



Gozdarski inštitut Slovenije
Večna pot 2, 1000 Ljubljana
Tel.: 01 2007800, Fax: 01 257 35 89

Primož Simončič, Andreja Ferreira, Milan Kobal, Andrej Kobler, Marko Kovač, Gal Kušar,
Lado Kutnar, Špela Planinšek, Mitja Skudnik, Mihej Urbančič, Andrej Verlič, Urša Vilhar,
Jure Žlogar

***Poročilo projektne naloge »Izdelava ocene stanja
gozdnih tal v mestni občini Ljubljana«***

po pogodbi števil. 430-790/2009-7

Naročnik : **MOL**



Ljubljana, november 2009

KAZALO

<u>Povzetek</u>	2
<u>Abstract</u>	2
1 UVOD	3
2 GOZDNA TLA IN GOZD V MESTNI OBČINI LJUBLJANA	5
2.1 Raziskave gozdnih tal v MOL	5
2.2 Kamnine, gozdna tla in rastišča v Mestni občini Ljubljana	6
3 OPIS OSNOVNIH ZNAČILNOSTI PROCESOV V GOZDNIH TLEH NA PRIMERU GOZDNIH TAL V MESTNI OBČINI LJUBLJANA	10
3.1 Kroženja snovi v gozdnih tleh in gozdnih ekosistemih.....	10
3.2 Opredelitev puferske sposobnosti gozdnih tal glede vnosa onesnažil (dušik, žveplo, kovine).....	12
3.3 Kritični vnosi in prekomerne obremenitve ekosistemov z dušikom in žveplom	13
3.4 Gozdna tla in sekvestracija ogljika.....	15
4 OPIS VPLIVOV PODNEBNIH SPREMEMB NA LASTNOSTI IN FUNKCIJEGOZDNIH TAL	17
4.1 Pričakovani vplivi podnebnih sprememb na gozd na območju Mestne občine Ljubljana	17
4.2 Gozdna tla in ekstremni vremenski dogodki	22
4.3 Vrednotenje gozdnih površin v MOL s poudarkom na ranljivosti tal.....	23
4.4 Erodibilnost gozdnih tal v Mestni občini Ljubljana	30
4.5 Vplivi vode na razvoj gozdnih tal in njihova nasičenost z izmenljivimi bazami.....	32
4.6 Dostopnost vode v gozdnih tleh Mestne občine Ljubljana za glavne drevesne vrste ..	33
4.7 Rodovitnost gozdnih tal v Mestni občini Ljubljana	35
5 STANJE GOZDNIH TAL IN NJIHOV VPLIV NA KAKOVOST VIROV PITNE VODE	37
6 PREDLOG SPREMLJANJA STANJA GOZDNIH TAL V MOL	49
6.1 Monitoring gozdnih tal MOL	49
6.2 Intenzivno spremljanje stanja gozdnih tal in procesov.....	54
6.3 Dodatni predlogi in osveščanje javnosti o vlogi in pomeni ohranjenosti gozdnih tal, tal ter gozdov/gozdnih ekosistemov	57
7 REFERENCE / VIRI.....	58
8 PRILOGE	
8.1 Navodila za opis talnega profila	
8.2 Navodila za vzorčenje tal na 8x8km mreži (2007)	
8.3 Kartno gradivo	

Povzetek

V projektni nalogi »Izdelava ocene stanja gozdnih tal v Mestni občini Ljubljana« je obravnavano stanje gozdnih tal, njihova vloga v gozdnih ekosistemih ter procesi v krajini, na katere imajo gozdna tla pomemben vpliv. Ugotovili smo, da sicer obstajajo podatki in informacije o stanju tal v MOL za kmetijske površine in površine v urbanem okolju, vendar gozdna tla v Mestni občini Ljubljana (MOL) do sedaj niso bila predmet obširnejših raziskav. Zato naloga temelji na osnovi že obstoječih podatkovnih baz oziroma ekspertnih ocen Gozdarskega inštituta Slovenije, ki so bile prilagojene za obravnavano območje.

Gozdna tla predstavljajo 11.650 ha oz. 42 % površine MOL. Pomemben delež gozdnih tal (25 % gozdnih tal) sodi v vodovarstvena območja, zato sklepamo, da stanje gozdnih tal in ohranjenost gozdnih ekosistemov neposredno vpliva na količino in kakovost virov vode.

Naloga zajema pregled naslednji vsebin: opis stanja in razmer ter kartografski prikazi za gozdna tla v MOL, problematiko in vpliv gozdnih tal na kroženje snovi, opredelitev puferske oziroma izravnalne sposobnosti gozdnih tal in kritičnih vnosov N ter S v gozd oziroma v gozdna tla, ocena kopičenja ogljika v gozdnih tleh v MOL. Poseben poudarek v nalogi je namenjen vplivu podnebnih sprememb na gozdna tla ter vplivu gozdnih tal in gozdov na količino in kakovost virov vode. Z uporabo metodologije ICP Modelling & Mapping so prikazane grobe ocene kritičnih vnosov za dušik in žveplo (kislih odložin) v gozdne ekosisteme in gozdna tla, ter prikazane mejne vrednosti, ki jih gozdna tla in gozdni ekosistemi še lahko prenesejo. Narejene so bile tudi preliminarne ocene zaloga ogljika v gozdnih tleh na območju MOL, ki so povzete po ocenah za celotno območje gozdnih tal v Sloveniji.

Abstract

The project "Assessment of forest soils conditions in the Municipality of Ljubljana (MOL)" deals with the forest soils conditions and their role in forest ecosystems and processes in the landscape, on which forest soils have a significant impact. It has been found that there is data and information on the soil conditions in the MOL for agricultural areas and for the areas in the urban environment, however, nothing has been found about the forest soils that have never been subject to intensive research. Therefore, the data, presented in the study is based on the existing databases and on expert assessments of the Slovenian Forestry Institute.

Forest soils represent 42% of the MOL (11,650 ha). A significant proportion of forest soils is in water protection areas (25 %). Thus, it is likely that forest soils conditions and the preservation of forest ecosystems has a direct impact on the quantity and the quality of fresh water resources.

The project deals with the following contents: current soils conditions in the MOL along with the cartographic presentation, the problems and the impacts of forest soils on nutrient cycling, determination of buffer zones and the carrying capacities of soils on the critical loads of N and S into forest and forest soils respectively, the assesment of carbon budget in forest soils of the MOL. A special focus is given to the impact of climate change on forest soils, forests and on the quality of water sources. The estimates, provided through the ICP Modelling & Mapping methodology, show the critical loads of Nitrogen and Sulphur (acid depositions) into the forest ecosystems and forest soils. Additionally, the resilience of of forest soils and forest ecosystems is also shown. The project also deals with the carbon budget of forest soils in the MOL that has been derived from the estimates, valid for the country.

In turn, the projects brings a proposal for future monitoring of forest soils in the MOL (35 plots), the possibilities for the collection of data on forest soils and their impacts on on the amount and the quality of water sources in forest areas by means of intensive measurements (three locations, NW, N and E of MOL). And last but not least, it brings a proposal for monitoring the concentrations of O₃, NO_x, NH₃, SO₂ in forestlands by means of bioindicators (chemical analysis of leafs and needles, fungi, passive samplers).

1 UVOD

Gozdna tla so do danes zvečine ohranila prvobitno naravno zgradbo in raznovrstnost. Njihova rodovitnost omogoča ukoreninjenim rastlinam, da se za svojo rast in razvoj oskrbujejo z vodo, hranili in talnim zrakom. Gozdna tla se od kmetijskih bistveno razlikujejo. Za razliko od njivskih tal, pri katerih so prvotni zgornji horizonti zaradi obdelovanja premešani in homogenizirani v eno samo plast – ornico, je za gozdna tla značilna velika pestrost talnih razmer z relativno ohranjenimi talnimi horizonti in podhorizonti, v katerih ni neposredno umetno vnesenih kemičnih snovi. V gozdnih tleh, ki so nepogrešljiv del gozda, žive številne rastline, živali, glive in mikroorganizmi.

Gozdna tla so očem dokaj skrit in zato slabše raziskan del gozda. Njihov pomen za delovanje gozda in kroženje snovi v gozdnih ekosistemih, kot so voda, ogljik, hranila, onesnažila, ipd., je izjemno pomemben. Gozdna tla vplivajo na stanje gozdov in na procese v gozdu oz. gozdnih ekosistemih s svojimi lastnostmi, kot so rodovitnost gozdnih tal, onesnaženost gozdnih tal, majhna ali velika puferska sposobnost, zmožnost zadrževanja vode itn. Zaradi vplivov gospodarjenja z gozdovi in gozdnimi tlemi ter vplivov okoljskih dejavnikov na njih, so gozdna tla lahko degradirana (npr. kot posledica steljarjenja), v tleh lahko potekajo procesi zakisovanja in eutrofikacije. Ti procesi so še posebej intenzivni v področjih z imisijami onesnažil v okolici glavnih prometnic, v območjih z intenzivnimi kmetijskimi aktivnostmi, v okolici industrijskih centrov, termoenergetskih objektov in mest, divjih odlagališč, itn. Vsi našteti vplivi pomembno vplivajo na stanje gozdnih tal in gozda kar je še posebej pomembno na vodovarstvenih območjih. Gozdna tla vplivajo tudi na kroženje vode in posledično na vegetacijo (npr. sušni stres). Zaradi svoje velike puferske sposobnosti lahko nevtralizirajo ali omejijo škodljive posledice vnosa zračnih onesnažil v gozdna tla (neposredno in posredno onesnaževanje) in zadržujejo oz. vplivajo na manjše izpiranje onesnažil v talno vodo (primer vezave onesnažil na organsko snov v opadu in zgornjih plasteh gozdnih tal).

Neposredne vnose gnojil, fitofarmaceutskih sredstev in obstojnih organskih onesnažil (angl. Persistent Organic Pollutants – POP) v gozdna tla zakonodaja za področje gozdarstva prepoveduje. Zato predlagamo, da se v predlog spremljanja gozdnih tal na območju Mestne občine Ljubljana (v nadaljevanju MOL) vključi zaradi racionalizacije in optimizacije tudi indikatorje, ki so pokazatelji stanja in ohranjenosti gozdnih tal. Z njihovo pomočjo je posredno mogoče sklepati na sposobnost gozdnih tal za nevtraliziranje oziroma omejevanje škodljivih učinkov imisij onesnažil in tako ocenjevati »splošno kondicijo« gozdne vegetacije in gozdnega ekosistema kot celote. Na posameznih izbranih območjih, zlasti na vodovarstvenih območjih, na območjih, kjer je treba varovati potencialne vodne vire, ki jih porašča gozd, bo treba izvesti kombinirane analize, analize ki jih predlagamo za splošni monitoring gozdnih tal in nekatere analize, ki se že izvajajo v okviru monitoringa onesnaženosti kmetijskih tal na vodovarstvenih območjih v MOL v letih 2008 in 2009.

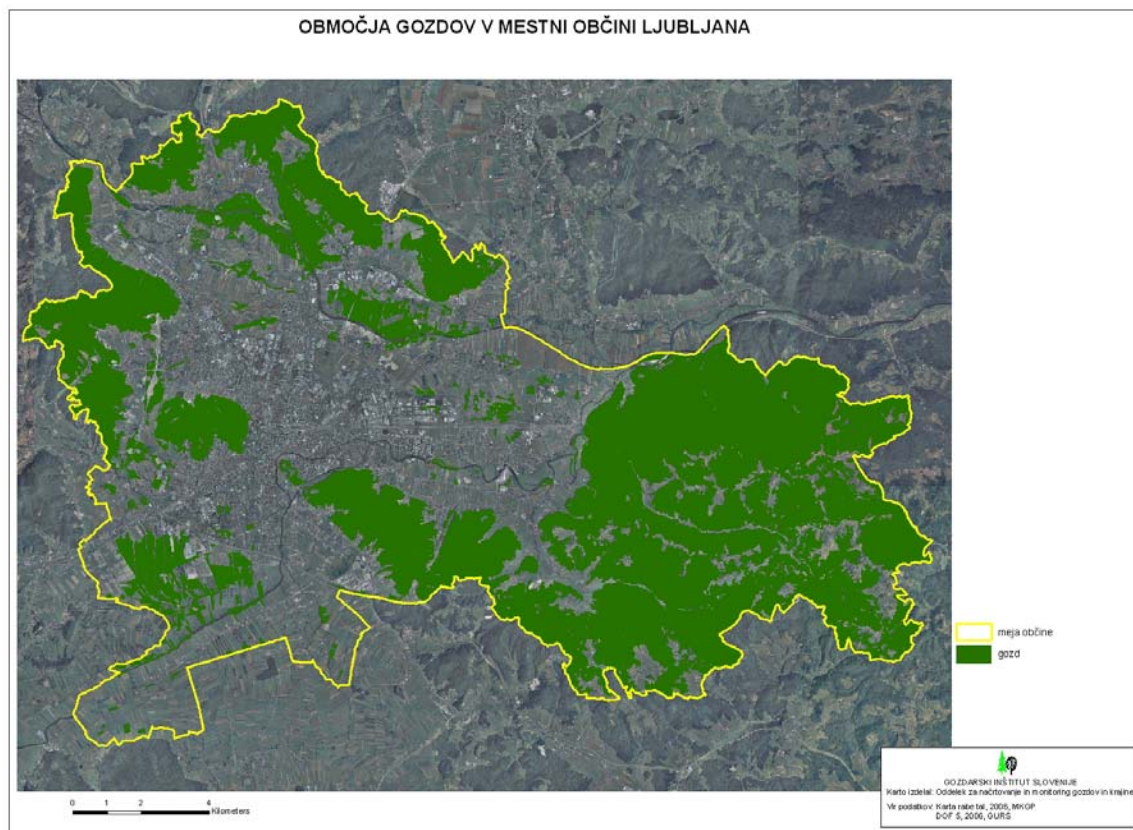
Pri iskanju obstoječe literature o študiju gozdnih tal na območju MOL je bila raziskovalna skupina GIS presenečena. Kot je zapisano obstajajo monitoring onesnaženosti tal kmetijskih zemljišč na vodovarstvenih območjih v MOL (<http://www.ljubljana.si/si/mol/mestna-uprava/oddelki/varstvo-okolja/projekti/9240/detail.html>), kar daje dober vpogled na stanje onesnaženosti kmetijskih tal v l. 2008 in 2009. Zanimivi so tudi rezultati mednarodnega projekta URBSOIL (http://www.urbsoil.bf.uni-lj.si/nivo/2_urbsoil_v_lj/lj_cilji.htm), katerega namen je bilo ugotoviti kakovost tal v MO Ljubljana, določiti talnih lastnosti in onesnaženost tal z nekaterimi kovinami in organskimi onesnažili. Dobljene rezultate se po

večini nanašajo na urbana tla, zelenice, parke, otroška igrišča, zelene površine ob cestah in brežine rek. Rezultati so prikazani na internetnih straneh (http://www.urbsoil.bf.uni-lj.si/nivo/2_urbsoil_v_lj/rezultati/rezult_vse.htm) in so dostopni vsem potencialnim uporabnikom.

V projektni nalogi »Izdelava ocene stanja gozdnih tal v Mestni občini Ljubljana« so glede na pomanjkanje podatkov o gozdnih tleh na območju MOL predstavljena predvsem izhodišča in predlogi kako naprej, kako pridobiti čim več informacij o gozdnih tleh, ki prekrivajo kar 42% površine občine. Posamezne analize so narejene na osnovi obstoječih podatkov, ki jih je premalo za pridobivanje podrobnih informacij o stanju gozdnih tal. Pritiski na rabo prostora in s tem ohranjenost gozdov in gozdnih tal so izjemni (industrija, transport, gradnja objektov, emisije/imisije onesnažil, različne intenzivne rabe, divja odlagališča ter rekreativna raba gozda so dejavniki, ki ogrožajo že tako krhka ravnovesja v gozdnih ekosistemih, katerih nosilec so gozdna tla. Če k temu dodamo še pomembno vlogo gozda in gozdnih tal na kakovost in količino vode (puferna sposobnost tal za nevtralizacijo vnosa onesnažil...), je potreba po spremljanju stanja gozdnih tal in gozda ter preprečevanje njihove degradacije nujna pri načrtovanju bodočih ukrepov in aktivnosti okoljske politike v MOL.

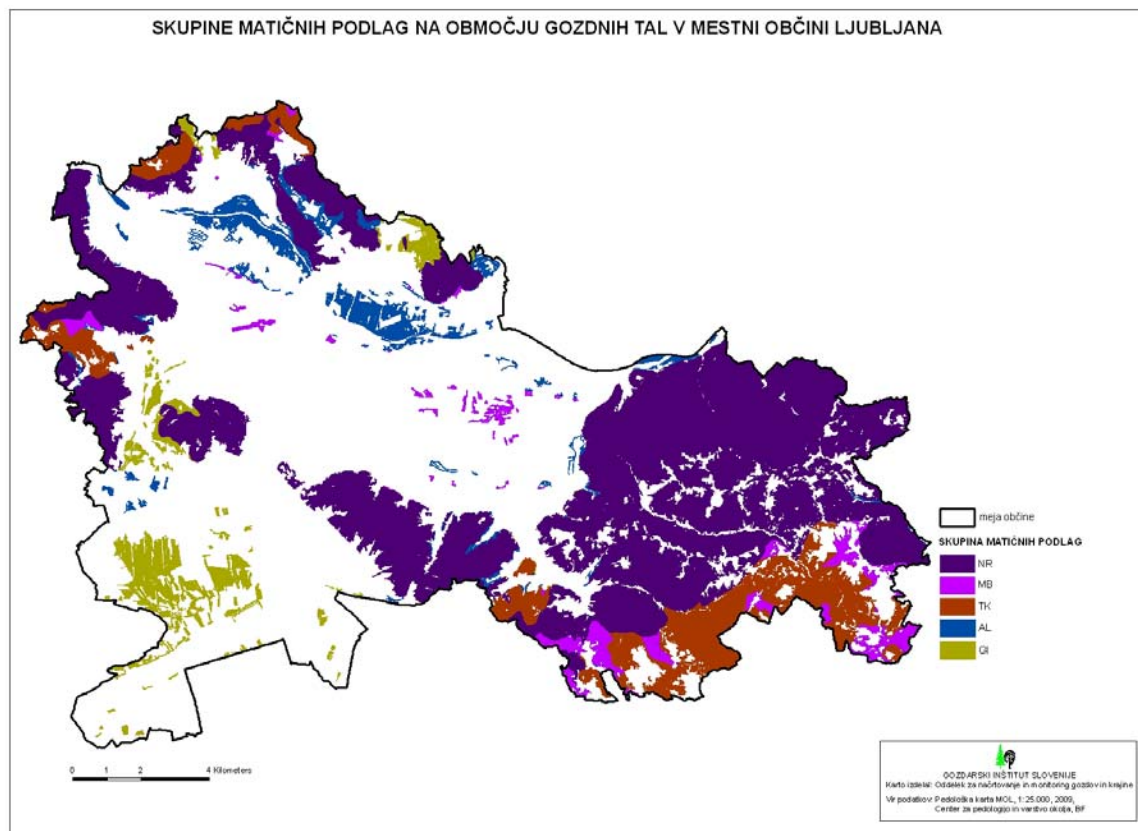
2 GOZDNA TLA IN GOZD V MESTNI OBČINI LJUBLJANA

2.1 Raziskave gozdnih tal v MOL



Slika 2.1.1: Območja gozdov v MOL (GIS 2009)

2.2 Kamnine, gozdna tla in rastišča v Mestni občini Ljubljana



Slika 2.2.1: Skupine matičnih podlag v gozdovih MOL (GIS 2009)

V Mestni občini Ljubljana (MOL) je močno gozdnat predvsem gričevnat in hribovit svet, ki ga grade raznovrstne kamnine. Prevladujejo nekarbonatne kamnine, med katerimi so najbolj razširjeni permokarbonski skladi, ki jih sestavljajo kremenovi konglomerati, peščenjaki, meljevci in skrilavi glinavci iz najstarejših dob – karbona in spodnjega perma. Te vezane klastične kamnine so praviloma z bazami revne, slabo vodoprepustne, občutljive na vodno erozijo. Zanje je značilen relief z zaobljenimi grebeni, številnimi vodnimi jarki, gladkimi strmimi pobočji, pojavljajo se zemeljski plazovi. Na njih so se razvila z bazami revna, distrična tla z značilnim naslednjim zaporedjem tal (pedosekvenca): distrični regosol – distrični ranker – distrični kambisol. Na teh matičnih podlagah se v nižinah in gričevju pojavljajo rastišča nižinskega kisloljubnega gozda belega gabra in borovnice (*Vaccinio myrtilli-Carpinetum betuli* (M.WRAB. 69) MAR. 94), v hribovju prevladujejo rastišča kisloljubnega bukovega gozda z rebrenjačo (*Blechno-Fagetum* HT.ex MAR. 70). Na vlažnih mestih se pojavljajo rastišča kisloljubnega jelovega gozda s trokrpim mahom (*Bazzanio trilobatae-Abietetum* M.WRAB. (53)58). Marsikje je naravna sestava gozdov močno spremenjena. Zelo razširjeni so drugotni gozdovi rdečega bora in borovnice, gradna in borovnice ter smrekove monokulture.

