dvokrpi ginko	vzhodni klek	kavkaška jelka	smreka	evropski macesen
visoki pajesen	bodeča smreka	črni bor	kavkaška smreka	zeleni bor
robinija	navadni brin	puhasta breza	navadna jelka	rdeči bor
bela vrba	črni bezeg	navadna bukev	navadna breza	
javorolistna platana	poljski brest	navadni beli gaber	navadni češmin	
tamariša	drobnica	rdeči hrast		
bela murva	dob	navadni divji kostanj		
črna murva	graden	navadni oreh		
glog	gorski javor	divja češnja		
kalina	jerebika	trepetlika		
	beli topol	ruj		
	črni topol			
	veliki jesen			

(Vir: Jovanović v Brus 2008)

Pri oblikovanju predlogov dodatnih zasaditev in izbora dreves sem upoštevala relevantna načela.

Življenjska doba dreves v urbanih območjih je glede na siceršnjo dolgoživost dreves kratka. V urbanih območjih imajo na življenjsko dobo dreves vpliv značilnosti mestnega okolja in pogoji saditve ter ekološki dejavniki.

Pri novih saditvah je treba upoštevati osnovna načela:

- saditi je treba samo zdrave drevesne vrste,
- če prostor dovoljuje, je treba saditi velika drevesa,
- saditi je treba drevesa z dolgo življenjsko dobo,
- skrbeti je treba za mnogovrstnost,
- izogibati se je treba vrstam, ki so občutljive na onesnažen zrak, ter
- poskrbeti je treba za pogoje za normalno rast.

Pri izbiri dreves v nasadih je pomembna predvsem kombinacija različnih drevesnih vrst z različno življenjsko dobo in zahtevami z dejavniki okolja. Težko je, da bi izbirali le drevesa, ki so sposobna preživeti v okolju z onesnaženim zrakom, saj je danes težko najti področje, kjer zrak ni onesnažen (Šiftar 2001). Zato je treba pri izbiri dreves upoštevati dejavnike, kot so (Vehovec 2007):

- svetlobni pogoji,
- prilagodljivost na sušo,
- odpornost na zimsko sol,
- odpornost na mestna onesnaževala,
- hitrost rasti.

Ekološke lastnosti posameznih drevesnih vrst so podane v tabeli 11.

Tabela 11: Ekološke lastnosti drevesnih vrst, primernih za prostor celinskega podnebja

Drevesna vrsta	Ekološke lastnosti drevesnih vrst				
	Svetlobni pogoji	Prilagodljivost na sušo	Odpornost na zimsko sol	Odpornost na mestna onesnaževala	Hitrost rasti
ambrovec	S	delno	da	delno	zmerna
ameriški javor/ jesenovo listni javor	S	da	ne	da	hitra
bela lipa	S	da	da	da	hitra
berlinski topol	S	delno	ne	da	hitra
bosanski bor/ munika	S/P	da	da	da	počasna
črni gaber	S	da	da	da	zmerna
dvokrpi ginko	S	da	da	da	počasna
gledičija	S/P	da	da	da	zmerna
cer	S/P	da	da	da	hitra
hrast – <i>coccinea</i>	S/P	da	delno	da	počasna
hrast – fainetto	S/P	da	da	da	zmerna
hrast dob	S/P	da	delno	da	zmerna
japonska sofora	S	da	da	da	zmerna
krimska lipa	S/P	delno	ne	da	hitra
lavalijev glog	S/P	da	ne	da	zmerna

Drevesna vrsta	Ekološke lastnosti drevesnih vrst				
	Svetlobni pogoji	Prilagodljivost na sušo	Odpornost na zimsko sol	Odpornost na mestna onesnaževala	Hitrost rasti
lipovec/ malolistna lipa	S/P	delno	ne	da	zmerna
maklen	S	delno	delno	da	zmerna
mali jesen	S	da	da	da	zmerna
metasekvoja	S	da	delno	da	hitra
mokovec	S	da	ne	da	počasna
navadna lipa	S	delno	ne	da	hitra
navadna lipa – Glenleven	S/P	delno	ne	da	hitra
navadni jadikovec	S	da	ne	da	počasna
okrasna hruška – chanticleer	S/P	da	da	da	hitra
okrasne jablane	S/P	da	delno	da	hitra
omorika	S/P	delno	delno	da	zmerna
ostrolistni javor – Cleveland	S	da	da	da	hitra
ostrolistni javor – Globosum	S	da	da	da	počasna
pajesen	S	da	da	da	hitra
poljski jesen	S	delno	delno	da	hitra
rdečecvetni divji kostanj	S	da	ne	da	zmerna
rdeči hrast	S/P	da	da	da	hitra
robinija	S/P	da	da	da	hitra
sivi topol	S/P	delno	da	da	hitra
srčastolistna jelša	S	ne	da	da	zmerna
špetova jelša	S/P	delno	da	delno	hitra
tatarski javor	S	da	da	da	zmerna
topol – <i>simonii</i>	S	da	delno	da	hitra
trokrpi javor	S	da	ne	ne	hitra
turška leska	S/P	da	delno	da	zmerna

(Vir: Prirejeno po Vehovec 2007)

Iz tabele 11 razberemo, da je kar nekaj drevesnih vrst primernih za območja z onesnaženim zrakom, zato je treba pri odločitvi pretehtati tudi druge ekološke lastnosti posamezne drevesne vrste, kot sta odpornost na klimatske pogoje in odpornost na zimsko sol. Treba je proučiti, kateri dejavniki na določenem območju vplivajo na drevesa, in poiskati vrste, ki bi najbolj uspevale v danih pogojih. Prepričati se moramo, ali določeno območje pesti suša, obilno deževje ali prihaja do prekomernega zimskega soljenja ali je zrak prekomerno onesnažen s prašnimi delci, ozonom itd., in na osnovi tega izbrati primerno drevesno vrsto.

Pri svetlobnih pogojih ločimo:

- S – sončno rastišče in
- S/P – sončno do polsenčno rastišče.

Drevesa pomembno vplivajo na urbana območja, zaradi česar je pomembna pravilna odločitev o zasaditvi posamezne drevesne vrste. Tako je treba opredeliti ključne drevorede in soliterje, določiti je treba količino drevja in njegove funkcije. Prav tako je treba upoštevati tudi pogoje in zahteve po vzdrževanju in nadomestnih saditvah.

Čeprav bi se naj v mestih drevesa sadila v odnosu do drevja, ki je tam že prisotno, pa pri nadomestni saditvi ni nujno, da se saditev nadomešča z isto drevesno vrsto. Upoštevati je treba pogoje za rast in razloge, ki so vodili k umiranju drevesa.

Mestno okolje je drevesom neprijazno, zato je odločitev, katere drevesne vrste se kje posadijo, še toliko pomembnejša (Šiftar idr. 2011).

4. Rezultati in razprava

4.1. Pregled stanja onesnaženosti zraka v mestni občini Celje

Celje leži v Celjski kotlini, za katero je značilno, da je manj prevetrena in prihaja, zlasti v zimskem času, do temperaturne inverzije.

Po podatkih Poročila o stanju okolja za mestno občino Celje (2008) je v mestni občini Celje na osnovi katastra evidentiranih 8 skupin virov onesnaževanja zraka. K onesnaževalcem prištevamo (prav tam):

- kotlovnice za ogrevanje in drobna kurišča,
- industrijske kotlovnice,
- tehnološke procese,
- distribucijo fosilnih goriv,
- uporabo topil,
- cestni promet,
- ravnanje z odpadki in
- kmetijstvo.

V diplomski nalogi sem se osredotočila predvsem na onesnaženost zraka s prašnimi delci.

Največje emisije prahu povzročata cestni promet, sledijo mu tehnološki procesi v industriji in kotlovnice, ki za gorivo uporabljajo kurilno olje. V tabeli 12 so podatki meritev onesnaženosti zraka s prašnimi delci PM₁₀.

Tabela 12: Podatki meritev onesnaženosti zunanjega zraka s PM₁₀ v Celju od leta 1998 do leta 2009 v okviru republiške merilne mreže [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Leto	Povprečna letna vrednost	Letna mejna vrednost	Najvišja povprečna 24-urna vrednost	Dnevna mejna vrednost	Najvišja povprečna enourna vrednost	Število preseganj dnevne mejne vrednosti
1998	33	-	134	-	250	-
1999	36	-	127	-	265	-
2000	36	-	143	-	241	-
2001	35	-	158	-	235	-
2002	46	44,8	132	65	-	116
2003	53	43,2	148	60	-	146
2004	40	41,6	125	55	-	80
2005	43	40	184	50	-	97
2006	37	40	186	50	-	62
2007	32	40	112	50	-	51
2008	30	40	125	50	-	37
2009	31	40	124	50	-	42
2010	32	40	122	50	-	58

(Vir: ZZV Celje 2011)

V tabeli 12 vidimo, da je bila letna mejna vrednost prekoračena predvsem v letih od 2002 do 2005. Z letom 2005, ko je bila sprejeta letna mejna vrednost 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, vidimo, da se letne koncentracije nižajo. Dnevna mejna vrednost, ki znaša 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, je občasno še vedno prekoračena.

4.1.1. Analiza stanja onesnaženosti zraka v mestni občini Celje

Čeprav se je kakovost zraka pred leti izboljševala – vsaj glede predpisane zakonodaje, se je to od leta 2002 z novo zakonodajo začelo spreminjati in slabšati. Leta 2011 se je Celje uvrstilo med degradirana območja, saj je v Celju zrak prekomerno onesnažen s prašnimi delci PM₁₀.

Po rezultatih meritev Zavoda za zdravstveno varstvo Celje (tabela 12) lahko vidimo, da je onesnaženost zraka s prašnimi delci PM₁₀ med leti 1998 in 2010 občasno presežala mejne vrednosti. Mejne vrednosti so bile največkrat presežene pri merjenju dnevni vrednosti, kar menim, da je še bolj zaskrbljujoče kot preseganje povprečne letne koncentracije. Kljub občasnim preseganjem mejne vrednosti pa se onesnaženost zraka med leti 2002 in 2010 zmanjšuje, česar pa še ne moremo imeti za uspeh v boju proti onesnaževanju zraka.

Zrak v Celju pa je onesnažen tudi z/s (ZZV Celje 2011):

- ozonom, ki ravno tako občasno preseže ciljno vrednosti,
- žveplovim dioksidom, ki ne presega predpisanih mejnih vrednosti,
- dušikovim dioksidom, ki ravno tako ne presega predpisanih mejnih vrednosti,
- ogljikovim monoksidom, ki tudi ne presega mejnih vrednosti, in
- prašnimi usedlinami, katerih mejna vrednost je bila določena le do 8. 8. 2007.

Četudi količina onesnaževal ne presega predpisanih vrednosti, to še ne pomeni, da zrak ni prekomerno onesnažen, kar bi lahko pripeljalo do številnih težav, ki bi se odražale na zdravju ljudi, živali, rastlin in kakovosti bivanja.

Ker si Celje želi že več let zmanjšati onesnaženost zraka, menim, da bi poleg sanacijskih programov, ki so že bili izvedeni, k temu pripomogli tudi s primerno zasaditvijo dreves.

4.2. Pregled in opis najpogostejše drevesne vegetacije v mestni občini Celje

V nadaljevanju so opisane nekatere pogoste drevesne vrste na območju Celja, v mestnem parku ter ob reki Savinji. Opisala sem tudi drevo, ki ima najdaljšo zgodovino in lahko rečemo, da spremlja življenje Zemlje – dvokrpi ginko.

4.2.1. Beli javor (*Acer pseudoplatanus*)

Beli javor poznamo tudi pod imenom gorski javor in je med najlažje prepoznavnimi drevesi, predvsem zaradi listov, ki spominjajo na razprto dlan.

Deblo javorja je običajno ravno in močno, njegova skorja je v mladosti sivkaste barve in gladka, kasneje pa razpoka (Kotar in Brus 1999). Krošnja je pravilno razvita, koreninski sistem pa je srčaste oblike (Brus 2008).

Njegovi listi so dlanasto krpasti do dlanasto deljeni – razlika je v zarezah, sestavljeni iz 5 listnih krp, ki so po žilah dlakave, zgoraj temnejše in spodaj svetlejše. Listi so dolgopecljati, dolgi do 16 cm in široki do 20 cm. Javor je prepoznan predvsem po plodovih, sestavljenih iz dveh krilatih plodičev, ki po obliki spominjajo na krilca.

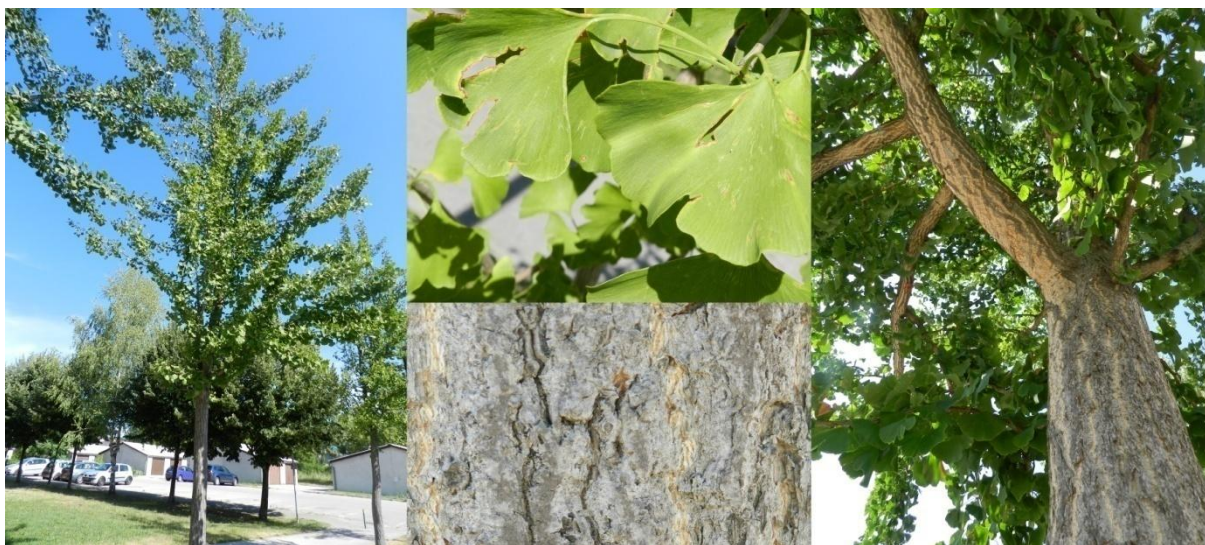
Beli javor v višino zraste do 40 m, običajno pa njegov premer znaša do 1 m in dočaka starost tudi 500 let. Beli javor raste na svežih, globokih, rahlo humoznih tleh na apnenčasti matični osnovi. Pogosto ga najdemo na vlažnih pobočjih ali v vrtačah, kjer se ne zadržuje mrzel zrak, ter ob jarkih s počasi tekočo vodo. Beli javor velja za polsvetloljubno vrsto, saj v mladosti prenese precej sence, pozneje pa potrebe po svetlobi postajajo večje (Kotar in Brus 1999).

Beli javor je drevo, ki slabo prenaša mestno okolje, zaradi lepih, jeseni rumeno obarvanih listov in zaradi zanimive skorje pa se ga pogosto sadi kot okrasno drevo (Brus 2008). Zelo je učinkovit za odstranjevanje dušikovih oksidov in ozona, medtem ko je za odstranjevanje prašnih delcev nizko učinkovit (Šiftar idr. 2011). Po podatkih Jovanovića (v Brus 2008) je odporen na onesnažen zrak.

4.2.2. Dvokrpi ginko (*Ginkgo biloba*)

Dvokrpi ginko je drevo, katerega zgodovina sega več kot 2000 milijonov let v preteklost in je tako najstarejša še živeča drevesna vrsta na planetu. O tem, da je dvokrpi ginko odporno drevo, pričajo podatki, da je preživel vse katastrofe skozi zgodovino razvoja Zemlje – klimatske spremembe, izumrtje nekaterih organizmov, razmike kontinentov, nastanek gorstev itd.

Dvokrpi ginko je dvodomna rastlina. Zraste več kot 30 m v višino, v prsni višini pa doseže premer tudi več kot 2 m. Dvokrpi ginko spada v razred golosemenk, po rasti in obliki krošnje pa spominja na listavce in iglavce, zaradi česar nekateri menijo, da predstavlja vezni člen med iglavci in višje razvitimi listavci. Njegova posebnost so pahljačasti listi. Dvokrpi ginko je visoko in vitko drevo, kar je posebej opazno pri moških rastlinah, medtem ko je značilnost ženskih rastlin košata krošnja.



Slika 9: Ginko
(Vir: Avtor, 2012)

Dvokrpi ginko doseže starost tudi več kot 1000 let in je zelo odporno drevo. Skozi svojo zgodovino je preživel tudi naravne sovražnike, ki so mu grozili. Odporen je na napade raznih škodljivcev in boleznih ter na onesnaževanja v zraku. Domneva se, da je dvokrpi ginko odporen na onesnaževanja v zraku predvsem zaradi svoje starosti, saj je bilo v časih pred nekaj tisočletji v zraku več strupenih plinov (Šušteršič 2003).

Dvokrpi ginko je listopadno drevo s stožčasto krošnjo, ki je sprva ozka in pozneje širša z redkimi vejami. Skorja drevesa je sivkasta in vzdolžno razpokana, kar opazimo predvsem pri starejših drevesih. Poganjki so dolgi in kratki. Listi so na dolgih poganjkih razporejeni premenjalno in so večinoma dvokrpi, na kratkih poganjkih pa so v šopih po 3 do 5 in so manjši ter imajo na zgornjem koncu valovit rob brez globljih zarez. Listi, ki rastejo na dolgih poganjkih, so dolgi 10–12 cm in široki 6–8 cm ter so sprva svetlo zeleni, pozneje pa temno zeleni. Zaradi odpornosti proti žuželkam, rastlinskim boleznim in onesnaženemu zraku se ga sadi tudi ob prometnih ulicah (Brus 2008).

Dvokrpi ginko je drevo, ki je vredno pozornosti in spoštovanja. Na Japonskem je leta 1945 dobil še poseben pomen. 6. avgusta 1945 je človeštvo prvič spoznalo uničujočo moč atomske bombe v mestu Hirošima. Na območju 800 m od epicentra eksplozije je naslednjo pomlad iz korenine pognal nov poganjek dvokrpega ginka, ki raste še danes. Tudi po eksploziji reaktorja jedrske elektrarne Černobil so v Nemčiji ugotovili, da se pod krošnjami dreves ne zazna več radioaktivnega sevanja. Sevanje so merili z Geigerjevim števcem pod krošnjami ginkovih dreves. Človek je torej le drobec v bogati zgodovina tega drevesa.

Danes ga v mestih sadijo zaradi njegove estetske primernosti in izjemne odpornosti na onesnažen zrak (Šušteršič 2003). Dvokrpi ginko je visoko učinkovit za odstranjevanje dušikovih oksidov in ozona, za odstranjevanje hlapnih organskih spojin in prašnih delcev pa

je nizko učinkovit (Šiftar idr. 2011). Po podatkih Jovanovića (v Brus 2008) pa je to drevo, ki je zelo odporno na onesnažen zrak.

4.2.3. Navadna breza (*Betula pendula*)

Breza pri Slovencih velja za najlepše drevo. Njen areal obsega skoraj vso Evropo z izjemo Portugalske, Španije in južne Grčije.

Navadna breza v višino zraste do 30 m, njen premer doseže do 0,5 m in je listopadno drevo. Prepoznamo jo po beli skorji, ki v starosti zlasti v spodnjem delu debla razpoka in počasi izgubi svojo značilno belo barvo. Veje navadne breze so do starosti nekaj let tanke, viseče in tvorijo rahlo svetlo krošnjo. Listi navadne breze so enostavni, rombasti, dolgi do 7 cm in široki do 4 cm. Listi so po robu dvakrat ostro nazobčani in večinoma goli. Njihov pecelj je dolg do 3 cm. Mladi listi in poganjki so nekoliko lepljivi.



Slika 10: Breza
(Vir: Avtor, 2012)

Navadna breza je enodomna drevesna vrsta z enospolnimi cvetovi. Je zelo skromno drevo, kar se tiče rastiščnih potreb, čeprav najraje raste na svežih in globokih rjavih tleh, uspeva pa tudi na vseh ostalih tleh. Izjema je potreba po svetlobi. Navadna breza je zelo odporna na nizke temperature, medtem ko sušo prenaša teže. Najdemo jo po vsej Sloveniji, bodisi posamezno ali v manjših skupinah. Čiste sestoje na večjih površinah tvori tam, kjer ni prisoten negativen vpliv človeka – predvsem poseke, požarišča, razni nasipi.

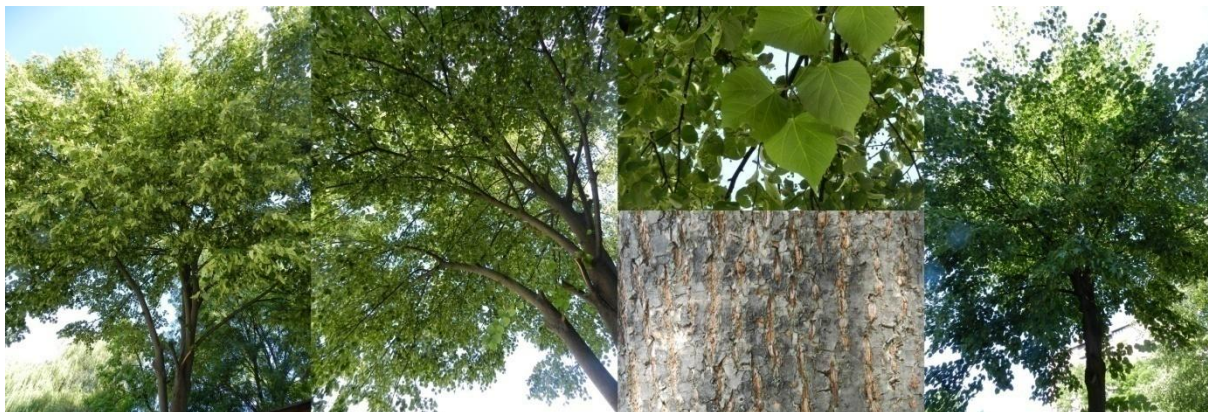
Navadna breza je eno izmed redkih dreves s širokim spektrom uporabnosti. Uporablja se v medicini za zdravljenje različnih bolezni in za zatiranje različnih zajedavcev, znana sta tudi brezov sok in brezovo vino. Uporablja se tudi v prehrabne namene (Kotar in Brus 1999).

Navadna breza je visoko učinkovita za odstranjevanje dušikovih oksidov in ozona, srednje učinkovita za odstranjevanje prašnih delcev ter nizko učinkovita za odstranjevanje hlapnih organskih spojin (Šiftar idr. 2011). Po podatkih Jovanovića (v Brus 2008) pa je navadna breza drevo, ki je le malo odporno na onesnažen zrak.

4.2.4. Lipovec (*Tilia cordata*)

Lipovec je drevo, ki v Sloveniji sega od nižin vse do gorskega pasu. V višino zraste do 33 m, njegov premer pa znaša tudi več kot 1 m. Zanj je značilno gladko deblo, njegov koreninski sistem pa je močan. V mladosti je skorja gladka in rjava, pozneje pa vzdolžno razbrazdana in temnejša (Kotar in Brus 1999). Lipovec, ki raste na prostem, ima široko krošnjo z debelimi vejami in pogosto z več vrhovi, lipovec, ki raste v sestoju, pa ima kratko krošnjo (Brus 2008). Listi so srčaste oblike, ob robovih fino napiljeni in premenjalno nameščeni. Pecelj listov je dolg do 4,5 cm. Zgornja stran listov je temno zelena in gola,

spodaj pa so listi modrozeleni in v pazduhah žil rjasto dlakavi (Kotar in Brus 1999). Listi so dolgi 4–7 cm in prav toliko široki ter kratko zašiljeni (Brus 2008).



Slika 11: Lipovec
(Vir: Avtor, 2012)

Lipovec uspeva tako na svežih kot tudi precej suhih tleh, za rast pa potrebuje predvsem globoka zračna tla (Kotar in Brus 1999). Lipovec je polsencozdržna vrsta, ki v mladosti prenese tudi močno zasenčenje. Je tudi drevo, ki prenese nizko temperaturo, mraz, vročino in mestno okolje.