V gričevnatem in hribovitem pasu od karbonatnih matičnih podlag prevladujejo apnenci in dolomiti. Za apnence je značilno kemično preperevanje, slaba vododržnost, zakraselost in velika skalovitost površja, za dolomite pa mehansko preperevanje, pržinasta preperina in gladko površje. Za te t.i. trde karbonatne kamnine je značilno naslednje zaporedje tal (pedosekvenca): kamnišče (litosol) – rendzina – pokarbonatna rjava tla (pokarbonatni kambisol) – pokarbonatna izprana tla (luvisol). Na njih od klimazonalnih gozdnih združb v

gričevnatem pasu najdemo bazifilni gozd belega gabra (*Helleboro nigri-Carpinetum betuli* MAR. (79) 94), v hribskem pasu podgorski bukov gozd s tevjem (*Hacquetio-Fagetum* KOŠ.62), nad njim pa gorski bukov gozd z veliko mrtvo koprivo (*Lamio orvalae-Fagetum* (HT.38)BORH.63). Od azonalnih gozdnih združb so najbolj razširjeni toploljubni gozdovi bukve in gabrovca (*Ostryo-Fagetum* M.WRAB.ex TRIN. 72), črnega gabra in puhastega hrasta (*Quercu-Ostryetum carpinifoliae* HOR. 38) in rdečega bora s trirobo košeničico (*Genisto januensis-Pinetum sylvestris* TOM.40) ter na dolomitnih rendzinah, v hladnih legah bukov gozd s kresničevjem (*Arunco-Fagetum* KOŠ. 62).

Ravninski del MOL je precej manj gozdnat, tu prevladujejo kmetijske in urbane površine. Na Ljubljanskem polju se je največ gozdnih površin ohranilo ob Savi, na mlajših aluvialnih nanosih (pretežno iz proda, peska, melja), na katerih so se razvila obrečna tla (fluvisoli). Občasno poplavljenе bregove z nerazvitimi obrečnimi tlemi poraščajo vrbovja (*Salicetum albae* ISSL. 26). Na bolj razvitih obrečnih tleh, ki so večinoma še pod vplivom podtalnice, prevladujejo rastišča dobovij (*Crataego monogynae-Quercetum roboris* MAR. et al. 2006). Kjer zaradi proda tla nimajo stika s podtalnico in vladajo sušne razmere, se pojavlja gozd rdečega bora in glote (*Brachipodio-Pinetum sylvestris* ZUP. & ŽAG. 97 corr. 98).

Večji gozdni kompleksi črnih jelševij (*Alnetum glutinosae* s. lat.), dobovij, idr. so še na Barju. Poraščajo predvsem različne tipe oglejenih tal (hipoglej, amfiglej, euglej), mestoma pa v preteklosti precej bolj razširjena šotna tla (histosol). Ta hidromorfna tla so se razvila na jezersko-barjanskih sedimentih (glini, ilovici, polžarici, šoti).

Preglednica 2.2.1: Površinski deleži skupin matičnih podlag v gozdovih Mestne občine Ljubljana

KRATICA	SKUPINA MATIČNIH PODLAG	ha	%
		11.88	0.1
NR	nekarbonatne, z bazami revne kamnine	8,225.80	70.6
MB	mešane; mehke karbonatne kamnine...	550.89	4.7
TK	trde karbonatne kamnine	1,573.40	13.5
AL	aluvialne naplavine	620.51	5.3
GI	barjansko-rečne usedline	668.13	5.7
Skupaj		11,650.60	100.0

Pestre matične podlage v gozdovih MOL smo razvrstili v naslednjih pet skupin:

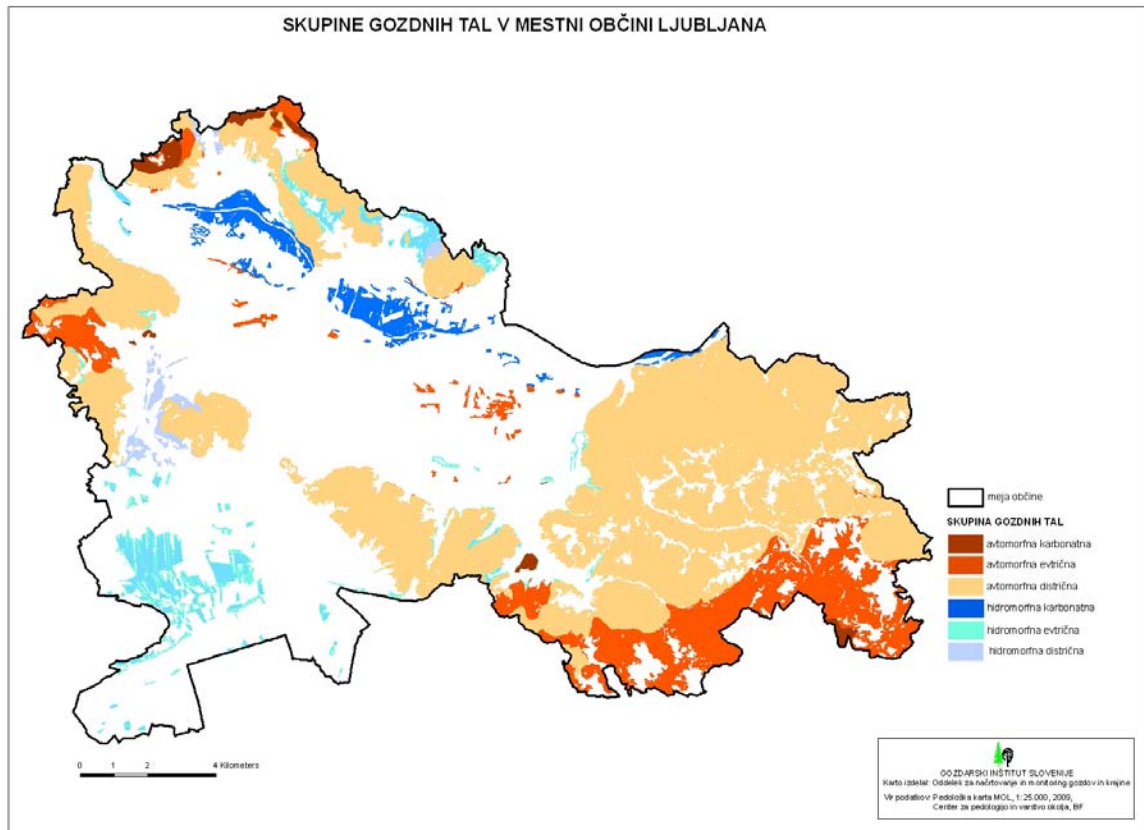
NR – nekarbonatne, z bazami revne kamnine. V to skupimo smo uvrstili kremenove konglomerate, peščenjake, meljevce in skrilave glinavce permokarbonskih skladov in njim podobne kamnine. Značilno zaporedje tal (pedosekvenca) na teh kamninah, ki so v gozdovih MOL daleč najbolj razširjene, je: distrični regosol – distrični ranker – distrični kambisol.

MB - mešane (karbonatno-nekarbonatne, npr. apnenec z rožencem, ledenodobni nanosi rek ipd.), mehke karbonatne (lapor, fliš, laporni glinavec ipd.) ter nekarbonatne, z bazami bogatejše kamnine (groh). Značilno zaporedje tal na teh kamninah je: evtrični in/ali distrični regosol – evtrični in/ali distrični ranker – evtrični in/ali distrični kambisol, evtrični in/ali distrični luvisol.

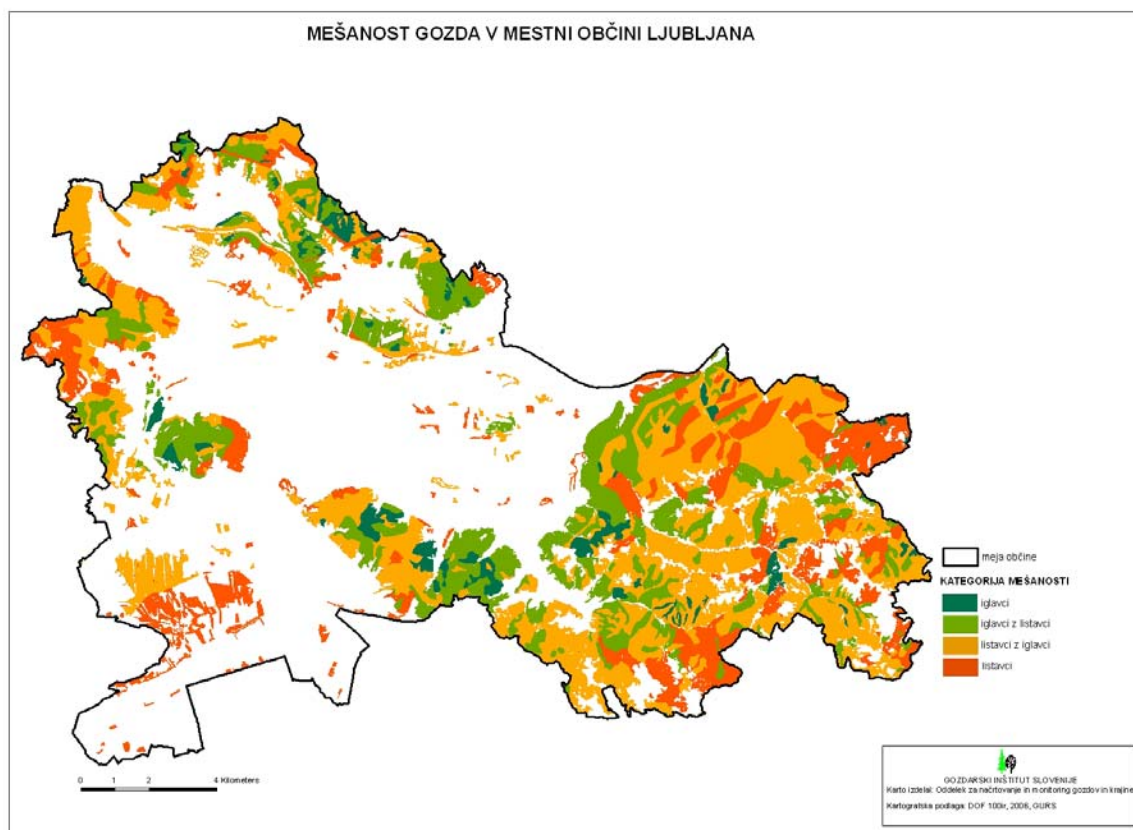
TK – trde karbonatne kamnine (apnenci in dolomiti). Značilno zaporedje tal na teh kamninah je: litosol - rendzina - pokarbonatni kambisol – pokarbonatni luvisol.

AL – aluvialne naplavine rek in potokov (prod, pesek, melj). Značilno zaporedje tal: nerazvita obrečna tla - razvita obrečna tla

GI – jezersko-barjanske usedline (glina, ilovica, polžarica, šota). Značilno zaporedje tal: hipoglej, amfiglej, euglej, histosol.



Slika 2.2.3: Skupine gozdnih tal v MOL (GIS 2009)



Slika 2.2.4: Mešanost gozda v MOL (GIS 2009)

Preglednica 2.2.2: Površine gozdov v MOL glede na kategorije mešanosti

kategorija mešanosti	ha	%
iglavci; $P_{igl} > 75\%$	610,02	5,2
iglavci z listavci; $50 < P_{igl} < 75\%$	2.985,45	25,6
listavci z iglavci; $25 < P_{igl} < 50\%$	5.483,02	47,1
listavci; $P_{igl} < 25\%$	2.572,12	22,1
skupaj	11.650,60	100,0

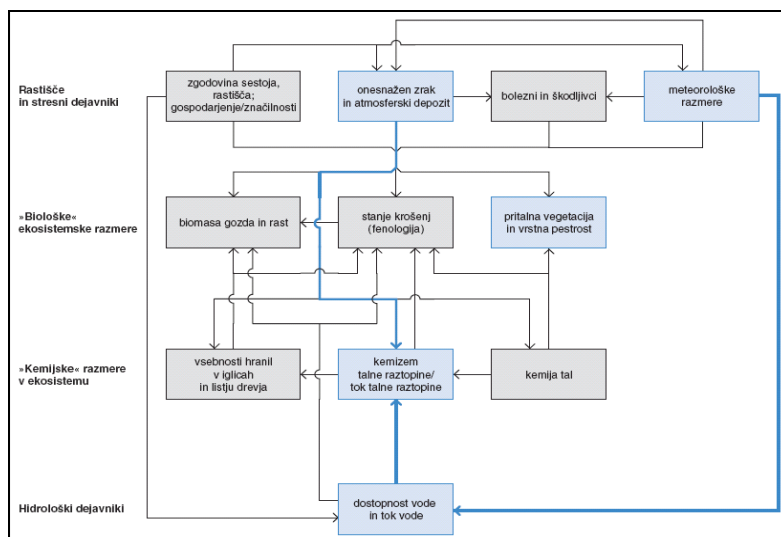
Gozd kot kategorija rabe tal v MOL zavzema 11.650 ha, kar predstavlja 42 % celotne površine. Površinsko predstavljajo največji delež (več kot polovico vseh gozdov MOL) gozdovi na vzhodnem, hribovitem delu MOL (Zasavsko hribovje) in na reliefno razgibanih področjih na severu (Šmarna gora z Grmado, Pogorje Rašice) in zahodu (Polhograjski dolomiti). Pomembni so tudi gozdovi Golovca, Rožnika in Grajskega hriba ter nižinski gozdovi ob rekah Savi in Ljubljanici. V ravninskem delu (Ljubljansko polje) je gozdov zaradi pritiska urbanizacije in kmetijstva malo.

Glede na mešanost gozda največji delež površine zavzemajo gozdovi listavcev s primešanimi iglavci (47 %), nato gozdovi iglavcev s primešanimi listavci (26 %) in gozdovi listavcev (22 %), najmanj pa je gozdov iglavcev (5 %). Sestojna zgradba je večinoma malopovršinsko raznodobna.

3 OPIS OSNOVNIH ZNAČILNOSTI PROCESOV V GOZDNIH TLEH NA PRIMERU GOZDNIH TAL V MESTNI OBČINI LJUBLJANA

3.1 Kroženja snovi v gozdnih tleh in gozdnih ekosistemih

Kroženje snovi lahko delimo na organsko in anorgansko fazo. Organska faza je vezana na biotske procese, anorganska pa na fizikalne ter kemijske procese v naravi. V organskih horizontih tal so biokemični in kemični procesi najbolj intenzivni in imajo odločilen vpliv na stopnjo in smer ostalih talnih procesov. Razkroj opada (listni opad, mrtev les padlih debel, odlomljene veje) poteka kot posledica delovanja edafona (živali in mikrobi tal). Pri tem se del opada mineralizira v CO_2 , NH_4^+ , NO_2^- in PO_4^{3-} , preostali del pa se predeluje v procesu humifikacije v huminske snovi, fulvo in huminske kisline. Hitrost razkroja je odvisna od razmerja med C in N (C/N razmerje), podnebnih razmer, mehaničnega drobljenja itn. (TARMAN, 1992). V primeru postopnega zakisovanja gozdnih tal, kar je npr. lahko posledica vnosa kislil padavin v gozd (okolica TE Šoštanj), prihaja do sprememb sestave pedofavne in pedoflore v organskem delu gozdnih tal. Kot posledico simuliranih kislil padavin na organska tla so raziskovalci ugotovili povečano vsebnost H^+ ionov in zmanjšano vsebnost baz. Proces nitrifikacije zastane, poveča pa se amonifikacija. Vnosi H^+ ionov (kazalec kislil depozitov), večji od $10 \text{ kmol ha}^{-1} \text{ leto}^{-1}$, povzročijo zmanjšanje populacij talnih organizmov in vplivajo na zmanjšano biološko aktivnost. Manjši vnosi H^+ ionov pa vplivajo na vrstno sestavo talne mikrofavne. Kisle padavine povzročajo tudi kopičenje težkih kovin in organskih mikropolutantov v humusnem horizontu gozdnih tal, kar zadržuje razgradnjo visokomolekularnih spojin ter vpliva na procese v rizosferi (SIMONČIČ IN SOD., 1998).