Je priljubljeno okrasno drevo, ki ga pogosto najdemo v parkih, drevoredih, pred šolami, župnišči in cerkvami (Brus 2008). Lipovec se v zdravstvene namene uporablja predvsem kot čaj, uporabljajo pa ga tudi pri izdelavi notranje opreme, pletilstvu idr. Danes lipovci izginjajo, saj slabo prenašajo izpušne pline (Kotar in Brus 1999). Lipovec je visoko učinkovit za odstranjevanje dušikovih oksidov in ozona, srednje učinkovit za odstranjevanje prašnih delcev ter nizko učinkovit za odstranjevanje hlapnih organskih spojin (Šiftar idr. 2011).

4.2.5. Lipa (*Tilia x europaea*)

Lipa je drevo, ki v višino zraste do 40 m in ima premer debla do 5 m. Deblo lipe je ravno in pravilno, krošnja pa, če drevo raste na prostem, široka in debelo vejnata. Skorja je večinoma sivorjava, včasih pa rahlo rdečkasta. Koreninski sistem je močno razvit, predvsem so močno razvite stranske korenine.



Slika 12: Lipa
(Vir: Avtor, 2012)

Lipini listi so premenjalno nameščeni in enostavni, dolžine 7–15 cm, zašiljeni, srčasti in nesimetrični. Pecelj je dlakav, dolžine 1,5–5 cm. Listna ploskev je zgoraj rahlo dlakava oziroma gola in svetlejša, spodaj ima dobro izražene žile, v njihovih pazduhah pa ima občasno drobne šopke belih dlačic.

Globoka, apnena, zračna, vlažna tla, ki so bogata z mineralnimi hranili, so najugodnejša za rast lipe. Lipa je polsvetloljubna do polsencozadržna vrsta, ki uspešno raste tudi delno zasenčena. Drevo je občutljivo na mraz, zaradi česar pozimi pri nizkih temperaturah deblo razpoka. Lipa slabo prenaša sušo in onesnažen zrak (Brus 2008). Visoko učinkovita je za odstranjevanje ozona in dušikovih oksidov, medtem ko je za odstranjevanje hlapnih organskih spojin in prašnih delcev nizko učinkovita (Šiftar idr. 2011).

Lipa je ena izmed priljubljenjših in pogostih okrasnih dreves (Brus 2008).

4.2.6. Navadni beli gaber (*Carpinus betulus*)

Navadni beli gaber je 25–30 m visoko in 1 m debelo drevo, ki ima stožčasto, pozneje široko razraščeno krošnjo. Deblo je vzdolžno žlebasto in kitasto, skorja je siva, tanka, večinoma gladka, ki v starosti razpoka. Srčast koreninski sistem na globokih tleh prodre globoko, na mokrih pa se večina korenin razvije v zgornjih 35 cm prsti.

Listi navadnega belega gabra so enostavni, podolgovato jajčasti, dolgi 5–12 cm in široki 2–5 cm. Listi imajo dvakrat nažagan rob in 12–14 parov v listno ploskev močno vtisnjenih žil.

Navadni beli gaber je izredno odporno drevo, ki v dobrih razmerah pogosto izpodrine druge vrste. Najugodnejša so s hranili bogata, sveža in zmerno vlažna rodovitna tla. Navadni beli gaber je v mladosti občutljiv na sušo in vročino, v starosti pa na dobrih tleh prenese tudi zmerno sušo. Drevo prenese temperaturo do $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ in je sencozadržna vrsta, ki lahko raste tudi pri polni osvetljenosti. Dobro raste v mestnem okolju, njegova stabilnost pa je razmeroma slaba, saj ima plitve korenine. Listje je bogato z mineralnimi snovmi in na tleh hitro razpada, kar močno izboljšuje tla. Navadni beli gaber tudi zasenčuje tla in jih varuje, ohranja pa tudi ugodno mirno in vlažno mikroklimo (Brus 2008).

Navadni gaber je imel včasih družbeni pomen, danes pa ohranja funkcije varovanja okolja (Kotar in Brus 1999). Navadni gaber je visoko učinkovit za odstranjevanje dušikovih oksidov in ozona, srednje učinkovit za odstranjevanje prašnih delcev ter nizko učinkovit za odstranjevanje hlapnih organskih spojin (Šiftar idr. 2011). Po podatkih Jovanovića (v Brus 2008) je navadni gaber zmerno odporen na onesnažen zrak.

4.2.7. Bodeča smreka (*Picea pungens*)

Bodeča smreka je iglasto drevo, ki zraste do višine 30 m in ima gosto stožčasto krošnjo. Igllice so močne, ostro zašiljene, bodeče, dolge 2–3 cm. V prečnem prerezu so iglice kvadratne in modrozeleno do srebrnozeleno ter so pogosto voskasto poprhnjene. Razporeditev iglic na poganjku je ščetkasta.

Bodeča smreka je med vsemi smrekami najskromnejša vrsta, ki dobro prenaša mestno okolje. Raste na kislih ali bazičnih tleh, prenaša sušo, veter, sneg in mraz. Edina nevarnost je pozna spomladanska pozeba. V Sloveniji je bodeča smreka priljubljena okrasna vrsta, najpogostejša pa je vrsta s sivobelimi iglicami, ki ji rečemo srebrna smreka (Brus 2008).

4.2.8. Pančičeva smreka (*Picea omorika*)

Pančičeva smreka doseže višino do 30 m, krošnja je zelo ozka stebrasta, njeno deblo pa je ravno polnolesno. Spodnje veje so povešene in na koncih usmerjene navzgor, srednje veje so vodoravne, zgornje pa so usmerjene navzgor. Koreninski sistem je v primerjavi z navadno smreko globlji. Igllice pančičeve smreke so 1–2 cm dolge ter 2 mm široke in zašiljene ali zaobljene, ploščate, zgoraj temno zelene in bleščeče, spodaj pa imajo dve beli progi listnih rež.

Pančičeva smreka najbolje uspeva na območjih z visoko zračno vlago, vendar je vseeno prilagodljiva vrsta, ki raste tudi na suhih ali nekoliko vlažnih tleh, ki so lahko bazična ali kisl.

Pančičeva smreka je po skoraj vsem svetu med najbolj priljubljenimi okrasnimi iglavci, ponekod pa jo sadijo tudi v nasadih. Odporna je na mraz in pozebo ter dobro prenese onesnažen mestni zrak (Brus 2008).

4.2.9. Navadna smreka (*Picea abies*)

Navadna smreka je do 50 m visoko in do 2 m debelo iglasto drevo. Krošnja navadne smreke je stožčasta, koreninski sistem je plitev. Deblo navadne smreke je ravno in polnolesno, skorja je rdečkasta, sprva gladka, ki pozneje začne odstopati v obliki okroglastih ploščic. Veje se izraščajo v izrazitih vejnih vencih.



Slika 13: Smreka
(Vir: Avtor, 2012)

Iglice navadne smreke so dolge 1–2,5 cm in široke do 1 mm, na poganjku so razmeščene spiralno, v prečnem prerezu pa so rombaste. Iglice na drevesu ostanejo 5–7 let in so v zgornjem, osvetljenem delu krošnje ščetkasto razporejene okrog vejice, v zasenčenih spodnjih delih krošnje pa so razčesane. Navadna smreka je zelo prilagodljiva vrsta s široko ekološko amplitudo. Nima velike potrebe po hranilih, prenese tudi kislota tla, vendar ima najraje sveža in zračna tla. Potrebuje visoko zračno vlago in skozi vse leto enakomerno količino padavin (Brus 2008).

Smreka je drevo, ki je odporno na zimski mraz. V času božičnih in novoletnih praznikov v Sloveniji posekamo na tisoče mladih dreves – večinoma lepo oblikovanih smrek, ki bi morale ostati v gozdu. S sekanjem se tako dela nepopravljiva škoda, saj se odstranjujejo najkakovostnejše smreke (Kotar in Brus 1999). Navadna smreka je iglasto drevo, ki ne prenaša suše in vročine (Brus 2008).

Navadna smreka je visoko učinkovita za odstranjevanje hlapnih organskih spojin (Šiftar idr. 2011), po podatkih Jovanovića (v Brus 2008) pa je smreka malo odporna na onesnažen zrak.

4.2.10. Črni bezeg (*Sambucus nigra*)

Črni bezeg lahko najdemo kot grm ali drevo. Kot grm doseže višino 7 m, kot drevo pa 10 m. Krošnja črnega bezga je okroglasta ali dežnikasta ter redka, koreninski sistem pa je dobro razvit in večinoma površinski. Skorja črnega bezga je na vejah sivorjave do sivozelene barve in prekrita z velikimi lenticelami, na debelejših debelcih pa je sivkasta in vzdolžno razpokana. Listi črnega bezga so 10–30 cm dolgi in lihopermato sestavljeni iz 5–7 lističev. Ti lističi so 6–10 cm dolgi, priostreni, po robu nazobčani, zgoraj temnejši in spodaj svetlejši. Zmečkani lističi imajo neprijeten vonj.

Črni bezeg najbolje raste na globokih humoznih tleh, ki so bogata z dušikom. Ustrezajo mu zmerno vlažna do vlažna tla ter nekoliko kislo rastišče. Črni bezeg najraje raste na prostem, vendar prenese senco in je polsencozdržna vrsta. Odporen je proti mrazu. Črni bezeg, ki uspeva le v tleh, bogatih z dušikom, velja za enega najboljših kazalcev vsebnosti dušika v tleh. Najpomembnejša ekološka lastnost črnega bezga je prekrivanje tal in njihovo

varovanje ter pospeševanje kroženja hranil in rodovitnosti tal. Črni bezeg je drevo, ki je po podatkih Jovanovića (Brus 2008) odporno na onesnažen zrak.

4.2.11. Navadni divji kostanj (*Aesculus hippocastanum*)

Navadni divji kostanj je drevo, ki zraste do 30 m visoko in doseže debelino do 1 m. Krošnja drevesa je gosta, pravilno široko razvejana okroglasta, deblo je kratko, veje pa so debele in krhke. Navadni divji kostanj ima dobro razvit koreninski sistem, ki je večinoma površinski. Glavna korenina je šibka, stranske korenine pa so močne. Listi navadnega divjega kostanja so navzkrižno razporejeni, dlanasto sestavljeni iz 5–7 lističev in pritrjeni na pecelj dolžine 15–20 cm. Posamezen listič je podolgovato narobe jajčast, kratko zašiljen, dolžine 10–25 cm in širine 10 cm, sedeč in po robu nažagan.



Slika 14: Navadni divji kostanj
(Vir: Avtor, 2012)

Navadni divji kostanj uspeva na vseh tleh, najbolje pa raste na globokih, hranljivih, zračnih, svežih do vlažnih peščenoilovnatih tleh. Najbolj mu ustreza rast na prostem pri polni osvetljenosti in je toploljubna vrsta. Brez poškodb prenese mraz do -30°C .

V Sloveniji je navadni divji kostanj najpogosteje sajeno okrasno drevo, ki ga najdemo po vrtovih, parkih, drevoredih in zelenih površinah urbanega okolja. Navadni divji kostanj je priljubljen zaradi lepih listov, cvetov, včasih semen ter predvsem zaradi globoke sence, ki jo daje. Drevesna skorja pa vsebuje aesculin, ki ima sposobnost odbijanja ultravijoličnih sončnih žarkov. Suša ga ne prizadene tako hitro, dobro pa prenaša tudi onesnažen zrak (Brus 2008). Navadni divji kostanj je visoko učinkovit za odstranjevanje dušikovih oksidov in ozona ter srednje učinkovit za odstranjevanje prašnih delcev (Šiftar idr. 2011). Navadni divji kostanj je po podatkih Jovanovića (v Brus 2008) zmerno odporen na onesnažen zrak.

4.2.12. Navadna bukev (*Fagus sylvatica*)

Navadna bukev ima veliko, zaobljeno krošnjo, v višino doseže do 40 m, premer debla pa je med 1–2 m. Koreninski sistem je razvejan, srednje globok, zelo gost in srčaste oblike. Koreninski sistem v globokih in svežih peščenih tleh sega v globino 1,4 m, medtem ko je na zbitih, težkih in slabo zračnih tleh plitev.

Deblo navadne bukve je ravno in tanko, skorja pa siva in gladka ter izjemoma v spodnjem delu razpokana. Na pokončnih poganjkih so listi razporejeni premenjalno, na stranskih pa bolj ali manj dvoredno. Listi so enostavni, eliptični ali podolgovato jajčasti, dolžine 6–10 cm ter širine 3–7 cm. Listi imajo 6–8 stranskih žil ter so zgoraj temno zeleni in bleščeči, spodaj pa so svetlejši. Dlakavi so mladi listi, starejši pa obdržijo dlačice le po listnem robu, ki je valovit.

Najboljši pogoji za rast navadne bukve so sveža in globoka, rahla in odcedna, s kalcijem bogata humozna tla. Navadna bukev potrebuje precej talne in zračne vlage. Drevo je sencodržno drevo. Navadna bukev je drevo, ki slabo prenaša mestno okolje, še zlasti zbita

tla, sol in industrijske pline (Brus 2008). Je visoko učinkovita za odstranjevanje ozona in dušikovih oksidov, za odstranjevanje prašnih delcev pa je srednje učinkovita (Šiftar idr. 2011). Po podatkih Jovanovića (v Brus 2008) je navadna bukev zmerno odporna na onesnažen zrak.

4.2.13. Avstrijski črni bor (*Pinus nigra*)

Avstrijski črni bor je podvrsta črnega bora. Krošnja avstrijskega bora je široka, iglice pa so dolge 8–10 cm.

Avstrijski črni bor je iglasto drevo, ki doseže višino do 30 m in premer debla do 1,3 m. Krošnja je pri mlajših drevesih široko valjasta, pri starejših pa dežnikasta. Pri mladih drevesih so konci vej značilno usmerjeni navzgor.



Slika 15: Mlado drevo bora
(Vir: Avtor, 2012)

Skorja črnega bora je sivo-črna, debela in močno razbrazdana. Koreninski sistem je razvejan in močan, srčaste oblike. Iglice črnega bora so v šopku po dve in so temno zelene, trde, močne, zašiljene, bodeče, ravne ali ukrivljene. Ovoj, ki v spodnjem delu obdaja šopek iglic, je trajen, dolg 1–2 cm. Iglice na drevesu ostanejo 4–8 let.

Črni bor je proti mrazu odporno drevo, dobro prenaša suh in vroč zrak ter močan veter. Črni bor je med iglastimi drevesi najbolj odporen na onesnažen zrak, zato je pogost v mestih in ob avtocestah. Črni bor pa se zasaja tudi v protivetrne pasove (Brus 2008). Po podatkih Šiftarja in drugih (2011) pa je črni bor drevo, ki je visoko učinkovito za odstranjevanje prašnih delcev ter nizko učinkovito za odstranjevanje dušikovih oksidov, ozona in hlapnih organskih spojin. Po podatkih Jovanovića (v Brus 2008) pa je črni bor drevo, ki je zmerno odporno na onesnažen zrak.

4.2.14. Tisa (*Taxus baccata* L.)

Tisa je iglasto drevo s široko stožčasto, v starosti okroglasto krošnjo. V višino doseže do 20 m, premer debla pa je do 1 m. Tisa pogosto raste večdebelno, debela se med seboj rada zrastejo. Veje tise so zelo dolge, koreninski sistem tise pa močno razvejan. Skorja je rdečkastorjava, tanka in na mlajših vejah gladka, lubje pa se z debela lušči v trakovih in luskah. Iglice tise so do 3 cm dolge in do 2,5 mm široke, ploščate, mehke, dolgo zašiljene, zgoraj temno zelene in bleščeče, spodaj pa imajo dve svetli progi listnih rež. Iglice so na pokončnih in dobro osvetljenih poganjkih razporejene spiralno okrog in okrog poganjka, na vodoravnih in zasenčenih poganjkih pa dvoredno, razčesano. Iglice na drevesu ostanejo 4–5, izjemoma tudi več let.

Tisa dobro raste na svežih, humoznih in zračnih tleh. Peščena tla ji ne ustrezajo, raje ima apnenčasto matično podlago. Tisa zgodaj zapre listne reže, zato tudi sušo dobro prenaša. Tisa prenaša tudi mraz, saj se od mraza poškodovane iglice dobro obnavljajo.

Tisa je sencozadržna drevesna vrsta, ki dobro prenaša tudi neposredno sončno obsevanje. Ustreza ji tudi mestno okolje (Brus 2008). Tisa je visoko učinkovita za odstranjevanje prašnih delcev in nizko učinkovita za odstranjevanje dušikovih oksidov, ozona in hlapnih organskih spojin (Šiftar idr. 2011).

4.3. Analiza pregleda stanja drevesne vegetacije v mestni občini Celje

V diplomski nalogi sem pregledala drevesa na območju mestne občine Celje in ocenila, kje bi jih lahko dodatno zasadili. S pomočjo podatkov, ki sem jih pridobila na Mestni občini Celje, sem dobila pregled nad vitalnostjo in poškodovanostjo dreves v Celju, in sicer v celjskem mestnem jedru, v celjskem mestnem parku, na območju ob Savinji in gozdovih v okolici Celja.

4.3.1. Stanje dreves starega mestnega jedra Celja

Zrak v Celju je močno onesnažen, kar se odraža tudi na stanju dreves. V nadaljevanju so opisana stanja dreves v starem mestnem jedru Celja. Podatke sem pridobila s pomočjo Irene Ašič in Rajka Čaterja.

Videz vseh ulic in trgov v mestnem jedru Celja kviri predvsem visoki pajesen, ki je invazivna vrsta in s svojo agresivno invazivnostjo in močno razrastjo predstavlja resno grožnjo mestni infrastrukturi. Tabela, po katerimi določimo stanje dreves (tabela 8), je predstavljena v poglavju o odzivih dreves na poškodbe zaradi onesnaženosti ozračja. Vsi podatki o stanju dreves so podani sproti pod opisi posameznih ulic oziroma lokacij v starem mestnem jedru Celja. Stopnjo vitalnosti prikazuje tabela 8a.

4.3.1.1. Trg pred Metropolitom

Na tem trgu rastejo štiri javorolistne platane, ki so oblikovane z glavno rezjo. Pred leti je bila zaradi požara trafike poškodovana zasaditev kot celota. Zaradi hudih poškodb je bilo skrajno severno drevo že odstranjeno, današnje zadnje drevo v drevoredu pa je še močno poškodovano. Predlog je, da se to drevo odstrani in se zasadita dve drevesi iste drevesne vrste, ki morata biti veliki, stabilni, močni in morata hitro zapolniti praznino ter sovrasti v linijo.

Tabela 13: Stanje dreves na Trgu pred Metropolitom

Drevesna vrsta	Vitalnost	Poškodovanost
javorolistna platana	2	3
javorolistna platana	2	3
javorolistna platana	2	2
javorolistna platana	2	4

(Vir: Mestna občina Celje 2012)

4.3.1.2. Glavni trg

Ob tem trgu raste dva gorska javorja. Večje drevo je nagnjeno, drugi, ostrolistni javor pa je verjetno samoniklega izvora in raste tik ob zidani ograji. Slednje drevo bi bilo primerno odstraniti.

Južneje na istem trgu, med kužnim znamenjem in trgovino Lovec, je drevored, zasajen s sedmimi kroglastimi javorji. Vitalnost dreves, ki rastejo iz odprtih med tlakovci, je primerna rastišču. Drevesa sicer niso v odličnem stanju, so pa dobro olistana in brez hujših poškodb.

Tabela 14: Stanje dreves na Glavnem trgu

Drevesna vrsta	Vitalnost	Poškodovanost
gorski javor	1	2
gorski javor	1	2
kroglasti javor	2	2
kroglasti javor	1	2
kroglasti javor	1	2
kroglasti javor	0	2
kroglasti javor	2	2
kroglasti javor	1	2
kroglasti javor	1	1

(Vir: Mestna občina Celje 2012)

4.3.1.3. Območje tržnice (Linhartova in Savinova ulica)

V okolici tržnice drži glavno podobo zasaditve drevored ostrolistnih javorjev, med katerimi sta 2 drevesi na novo zasajeni, 4 drevesa pa so stara in v zelo slabem stanju, kar je posledica obnove tržnice.

V okolici raste tudi divji kostanj, ki je v slabši kondiciji in je precej poškodovan. Divji kostanj je neprimeren za urbano središče predvsem zaradi odpadanja plodov, krhkosti vej in možnosti izruvanja.

Zahodno od divjega kostanja raste tudi manjši lipovec, ki pa ni konfliktno drevo.

Tabela 15: Stanje dreves na območju tržnice (Linhartove in Savinove ulice)

Drevesna vrsta	Vitalnost	Poškodovanost
ostrolistni javor	2	3
lipovec	1	1
divji kostanj	1	1
divji kostanj	2	3
divji kostanj	2	3
divji kostanj	3	3
divji kostanj	2	3
divji kostanj	1	1

(Vir: Mestna občina Celje 2012)

4.3.1.4. Prešernova ulica z delom Savinove ulice

Zasaditev Prešernove ulice in križišča s Savinovo ulico v večji meri sestavlja mlajši drevored s 24 drevesi kroglastega javorja na obeh straneh ulice. Vzhodno od ulice na vrtu gostinskega lokala raste tudi dve lipi. Nekaj dreves je povsem odmrlih, ostala drevesa pa so v zelo slabem stanju in več ne izpolnjujejo glavnih funkcij mestnega drevja. Predlagana je odstranitev celotnega drevoreda in njegova nadomestitev z enotno zasaditvijo primernejše vrste.

Tabela 16: Stanje dreves na Prešernovi ulici z delom Savinove ulice

Drevesna vrsta	Vitalnost	Poškodovanost
lipa	1	2
lipa	1	2
kroglasti javor	2	2
kroglasti javor	2	2
kroglasti javor	3	2
kroglasti javor	3	2
kroglasti javor	2	2
kroglasti javor	3	2
kroglasti javor	2	2
kroglasti javor	4	5
kroglasti javor	4	5
kroglasti javor	4	5
kroglasti javor	2	2
kroglasti javor	1	2
kroglasti javor	2	2
kroglasti javor	3	3
kroglasti javor	3	3
kroglasti javor	4	5
kroglasti javor	3	3
kroglasti javor	2	3
kroglasti javor	2	3
kroglasti javor	2	2
kroglasti javor	2	2
kroglasti javor	2	2
kroglasti javor	2	2
kroglasti javor	1	2

(Vir: Mestna občina Celje 2012)

4.3.2. Drevesa na območju mestne občine Celje

Na območju, ki ga zaseda mestna občina Celje, najdemo najpogostejše drevesne vrste, kot so gorski javor, navadna breza, ostrolistni javor, navadna smreka, lipovec, srebrni javor, ameriški javor, velikolistna lipa, platana in visoki pajesen.

Na območju mestne občine Celje prevladujejo listnata drevesa, katerih delež znaša 83 % (6.918 dreves), delež iglavcev pa je 17 % (1.461 dreves) (Lamut 2012).

Tabela 17: Število dreves na območju Celja

Drevesna vrsta	Število dreves
ameriška čremsa	27
ameriški ambrovec	37
ameriški javor	357
ameriški klek	25
bela murva	5
beli gaber	173
beli topol	1
bodeča smreka	28
bodika	13
brek	1
breskev	26
brin	3
bukev	7
cedra	3
cercidifil	30
češnja	100
čremsa	4
črna jelša	13
črni bezeg	20
črni bor	146
črni oreh	2
črni topol	34
divji kostanj	98
dob	11
dolgoigličasta jelka	3
duglazija	19
dvokrpi ginko	14
ginko	16
enovratni glog	3
glog	36
gorski brest	2
gorski javor	945
gošča – visoki pajesen	1
graden	4
gruča (lipa, maklen)	1
himalajski bor	2
hruška	8
iva	4
jablana	32
japonska češnja	42
japonska sofora	6
japonska zelkova	1
japonski javor	7
jerebika	12

Drevesna vrsta	Število dreves
kanadska čuga	2
katalpa	150
kavkaški krilati oreškar	11
kodrasta vrba	55
kroglasti javor	133
krvava bukev	3
kutina	3
laški topol	11
lipa	17
lipovec	534
macesen	19
magnolija	27
maklen	4
mali jesen	10
mandljevec	1
mandžurski javor	12
mehurnik	2
miroblana	10
mnogocvetna jablana	52
mokovec	2
nagnoj	9
naravni sestoj	1
navadna breza	782
navadna jelka	6
navadna leska	2
navadna smreka	720
navadni smokovec	1
navadni usodnik	3
octovec	58
okrasna jablana	4
okrasna sliva	40
omorika	194
oreh	33
ostrolistni javor	770
pacipresa	22
pahljačasti javor	17
parocija	3
pavlovnija	3
platana	281
povešava bukev	1
povešava murva	1
povešava vrba	7
pravi kostanj	2
rdečelistna sliva	10
rdeči bor	87
rdeči dren	6
rdeči hrast	14
rdeči ostrolistni javor	1
robinija	88
ruj	5
rušje	1
škrlatni divji kostanj	2

Drevesna vrsta	Število dreves
škrlatni javor	16
sliva	84
šmarna hrušica	7
smokvovec	3
solzasti gaber	7
španski bezeg	2
srebrna lipa	60
srebrna smreka	51
srebrni javor	542
stebrasti gaber	92
taksodij	1
tamarisa	1
tisa	78
trnata gledičevka	38
tulipanovec	18
turška leska	2
veliki jesen	161
veliki pajesen	6
velikolistna lipa	351
višnja	3
visoki pajesen	204
vrba	45
vrba – iva	1
vzhodna platana	2
vzhodni klek	5
zeleni bor	23

(Vir: Kataster Mestne občine Celje 2012)

4.3.2.1. Pogoste drevesne vrste v mestnem parku občine Celje

Zelene površine v Celju so se skozi zgodovino zelo spremenile. Danes mestni park ne zadošča niti osnovnim potrebam mesta. Mestni park se je skozi leta skrčil na tretjino svoje nekdanje velikosti (Kolšek in Kač 2000). Leta 2007 so bila v mestnem parku 403 drevesa, od tega 149 iglavcev in 254 listavcev (Avžner 2007). Prav tako po podatkih Avžnerja (2007) za leto 2007 vidimo, da je število dreves v zadnjih dvajsetih letih upadlo. Drevesa so predstavljena v tabeli 18.