Slika 3.1.1: Shematski prikaz stresnih dejavnikov in njihovega vpliva na stanje gozdnega ekosistema (Simončič s sod. 2000)

Spremljanje kroženja snovi v gozdu je metodološko izredno zahtevno, zato se pri tovrstnih raziskavah uporabi modelni pristop in proučuje naslednje procese (SIMONČIČ IN SOD., 1998):

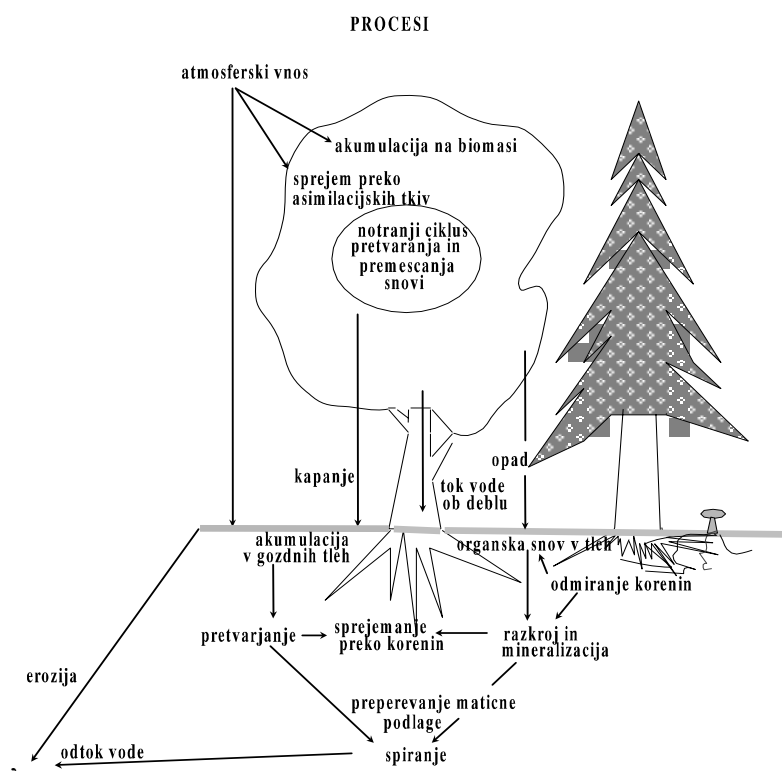
- vnos snovi iz atmosfere, preperevanje mineralov v tleh in preperevanje matične kamnine,

- izgube snovi s spiranjem, denitrifikacijo in odtekanjem vode,
- prehod talne raztopine v biomaso (rastline, mikroorganizme),
- sproščanje snovi (ionov) pri procesu mineralizacije.

Voda je v gozdu dinamičen nosilec pri vnosu, izgubah in notranjemu kroženju snovi. Glede na prestrezno sposobnost drevja prestrezajo krošnje drevja mokri in suhi depozit. Suhe usedline (plini, aerosoli, drobcji snovi) se odlagajo na površini listja, iglic ter vej krošenj in so proporcionalne indeksu listne površine. Na površini listja oz. iglic ter vej se odvijajo procesi:

- izmenjava kationov v listnih tkivih (Ca, Mg),
- spiranje ionov v vsej rastni sezoni zaradi procesov metabolizma (K, Mn),
- raztapljanje neraztopljenih snovi v delcih usedlin (Al, težke kovine).

Spiranje ionov s površine listja in eksudacija se odražata v toku hranil iz notranjosti na površino lista. Vsi trije procesi na površini listja (prestrezanje usedlin, spiranje in eksudacija) povzročijo, da ima nova raztopina, ki odteka po deblu ali pa kaplja na tla, drugačne kemične lastnosti kot padavine nad krošnjami. Hranila se pred odpadanjem iglic premeščajo iz njih, s čimer se zmanjša za razkroj razpoložljiva količina snovi in povečajo zaloge rastlinskih hranil za naslednje rastno obdobje.



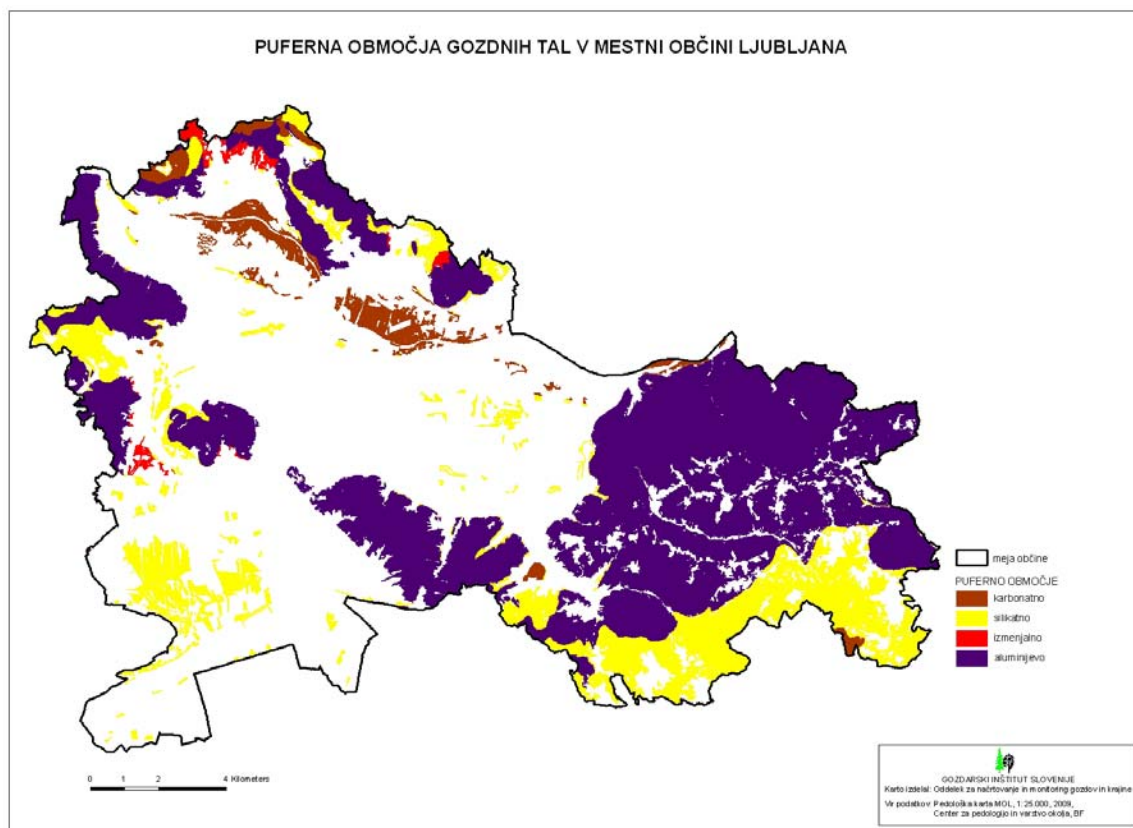
Slika 3.1.2: Kroženje snovi v ekosistemu (SIMONČIČ IN SOD., 2000)

3.2 Opredelitev puferske sposobnosti gozdnih tal glede vnosa onesnažil (dušik, žveplo, kovine)

Izmenjalne (puferne) sposobnosti gozdnih tal v Mestni občini Ljubljana

Ulrich (1983) je glede na pH vrednost opisal pet pufernih območij gozdnih tal: karbonatno, silikatno, izmenjalno, aluminijevo in železovo:

- v karbonatnem izravnalnem območju (pH 8,0 – 6,2) se kisline nevtralizirajo s CaCO_3 , nastali $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ se z odcedno vodo izpira s tal. Sem so uvrščene pedokartografske enote (PKE) s prhninasto in sprsteninasto rendzino, s karbonatnimi obrečnimi tlemi;
- v silikatnem izravnalnem območju (pH 6,2 – 5,0) se kisline nevtralizirajo s sprostitvijo alkalnih in zemeljskoalkalnih ionov (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) iz primarnih silikatov. Sem so uvrščene PKE z rjavimi pokarbonatnimi tlemi, z evtričnimi rjavimi tlemi, z evtričnimi obrečnimi tlemi, z evtričnimi oglejenimi tlemi, ipd.;
- v izmenjalnem izravnalnem območju (pH 5,0 – 4,2) se kisline nevtralizirajo s sproščenimi aluminijevimi ioni iz mineralov glin in drugih primarnih silikatov. Sem so uvrščene PKE z distričnimi rjavimi tlemi na z bazami bogatejših kamninah, z distričnimi oglejenimi tlemi, z distričnim psevdoglejem;
- v aluminijevem izravnalnem območju (pH 4,2 – 3,8) se kisline nevtralizirajo s sprostitvijo Al^{3+} ionov iz mineralov glin in iz aluminijevih hidroksi kationov. V tem območju se proces nitrifikacije zmanjša ali prekine, acidofilnim rastlinam se poškodujejo korenine. Toksično delovanje aluminija ni toliko odvisno od njegove koncentracije kot od pH vrednosti talne raztopine, oblike aluminija (Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, itn.) in razmerja Ca / Al. Povečana koncentracija aluminija v talni raztopini vpliva na slabši sprejem kalcija preko koreninskih laskov in mikorize (SHORTLE / SMITH 1988). Sem so uvrščene PKE z distričnimi rjavimi tlemi in distričnimi rankerji na permokarbonskih skladih;
- v železovo izravnalno območje nismo uvrstili nobeno PKE v MOL.



Slika 3.2.1: Puferna območja gozdnih tal v MOL (GIS 2009)

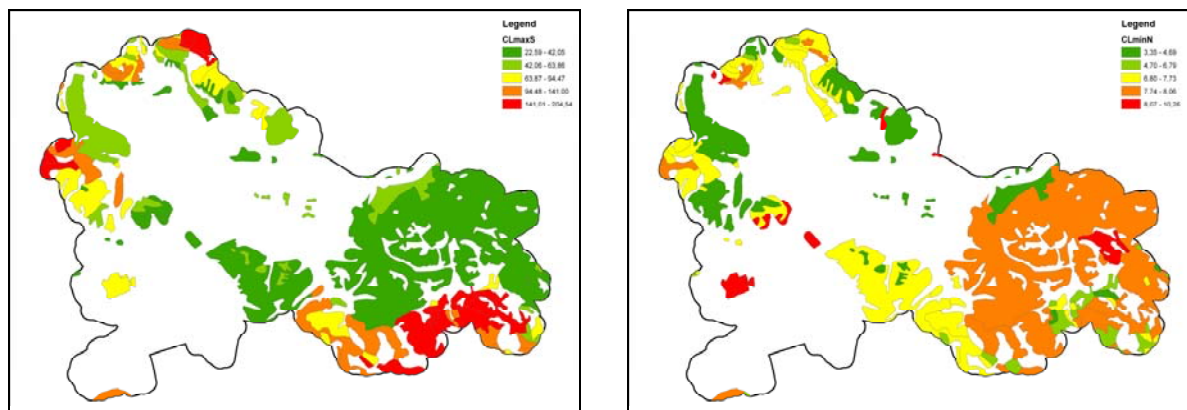
3.3 Kritični vnosi in prekomerne obremenitve ekosistemov z dušikom in žveplom

Koncept kritičnih obremenitev je koncept, ki temelji na ugotavljanju učinkov onesnažil na ekosisteme predvsem kot posledica zakisjanja in eutrofikacije. Kritične obremenitve so odvisne od ciljnih (lastnosti) receptorjev, npr. gozdnih ekosistemov, površinskih vod itd. Kritične obremenitve in ravni določajo mejne vrednosti za učinke onesnažil. Če so receptorji izpostavljeni pod mejo kritične obremenitve onesnažil, naj za njih takšno izpostavljanje ne bi imelo škodljivih posledic. Ciljne obremenitve predstavljajo vmesne ciljne redukcije emisij izražene v procentih kritične obremenitve. Kritične obremenitve predstavljajo znosne, dolgoročen depozicije onesnažil, ki imajo škodljiv vpliv na zdravje ljudi, kemizem ekosistemov in strukturo. Spremembe, ki nastajajo zaradi vnosa kislega depozita, so vzrok poškodbam strukture in funkcij ekosistemov in so identificirane s pomočjo kemične sestave talne vode.

Kritični vnosi so računsko dobljene ali empirično določene kvantitativne ocene za največjo možno obremenitev v našem primeru gozdnih ekosistemov z dušikom (problem evtrifikacije) in žveplom (problem zakisovanja tal), ki po trenutnem vedenju še ne povzročata trajnih škodljivih učinkov onesnažila na strukturo in delovanje gozda, in kot pomembnem kompartmentu, gozdnih tal. Prekomerne obremenitve so prekoračitve kritičnih vnosov za posamezno onesnažilo (depozicija večja od kritičnega vnosa). Trenutno je bila v Sloveniji (GIS 2007) narejena opisana ocena le za gozdne ekosisteme Slovenije.

Kritične ravni onesnažil so ostre mejne zračnih onesnažil, ki so ocenjene z meritvami in opazovanjem njihovega neposrednega učinka za različne receptorje. Za določitev receptorjev,

t.j. najmanjše prostorsko homogene enote, ki se na vnos onesnažila homogeno odziva, smo preoblikovali vegetacijsko karto gozdnih združb Slovenije (1974) v 34 EUNIS (European Nature Information System) kategorij gozdnih habitatnih tipov. Modeli za izračun kritičnih vnosov onesnažil (konkretno dušikovih in žveplovih spojin) v (gozdne) ekosisteme, temeljijo na kemičnih kriterijih. Bistvo modeliranja kritičnih vnosov onesnažil je postaviti neki kriterij, preko katerega z onesnaženjem ne smemo. Kriterij je lahko biološki, ki ga lahko dobimo le na podlagi poskusov, ali pa kemijski, kjer upoštevamo geokemijske procese v tleh.



Slika 3.3.1: Kritični vnosi dušika in žvepla v gozdne ekosisteme Slovenije v ekvivalentih na hektar na leto (legenda: $CL_{max}(S)$, {eq/ha/leto}- največji kritični vnos S, $CL_{min}(N)$, {eq/ha/leto}-najmanjši kritični vnos N)

Na sliki 3.3.1 je prikazan primer kritičnega vnosa dušika (N) in žvepla (S) za slovenske gozdne ekosisteme, manjše vrednosti pomenijo bolj občutljive ekosisteme. Na sliki so takšna območja obarvana z zeleno barvo, prevladujejo predvsem na S oz. SZ (območje) območju MOL.

3.4 Gozdna tla in sekvestracija ogljika

Gozdovi imajo velik vpliv na kroženje ogljika, lesna biomasa pa na ponor in emisije CO₂, enega najpomembnejših toplogrednih plinov (70 %). V gozdovih se v vegetaciji in tleh kopičijo velike količine ogljika (Simončič 1999).

Dinamika ogljika v gozdnih ekosistemih je odvisna od interakcij številnih biogeokemičnih ciklusov, še posebno od kroženja ogljika in vode. V gozdu je ogljik uskladiščen v živi biomasi, razkrajajoči se organski snovi in v tleh. Ogljik se v obliki CO₂ izmenjuje, oziroma prehaja po naravni poti med gozdnimi ekosistemi in atmosfero s procesi fotosinteze, dihanja, razkroja in gorenja (Simončič 2006).

Ogljik organskega izvora predstavlja več kot polovico organske snovi tal zato pogosto uporabljamo količino C v tleh kot kazalec organske snovi v tleh. Organska snov v tleh je pomemben iz dveh različnih razlogov. Prvi razlog je njena vloga v ohranjanju rodovitnosti tal, drugi razlog pa je njena funkcija kot ponor oz vir ogljika. Količina organske snovi v tleh je 1,724 krat večja od količine C v tleh. Če se gozd poseka oz. če zaradi ekstremnih vremenskih pojavov prihaja do škod, vetrolomov, žledolomov etc., postaneta gozd in gozdna tla (opad in mineralni del) razmeroma velik emitent TGP oz. CO₂.

Definicija zbiralnikov (pool) ogljika v gozdnem ekosistemu po Smernice dobre prakse za sektor LULUCF (IPCC GPG 2003).

Preglednica 3.4.1: Zbiralniki ogljika (»pool«) v gozdnem ekosistemu po IPCC GPG – LULUCF 2003 (2006), ki se uporabljajo za poročanje za Kjotski protokol in UNFCCC (NIR 2009)

Zbiralnik		Opis
ŽIVA BIOMASA	NADZEMNA BIOMASA	Vsa živa biomasa nad tlemi, kamor uvrščamo panje, debla, veje, skorjo, seme in liste.
	PODZEMNA BIOMASA	Vsa biomasa živih korenin. Živih tankih korenine s premerim manjšim od 2 mm ne upoštevamo.
MRTVA ORGANSKA SNOV	MRTEV LES	Vsa stoječa ali ležeča odmrta lesna biomasa, ki ni uvrščena med opad. V kategorijo mrtev les spadajo tudi odmrle korenine in panji.
	OPAD* (del tal)	Različno razgrajena odmrta biomasa nad mineralnim ali organskim delom tal.
TLA	ORGANSKA SNOV V TLEH	Vsebuje organski ogljik v organskih in mineralnih tleh. Sem spadajo tudi žive tanke korenine z manjšim premerom od 2 mm.

Za izračun zaloge ogljika v tleh potrebujemo debelino talnih horizontov, delež ogljika (C) v horizontu in gostoto tal. Podatek o debelini horizonta in delež ogljika je neposredno določen, podatek o gostoti tal pa smo določili z uporabo pretvorbenih funkcij tal (pedotransfernih funkcij). Podatek o zalogi ogljika smo izračunali za vsak talni horizont v profilu posebej in jih nato za posamezen talni profil sešteli. Talne profile smo razvrstili v talne tipe in potem za vsak talni tip izračunali povprečno zalogo ogljika. Karto količine ogljika v tleh smo izdelali tako, da smo prikazali povprečne količine ogljika v posameznem talnem tipu.

Zalogo ogljika v tleh v MOL glede na rabo tal je bila izračunana na osnovi Pedološke baze CPVO in podatkov GIS iz baze BioSoil in Forest Focus, Level II ter karte rabe tal MKGP (2005), ki je bila uporabljena tudi za oceno vsebnosti C v opadu in mineralnem delu tal za Slovenijo (2007, 2009).

Preglednica 3.4.1: Ocena skupnih vsebnosti ogljika (C) v t glede na rabo tal v MOL (GIS 2009)

Talni tip	Distrična	Evtrična	Izprana	Mine_Org &Glej	Obr	Pseudog.	Rend.	RPT	Skupna vsota	delež raba tal/skupaj
Raba tal	t C	t C	t C	t C	t C	t C	t C	t C	t C	%
BARJE				539					539	0.01
DRUGE KMET. Z.	13,440	11,219	1	92,786	20,332	1,335	177	4,922	144,211	3.93
GOZD	1,363,214	123,458	2,402	154,272	28,225	4,081	75,771	374,724	2,126,147	57.94
NJIVE & VRTOVI	17,364	126,200		251,777	71,411	7,478	76	5,785	480,091	13.08
OSTALA NEKM. Z.	642	549	2	12,234	9,437		9	43	22,916	0.62
TRAJNI NASADI	12,046	4,523		2,168	1,525	481	45	4,332	25,120	0.68
TRAVNIKI	170,435	120,792	114	347,960	116,489	13,747	3,129	95,554	868,220	23.66
ZAMOCVIRJENO				2,455	122				2,577	0.07
Skupna vsota	1,577,140	386,741	2,519	864,191	247,541	27,131	79,198	485,361	3,669,821	

Legenda: Raba tal po MKGP 2005

Glede na vrednosti v preglednici 3.4.1 vidimo, da je v gozdnih tleh glede na druge rabe, nakopičeno skoraj 58 % skupnega ogljika v tleh na območju MOL. Če bi ocenili celotno bilanco ogljika, bi k tej vrednosti prišteli še ogljik nakopičen v nadzemnem (deblo, veje...) in podzemnem (koreninski del; cca 15 % nadzemnega) delu drevja, pri čemur bi se količina ogljika več kot podvojila.