Tabela 18: Število dreves v mestnem parku občine Celje

Vrsta drevesa	Število dreves leta 2007
Listavci	
pajesen	4
poljski javor/maklen	3
ameriški javor/negundovec	2
ostrolistni javor	8
beli/gorski javor	6
srebrni javor	1
navadni divji kostanj	112
navadna breza	6
puhasta breza	1
navadni beli gaber	13
ameriška katalpa	7
cercidifil	3
navadna bukev	12
trnata gledičevka	2
navadni oreh	4
ameriški ambrovec	3
tulipanovec	3
maklura/osaški pomarančevac	1
soulangeeva magnolija	2
zvezdasta magnolija	7
parocija	1
javorolistna platana	3
japonska češnja	3
črni trn	1
brestovka	1
dob	3
rdeči hrast	4
robinija	1
vrba	1
črni bezeg	9
lipovec	2
lipa	23
gorski brest	2

Vrsta drevesa	Število dreves leta 2007
Iglavci	
pacipresa	7
grahova pacipresa/japonska pacipresa	5
dvokrpi ginko	1
evropski macesen	2
metasekvoja	1
navadna smreka	29
brewerjeva smreka	1
pančičeva smreka/omorika	60
bodeča smreka	12
črni bor	5
avstrijski črni bor	9
zeleni bor	1
himalajski bor	1
navadna ameriška duglazija	3
tisa	10
ameriški klek	2

(Vir: Avžner 2007)

Iz tabele 18 je razvidno, da med listavci prevladujejo naslednja drevesa: navadni divji kostanj, lipa, navadni beli gaber, navadna bukev in črni bezeg. Med iglavci pa prevladuje predvsem smreka, in sicer: pančičeva smreka oziroma omorika, navadna smreka in bodeča smreka. Zasledimo pa tudi tiso in avstrijski črni bor.

4.3.2.2. Pogoste drevesne vrste ob reki Savinji v Celju

V tem poglavju so naštetja pogosta drevesa ob reki Savinji v Celju. Podatke sem pridobila v pogovoru z Mihom Lamutom, zaposlenim v Mestni občini Celje.

Tabela 19: Število dreves ob reki Savinji v Celju

Drevesna vrsta	Število dreves
ameriški javor	1
beli gaber	3
bodeča smreka	5
bodika	1
črni bezeg	2
črni bor	12
črni topol	2
divji kostanj	1
ginko	1
gorski javor	15
iva	1
japonska češnja	4
katalpa	18
kavkaški krilati oreškar	2
kodrasta vrba	2
krvava bukev	1
lipa	17
lipovec	1
macesen	4
magnolija	2
mali jesen	3
navadna breza	36

Drevesna vrsta	Število dreves
navadna smreka	4
okrasna sliva	10
omorika	11
ostrolistni javor	17
pahljačasti javor	2
platana	8
rdeči bor	2
srebrna lipa	2
srebrni javor	49
tisa	6
trnata gledičevka	5
veliki jesen	3
veliki pajesen	1
velikolistna lipa	20
zeleni bor	1

(Vir: Kataster Mestne občine Celje)

Iz tabele 19 je razvidno, da je ob reki Savinji 275 dreves, med katerimi se najpogosteje pojavljajo srebrni javor, navadna breza, velikolistna lipa, katalpa, lipa in ostrolistni javor.

4.4. Predlogi za izboljšanje kakovosti zraka v mestni občini Celje s pomočjo primerne saditve dreves

Razmere v Celju so za rast dreves neugodne, kar preprečuje normalen razvoj celega drevesa ali delov drevesa. Drevo zaradi tega mnogokrat odmre. Omejujoči dejavniki rasti so predvsem zbita tla, pomanjkanje kisika in vode v tleh, onesnaženost zraka in tal, številne bolezni in škodljivci ter pogoste mehanske poškodbe drevja.

Podnebje v Celju je prehodno, močan je tudi celinski vpliv. To pomeni, da so v Celju poletja vroča, zime pa ostre. Povprečna letna temperatura v Celju znaša med 8,5 °C in 9,1 °C. V Celju je letno 15–99 dni z meglo, v letu je okoli 127 deževnih dni, ko pade med 1100 in 1250 mm padavin.

Znano je, da imajo zelena območja urbanih naselij pozitiven vpliv na tamkajšnje življenje tako z vidika ekologije kot z vidika ekonomije in zdravja. Ljudje se radi odmaknemo na območja s čistejšim zrakom, zato je toliko pomembnejše, da imamo zadostno število zelenih površin. Ljudje smo povezani z drevjem v okolici domov in nanje smo tudi čustveno navezani. Zaradi tega se večkrat odzivamo ob odstranjevanju dreves in se vključujemo v procese obnove dreves.

Kljub temu da človek drevesom nudi neugodne rastne razmere, pa drevesa v mestih opravljajo številne pozitivne funkcije. Imajo številne vplive na okolje – nudijo zatočišče številnim živalim, izboljšujejo estetski videz okolja, blažijo veter in čistijo zrak, vodo in tla. Brez dreves si danes težko predstavljamo naš vsakdan.

S stališča odstranjevanja prašnih delcev so po navedbah Šiftarja in drugih (2011) najprimernejše drevesne vrste črni in rdeči bor, metasekvoje in tise, saj premorejo veliko učinkovitost vezave prašnih delcev. Drugi avtorji navajajo, da so najučinkovitejše vrste platane, lipe, koprivovci, bresti, jeseni, orehi (Baraldi idr. 2011). Jovanović (v Brus 2008) navaja, da so dvokrpi ginko, visoki pajesen, robinija, bela vrba, javorolistna platana, tamariša, bela in črna murva, glog in kalina rastline, ki so najodpornejše na onesnažen zrak. Roo (2001) navaja, da so najprimernejše drevesne vrste za odstranjevanje prašnih delcev iz zraka navadna smreka, rušje, črni in rdeči bor, tisa, bršljan, čremsa, puhasta breza, turška leska, beli javor in križanec z navadno bodiko.

Po podatkih, ki jih navajajo Šiftar idr. (2011) ter Roo (2001), je treba za vsako gospodinjstvo zagotoviti 75 m² zelene površine, in sicer 60 m² na območju 500 m od doma ter 15 m² na območju 3 km od doma. Po izračunih potrebuje vsaka oseba 30 m² zelenih površin, ki morajo biti smiselno razporejene bodisi kot parki, zelenice ali igrišča. Po izračunih, podanih v nadaljevanju, vidimo, da je zelenih površin v Celju dovolj. Po podatkih (Šiftar idr. 2011; Roo 2001) potrebuje posameznik 30 m² zelenih površin, kar sem preračunala v km² in tako prišla do rezultata 0,00003 km² zelenih površin na prebivalca. To število sem množila s številom prebivalcev v Celju, 50.039 (leta 2008). Prišla sem do rezultata 1,50117 km² zelenih površin na vse prebivalce v Celju. Ker je površina Celja 94,9 km², vidimo, da je zelenih površin dovolj, saj se potrebe pokrijejo že z gozdnatostjo na področju Celja.

Pred leti so se drevesne vrste v okolje uvrščale glede na estetski videz, čemur se daje prioriteta tudi danes, vendar v Mestni občini Celje že stremijo k temu, da se drevesa uvršča v okolje glede na pogoje rasti. Po pogovoru z zaposlenimi, ki skrbijo za zasaditev drevesnih vrst na območju Celja, sem prišla do zaključka, da se stara, obolela, suha drevesa nadomesti z isto drevesno vrsto. Ker je zrak čedalje bolj onesnažen, ljudje pa si želimo živeti v okolju s čistejšim zrakom, menim, da bi bilo treba proučiti, zakaj je drevo treba podreti in nadomestiti z novim. Če je razlog za propad drevesa v onesnaženem okolju oziroma abiotski dejavnik, menim, da bi bilo treba narediti seznam in pregled drevesnih vrst, ki bi jih lahko nadomestili glede na pogoje in zahteve rasti, saj lahko le s primernimi drevesnimi vrstami pripomoremo k boljši kakovosti zraka.

4.4.1. Izbor primernih drevesnih vrst za zasaditev na območju Celja

Po pregledu zasaditve dreves v moji neposredni okolici sem prišla do zaključka, da so najpogosteje posajena drevesa beli javor, navadna breza, ostrolistni javor, navadna smreka, srebrni javor, lipovec, ameriški javor, velikolistna lipa, platana in visoki pajesen. Iz podatkov, ki sem jih pridobila tekom pisanja diplomske naloge, ugotovimo, da so za odstranjevanje prašnih delcev PM₁₀ najprimernejše breza, platana in navadna smreka. Ker pa je zrak onesnažen z različnimi onesnaževali in drevesa rastejo v različnih pogojih, se strinjam, da so primerne vse drevesne vrste, saj vsaka odstranjuje drugačna onesnaževala in skupaj tvorijo uspešno »čistilno napravo«. V starem mestnem jedru, ki je zaprto za promet, so posajena drevesa, ki srednje in nizko učinkovito odstranjujejo prašne delce. Vsa ta drevesa po podatkih Šiftarja (2011) visoko učinkovito odstranjujejo dušikove okside in ozon ter nizko učinkovito hlapne organske spojine. Ker je staro mestno jedro zaprto za promet, menim, da je zasaditev primerna. Ob reki Savinji poteka cesta. Zasaditev dreves je raznolika, s čimer se pripomore k odstranjevanju različnih onesnaževal iz zraka. V prihodnosti bi priporočala še dodatno zasaditev dvokrpega ginka, saj je to drevo zelo odporno na onesnažen zrak. Prav tako bi posadila več dreves črnega bora, saj je izmed dreves, ki so posajena, najučinkovitejši za odstranjevanje prašnih delcev, ki jih povzroča promet. V mestnem parku, tudi ob reki Savinji, je saditev dreves primerna, saj je veliko število raznolikih dreves, med katerimi se najdejo drevesa, ki uspešno odstranjujejo različna onesnaževala: na primer 112 dreves divjega kostanja, ki srednje učinkovito odstranjuje prašne delce, visoko učinkovito pa dušikove okside in ozon. Prav tako v mestnem parku najdemo več kot 60 smrek, ki učinkovito vežejo prašne delce tako kot ostali iglavci. Glede na podatke menim, da je v Celju zasaditev dreves primerna, čeprav bi lahko v prihodnje razmišljali o večjem številu vrst in dreves, saj se tudi zrak čedalje bolj onesnažuje, že zaradi prometa, ki je vedno gostejši. Tako bi z vidika odstranjevanja prašnih delcev po podatkih Šiftarja (2011) priporočala, da se več sadijo naslednja drevesa: dvokrpi ginko, črni bor, rdeči bor in tisa, primerne pa so tudi vrste, kot so vrba (predvsem ob reki Savinji proti Laškemu), gaber, divji kostanj, lipovec, breza in bukev.

Menim, da bi lahko Celje dobilo kakšen dodatni drevored, predvsem na Opekarniški cesti (Hudinja–Nova vas) ter na Dečkovi cesti med Cesto na Dobrovo in Opekarniško cesto. Prav tako bi se lahko uredil park med Čopovo in Drapšinovo ulico. Predlagala bi tudi ureditev sprehajalne poti ob potoku Hudinja, ki bi se zasadila z drevesi, ter zasaditev dreves na Brodarjevi ulici, na Novem trgu pri garažni hiši, ob pešpoti proti Šmartinskem jezeru in ob pešpoti ob Savinji na obeh straneh pešpoti. Koristna bi bila tudi zasaditev zemljišča znotraj cinkarne, in sicer z drevesi, ki imajo dlakave in lepljive listne površine in dobro odstranjujejo prašne delce, ter zemljišča ostalih industrijskih podjetij, ki onesnažujejo zrak. V Celju je tudi veliko manjkajočih dreves med že obstoječimi zasaditvami, tako da bi predlagala zasaditev posameznih dreves med stanovanjskimi bloki, poslovnimi objekti itd.



Slika 16: Predlog za park med Čopovo in Drapšново ulico



Slika 17: Predlog za drevored na Opekarniški cesti



Slika 18: Predlog za zasaditev na Dečkovi cesti med Cesto na Dobrovo in Opekarniško cesto

Za odstranjevanje prašnih delcev so tako primerni iglavci in listavci, ki imajo odlakane in lepljive liste (metasekvoja, tisa, lipovec, gaber, dvokrpi ginko itd.). Hlapne organske spojine najuspešnejše odstranjujejo iglavci, ki imajo debelo in mastno povrhnjico (smreka). Ozon in dušikove okside pa najuspešnejše odstranjujejo drevesa s ploščatimi in širokimi listi (gaber, dvokrpi ginko, divji kostanj, lipa, breza, bukev itd.).

Drevesa plinasta onesnaževala vežejo nase predvsem podnevi, ko so listne reže odprte. Čiščenje hlapnih organskih spojin poteka tako podnevi kot ponoči, saj hlapne organske spojine v rastlino vstopajo skozi povrhnjico. Tako kot čiščenje hlapnih organskih spojin pa poteka tudi odstranjevanje prašnih delcev podnevi in ponoči, saj se prašni delci usedajo na listne ploskve.

Odstranjevanje onesnaževal iz zraka je v manjši meri tudi začaran krog. Drevesa, ki absorbirajo onesnaževala, ta v določeni meri vračajo nazaj v okolje. Drevesa podnevi, ko je svetlo, ob procesu fotosinteze proizvajajo kisik, ponoči pa ravno tako dihajo in oddajajo ogljikov dioksid. Prašni delci, ki se usedajo na listne površine, se nazaj v naravo vračajo ob deževju ali z odpadanjem listja. Kljub temu pa gre za pomemben proces zadrževanja in odstranjevanja prašnih delcev iz zraka. Zrak, onesnažen s prašnimi delci, je pomembna težava za zdravje. Z zadrževanjem prašnih delcev v krošnji in s spiranjem v tla lahko tako v precejšnji meri zmanjšamo tveganje za pojav respiratornih in z njimi povezanih obolenj.

Odziv drevesa na onesnaževalo je odvisen od koncentracije onesnaževala, dejavnikov neživega okolja in stanja drevesa.

Le s primerno izbiro drevesnih vrst in kombinacijo različnih drevesnih vrst lahko pripomoremo k čistejšemu zraku. Poudarek bi bilo treba dati tudi zasaditvi avtohtonih drevesnih vrst, saj so ta drevesa bolj prilagojena našim ravnim pogojem. V primeru uvajanja neavtohtonih vrst je treba predhodno preveriti morebitno invazivnost vrste ter pretehtati vse ostale prednosti in slabosti tovrstne izbire.

5. Povzetek

Celje, tretje največje mesto v Sloveniji, je zaradi svoje neugodne lege močno onesnaženo. Značilnost Celjske kotline je manjša izmenjava vetrov, zaradi česar prihaja do pogostih temperaturnih inverzij, kar še dodatno obremeni že tako onesnaženo ozračje.

Zakonsko sta opredeljeni maksimalna povprečna letna vrednost in dnevna mejna vrednost za onesnaženost zraka s prašnimi delci. Prekoračena ostaja dnevna mejna vrednost, medtem ko se povprečna letna vrednost znižuje.

Ljudje si želimo dihati kakovosten zrak, zato se veliko ljudi zadržuje v zaprtih prostorih, saj zmotno mislijo, da tam je zrak boljši. Znano je, da je zrak v zaprtih prostorih večinoma bolj onesnažen, saj se onesnaževala v zaprtem prostoru zadržujejo in kopičijo, medtem ko veter onesnaževala zunaj transportira na večje območje in s tem zniža njihovo koncentracijo.

V diplomskem delu sem se osredotočila predvsem na zmanjšanje zračnih obremenitev s pomočjo dreves. Drevesa so v preteklosti opravljala predvsem funkcijo estetskega videza in osenčenosti, danes pa se ljudje zavedamo problematike onesnaženosti in se drevesa umeščajo v okolje tudi z namenom izboljšanja kakovosti okolja, v katerem živimo.

Drevesa imajo v okolju ekološko, družbeno, oblikovalsko in gospodarsko funkcijo. Dajejo senco, zmanjšujejo hitrost vetra, čistijo zrak, vodo in tla, zmanjšujejo izhlapevanje vode, blagodejno vplivajo na zdravje in počutje, izboljšujejo estetski videz, predstavljajo življenjski prostor številnim živalim itd. Brez dreves si ljudje več ne predstavljamo življenja.

Kot vsak organizem se tudi rastline na različne načine odzovejo na onesnaženo okolje.

Termin, s katerim poimenujemo uporabo rastlin za zmanjšanje obremenitev v vodi in tleh, se imenuje fitoremediacija. Drevesa sodijo med lesne rastline in imajo visok fitoremediacijski potencial za zadrževanje in razgradnjo raznih snovi oziroma onesnaževal v okolju. Fitoremediacija je primerna za območja z blažjimi obremenitvami, kjer koncentracije onesnaževal ne presegajo vrednosti, ki omejujejo sposobnost rastlin za njihovo rast in s tem čiščenje. Pri tem morajo biti onesnaževala rastlinam dostopna, da lahko poteče privzem s pomočjo korenin. Drevesa s pomočjo korenin privzemajo različna onesnaževala iz vode in tal, od koder se lahko transportirajo v nadzemne dele, kjer delno izhlapijo skozi listne reže nazaj v ozračje, se akumulirajo v posameznih rastlinskih delih ali razgradijo v okviru rastlinskih metabolnih procesov.

Manj znano kot čiščenje vode in tal je zmanjševanje zračnih obremenitev s pomočjo dreves. Zrak filtrirajo in čistijo vse rastline, vendar je sposobnost čiščenja odvisna od vrste vegetacije. Drevesa so pri filtriranju učinkovitejša kot nižje rastline, saj so višja in s krošnjo tvorijo večjo površino, zaradi česar so večja ovira za prehod onesnaženega zraka.

Drevesa vežejo onesnaževala iz zraka z adsorpcijo na listno površino, absorpcijo skozi listne reže ali skozi kutikulo celic. Površinsko vezana onesnaževala, kot so prašni delci, se z dežjem sperejo v tla. Onesnaževala, ki prehajajo v rastlinsko tkivo, pa se lahko v procesih rastlinske presnove razgradijo ali vežejo in zadržijo v določenih celičnih organelih, kot so na primer vakuole. Poškodbe, ki so vidne na rastlinah, so posledica kopičenja večjih koncentracij onesnaževal, ki negativno vplivajo na rastlinske procese presnove.

Drevesa s pomočjo listov odstranjujejo številna onesnaževala iz zraka. Dušikov oksid in ozon se absorbirata skozi listne reže. Listne reže so odprte le podnevi, zaradi česar je odstranjevanje plinastih onesnaževal iz zraka večje podnevi. Hlapne organske spojine se absorbirajo skozi povrhnjico, prašni delci pa se ujamejo med izrastke na listnih ploskvah ali pa se prilepijo na voskasto kutikulo.

Odziv rastline je odvisen od doze onesnaževala, od fiziološkega stanja rastline in od dejavnikov neživega okolja. Sposobnost zmanjševanja posameznih zračnih obremenitev je odvisna od vrste do vrste, upoštevati pa je treba tudi rastne pogoje, ki jih potrebuje drevo, da lahko razvije vse svoje sposobnosti. Življenjska doba dreves, ki rastejo v urbanem okolju, je v primerjavi z drevesi, ki rastejo na prostem, krajša. Na življenjsko dobo vplivajo neugodni okoljski vplivi mestnega okolja kot tudi pogoji zasaditve.

Da bi lahko s pomočjo dreves kar najbolje očistili onesnaževala iz zraka, je pomembna pravilna odločitev glede zasaditve posamezne drevesne vrste. Treba je vedeti, kateri dejavniki vplivajo na drevo, in poiskati drevesne vrste, ki uspevajo v okolju z danimi pogoji.

Pregled drevesnih vrst v mestni občini Celje je pokazal, da je raznolikost zasajenih dreves precejšnja, saj je zasajenih veliko gorskih javorjev, navadnih brez, ostrolistnih javorjev, navadnih smrek, lipovcev, srebrnih javorjev, ameriških javorjev, velikolistnih lip, platan in visokih pajesenov. Ker je zrak v veliki meri onesnažen s prašnimi delci, bi bilo smiselno zasaditi več dreves, ki uspešno odstranjujejo prašne delce (breza, platana, navadna smreka, črni in rdeči bor, metasekvoja, tisa). Za odstranjevanje prašnih delcev so tako primerni iglavci in listavci, ki imajo odlakane in lepljive liste. Pri analizi podatkov sem prišla do zaključka, da bi bilo v prihodnje smiselno saditi tudi več dvokrpnih ginkov, borov, glogov, javorolistnih platan in belih vrb, saj so ta drevesa odporna na onesnažen mestni zrak.

Priporočala bi zasaditev na Opekarniški cesti (Hudinja–Nova vas) ter na Dečkovi cesti (med Cesto na Dobrovo in Opekarniško cesto), in sicer z dvokrpim ginkom, ki je zelo odporen na onesnažen mestni zrak, prav tako pa je učinkovit pri odstranjevanju prašnih delcev. Priporočam tudi zasaditev parka na zemljišču med Čopovo in Drapšinovo ulico. Predlagala bi tudi, da se ob potoku Hudinja uredi sprehajalna pot in se zasadi z drevesi, prav tako bi lahko ob Savinji na obeh straneh pešpoti zasadili dodatna drevesa. Zasaditev dreves bi predlagala tudi na Brodarjevi ulici, na Novem trgu pri garažni hiši in ob pešpoti proti Šmartinskemu jezeru. Zasaditev dreves bi priporočala tudi na zemljišču cinkarne, in sicer z drevesi, ki imajo odlakane in lepljive listne površine, saj te najbolje odstranjujejo prašne delce. V Celju je tudi veliko manjkajočih dreves med že obstoječimi zasaditvami, tako da bi predlagala zasaditev posameznih dreves med stanovanjskimi bloki, poslovnimi objekti itd. Prav tako predlagam zasaditev z grmovnicami na Mariborski cesti.

5. Summary

Celje, the third largest city in Slovenia, is due to its unfavourable position heavily polluted. Characteristic of the Celje basin is less exchange of winds, which makes coming to frequent temperature inversions, which further burdens the already polluted atmosphere. Maximum annual average value and the limit value for the daily air pollution by dust particles are legally defined. The exceeded daily limit value remains, while the average annual value has been lowering.

People want to breathe good quality air, therefore many people stay indoors because they mistakenly think that the air is better inside. It is known that the air indoors is mostly more polluted as pollutants tend to accumulate in a confined space, while the wind outside transports the pollutants on a larger area and thereby reduces their concentration.

In the thesis I mainly focused on the reduction of the air load through the trees. Trees have in the past carried out mainly the function of aesthetic appearance and offering shade, but today people are aware of the problems of pollution and trees are located in the environment also with a view to improve the quality of the environment in which we live.

In the environment trees have ecological, social, design and economic function. They give shade, reduce wind speed, clean air, water and soil to reduce the evaporation of water, have a beneficial effect on health and well-being, improve the aesthetic appearance, constitute the habitat of many animals and so forth. People can no longer imagine life without trees.