4 OPIS VPLIVOV PODNEBNIH SPREMEMB NA LASTNOSTI IN FUNKCIJEGOZDNIH TAL

4.1 Pričakovani vplivi podnebnih sprememb na gozd na območju Mestne občine Ljubljana

Uvod

V zadnjem obdobju so tudi na območju Slovenije že zaznali in potrdili vpliv podnebnih sprememb, ki se kaže v drugačnem temperaturnem in padavinskem režimu (BERGANT 2007). Rezultati raziskav podnebnih sprememb nakazujejo, da se bo v prihodnosti še povečalo tveganje zaradi vremenskih ekstremov (IPCC 2001, 2007). Pričakovanja so, da bo toplejša klima povzročala vse pogostejše in dolgotrajnejše suše, poleg tega bo prihajalo, do daljših obdobjih požarne nevarnosti, kar še posebej velja za Sredozemsko območje (IPCC 2007).

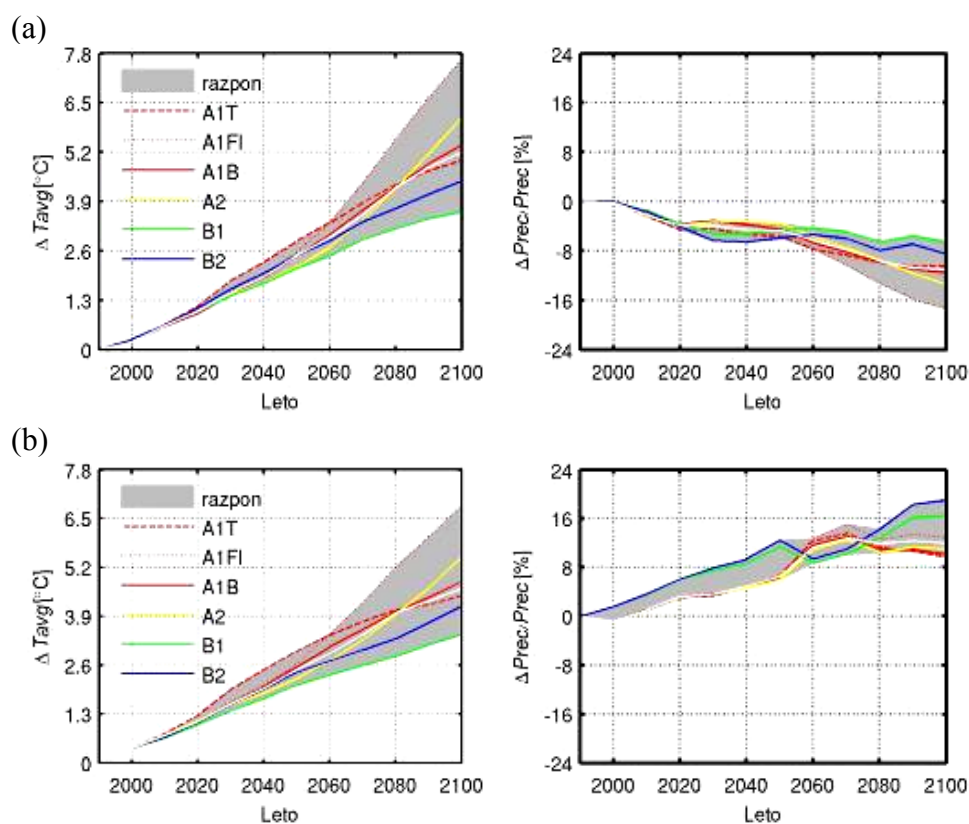
Podnebni scenariji napovedujejo značilno segrevanja podnebja, do katerega bo prihajalo na severu Evrope predvsem v zimskem času, na jugu in osrednjem delu Evrope pa v poletnem času. Na južnem delu napovedujejo zmanjšanje količine padavin (IPCC 2007).

Pod vplivom podnebnih in drugih globalnih sprememb bodo po napovedih številnih študij močno prizadeti različni gozdni ekosistemi po Evropi (SHAVER *et al.* 2000, ASKEEV *et al.* 2005, KELLOMÄKI / LEINONEN 2005, MARACCHI *et al.* 2005, IPCC 2007).

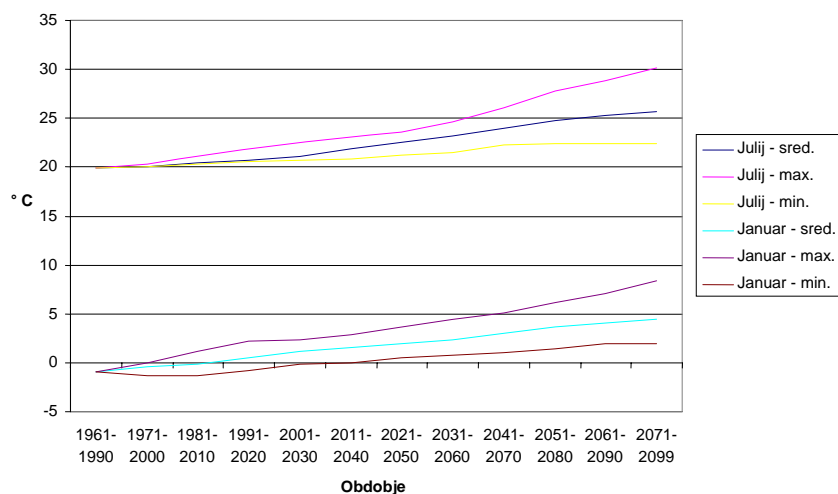
V zadnjem času se vse bolj zavedamo nevarnosti vpliva podnebnih sprememb na slovenske gozdove (SIMONČIČ *et al.* 2001, KAJFEŽ-BOGATAJ 2001, ARSO 2003, CIMPERŠEK 2004, JURC M. 2007). Za območje Slovenije so bile na osnovi različnih izhodišč že simulirane spremembe gozdne vegetacije in drevesnih vrst zaradi pričakovanih sprememb podnebja (KUTNAR / KOBLEK 2007, 2009, OGRIS / JURC M. 2007, OGRIS *et al.* 2008).

Scenariji podnebnih sprememb za Slovenijo in območje Ljubljane

Za oceno temperaturnih in padavinskih razmer v Sloveniji do konca 21. stoletja so bili uporabljeni različni modeli splošne cirkulacije (CSIRO/Mk2, UKMO/HadCM3, DOE-NCAR/PCM in MPI-DMI/ECHAM4-OPYC3), ki so bili projicirani na pet podnebno različnih regij v Sloveniji (BERGANT 2007). Pri tem je bilo upoštevanih šest različnih scenarijev emisij (SRES A1FI, A1T, A1B, A2, B1 in B2) (glej BERGANT 2003). Po teh scenarijih se bodo v prihodnosti najbolj ogrela poletja ($3,5^{\circ}\text{C}$ do 8°C), sledijo zime ($3,5^{\circ}\text{C}$ do 7°C), pomladi ($2,5^{\circ}\text{C}$ do 6°C) in jeseni ($2,5^{\circ}\text{C}$ do 4°C). V pomladnih in jesenskih mesecih glede na izvedene projekcije se ne pričakuje izrazitih sprememb v količini padavin, v zimskih mesecih je predviden porast količine padavin (do +30 %), v poletnih mesecih pa zmanjšanje količine padavin (do -20 %). Kakršnekoli projekcije podnebnih sprememb za prihodnost, še posebej na lokalnem nivoju, pa spremljajo številne negotovosti, česar se moramo zavedati ob njihovi interpretaciji (BERGANT 2007).



Grafikon 4.1.1: Projekcije sprememb temperature zraka (T_{avg} : levo) in količine padavin (P_{prec} : desno) za območje Ljubljane do konca 21. stoletja; (a) projekcije za toplo polovico leta (marec do avgust) so zgoraj, (b) za hladno polovico leta (september do februar) so spodaj (povzeto po BERGANT 2003, 2007)



Grafikon 4.1.2 Pričakovano spreminjanja povprečnih januarskih in julijskih temperatur v Ljubljani v obdobju med 1990 in 2099 (povzeto po BERGANT 2003, 2007)

Obstoječi scenariji podnebnih sprememb za Ljubljano (BERGANT 2003, 2007) nakazujejo, da bi se lahko do konca tega stoletja temperatura zraka v toplejši polovici leta po optimistični varianti dvignila za okoli 3,5°C, po pesimistični varianti pa za več kot 7,5°C. Hladnejša polovica leta v Ljubljani pa bi bila ob koncu stoletja toplejša za dobre 3 do 7°C (grafikon 1). Povprečne temperature v mesecu juliju naj bi narasle za 3 do 10°C (grafikon 2).

V toplejši polovici leta bi se lahko količina padavin zmanjšala za okoli 5 do blizu 20 %, medtem ko lahko pričakujemo, da se bo v hladnejši polovici leta količina padavin celo povečala za okoli 10 do skoraj 20 % (grafikon 1).

Napoved vpliva podnebnih sprememb na gozd na območju Ljubljane

Za Slovenijo je bila izdelana študija sprememb tipov gozdne vegetacije zaradi pričakovanih sprememb podnebja (KUTNAR / KOBLER 2009). Simulacija prostorske prerazporeditve je bila izdelana za 13 različnih gozdnih (vegetacijskih) tipov (1. Acidofilna bukovja; 2. Acidofilna rdečeborovja; 3. Predgorska bukovja; 4. Gorska bukovja; 5. (Visoko)gorska bukovja v (pred)alpskem območju; 6. (Visoko)gorska bukovja v (pred)dinarskem območju; 7. Termofilna bukovja; 8. Kolinska hrastova-belogabrovja; 9. Nižinska vrbovja, jelševja in dobovja; 10. Termofilna črnogabrovja, hrastovja, rdečeborovja in črnoborovja; 11. Jelovja; 12. Smrekovja; 13. Ruševja), ki so bila definirana na osnovi predhodnih študij gozdne vegetacije (KOŠIR *et al.* 1974, 2003, ZORN 1975)

Simulacijo smo opravili s pomočjo empiričnega modela (KUTNAR / KOBLER 2009), ki statistično povezuje sedanjo potencialno gozdno vegetacijo (agregirano v 13 skupin) s podatki o podnebjju v preteklosti, gozdnih tleh (FAO klasifikacija; CPVO 1999), nadmorski višini, naklonu in ekspoziciji reliefa. Podnebje je predstavljeno s podatki o 30-letnih povprečjih (1970-2000) letnih in mesečnih temperatur, padavin in evapotranspiracije (ARSO 2005, 2006a, 2006b). Za simulacijo stanja gozdne vegetacije v prihodnosti smo v model vnesli obstoječe napovedi podnebnih sprememb (BERGANT 2003, 2007) ločeno po klimatskih regijah, iz katerih smo oblikovali tri različne scenarije (preglednica 1, grafikon 1): i) scenarij po trendu je povprečni/srednji scenarij (za temperature, evapotranspiracijo in padavine); ii) vroče-suhi scenarij (v nadaljevanju pesimistični scenarij) upošteva maksimalne napovedane temperature in evapotranspiracijo ter minimalne napovedane padavine; iii) vlažno-manj vroči

scenarij (v nadaljevanju optimistični scenarij) pa upošteva maksimalne napovedane padavine ter minimalne napovedane temperature in evapotranspiracijo.

Preglednica 4.1: Podnebni scenariji, uporabljeni pri napovedovanju sprememb tipov gozdne vegetacije v Sloveniji (KUTNAR / KOBLER 2009)

	Uporabljene klimatske napovedi ARSO*		
	Temperature	Padavine	Evapotranspiracija
Vroče-suhi scenarij (pesimistični)	Maksimalne napovedane	Minimalne napovedane	Maksimalna napovedana
Scenarij po trendu (srednji)	Srednje napovedane	Srednje napovedane	Srednja napovedana
Vlažno-manj vroči scenarij (optimistični)	Minimalne napovedane	Maksimalne napovedane	Minimalna napovedana

* Glej grafikon 4.1.1

Modelna simulacija sprememb gozdnih tipov za Slovenijo, ki upošteva tri različne scenarije podnebnih sprememb (srednji, pesimistični in optimistični scenarij), je nakazala spremembe razporeditve gozdnih vegetacijskih tipov v prihodnosti. Na večini gozdnih rastišč v Sloveniji bo po predvidevanjih modela prišlo do zamenjave vegetacijskega tipa. Danes prevladujoči, pretežno bukovi gozdovi, bi lahko bili v spremenjenih okoljskih razmerah močno prizadeti. Model napoveduje padec deleža prevladujočih mezofilnih bukovih gozdov iz sedanjih 57 % na samo 3 % po pesimističnem scenariju do 29 % po optimističnem scenariju. V toplejšem podnebnju, ki ga predvidevajo vsi trije scenariji, bi se močno razširili različni termofilni gozdovi. V toplejših razmerah ob večji količini padavin, ki jih predvideva optimistični scenarij, bodo spremembe prostorske razporeditve gozdne vegetacije precej manj drastične kot v bolj toplem in izrazito sušnem podnebnju (pesimistični scenarij).

Gozdove območja Mestne občine Ljubljana (MOL) smo uvrstili predvsem v vegetacijski tip (skupino) acidofilnih bukovij, ki poraščajo rastišča v gričevju in hribovju (KUTNAR / KOBLER 2009). Poleg teh so na večji površini v nižinah in gričevju zastopana tudi acidofilna rdečeborovja. Na karbonatih v gričevju na manjših površinah rastejo predgorska bukovja. V območju neposrednega vpliva večjih vodnih virov in podtalnice rastejo nižinska vrbovja, jelševja in dobovja. Na razmeroma majhnih površinah v tem območju, kjer je več zračne vlage, lahko zasledimo jelovja in na toplejših, bolj sušnih rastiščih tudi termofilna bukovja.

Na osnovi modelne simulacije lahko tudi na območju MOL pričakujemo, da bo zaradi podnebnih sprememb prišlo do sprememb rastiščnih (tudi talnih) razmer in s tem tudi pogojev za uspevanje različnih gozdov. Ob predpostavki, da se ne spremeni ekološka niša sedanjih gozdov in ob uresničitvi podnebnih scenarijev lahko pričakujemo, da bo na obstoječih gozdnih površinah v naslednjih desetletjih prišlo do očitne izmenjave tipov gozdne vegetacije. V toplejšem podnebnju v prihodnosti, ki ga predvidevajo vsi trije uporabljeni klimatski scenariji, bodo na tem območju uspevali drugačni gozdovi. Celo ob uresničitvi optimističnega scenarija bi do konca stoletja lahko danes prevladujoče bukove gozdove zamenjali kolinska hrastova-belogabrovja, ki imajo poudarjen toplejši značaj. Ta vegetacijski tip vključuje različne združbe s prevladujočima gradnom (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) in belim gabrom (*Carpinus betulus* L.), ki sta jim primešana številne druge vrste, kot na primer češnja (*Prunus avium* L.), maklen (*Acer campestre* L.), beli javor (*Acer pseudoplatanus* L.), navadna bukev (*Fagus sylvatica* L.), lipovec (*Tilia cordata* Mill.), veliki jesen (*Fraxinus excelsior* L.), bela jelka (*Abies alba* Miller), navadna smreka (*Picea abies* (L.) Karsten). Na toplejših legah, v bolj odprtih sestojih pa so lahko primešane tudi vrste z bolj termofilnim značajem (npr. črni

gaber (*Ostrya carpinifolia* Scop.), mali jesen (*Fraxinus ornus* L.), cer (*Quercus cerris* L.), puhasti hrast (*Quercus pubescens* Willd.)).

Na manjši površini bi se po tem scenariju lahko pojavljala vegetacijski tip termofilnih črnogabrovij, hrastovij, rdečeborovij in črnoborovij, v katerem omenjene termofilne vrste prevladujejo. Površine ostalih gozdov pa bi se po napovedih modela na tem območju pojavljale na zelo omejenem prostoru, v specifičnih rastiščnih razmerah.

Po pesimističnem scenariju pa bi termofilna črnogabrovja, hrastovja, rdečeborovja in črnoborovja na območju MOL povsem prevladala že v nekaj desetletjih. To skupino gozdov gradijo različni tipi termofilnih gozdov, ki imajo sposobnost uspevanja v toplejših in sušnejših razmerah.

Zaradi razmeroma grobega modela je težko napovedati kakšni termofilni gozdovi bi lahko uspevali na tem območju. Ta vegetacijski tip je namreč precej raznolik, saj vključuje tako različne gozdove in grmišča, v katerih prevladujejo listavci (npr. črni gaber, mali jesen, navadni mokovec, puhasti hrast, cer in graden). V to skupino pa so uvrščeni tudi gozdovi zimzelenega črnega hrasta ali črničevja (*Quercus ilex* L.) in tudi nekateri gozdovi iglavcev (rdeči bor (*Pinus sylvestris* L.) in črni bor (*Pinus nigra* Arnold)).

Vendar pa so napovedi vpliva podnebnih sprememb na gozdno vegetacijo, čeprav podprte z mnogimi raziskavami, še vedno precej nezanesljive, kar je povezano z nerazumevanjem klime kot sistema in nezadostnega poznavanja kompleksnih interakcij med biosfero in oceani. V raziskavi (KUTNAR / KOBLEK 2009) smo uporabili razmeroma enostaven model sprememb, v katerem nismo mogli upoštevati potencialnih sprememb ekološke niše gozdnih združb in drevesnih vrst. Prav tako pa nismo mogli predvideti možnosti in omejitve za disperzijo rastlinskih vrst (npr. s semeni) v nova okolja, na nova rastišča. V modelu nismo vključili niti možnosti za sukcesijski razvoj posameznih tipov vegetacije in potencialne omejitve pri tem. Poleg tega pa nismo predvideli vpliva različnih sekundarnih učinkov (npr. pojavljanje in širjenje novih boleznih in škodljivcev, povečanje pogostosti gozdnih požarov, spremembe rabe prostora), ki bi lahko odločilno sooblikovali vegetacijsko podobo in vplivali na razporeditev gozdov v prihodnosti. Če povzamemo: naše napovedi je treba razumeti le kot oceno potencialne smeri gibanja razvoja gozdne vegetacije pri določenih predpostavkah, ki pa vendarle zožuje polje negotovosti pri odločanju o načinu gospodarjenja z gozdnim prostorom in naravnim okoljem v MOL.

Potencialna razširitev termofilnih gozdov na območju MOL na račun sedanjih gozdov bi imela dramatične posledice, saj bi se spremenila celotna prostorska in gozdnogospodarska politika. Poleg spremenjene strukture gozdov bi bile potencialno močno prizadete tudi mnoge splošne koristne funkcije gozdov, katere so za območje MOL še posebej pomembne. Spremenjena sestava in razporeditev gozdov ob spremenjenih podnebnih razmerah bi značilno vplivali na celoten prostor in življenje v tej regiji v prihodnosti.

4.2 Gozdna tla in ekstremni vremenski dogodki

Poletna neurja so pri nas poglavitna oblika padavin v poletnih mesecih in prinašajo kratkotrajne, a izjemno intenzivne padavine. Praviloma zajamejo majhna območja, vendar zaradi njih zelo hitro narastejo manjši hudourniki in povzročijo razdejanje predvsem z močnim erozijskim delovanjem ter prenašanjem velikih količin proda, peska, mulja in drugega plavja. Hitro nabiranje vode v tleh povzroči tudi proženje zemeljskih plazov. Neurja povzročajo težave tudi v mestih, kjer kanalizacijsko omrežje ne zmore odvajati vse vode, ki se v nekaj minutah steče s streh in asfaltiranih površin. Veliko obsežnejše so poplave zaradi jesenskih deževij, saj lahko večdnevne padavine zajamejo vso Slovenijo in prinesejo toliko vode, da je tudi večje reke ne morejo sproti odvajati. Temu se lahko pridružijo še drugi negativni dejavniki, ki učinek poplav še stopnjujejo: zmanjšano izhlapevanje vode iz tal in rastlin, že predhodno z vodo nasičena tla, zaradi česar se poveča površinski odtok (npr. ob poplavah 1. novembra 1990), zapolnjeni kanali v kraškem podzemlju (ob poplavah leta 1933) ali taljenje snežne odeje (ob poplavah leta 1923). Z jesenskimi deževji so povezane zlasti dolgotrajnejše redne poplave na kraških poljih (Ljubljansko Barje) ter nižinske poplave ob spodnjem toku večjih rek (NATEK 2008).

V vzhodnem delu MOL prevladuje gričevnat in hribovit svet, ki ga ogrožajo krajevne hudourniške poplave. Matična podlaga so nekarbonatne kamnine, zadrževalna sposobnost gozdnih tal za vodo pa je majhna, zato hitro pride do površinskega odtoka vode. V tem območju so najnevarnejši naravni pojavi podori, plazenje tal, hudourniška erozija in rečna bočna erozija.

Povodje Gradašnice z Malim grabnom predstavlja največjo poplavno grožnjo za jugozahodni in južni del Ljubljane, seveda le v primeru izjemno silovitih padavin. Gradnja stanovanjskih objektov na poplavno ogroženih območjih se je v zadnjih letih razmahnila (GLOBEVNIK 2007, ustni vir). Zahteva gradnjo nadomestnih ukrepov, kot so zadrževalniki vode nad naselji, preusmeritveni kanali, jezovi, pragovi, podporni zidovi, sanacija obstoječih prodnih pregrad in drugih lokalnih ureditev na hribovitem povirju Gradašnice. Ker je velik del Mesta Ljubljane na poplavnih območjih, lahko pričakujemo, da bo voda v primeru ekstremnih padavinskih dogodkov na območju Gradašnice in kraškega zaledja Ljubljanice zalila južni del Ljubljane, Barje, Murgle, Trnovo, industrijsko cono Vič, celo Rožno dolino. Ljubljansko Barje je največje poplavno območje v Sloveniji (MIKOŠ 2007), saj poplavno ogroženo območje obsega 80,3 km² (ŠIFRER 1983). V postopku priprave državnega prostorskega načrta za protipoplavno zaščito jugozahodnega dela Ljubljane je od leta 2008 idejni projekt, v katerem so predvidene naslednje protipoplavne ureditve:

1. ureditev (regulacija) Malega Grabna z razbremenilnikom na Barju,
2. izgradnja suhih zadrževalnikov Razori in Brezje z ureditvami Gradašnice in Horjulščice v zadrževalnem prostoru in vse do Bokalškega jezua,
3. kontrolni sistem za stalno spremljanje stanja in sprožanje zapornic na zadrževalnikih glede na pretok Gradašnice pri Bokalcih,
4. sanacija kamnoloma Hrastenice in rekonstrukcijo ceste Dobrova-Polhov Gradec po poplavno ogroženih delih,
5. sanacija obstoječih prodnih pregrad in druga ureditvena dela na povirju rek Gradašnice in Horjulščice.

Vendar pa bo za celoten postopek in umestitev načrtov v prostor preteklo vsaj še nekaj let.

4.3 Vrednotenje gozdnih površin v MOL s poudarkom na ranljivosti tal

Gozdovi so veliki porabniki vode, obenem pa so gozdna tla pomemben vodni filter in rezervoar. V normalnih vremenskih in rastnih razmerah ter dobri stabilnosti sestojev so gozdovi tudi dejavnik, ki v veliki meri ugodno vpliva na gibanje (količino) vodnega odtoka. S svojim nadzemnim in podzemnim delom uravnavajo - upočasnjujejo – odtok in pronicanje površinske vode in hkrati varujejo gozdna tla pred vodno erozijo. Gozdna tla s svojo retenzijsko sposobnostjo po principu gobe zadržujejo padavinsko vodo in jo počasi oddajajo.

S pomočjo modeliranja prepoznamo lokacije območij ranljivosti gozdnih tal in obenem pomagamo pri odločitvah o izvedbi primernih gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih ukrepov.

V naslednjem besedilu bomo predstavili analizo ranljivosti gozdnih tal na ravni gozdarskih potreb in znanj, tako z vidika pretoka in erozije vode, s poudarkom na upoštevanju naravnih danosti in praktični uporabnosti nastalega modela.

4.3.1 Metodologija

Model obravnava območja gozdov (42 %) znotraj MOL v osrednjem delu Slovenije. Visoke vrednosti dnevni količin padavin nas opozarjajo na stalno nevarnost hudourniških voda in zato na izjemno pomembno hidrološko vlogo gozdov v neposredni bližini hudourniških strug in v širšem vodovarstvenem območju. Na gozdnem območju MOL je kartiranih 97 izvirov/studencev in velika večina vzhodnega dela območja MOL je prepletena s hudourniški jarki, zemeljskimi udori in plazovi.

Model ranljivosti gozdnih tal temelji na metodologiji Wullschlegerja (1982), ki uporablja matrični princip vrednotenja. Model vključuje zunanje, torej ekološke dejavnike. Ekološki dejavniki opredeljujejo ranljivost oz. dovzetnost gozdnih tal za erozijo, zemeljske plazove, usade in ekstremne vremenske dogodke. Pri vrednotenju osnovnih dejavnikov smo se omejili na količinski vidik oz. mehanske vplive, ki jih ima odtekajoča voda na gozdna tla, to je na uravnavanje odtoka vode, preprečevanje erozije, zemeljskih plazov, udorov ipd. Model je bil izdelan ob upoštevanju povprečnih vremenskih razmer.

Pri ekoloških dejavnikih smo vrednotili naklon terena (DMV 12,5) ter tipe tal glede na njihovo erodibilnost in s tem povezano prepustnost tal za vodo (Pedološka... 2009). Meje med razredi (rang) smo določili na podlagi zakonodajnih podlag (Uredba o varovalnih ... 2005, 2007; Zakon o gozdovih 1993, 2002, 2007) in ekspertnega mnenja pedologa na Gozdarskem inštitutu Slovenije (URBANČIČ in sod. 2005).

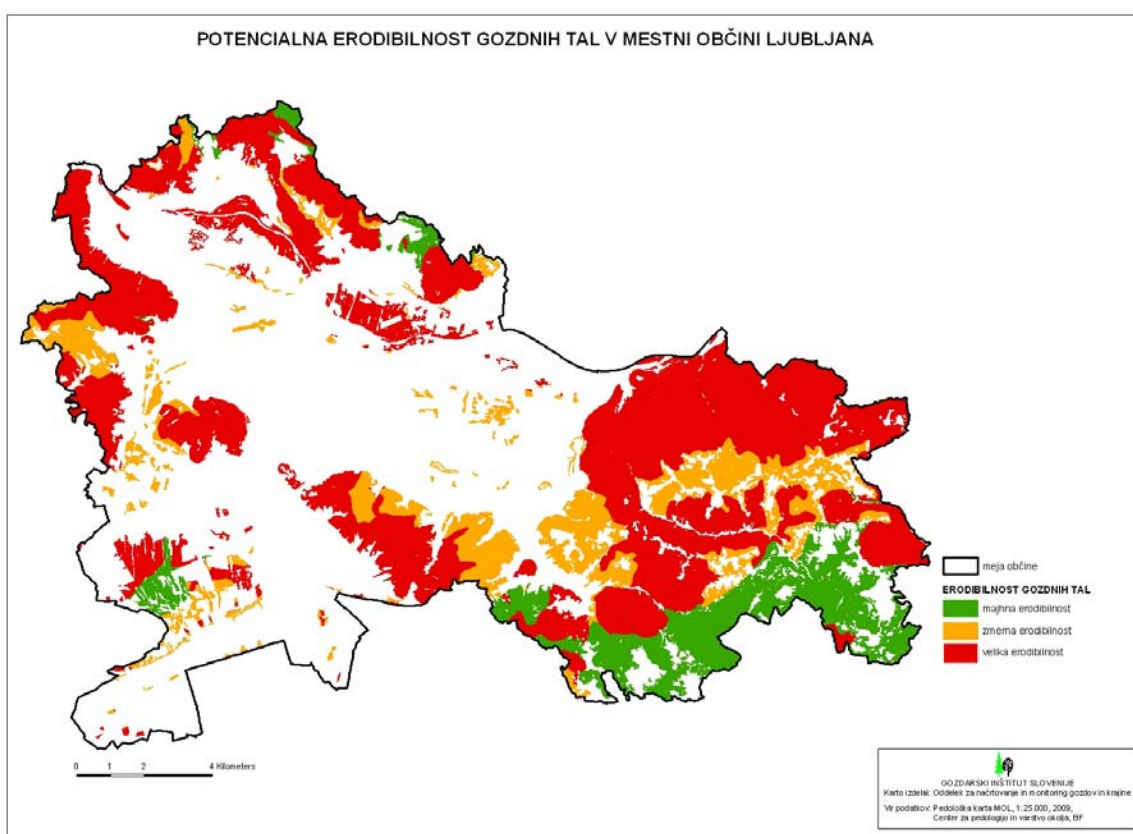
Preglednica 4.3.1.1: Zunanji – ekološki dejavniki, ki vplivajo na ranljivost gozdnih tal.

	EKOLOŠKI DEJAVNIKI	
Vrednost/stanje	naklon	Potencialna erodibilnost in prepustnost gozdnih tal za vodo
1 - ugodno	0,0-24,9°	malo erodibilna, normalno prepustna
2 - sprejemljivo	25,0-35,0°	srednje erodibilna, normalno prepustna
3 - neugodno	35,0° in več	zelo erodibilna, malo prepustna

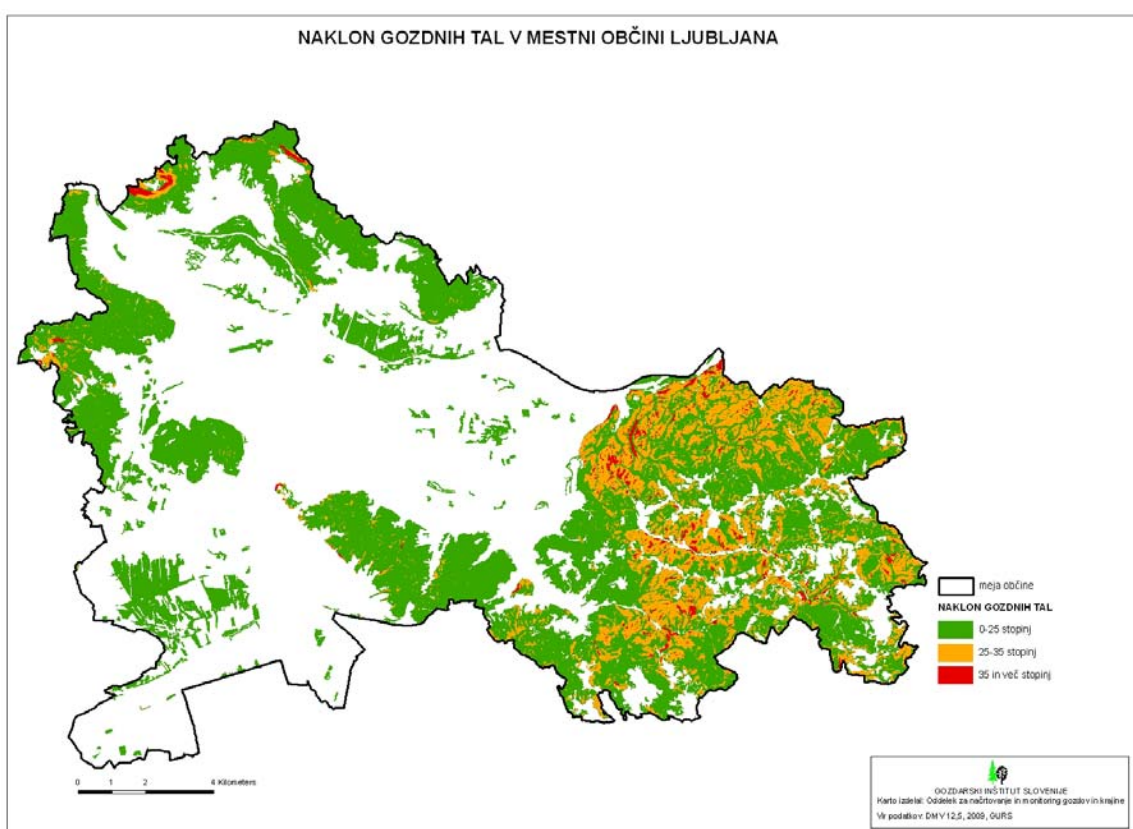
Obdelava podatkov je potekala v programu ArcGIS (ArcGIS Desktop 2008). Vsi podatkovni sloji so bili oblikovani v rastrskem podatkovnem modelu z velikostjo celice 12,5 x 12,5 metra, kar je omogočilo dobro lokacijsko točnost.

4.3.2 Postopek modeliranja

Prva karta – zunanjih – ekoloških dejavnikov je bila izdelana na podlagi digitalnega modela reliefa z ločljivostjo 12,5 m in pedološke karte. Iz karte digitalnega modela višin je bila izdelana karta naklonov terena, ta pa nato klasirana v tri razrede ovrednotene z rangom $a_i = \{1,2,3\}$ (npr. 1 pomeni ugoden naklon itn.). Nato je bila analogno v tri razrede klasirana tudi pedološka karta (glej Preglednico 1). Karti *Potencialna erodibilnost gozdnih tal* in *Naklon gozdnih tal v MOL* sta prikazani z že ovrednotenimi kazalci.



Slika 4.3.2.1: Potencialna erodibilnost gozdnih tal v MOL (GIS 2009)



Slika 4.3.2.2: Naklon gozdnih tal v MOL (GIS 2009)

Obe karti sta bili presekanj ena z drugo (matrični princip) in nastala je karta šestih kombinacij rangov oz. površin. Za nove površine so bili izračunani produkti rangov izvornih površin.

Produkti rangov izvirnih površin so bili rangirani z rangi $a_l = \{1,2,3\}$ (npr. 1 pomeni najmanjšo ranljivost, itn.), in sicer:

- $a_k = 1 \vee 2 \Rightarrow a_l = 1$
- $a_k = 3 \vee 4 \Rightarrow a_l = 2$
- $a_k = 6 \vee 9 \Rightarrow a_l = 3$

Njihov pomen pa:

- $a_v = 1$: ranljivost oz. dovzetnost gozdnih tal majhna, t.j. **ugodno stanje**
- $a_v = 2$: ranljivost oz. dovzetnost gozdnih tal srednja, t.j. **sprejemljivo stanje**
- $a_v = 3$: ranljivost oz. dovzetnost gozdnih tal velika, t.j. **neugodno stanje**

Površine ovrednotene z rangi a_v so prikazane na karti *Ranljivost gozdnih tal v MOL*.

4.3.3 Rezultati

Preglednica 4.3.3.1: Površinski deleži ekoloških dejavnikov po osnovnem vrednotenju (glej Preglednico 1)

EKOLOŠKI DEJAVNIKI				
vrednost	Naklon		Potencialna erodibilnost in prepustnost gozdnih tal za vodo	
	ha	%	ha	%
1 – ugodno stanje	8.316,67	71,4	1.777,78	15,3
2 – sprejemljivo stanje	2.864,67	24,6	2.221,09	19,1
3 – neugodno stanje	472,81	4,1	7.655,28	65,7

Medtem ko karta naklonov izkazuje kritično stanje na minimalni površini celotne MOL (4,1 %), pa je obseg neugodnega stanje znotraj kategorije gozdnih tal bolj kritičen (65,7 %). Gozdna tla skupaj z matično kamnino, podnebjem in topografijo dobrodejno ali zaviralno delujejo na sposobnost gozda za opravljanje hidrološke vloge. Ovrednotenje je pokazalo, da je kar na dveh tretjinah gozdnega prostora MOL potencialna nevarnost za nastanek erozijskih žarišč. Ovrednotenje tipov tal glede na njihovo erodibilnost in prepustnost za vodo pripomore k opredelitvi področij, kjer je verjetnost pojavljanja zdrsov večja in je v kombinaciji z večjimi nakloni (28,7 % - dolina Besnice in Zasavsko hribovje, pobočje Šmarne gore z Grmado) kritična (FAJON in sod., 2008). Naklon ima velik vpliv pri odtoku površinske in posredno tudi podtalne vode in s tem možnosti erozije.

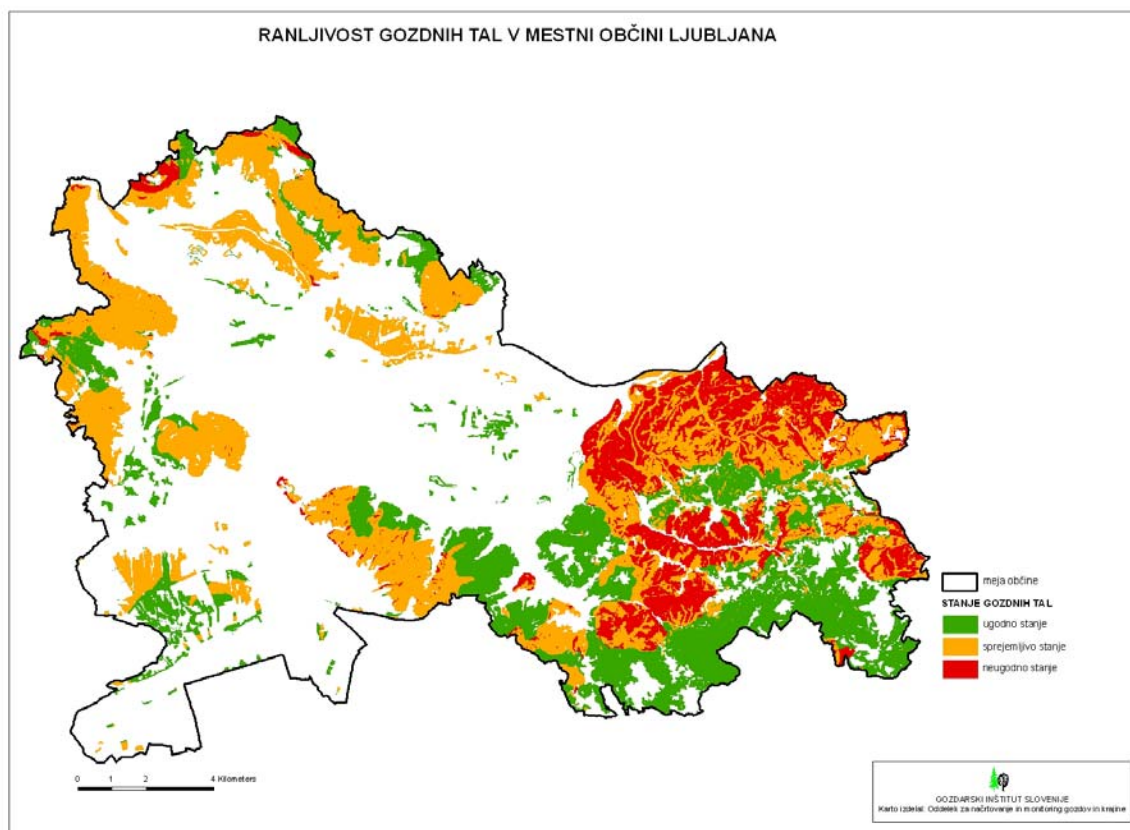
V modelu smo združili rangirani karti naklona in tipov tal glede na njihovo erodibilnost in prepustnost za vodo. Rezultat je karta *Ranljivost gozdnih tal* na osnovi ekoloških dejavnikov.