Like any organism even plants in a variety of ways react to the polluted environment. The term, which refers to the use of plants to reduce load in water and soil, is called phytoremediation. Trees belong to the wood plants and have a high phytoremediation potential for retention and degradation of various substances or pollutants in the environment. Phytoremediation is suitable for areas with easier loads, where the concentration of pollutants does not exceed the values that restrict the ability of plants for their growth and consequently the cleansing.

During the process the pollutants have to be accessible to the plants to expire through the uptake of the roots. The tree with the help of the roots absorb different pollutants from water and soil, from where they can be transported in the above ground parts where they partially evaporate through leaf pores back to the atmosphere, they accumulate in individual plant parts or degrade in the context of plant metabolic processes.

Less-known as the cleansing of water and soil is the reduction of air load through the trees. All plants filter and clean the air, but the ability of the cleansing depends on the type of vegetation. Trees are more effective in filtering than lower plants, because they are taller and with their canopy they form a greater surface area, resulting in a larger barrier to passage of the polluted air.

Trees bind pollutants out of the air by adsorption on the leaf surface, absorption through the leaf pores or through the cuticles of cells. Surface-bound pollutants such as dust particles, are with the rain washed into the soil. But the pollutants that pass into the plant tissue may be in the process of plant metabolism, decomposed or bound and retained in specific cellular organelles, such as, for example, vacuoles. Defects, which are visible on the plants, are a result of the accumulation of large concentrations of the pollutants that adversely affect the plant processes of metabolism.

The trees with the help of the leaves remove numerous pollutants from the air. Nitrogen oxide and ozone absorb through the leaf pores. The pores are open only during the day, making the removal of gaseous pollutants from air greater during the day. Volatile organic compounds are absorbed through the epidermis, and dust particles are caught between the growths on the leaf surface or pasted on the waxy coating cuticle.

The response of a plant depends on the dose of pollutants, on the physiological state of the plant and on non-living factors of the environment. The ability to reduce individual air loading depends on the type of species, but it is also necessary to take into account the growing conditions required by the tree, so that it can develop its skills. The lifespan of trees that grow in the urban environment, in comparison with trees that grow outdoors, is shorter.

Their lifetime is affected by unfavourable environmental influences of the urban environment as well as the terms of planting.

To be able to clean the air most effectively through the trees, the correct choice of planting a single tree species is important. It is necessary to know which factors affect tree and find the tree species that thrive in an environment with the given conditions.

A review of tree species in the city municipality of Celje showed that the diversity of planted trees is significant, as there are planted a lot of sycamores, silver birches, Norway maples, spruces, small-leaved limes, silver maples, American maples, *Tilia grandifolia* trees, plane trees, and tall trees-of-heaven. Because the air is largely contaminated with dust particles, it would make sense to plant more trees, which successfully dispose the dust particles (birch, plane tree, spruce, Austrian and Scotch pine, metasequoia, yew tree). To remove the dust particles are therefore well suited coniferous and deciduous, having hairy and sticky leaves. In analyzing the data, I came to the conclusion that in the future it would be more meaningful to plant also more *Ginkgo biloba*, various sorts of pine, hawthorns, London plane trees and white willows, as these trees are resistant to polluted urban air.

I would recommend planting in Opekarniška cesta (Hudinja–Nova vas) and in Dečkova cesta (between Cesta na Dobrovo and Opekarniška ulica), by using the *Ginkgo biloba*, which is highly resistant to polluted urban air, but also effective in removing dust particles. I recommend also the planting of park on the land between Čopova and Drapšinova ulica.

I would also recommend settling the footpath along the stream Hudinja, and planting it with trees, and the same should be done along the footpath next to the river Savinja where both side of the footpath should be planted with additional trees. In Brodarjeva ulica, in Novi trg at the garage and along the footpath towards the Lake Šmartin there should also be planted trees. It would also be advisable to plant the land around the zinc plant, namely with trees which have leaves with hairy and sticky surfaces as they most successfully remove dust particles.

In Celje there are also a lot of trees missing in the already existing plantations, so that I recommend planting of individual trees between blocks of flats, business facilities and so forth. I also suggest planting with shrubs in Mariborska cesta.

6. Literatura

- Allscher, R. G., Cumming, J. R. (1990). *Stress responses in plants: Adaption and acclimation mechanisms*. New York, Wiley-Liss.
- Ambrožič, D. J. (2007). Ekologija: Rastline in razstrupljanje okolja, onesnaženega s težkimi kovinami. *Proteus*. Ljubljana: Prirodoslovno društvo Slovenije, 2 (70), str. 57–63.
- ARSO (2012a). Zrak. Medmrežje: <http://www.arso.gov.si/zrak/> (17. 5. 2012).
- ARSO (2012b). Soer. Air pollution: Why should we care? Memdrežje: http://www.arso.gov.si/en/soer/air_pollution.html (17. 5. 2012).
- ARSO (2012c). Onesnaženost zraka z delci PM₁₀ in PM_{2,5}. Medmrežje: http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=388 (21. 5. 2012).
- ARSO (2012č). Izpusti delcev v zrak. Medmrežje: http://kazalci.arso.gov.si/?Data=indicator&ind_id=399 (21. 5. 2012).
- ARSO (2012d). Onesnaženost zraka z dušikovim dioksidom. Medmrežje: http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=229 (30. 5. 2012).
- Ašič, I. (2012). Pomen dreves (osebni vir). Celje.
- Avžner, D. (2007). *Vloga in pomen dreves v celjskem mestnem parku in na ostalih javnih zelenih površinah*. Diplomsko delo. Celje, šola za hortikulturo in vizualne umetnosti Celje.
- Baraldi, R., Rapparini, F., Chieco, C., Rotondi, A., Georgiadis, T., in Nardino, M. (2011). *Phytoremediation: air purification by trees*. Workshop Proceedings. »Strepow« International workshop. Novi Sad.
- Batič, F. (1992). Bioindikacija onesnaženosti ozračja v Sloveniji. *Ujma*. Ljubljana, 1992 (6), str. 106–110.
- Batič, F. (1994). Bioindikacija onesnaženosti zraka in njen pomen pri vzpostavitvi integralnega biomonitoringa. V: *Zbornik varstva zraka: Stanje in ukrepi za izboljšanje stanja*. Ljubljana, Zavod za tehnično izobraževanje, 1994, str. 12/1-12/10.
- Batič, F. (2005, 2006). *Študijsko gradivo s predavanj: univerzitetni študij kmetijstva – agronomija*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta.
- Batič, F., Bienelli, A., Kopušar, N., Sinkovič, T., Šircelj, H., in Vidregar-Gorjup, N. (1996). Onesnaženje ozračja in vplivi na kmetijsko proizvodnjo. V: *Novi izzivi v poljedelstvu*. Radenci, Slovensko agronomsko društvo, str. 121–125.
- Blaylock, M. J., Huang, J. W. (2000). *Phytoextraction of metals. Phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean up the environment*. New York, John Wiley & Sons inc.
- Bodi eko. Kisli dež. Medmrežje: <http://www.bodieko.si/tag/kisli-dez> (3. 8. 2012).
- Boljka, L. (2010). *Kam odhajajo izpušni plini?* Ljubljana, Fakulteta za matematiko in fiziko.
- Bolte, T., Koleša, T., Turšič, J., Fašing, J., Lešnik, M., Kranjc, I., Burger, J., Šerjak, S., Pavli, P., in Osterman, M. (2008): Monitoring zunanega zraka v Zgornji Mežiški dolini. Medmrežje: http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/poro%C4%8Dila%20o%20projektih/Monitoring_Mezica.pdf (18. 5. 2012).
- Botanika. Medmrežje: <http://botanika.biologija.org/zeleni-skrat/student/BSc-Bio/gradivo/Bio-P05-List-celostr.pdf> (17. 8. 2012).
- Brus, R. (2005). *Dendrologija za gozdarje*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta.
- Brus, R. (2008). *Dendrologija za gozdarje*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta.
- Burnie, D. (1990). *Drevesa*. Murska Sobota, Pomurska založba.
- Burnie, D. (1998). *Leksikon narave*. Ljubljana, Mladinska knjiga.
- CDC Center Disease Control and Prevention. Emergency Preparedness and Response. Facts About Hydrogen Fluoride. (Hydrofluoric Acid). Medmrežje: <http://www.bt.cdc.gov/agent/hydrofluoricacid/basics/facts.asp> (30. 5. 2012).
- Chappell, J. (1997). *Phytoremediation of TCE using Populus. Status Report prepared for the U. S. EPA Technology Innovation Office under a National Network of Environmental Management Studies Fellowship*. United States, EPA.
- Cuerda, J. (2006). *Vodnik po botaniki*. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije.
- Čater, R. (2012). *Drevesa mestne občine Celje (osebni vir)*. Celje.

- Derman, N. (2007): Kombinirana metoda inducirane fitoekstrakcije in pranja tal onesnaženih s Pb in Zn. *Diplomsko delo*. 2007. Medmrežje: http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/dn_derman_nina.pdf (23. 5. 2012).
- Dermastia, M. (2007). *Pogled v rastline*. Ljubljana, Nacionalni inštitut za biologijo.
- Directives. Medmrežje: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:15:0001:0044:EN:PDF> (19. 1. 2013).
- Dolejši, N. (2010). *Osnove arboristike: kataster urbanih dreves*. Velenje, PUP Podjetje za urejanje prostora, d. d.
- Dushenkov, S., Kapulnik, Y., Blaylock, M., Sorochinsky, B., Raskin, I., in Ensley, B. (1997). *Phytoremediation: A novel approach to an old problem. Global Environmental Biotechnology*. Amsterdam, Elsevier Science.
- Dzierżanowski, K., Popek, R., Gawronska, H., Saebø, A., in Gawronski, S. (2011). Deposition of particulate matter of different size fractions on leaf surfaces and in waxes of urban forest species. *International Journal of Phytoremediation*, 1, str. 1037–1046.
- Eleršek, R., Urbančič, M. (2001). *Knjiga o gozdu – o njegovem pomenu, lepoti, podrobnostih in sestavi*. Ljubljana [i. e.]. Golo Brdo: Samozaložba L. Eleršek, 2001.
- Ensley, B. D. (2000). *Rationale for Use of Phytoremediation. Phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean up the environment*. New York, John Wiley & Sons inc.
- EPA (2012a). Medmrežje: <http://www.epa.gov/region1/communities/indoorair.html> (27. 10. 2012)
- EPA (2012b). Medmrežje: <http://www.epa.gov/acidrain/> (27. 10. 2012)
- Eržen, I., Gajšek, P., Hlastan, R. C., Kuček, A., Poljšak, B., in Zaletel, K. L. (2010). *Zdravje in okolje*. Maribor, Medicinska fakulteta.
- Evropski parlament. Medmrežje: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-%2F%2FEP%2F%2FTEXT+IM-PRESS+20060922IPR10875+0+DOC+XML+V0%2F%2FSL> (19. 5. 2012).
- Fotokemični smog. Wikipedia. Medmrežje: http://sl.wikipedia.org/wiki/Fotokemi%C4%8Dni_smog (12. 6. 2012).
- Gobec, M., Pavlinec, P., Bošnjak, K., in Uršič, A. (2011). Monitoring o onesnaženosti zraka v Celju in okolici. Poročilo o rezultatih meritev prašnih usedlin za leto 2010. Medmrežje: http://moc.celje.si/uprava/documents/okolje/porocilo_za_let_2010.pdf (23. 5. 2012).
- Holland, M., Kinghorn, S., Emberson, L., Cindberby, S., Ashmore, M., Mills, G., in Harmens, H. (2006). *Development of a framework for probabilistic assessment of the economic losses caused by ozone damage to crops in Europe*. Bangor, Edinburgh, Lancaster and Wallingford, The Centre for Ecology and Hydrology.
- Hydrogen sulfide. Wikipedia. Medmrežje: http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_sulfide (30. 5. 2012).
- Inštitut za varovanje zdravja RS. Vpliv prašnih delcev na zdravje. Medmrežje: http://www.ivz.si/Mp.aspx?ni=20&pi=5&_5_id=367&_5_PageIndex=0&_5_g_roupId=191&_5_newsCategory=&_5_action>ShowNewsFull&pl=20-5.0 (21. 5. 2012).
- Iqbal M., Yunus, M. (1996). Resistance Mechanisms in Plants Against Air Pollution. *Plant Response to Air Pollution*. Chichester: John Wiley & Sons inc.
- Kataster Mestne občine Celje (2012). Celje, Mestna občina Celje.
- Kochler, A., Blaudez, D., Chalot, M., in Martin, F. (2004). *Cloning and expression of multiple metallothioneins from hybrid poplar*. Cambridge, New Phytologist.
- Kolšek, A., Kač, T. (2000). *Celjski mestni park: Narava v mestu in mesto v naravi*. Celje, Mestna občina Celje.
- Kotar, M. (2005). *Zgradba, rast in donos gozda na ekoloških in fizioloških osnovah*. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije in Zveza za gozdove.
- Kotar, M., Brus, R. (1999). *Naše drevesne vrste*. Ljubljana, Slovenska matica v Ljubljani.
- Kovačič, N. (2009). *Človek in okolje*. Velenje, Visoka šola za varstvo okolja Velenje.
- Lampič, G. (2004). *Onesnaževanja ozračja in ekološki razlogi za vpeljavo električnih vozil*. Ljubljana, Fakulteta za elektrotehniko.
- Lamut, M. (2012). *Drevesa mestne občine Celje (osebni vir)*. Celje.