Preglednica 4.3.3.2: Površine gozdnih tal v MOL glede na model ranljivosti

vrednost	ha	%
1 – ugodno stanje	3.637,14	31,2
2 – sprejemljivo stanje	5.509,19	47,3
3 – neugodno stanje	2.507,83	21,5
	11.654,16	100,0

S pomočjo modela ranljivosti, ki upošteva erodibilnost gozdnih tal in naklona terena, se je na 2.508 ha (22 %) gozdnih tal odkrilo neugodno stanje. Na slabi polovici gozdnih tal (5.509 ha) je sprejemljivo stanje, na slabi tretjini (3.637 ha) pa ugodno. Območja z neugodnim stanjem predstavljajo strma južna pobočja Šmarne gore z Grmado (erozija tal in izpiranje glinenih delcev) in Rašice ter obsežno območje širše okolice Janč (Zasavsko hribovje) na vzhodnem delu MOL, kjer preti nevarnost erozije tal, zemeljskih plazov in usadov.

Stanje ranljivosti gozdnih tal na Ljubljanskem polju okoli večjih črpališč (Kleče, Hrastje, Jarški prod in Šentvid) je sicer glede na izračune modela sprejemljivo (zadovoljivo), vendar je treba opozoriti, da bi intenzivni posegi (npr. razgozditev, intenziven posek) v ta labilni gozdni prostor lahko povzročili izpiranje glinenih delcev iz gozdnih tal in posledično onesnaženje virov pitne vode.



Slika 4.3.3.1: Ranljivost gozdnih tal v MOL (prikaz modelnih vrednost) (GIS 2009)

4.3.4 Zaključki

Gozdarstvo ima pomembno in odgovorno nalogo, ki jo je treba razumeti in izvajati na dva vsebinsko različna načina. Prvi obsega varovanje obstoječih podtalnih in površinskih voda in strug ter preprečevanje erozijskih procesov, ki lahko skupaj z visokimi vodami predstavljajo neposredno grožnjo mestu in naseljem ob vodotokih. Drugi pa je vzdrževanje in izboljševanje gozdnih struktur in zgradb, ki posredno dvigujejo kapaciteto tal za skladičenje vode (poplavne ravnice Gradašnice in Horjulščice). Gozdarstvo mora s preverjenimi in učinkovitimi ukrepi skrbeti, da bo struktura gozda takšna, da bo poleg vseh ostalih optimalno izpolnjevala tudi hidrološko in varovalno vlogo (pobočja Šmarne gore z Grmado, dolina Besnice). Protierozijska vloga gozdov na območju Zasavskega hribovja (Janč, Besnice) oz. vzhodnem delu MOL je zelo pomembna tudi zaradi varovanja infrastrukturnih objektov (ceste, železnica) in zavarovanja objektov (stanovanjske hiše, mostovi) pred zemeljskimi plazovi, usadi in nanosi hudournikov ob ekstremnih vremenskih pojavih.

Z vidika sestojne zgradbe, stabilnosti gozda in ranljivosti gozdnih tal so najbolj problematični toploljubni sestoji listavcev na strmih prisojnih pobočjih (Šmarna gora z Grmado, Rašica) in sekundarni nestabilni sestoji rdečega bora na degradiranih tleh, ki niso sposobni zadovoljivo opravljati hidrološke (preprečevanje odplavljanja glinenih delcev) in varovalne vloge

(preprečevanje erozijskih procesov). Ti sestoji se veliko površinsko pojavljajo na strmejših prisojnih legah, na Ljubljanskem polju ob reki Savi in Ljubljanici, na opuščeni travnikih ter pašnikih na reliefno zelo razgibanem širšem območju Janč (Zasavsko hribovje). Posamezno pa so sekundarni nestabilni sestoji rdečega bora prisotni povsod, kjer so tla izprana in se pojavljajo erozijski jarki.

4.4 Erodibilnost gozdnih tal v Mestni občini Ljubljana

Erodibilnost gozdnih tal v MOL smo razvrstili na osnovi pedokartografskih enot (PKE) v naslednjih pet razredov:

1 **Ni opazna** (sem so uvrščene PKE z ravninskimi psevdogleji)

2 **Neznatna:** nekaj vidnih poškodb na površinskih talnih horizontih. Sem so uvrščene PKE z evtričnimi rjavimi tlemi na starejšem ilovnatem nanosu, s hipogleji, s pokarbonatnimi rjavimi tlemi, s pobočnimi psevdogleji.

3 **Srednja:** odstranitev površinskih horizontov (PKE z evtričnimi in distričnimi rjavimi tlemi na vezanih klastičnih pelitskih inpsamitskih kamninah, z globokimi obrečnimi tlemi ipd.)

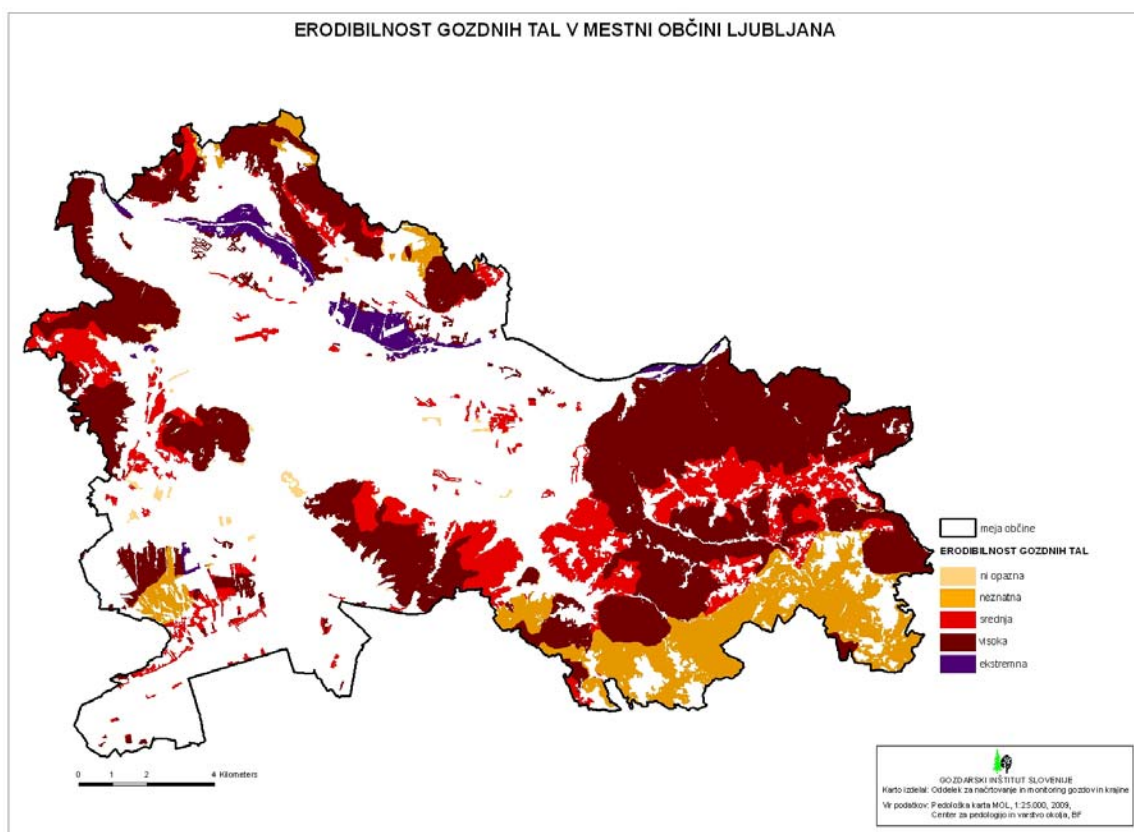
4 **Visoka:** površinski horizonti so v celoti odstranjeni in podpovršinski horizonti tal so izpostavljeni in odkriti. Sem so uvrščene PKE z distričnimi rankerji in distričnimi rjavimi tlemi na permokarbonskih skladih, koluvialnimi distričnimi rjavimi tlemi, plitvejšimi obrečnimi tlemi na peščeno prodnatem aluviju, sprsteninastimi rendzinami ipd.

5 **Ekstremna:** precejšnje premeščanje globljih podpovršinskih plasti (erodirana krajina). Sem so uvrščene PKE z nerazvitimi obrečnimi tlemi, s prhninasto rendzino, z erozijskim rankerjem).

Ekstremna erodibilnost gozdnih tal je prisotna na 3,3 % gozdnih površin, visoka erodibilnost pa kar na 62,3 %. Po naših ocenah prevladuje visoka erodibilnost gozdnih tal v MOL.

Preglednica 4.4.1: Površinski deleži razredov erodibilnosti gozdnih tal v Mestni občini Ljubljana

Razred	Erodibilnost	ha	%
1	Ni opazna	7,71	0,1
2	Neznatna	1.769,81	15,2
3	Srednja	2.219,93	19,1
4	Visoka	7.263,06	62,3
5	Ekstremna	390,10	3,3
	Skupaj	11.650,60	100,0



Slika 4.4.1: Erodibilnost gozdnih tal v MOL (GIS 2009)

4.5 Vplivi vode na razvoj gozdnih tal in njihova nasičenost z izmenljivimi bazami

Gozdna tla MOL smo razvrstili v šest skupin z ozirom na naslednjih pet značilnosti tal:

a - v oddelek **avtomorfni** gozdnih tal (ta tla so nastala in se razvijala samo pod vplivom padavinske vode; prehajanje vode skozi njih je prosto, brez zastajanja) razvrščamo šest razredov tal: nerazvita, humusno akumulativna, kambična, izprana, antropogena in tehnogena tla.

h - **hidromorfna** tla so zaradi talne, površinske in/ali poplavne vode trajno do začasno mokra tla, ki imajo izražene znake prekomernega navlaževanja. Razvrščamo jih v pet razredov: v nerazvita hidromorfna tla, psevdoglejna, oglejena, šotna in antropogena hidromorfna tla.

k - **karbonatna** tla vsebujejo proste kalcijeve (magnezijeve) karbonate.

e - **evtrična** tla imajo stopnjo nasičenosti z bazami nad 50 %.

d - **distrična** tla imajo stopnjo nasičenosti z bazami pod 50 %.

Preglednica 4.5.1: Površinski deleži skupin gozdnih tal v Mestni občini Ljubljana, oblikovanih na osnovi vplivov vode na razvoj tal in njihove nasičenost z izmenljivimi bazami

Skupina	Kratica	Skupina tal	ha	%
1	ak	avtomorfna-karbonatna	203,03	1,7
2	ae	avtomorfna-evtrična	1.926,36	16,5
3	ad	avtomorfna-distrična	8.238,43	70,7
4	hk	hidromorfna-karbonatna	436,84	3,7
5	he	hidromorfna-evtrična	688,68	5,9
6	hd	hidromorfna-distrična	145,39	1,2

V MOL so daleč najbolj razširjena avtomorfna distrična gozdna tla s 70,7 %, na drugem mestu so avtomorfna evtrična gozdna tla s 16,5 % deležem.

4.6 Dostopnost vode v gozdnih tleh Mestne občine Ljubljana za glavne drevesne vrste

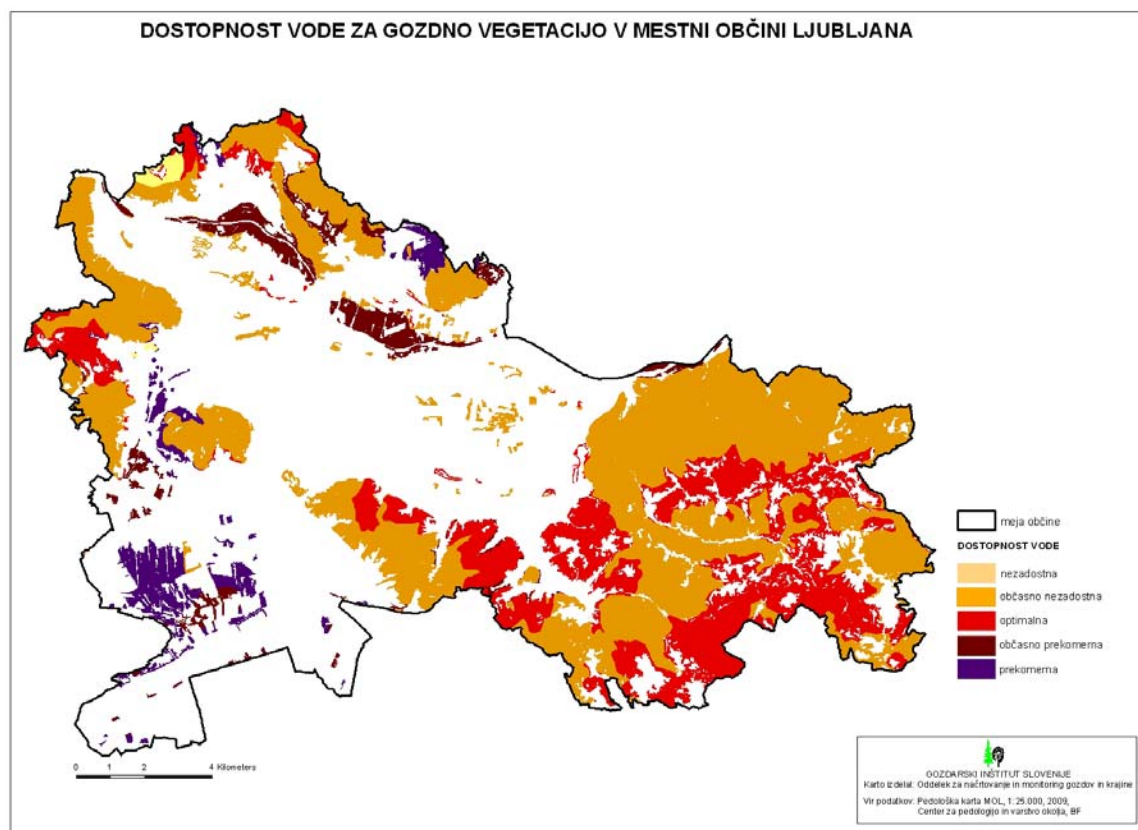
Pedokartografske enote (PKE) gozdnih tal v MOL smo na osnovi ocen dostopnost vode v tleh za glavne drevesne vrste razvrstili v naslednjih pet razredov:

- 1 Nezagostna (sem so uvrščene PKE s prhlinasto in sprsteno nasto rendzino, z rankerjem).
- 2 Občasno zagostna (PKE z distričnimi rjavimi tlemi in distričnimi rankerji na permokarbonskih skladih, z rendzino in rjavimi pokarbonatnimi tlemi ipd.)
- 3 Optimalno vlažna (PKE z distričnimi rjavimi tlemi, evtričnimi rjavimi tlemi, rjavimi pokarbonatnimi tlemi, globokimi, razvitimi obrečnimi tlemi)
- 4 Občasno prekomerna (sem so uvrščene PKE z nerazvitimi obrečnimi tlemi, s pobočnim psevdoglejem)
- 5 Prekomerno mokra (PKE z močnim hipoglejem, z amfiglejem, z ravninskim psevdoglejem)

Preglednica 4.6.1: Površinski deleži razredov gozdnih tal Mestne občine Ljubljana, oblikovani na osnovi dostopnost vode v tleh za glavne drevesne vrste

Razred	Dostopnost vode	ha	%
1	Nezagostna	85,10	0,7
2	Občasno zagostna	7.408,65	63,6
3	Optimalno vlažna	2.988,10	25,6
4	Občasno prekomerno mokra	598,17	5,1
5	Prekomerno mokra	570,58	4,9
	Skupaj	11.650,60	100,0

V MOL prevladujejo s 63,6 % deležem gozdna tla, ki so občasno zagostna preskrbljena z vodo glede na potrebe glavnih drevesnih vrst. Optimalno vlažnih je četrtnina vseh gozdnih tal, občasno prekomerno mokrih in prekomerno mokrih pa je skupaj 10 % gozdnih tal.



Slika 4.6.1: Vpliv vode na razvoj gozdnih tal v MOL (GIS 2009)

4.7 Rodovitnost gozdnih tal v Mestni občini Ljubljana

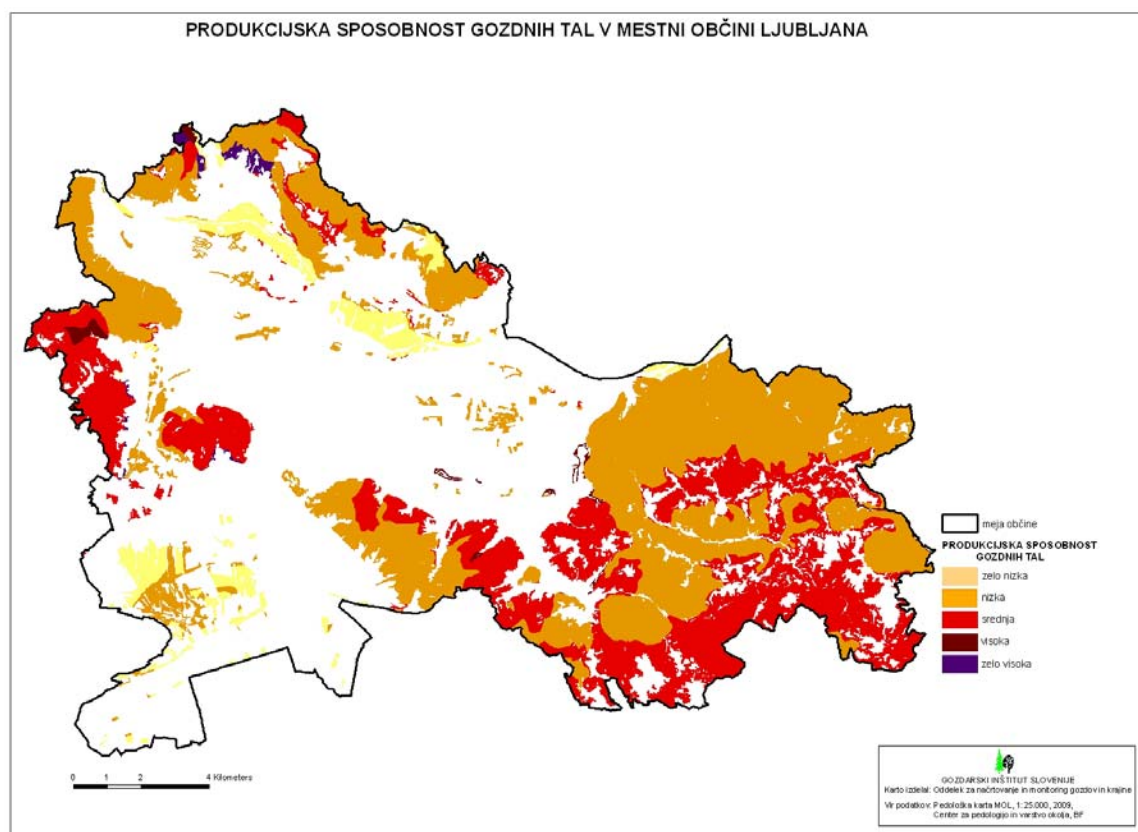
Pedokartografske enote (PKE) gozdnih tal v MOL smo na osnovi razvojne stopnje tal, njihove preskrbljenosti s hranili in njihovih globin razvrstili v naslednjih pet razredov rodovitnosti oz. proizvodnje sposobnosti:

- 1 zelo nizka (sem so uvrščene PKE s prhlinasto in sprsteninasto rendzino, z rankerjem, z močno oglejenimi tlemi, s šotnimi tlemi, s plitvimi nerazvitimi obrečnimi tlemi)
- 2 nizka (PKE z distričnimi rjavimi tlemi in distričnimi rankerji na permokarbonskih skladih, z rendzino in rjavimi pokarbonatnimi tlemi, s plitvimi kambičnimi tlemi, z zmerno oglejenimi tlemi, z ravninskim distričnim psevdoglejem ipd.). Ta razred zavzema največji površinski delež gozdov.
- 3 srednja (PKE z ravninskim evtričnim psevdoglejem, s srednje globokimi, evtričnimi, razvitimi obrečnimi tlemi, s srednje globokimi, distričnimi kambičnimi tlemi).
- 4 velika (PKE z globokimi, evtričnimi, razvitimi obrečnimi tlemi, s srednje globokimi evtričnimi tlemi).
- 5 zelo velika (PKE z globokimi, dobro razvitimi, kambičnimi tlemi)

Preglednica 4.7.1: Površinski deleži razredov rodovitnosti gozdnih tal v Mestni občini Ljubljana

Razred	Rodovitnost gozdnih tal	ha	%
1	Zelo nizka	739,56	6,3
2	Nizka	6.699,83	57,5
3	Srednja	4.069,14	34,9
4	Velika	78,52	0,7
5	Zelo velika	63,54	0,5
	Skupaj	11.650,60	100,0

V MOL prevladujejo nizka (57,5 %) in srednje rodovitna gozdna tla (34,9 %). Gozdnih tal z zelo nizko proizvodno sposobnostjo je 6,3 %, velika in zelo velika rodovitnost pa je bila ugotovljena za skupaj 1,2 % gozdnih tal v MOL.



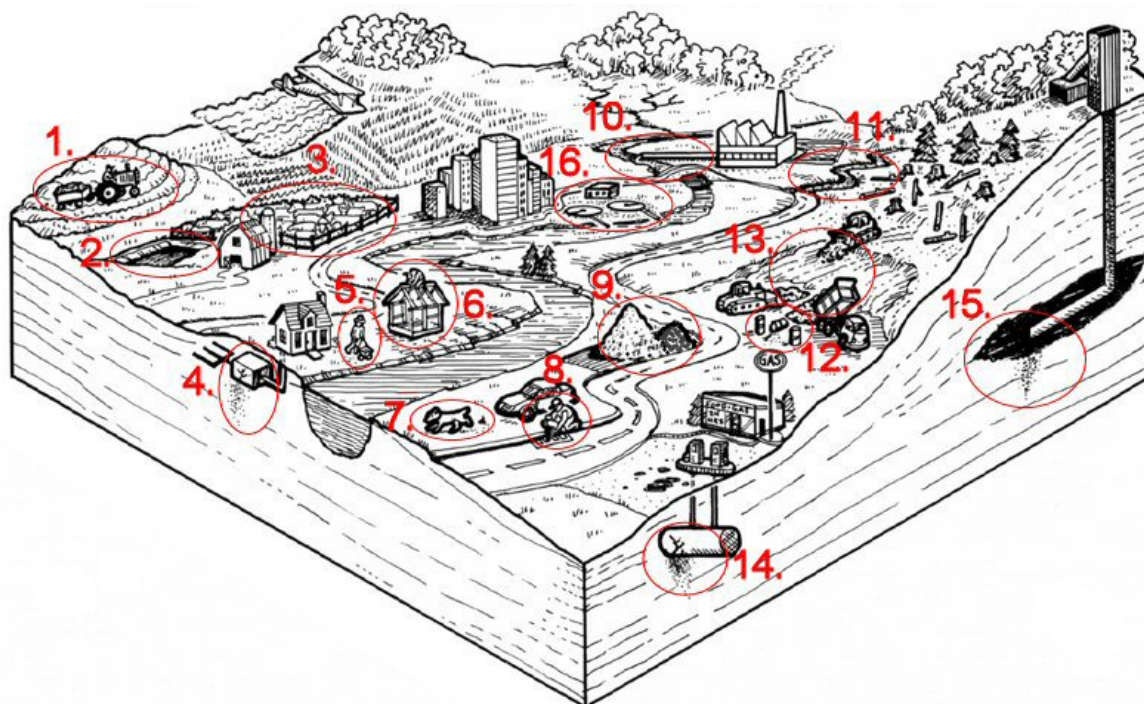
Slika 4.7.1: Produkcijska sposobnost gozdnih tal v MOL (GIS 2009)

5 STANJE GOZDNIH TAL IN NJIHOV VPLIV NA KAKOVOST VIROV PITNE VODE

Nudnje virov vode je izredno pomembna ekosistemska usluga gozdov v vseh urbaniziranih okoljih. Kljub pomembnosti zaplat gozdnih tal v urbanih okoljih so ta pogosto močno spremenjena in degradirana. Mesto Ljubljana je zrastle na ozemlju, kjer se površinsko in podtalno vodo najde v zadostnih količinah. Vodne vire najbolj ogrožajo stalni vnosi onesnažil s cest, streh, greznic, industrije in kmetijstva (VIŽINTIN et al. 2009). Varstveni pasovi virov vode na Ljubljanskem polju so tako kot v večini mest "ovira" pri razvoju in urbanizaciji. Vztrajanje na odločitvi o varovanju virov vode z varstvenimi pasovi in ohranjanju visoke kakovosti podtalnice je zagotovilo naslednjim generacijam, da bodo oskrbovane s kakovostno, naravno prečiščeno pitno vodo, ne da bi jo bilo treba umetno prečiščevati z dragimi postopki. Ohranjanje kakovostnih virov vode je zato nujen element dolgoročne vizije mesta (VIŽINTIN et al. 2009). Stroge zahteve, ki so bile upoštevane ob izgradnji severne obvozne ceste mesta, so le del naporov za ohranitev podzemnega vira vode na Ljubljanskem polju na današnjem kakovostnem nivoju (BRILLY, 1998).

Glavni viri onesnaženja tal so naselja, industrija in kmetijstvo, promet, turizem (slika 5.1). Vire onesnaževanja ločimo na točkovne in netočkovne, pri čemer sta s stališča varstva okolja obe obliki onesnaževanja škodljivi. Točkovni viri povzročajo hitrejše spremembe, vendar jih je lažje sanirati. Dolgoročno gledano so bolj problematični netočkovni viri, še posebno sezonsko onesnaževanje okolja, ki je sezonsko pogojeno. Kmetijstvo in predelovalna dejavnost v različnih letnih časih uporabljajo številne strupene in škodljive snovi. Podobno je s turizmom, kjer prihaja do velikih, vendar časovno omejenih obremenitev. Največji problem še vedno predstavljajo viri onesnaževanja s strupenimi, težko razgradljivimi snovmi. Te predstavljajo zaradi sinergijskega delovanja potencialno ekološko bombo.

Onesnažene vire vodne je težko, včasih pa celo nemogoče očistiti. Izviri, potoki in stoječe vode so kot sistemi posebno ranljivi, medtem ko močvirja predstavljajo puferske sisteme za mnoge abiotske in biotske dejavnike. Preseganje njihovih samočistilnih sposobnosti zaradi onesnaženja jih vedno bolj ogroža. Za stoječe vode (jezera in akumulacije) je največja težava eutrofikacija, torej obremenjevanje s fosforjem. Izsuševanje močvirij je problem, ki ga ne prištevamo k onesnaževanju, saj ga lahko opredelimo kot uničevanje naravnih sistemov, ki ščitijo okolje in z njim človeka.

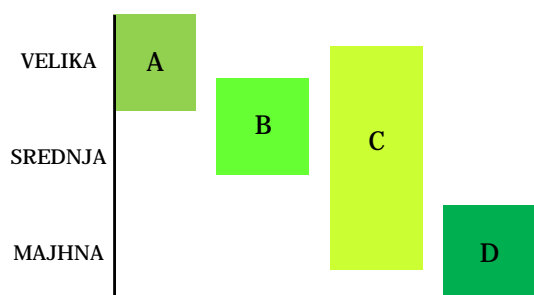


1. PREKORAČEN VNOS GNOJIL IN PESTICIDOV NA POLJU
2. PUŠČAJOČ ZBIRALNIK ZA FEKALIJE ŽIVINE
3. PREŠTEVILČNA ŽIVINA V OGRADI
4. PUŠČAJOČA GREZNICA
5. NEPRIMERNA UPORABA GNOJILA ZA TRATO
6. EROZIJA TAL NA GRADBIŠČU
7. IZTREBKI DOMAČIH ŽIVALI
8. NEPRIMERNO ODLAGANJE MOTORNEGA OLJA
9. SOL ZA POSIPANJE CEST
10. INDUSTRIJSKE ODPLAKE
11. EROZIJA NA GOZDNIH CESTAH
12. NEPRIMERNO ODLAGANJE STRUPENIH KEMIKALIJ
13. ODLAGALIŠČE ODPADKOV
14. PUŠČAJOČA SKLADIŠČNA CISTERNA ZA GORIVO
15. IZTEKANJE ŠKODLJIVIH SNOVI IZ RUDNIKA
16. ODPLAKE IZ ČISTILNE NAPRAVE

Slika 5.1: Potencialni viri onesnaženja vode v urbanem okolju (EPA 2009)

Gozd s svojimi gostimi krošnjami prestreže velik delež padavin. Del jih izhlapi, del odkaplja z listov in vej, del pa jih steče po deblu do gozdnih tal. Posamezen delež je odvisen od vrste in intenzivnosti padavin kot tudi od zgradbe gozda, drevesnih vrst, oblike dreves in njihove prostorske razporeditve (KIMMINS 1997). Stabilni, dobro ohranjeni gozdovi na primernih rastiščih predstavljajo najprimernejšo obliko rabe tal za zadrževanje vode pri veliki količini padavin (FREHNER et al. 2005). Vpliv gozda na količino odtoka se odraža v srednje- in dolgoročnem izboljšanju talnih razmer, predvsem sposobnosti gozdnih tal za infiltracijo in zadrževanje vode. Na zadrževalno sposobnost gozdnih tal za vodo pomembno vpliva tudi zbitost tal zaradi mehanizacije. Pri zbitih tleh je infiltracija vode manjša, kar lahko povzroči površinsko erozijo tal (CROKE et al. 2001). Opozoriti je treba, da je učinek gozda in gozdnih

tal na zadrževanje vode omejen na obdobja, ko tla niso nasičena z vodo (Slika 2). Gozdovi lahko zmanjšajo možnost pojava visokih voda ob krajših in manj intenzivnih padavinah, a ne morejo preprečiti pojava poplav ob večjih padavinah na velikem območju (CHANG 2003).



A – velika zadrževalna sposobnost tal za vodo, neodvisna od ohranjenosti gozda. Rastišča na globokih, normalno prepustnih tleh.

B – srednja zadrževalna sposobnost tal za vodo, neodvisna od ohranjenosti gozda. Rastišča na srednje globokih, normalno prepustnih tleh.

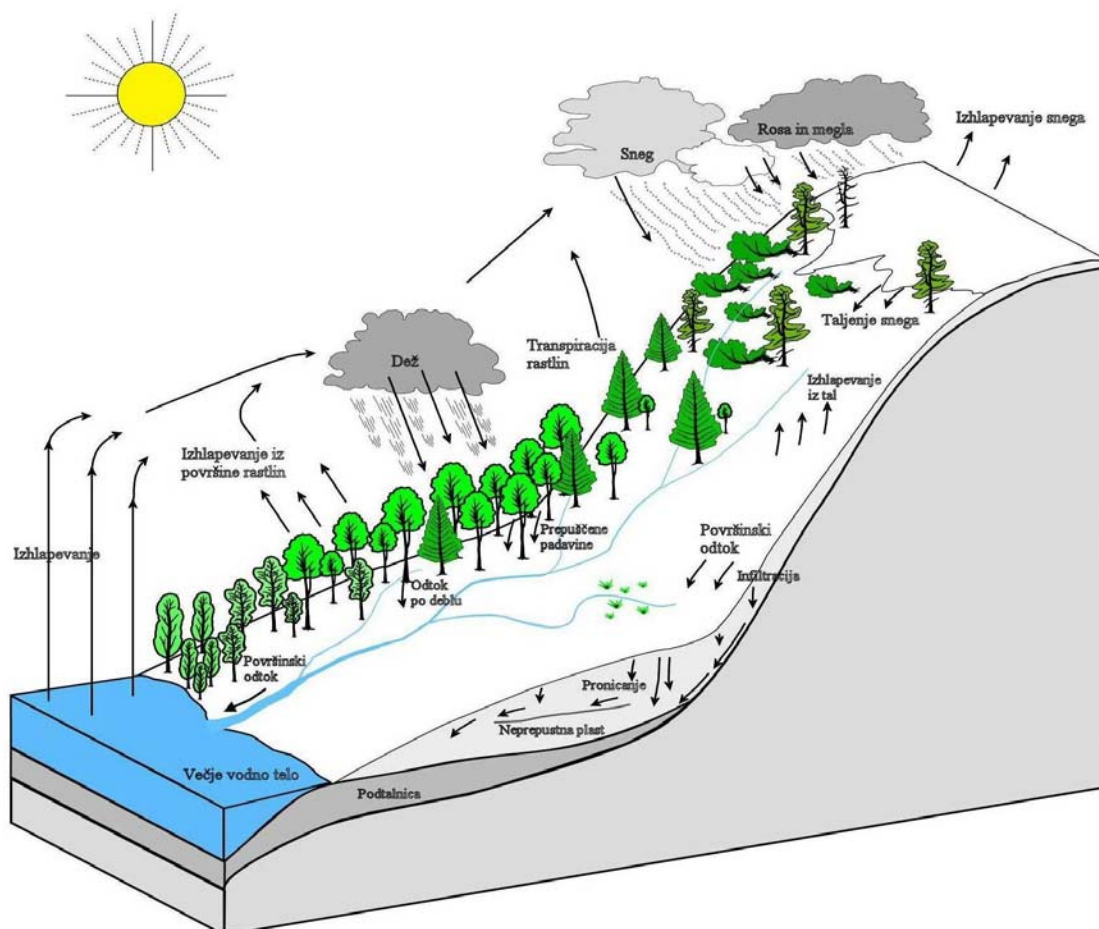
C – velika zadrževalna sposobnost tal za vodo pri dobri ohranjenosti gozda ter majhna zadrževalna sposobnost tal za vodo pri močno spremenjenem gozdu. Rastišča na globokih, slabše prepustnih tleh.

D – majhna zadrževalna sposobnost tal za vodo, neodvisna od ohranjenosti gozda. Rastišča na zelo namočenih, plitvih ali izjemno prepustnih tleh.

Slika 5.2: Vpliv stanja gozda na zadrževalno sposobnost gozdnih tal za vodo v primeru velike količine padavin (povzeto po Frehner s sod. (2005))

Vpliv gozdov na skupen odtok iz vodozbirnega območja in kakovost vodotokov je tem večji, čim večji je delež površine gozdov v območju. Krčenje gozdnih površin v vodozbirnem območju lahko povzroči povečano sproščanje sedimentov zaradi delovanja erozije (BINKLEY / MACDONALD 1994; PRYBOLOTNA 2006), povečanje visokih voda ob nevihtah in ob taljenju snega (VON BURGER 1954b, 1954a) ali celo povečanje poplavnih voda in njihove povratne dobe (VENY 1986).

V opadu ter v mrtvem lesu padlih debel in panjev shranjena vlaga predstavlja začasen rezervoar vode za spodnje plasti gozdnih tal, ki imajo tako na voljo več časa za infiltracijo vode (OGÉE / BRUNET 2002). Opad štiti mineralni del gozdnih tal pred direktnim vplivom padajočih dežnih kapelj in s tem povezano površinsko erozijo, hkrati pa zmanjšuje izhlapevanje iz gozdnih tal. Voda, ki pronica v tla, napolni prostor med talnimi delci (pore). To vodo imenujemo talna raztopina in ima vlogo transportnega posrednika. Je pomemben element kroženja hranil v gozdnem ekosistemu in hkrati dober pokazatelj zdravstvenega stanja gozdov ter posledic gospodarjenja z njimi (SIMONČIČ 2001).



Slika 5.3: Kroženje vode v gozdnatem vodozbornem območju od zgornje gozdne meje do nižinskih poplavnih gozdov (VILHAR 2009)

Prebivalci mesta Ljubljane in bližnjih primestnih naselij se s pitno vodo oskrbujejo iz centralnega vodovodnega sistema. Nekatera manjša naselja v okolici mesta, ki so od osrednjega dela in s tem tudi črpališč centralnega sistema preveč oddaljena, da bi jih bilo mogoče navezati nanj, ali pa ležijo mnogo višje od črpališč centralnega sistema, se oskrbujejo s pitno vodo iz lokalnih vodovodnih sistemov. Za oskrbo Mestne občine Ljubljana (MOL) z vodo sta največjega pomena predvsem dve telesi podzemne vode (URBANC *et al.* 2001):

- vodonosnik Ljubljanskega polja
- vodonosni sistem Ljubljanskega Barja

Podzemna voda se izkorišča v petih vodarnah: Kleče, Hrastje, Jarški prod in Šentvid na Ljubljanskem polju ter Brest na Ljubljanskem Barju. Lokalni vodovodni sistemi se napajajo iz lastnih, lokalnih vodnih virov, kjer je vodni vir podzemna voda, zajeta v obliki izvirov ali vodnjakov v razpoklinskih ter prodnih vodonosnikih, pa tudi površinskih voda.