- Likar, M. (1998). *Vodnik po onesnaževalcih okolja*. Ljubljana, Zbornica sanitarnih tehnikov in inženirjev Slovenije.
- Menke, P., Thönnessen, M., Beckröge, W., Bauer, J., Schwarz, H., Groß, W., Hiemstra, A., Schoenmaker-van der Bijl, E., in Tonneijk, A. E. G. (2008). *Bäume und Pflanzen lassen Städte atmen. Schwerpunkt – Feinstaub*. Düsseldorf, Agentur und Verlag GmbH.
- Ministrstvo za okolje, prostor in energijo. (2003): Zrak: okolje v Sloveniji. Medmrežje: <http://www.arso.gov.si/varstvo%20okolja/poro%C4%8Dila/poro%C4%8Dila%20o%20stanju%20okolja%20v%20Sloveniji/zrak.pdf> (18. 5. 2012).
- National Geographic (2012a). Urban: Populations on the Rise. Medmrežje: <http://environment.nationalgeographic.com/environment/habitats/urban-profile/> (13. 5. 2012).
- National Geographic (2012b). Acid rain: Effects Felt Through the Food Chain. Medmrežje: <http://environment.nationalgeographic.com/environment/global-warming/acid-rain-overview/> (30. 5. 2012).
- National Geographic (2012c). Green Living: What Factors Lead to Smog. Medmrežje: <http://greenliving.nationalgeographic.com/factors-lead-smog-2256.html> (30. 5. 2012).
- National Geographic (2012d). Smog. Medmrežje: http://education.nationalgeographic.com/education/encyclopedia/smog/?ar_a=1&ar_r=3 (12. 6. 2012).
- Nowak, D. J. (2002). *The effects of urban trees on air quality*. New York, USDA Forest Service.
- Okolje info. (2012a). Dušikov dioksid (NO₂). Medmrežje: <http://www.okolje.info/index.php/kakovost-zraka/dusikov-dioksid> (30. 5. 2012).
- Okolje info. (2012b). Ogljikov monoksid (CO). Medmrežje: <http://www.okolje.info/index.php/kakovost-zraka/ogljikov-monoksid> (30. 5. 2012).
- Operativni program varstva zunanjega zraka pred onesnaženjem s PM₁₀ (OP PM₁₀). (2009): Medmrežje: http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/okolje/varstvo_okolja/operativni_programi/op_onesnazevanje_pm10.pdf
- Pell, E. J., Schlaghaufer, C. D., in Arteca, R. N. (1997). *Ozone induced oxidative stress: Mechanisms of action and reaction*. *Physiologia Plantarum*, 100/2, str. 264–273. Oxford, Wiley-Blackwell.
- Perko, F., Pogačnik, J. (1996). *Kaj ogroža Slovenske gozdove?* Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije – Gozdarska založba.
- Petkovšek, S., Božič, G., Kraigher, H., Levanič, T., in Pokorny, B. (2010). Fitoremediacija s kovinami onesnaženih tal z uporabo sadik dreves. V: *Zbornik gozdarstva in lesarstva 92*. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire & Oddelek za lesarstvo, str. 1–125.
- Phytoremediation: An Environmentally Sound Technology for Pollution Prevention, Control and Remediation. *Newsletter and Technical Publications, Freshwater management Series No. 2*. Medmrežje: <http://www.unep.or.jp/ietc/publications/freshwater/fms2/2.asp> (23. 5. 2012).
- Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance and Decision Trees, Revised. (2009). *Technical/Regulatory Guidance*. The Interstate Technology & Regulatory Council Phytotechnologies Team. Washington, The Interstate Technology & Regulatory Council.
- Pirc, A. (1998): Okolje v Sloveniji. Medmrežje: <http://www.arso.gov.si/varstvo%20okolja/poro%C4%8Dila/poro%C4%8Dila%20o%20stanju%20okolja%20v%20Sloveniji/011f.pdf> (13. 5. 2012).
- Podgorelc, M. (2007). *Akumulacija kovin Pb, Zn in Cd pri ivi Salix caprea na onesnaženem območju v žerjavu*. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta.
- Poročilo o stanju okolja v mestni občini Celje – (2008). Medmrežje: <http://moc.celje.si/uprava/documents/porocilo-o-stanju-okolja.pdf> (5. 6. 2012).
- Pravilnik o monitoringu kakovosti zunanjega zraka, *Ur. l. RS*, št. 36/2007, 55/2011.
- Pravilnik o ocenjevanju kakovosti zunanjega zraka, *Ur. l. RS*, št. 55/2011.
- Renee, J. A., Roulo, R., in Varin, S. (2009): Phytoremediation. *The New Georgia Encyclopedia. Science & Medicine*. Medmrežje: <http://www.georgiaencyclopedia.org/nge/Article.jsp?path=/ScienceMedicine/Biotechnology&id=h-3718> (23. 5. 2012).

- Roo, M. (2001). *The Green City Guidelines. Techniques for a healthy liveable city.* Düsseldorf, The Green City.
- Samec, N. (2006). *Okoljsko inženirstvo.* Študijsko gradivo za podiplomski študijski program tehniškega varstva okolja. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo.
- Schubert, R. (1985). *Bioindikation in terrestrischen ökosystem.* Nemčija, Gustav Fischer Verlag.
- Smog. Wikipedia. Medmrežje: <http://sl.wikipedia.org/wiki/Smog> (30. 5. 2012).
- Statistični urad RS. Onesnaženost zraka. Medmrežje: http://www.stat.si/vodic_oglej.asp?ID=525&PodrocjeID=27 (17. 5. 2012).
- Steubing, L. (1982). *Problems of bioindikation and the necessity of standardization. Monitoring of air pollutants by plants.* The Hague, Dr. W. Junk.
- Šegula, A., Murovec, M., Koleša, T., Brinc, R., Cegnar, T., in Muri, G. (2009): Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2008. Medmrežje: http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/Porocilo_2008_SKZ.pdf (21. 5. 2012).
- Šiftar, A. (2001). *Izbor in uporaba drevnine za javne nasade.* Ljubljana, Zavod za tehnično izobraževanje.
- Šiftar, A. in ostali (2011). *Mestno drevje.* Ljubljana, Botanični vrt, Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani.
- Šušteršič, B. (2003): Dvokrpi ginko (*Ginkgo biloba*). Medmrežje: <http://www.zgs.gov.si/fileadmin/zgs/main/img/Zanimivosti/Ginkgo.doc> (2. 6. 2012).
- Torelli, N. (2007). Vloga gospodarjenja z gozdovi in raba lesa pri blaženju podnebnih sprememb. V: *Podnebne spremembe – vpliv na gozd in gozdarstvo.* Ljubljana, Biotehniška fakulteta, str. 27–43.
- Urbančič, J., Žarnić, R. (2010): Poročilo o okolju v Republiki Sloveniji 2009. Medmrežje: http://nfp-si.eionet.europa.eu:8980/irc/Download/kjeFA2J2mbG9q46-FQrBSXEqCp0Dt5m1jY19mt_IP643oSLWGYTVT3jrnCxIhZLRZxT8HUksQZS5pHuDc2q2ruURdFv47ixF/1sjpEf-VPH-UcDhW/POS2009_zdruzeni_dokument.pdf (21. 5. 2012).
- Uredba o kakovosti zunanega zraka, *Ur. l. RS*, št. 9/2011.
- Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih snovi v zraku, *Ur. l. RS*, št. 73/1994, 52/2002, 52/2002, 41/2004-ZVO-1, 66/2007.
- Uredba o žveplovem dioksidu, dušikovih oksidih, delcih in svincu v zunanjem zraku, *Ur. l. RS*, št. 52/2002, 18/2003, 41/2004-ZVO-1, 121/2006, 9/2011.
- Uršič, A., Gobec, M. (2011). *Onesnaženost okolja in naravni viri kot omejitveni dejavnik trajnostnega razvoja – modelni pristop na primeru Celjske kotline: segment zrak, podatki o stanju okolja.* Celje, Inštitut za okolje in prostor.
- USGS science for a changing world. Toxic substances Hydrology Program: Volatile Organic Compounds (VOCs). Medmrežje: <http://toxics.usgs.gov/definitions/vocs.html> (30. 5. 2012).
- Vehovec, N. (2007). *Ekofiziološka in morfološka uporabnost nekaterih vrst drevnine za mestne nasade.* Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta.
- Vilhar, B. (2007). Zakaj jeseni listi spremenijo barvo? *Proteus*, Ljubljana: Prirodoslovno društvo Slovenije, 70 (2), str. 72–74.
- Vovk, K. A., Janškovec, K. (2009): Fitoremediacije: Čiščenje prsti s pomočjo rastlin. *Geografski obzornik*, 56 (1/2). Medmrežje: <http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-REED1GRJ> (23. 5. 2012).
- Vovk, K. A., Vrhovšek, D. (2007). Ekoremediacije za doseganje okoljskih ciljev v Sloveniji. *Revija za geografijo.* Maribor: Filozofska fakulteta, 2007 (3), str. 39–54.
- Vrhovšek, D., Ameršek, I., Zupančič, J. M., Vrhovšek, M., in Sajovic, A. (2009). *Gospodarjenje z okoljem: ekoremediacijske tehnologije za trajnostni razvoj.* Ljubljana, Biteks.
- Vrhovšek, D., Istenič, D., Zupančič, J. M., Sajovic, A., Urana, D., Vrhovšek, M., Vrhovšek, M., Vidmar, U., Jurše, A., in Hercog, A. (2011). *Strokovne podlage za postavitev učnega poligona na Zavodu Grm Novo mesto.* Ljubljana, LIMNOS.
- Vsi zdravi. Zrak, onesnaženost in nevarnosti. Medmrežje: http://vsi-zdravi.org/index.php?option=com_content&task=view&id=86&Itemid=95 (18. 5. 2012).

- White, K. (2000). Phytoextraction. Technology fact sheet peconic river remedial alternatives. Brookhaven national laboratory. Medmrežje: <http://www.bnl.gov/erd/Peconic/Factsheet/Phytoextract.pdf> (23. 5. 2012)
- WHO. Medmrežje: <http://www.who.int/en/> (27. 11. 2012)
- Zunanji zrak, onesnaženost in dihala (2012). *Društvo pljučnih in alergijskih bolnikov Slovenije*. Ljubljana. Medmrežje: http://www.dpbs.si/upload/12912243474cf6851_b8915c_271314af45_ZunanjiZrakOnesnazenostINDihala.pdf (18. 5. 2012)
- Zupančič, J. M. (2009). *Uvod v okoljske tehnologije*. Velenje, Visoka šola za varstvo okolja Velenje.
- ZZV Celje (2011). *Onesnaženost okolja in naravni viri kot mejitveni dejavnik trajnostnega razvoja – modelni pristop na primeru celjske kotline; segment zrak, podatki o stanju okolja*. Celje, ZZV Celje.
- Žlebir, S., Knez, J., Bolte, T., Turšič, J., Gomišček, B., Rode, B., Šegula, A., Vehovar, J., Lešnik, M., Koleša, T., Tratnik, S., Pavli, P., Debeljak, J., in Rus, J. (2007): Poročilo pilotnega projekta "Opredelitev virov delcev PM₁₀ v Sloveniji". Medmrežje: http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/poro%C4%8Dila%20o%20projektih/pilotni_PM10.pdf (21. 5. 2012).