Na območju Ljubljanskega polja je za vodooskrbo pomembnih 6 izvirov (običajno imenovani studenčnica), ki predstavljajo izdanke podzemne vode pod terasami savskih prodnih zasipov (URBANC *et al.* 2001). Ti se nahajajo predvsem v spodnjem delu vodonosnika Ljubljanskega polja med Poljem in sotočjem Ljubljanice in Save. Tla nad vodonosnikom so peščena in dobro prepustna za vodo, nenasičena cona je debela 3 do 20 m, dobro prezračena in prepustna za vodo. Gozdna tla ogrožajo neposredni človekovi vplivi, kot so onesnaženost vodotokov, hidromelioracije, odlagališča odpadkov, gradnja hidroelektrarn ter prometne in turistične infrastrukture, kemizacija v poljedelstvu in industriji, širjenje urbanizacije, idr. Tukaj gozdna tla z naravno ohranjeno rastlinsko sestavo in sestojno zgradbo predstavljajo pomemben filter

za vnose onesnažil iz okoliških kmetijskih površin, prometnic in urbanih površin v podtalnico in površinske vodotoke.

Na območju Ljubljanskega Barja so s stališča vodooskrbe pomembni predvsem izviri na obrobju iškega holocenskega prodnega vodonosnika (15 izvirov in kanalov). Večina pomembnih izvirov na obrobju iškega vršaja pade izven meja mestne občine, vendar jih je smiselno obravnavati, saj večji del telesa podzemne vode vendarle leži znotraj MOLa (URBANC *et al.* 2001). Danes je Ljubljansko Barje postalo zelo pomemben alternativni vir podzemne vode za MOL zaradi zaščitenosti vodonosnikov pred vplivi urbanizacije in drugimi človekovimi dejavnostmi. Zgornji in spodnji pleistocenski vodonosnik sta zaradi glinastih plasti nad njima dobro zaščiteni pred negativnimi vplivi s površja. Za onesnaženje je občutljivo njuno napajalno območje, ki ga predstavlja kraško območje Krimsko-Mokrškega hribovja in je uvrščeno v širše vodovarstveno območje na državnem nivoju.

V hidrogeološki raziskavi Geološkega zavoda Slovenije za določitev razpoložljivih in obnovljivih vodnih virov v MOL je bilo opisanih 102 zajetij in izvirov (URBANC *et al.* 2001). Od tega se jih le 5 nahaja izven gozda, 36 jih je neposredno obdanih z gozdom, ostalih 61 pa je na gozdnem robu.

Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov Ljubljanskega Barja in okolice Ljubljane (Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov Ljubljanskega Barja in okolice Ljubljane 2007) ter Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnika Ljubljanskega polja (Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnika Ljubljanskega polja 2004) določata vodovarstvena območja za vodna telesa vodonosnikov, ki se uporablja za oskrbo prebivalstva s pitno vodo. Uredbi določata tudi vodovarstveni režim, ki ga morajo lastniki ali drugi posestniki nepremičnin upoštevati in prilagoditi svoje delovanje na teh območjih. Vodovarstveno območje sestavljajo območja znotraj zajetij in notranja območja. Notranja območja se delijo na:

najožja območja, označena z oranžno barvo in oznako »VVO I«

ožje območje, označeno z rumeno barvo in oznako »VVO II«

širša območja, označena z zeleno barvo in oznako »VVO III«

Najožja vodovarstvena območja (VVO I) zajamejo 0,9 % vseh gozdnih tal v MOL, ožje območje (VVO II) 4,1 %, širše območje (VVO III) pa 19,8 % vseh gozdnih tal v MOL (Preglednica 1).

Preglednica 5.1: Površina gozdnih tal v MOL glede na vodovarstveni režim (združena občinski in državni nivo)

Vodovarstveni režim	ha	%
vodovarstveni režim 1	102,22	0,9
vodovarstveni režim 2	474,81	4,1
vodovarstveni režim 3	2301,25	19,8
SKUPAJ gozdna tla	11650,60	100,0

Ukrepi, prepovedi in omejitve, ki se nanašajo na ravnanje z gozdom in gozdnimi tlemi, so za vodovarstveno območje za vodno telo vodonosnika Ljubljanskega polja naslednji (Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnika Ljubljanskega polja 2004):

- na vseh notranjih vodovarstvenih območjih (VVO I, VVO II in VVO III) je dovoljeno pogozdovanje.
- posek na golo ni dovoljen v najožjih (VVO I) in ožjih (VVO II) območjih, pri čemer moramo opozoriti, da Zakon o gozdovih v 22. členu določa, da je posek na golo kot način gospodarjenja z gozdovi prepovedan (Zakon o gozdovih 1994).

Za vodovarstveno območje za vodno telo vodonosnikov Ljubljanskega Barja in okolice Ljubljane so ukrepi, prepovedi in omejitve, ki se nanašajo na ravnanje z gozdom, naslednji

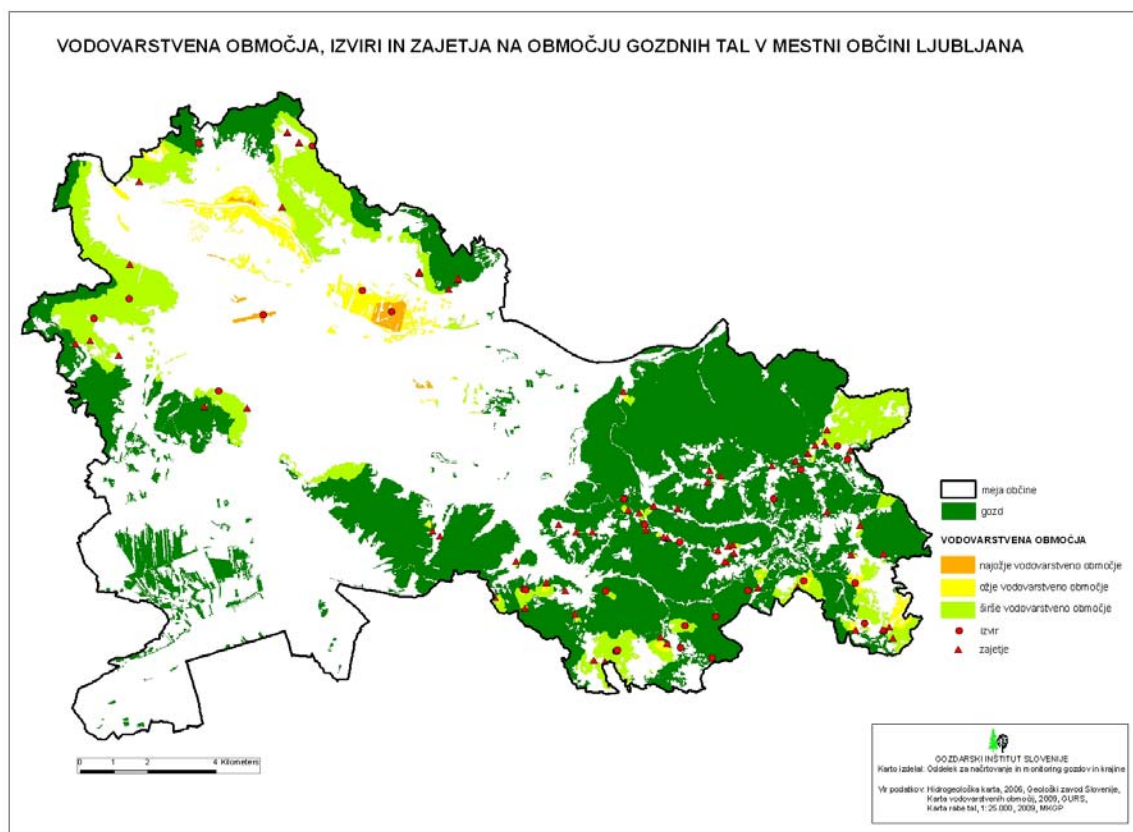
(Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov Ljubljanskega Barja in okolice Ljubljane 2007):

- na vseh notranjih vodovarstvenih območjih (VVO I, VVO II in VVO III) je dovoljeno pogozdovanje.
- uporaba sredstev za zatiranje škodljivcev ni dovoljena v najožjih vodovarstvenih območjih (VVO I).
- oskrba strojev in naprav z gorivom v gozdu ni dovoljena v najožjih vodovarstvenih območjih (VVO I), v ožjih vodovarstvenih območjih (VVO II) pa je dovoljena le uporaba biološko razgradljivih olj.

V skladu z Zakonom o gozdovih (Zakon o gozdovih 1994) in Pravilnikom o gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtih (ULRS, št. 5/1998) opravlja hidrološko funkcijo kar polovica vseh slovenskih gozdov. Hidrološko funkcijo opravljajo zlasti gozdovi, ki ohranjajo čistost podtalnice oziroma vode, ki pronica v podzemni svet na krasu, stoječih in tekočih voda ter s sposobnostjo zadrževanja vode v tleh in v rastlinah uravnavajo vodni odtok v območjih, ki so pomembna za oskrbo z vodo. Ovrednotene funkcije gozdov se določijo oziroma prikažejo po gozdnofunkcijskih enotah, ki zajemajo gozd in tista negozdna zemljišča, ki so z njim ekološko oziroma funkcionalno povezana, ter skupaj z gozdom zagotavljajo uresničevanje njegovih funkcij. Površine gozdnofunkcijskih enot določajo gozdni prostor. Prva stopnja poudarjenosti hidrološke funkcije je na 3,9 % površine gozdov v MOL (Preglednica 2, Slika 5). Druga stopnja poudarjenosti hidrološke funkcije je na 23,1 % površine gozdov (ULRS, št. 5/1998). V teh gozdovih hidrološka funkcija pomembno vpliva na način gospodarjenja z gozdom. Tretjo stopnjo poudarjenosti imajo vsi drugi gozdovi, ker vsi prispevajo k enakomernejšemu odtoku vode.

Preglednica 5.2: Površina gozdnih tal v Mestni občini Ljubljana glede na hidrološko funkcijo gozda

Hidrološka funkcija	ha	%
1. stopnja: funkcija določa način gospodarjenja z gozdom	450,01	3,9
2. stopnja: funkcija pomembno vpliva na način gospodarjenja z gozdom	2 689,61	23,1
3. stopnja: funkcija le deloma vpliva na način gospodarjenja z gozdom	8 109,02	69,6
funkcija ni določena	401,97	3,5
SKUPAJ gozdna tla	11 650,60	100,0

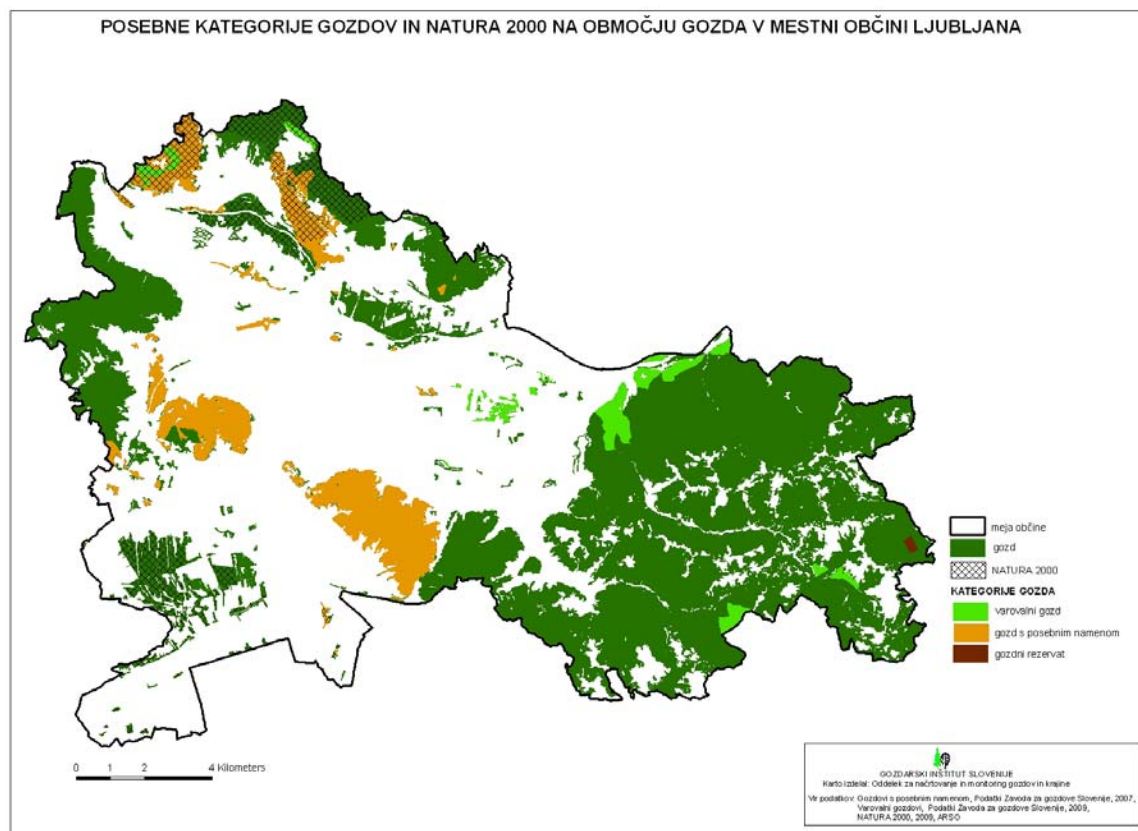


Slika 5.4: Površina gozdnih tal v MOL glede na hidrološko vlogo gozda

Določila in smernice za gospodarjenje z gozdom glede na stopnjo poudarjenosti hidrološke funkcije so podani v gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtih. Kot je razvidno iz Slike 5, površine gozdnih tal, kjer je določena prva stopnja poudarjenosti hidrološke funkcije, ne ustreza najožjim in ožjim vodovarstvenim območjem (VVO I in VVO II) in torej niso v skladu z določili Pravilnika o gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtih (ULRS, št. 5/1998). Enako velja za površine gozdnih tal, kjer je določena druga stopnja poudarjenosti hidrološke funkcije, ki bi morala biti na širšem vodozbirnem območju (VVO III), na potencialnih vodovarstvenih območjih (območja podtalnice in izvirov), ob vodotokih in manjših stoječih vodah v širini ene do dveh drevesnih višin (ULRS, št. 5/1998). Prva stopnja poudarjenosti hidrološke funkcije določa način gospodarjenja z gozdom, druga stopnja pa pomembno vpliva na način gospodarjenja z gozdom. Verjeten razlog za ta neskladja je lahko desetletni časovni zamik priprave gozdnogospodarskih načrtov, uredbi o vodovarstvenih območjih za vodna telesa vodonosnikov Ljubljanskega polja, Ljubljanskega Barja in okolice Ljubljane pa sta bili sprejeti v vmesnem času.

Z vidika ohranjanja režima in kakovosti vodnih virov je pomembna tudi varovalna funkcija gozdov, ki jo opravljajo zlasti gozdovi, ki zagotavljajo odpornost tal na erozijske pojave, ki jih povzročata voda in veter, preprečujejo zemeljske in snežne plazove, usade in valjenje kamenja, so v predelu nad mejo strnjene gozda in v drugih zelo ranljivih ekoloških razmerah. Prva stopnja poudarjenosti varovalne funkcije je na 5,2 % površine gozdov v MOL. Druga stopnja poudarjenosti varovalne funkcije je na 16,5 % površine gozdov. Posebna kategorija so s predpisom vlade ali lokalne skupnosti določeni varovalni gozdovi, ki v zaostrenih ekoloških razmerah varujejo sebe, svoje zemljišče in nižje ležeča zemljišča, in gozdovi s posebnim namenom, v katerih je izjemno poudarjena katera koli druga ekološka funkcija (Zakon o gozdovih 1994). S predpisi se določijo tudi režim gospodarjenja v teh

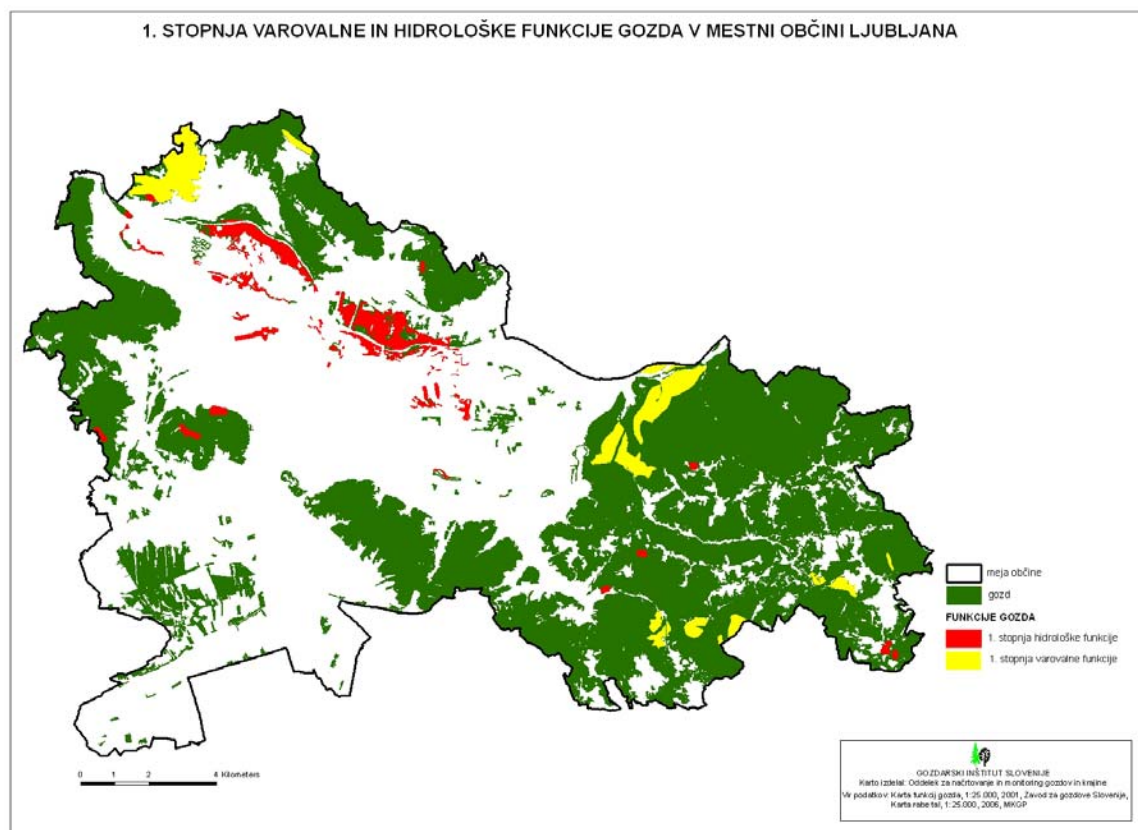
gozdovih, izvajalec tega režima in zavezanec za zagotovitev sredstev za stroške. V MOL je varovalnih gozdov 363 ha oziroma 3,1 % površine gozdov, gozdov s posebnim namenom pa 13,6 %. Posebnega pomena so tudi območja Nature 2000, ki v MOL obsegajo 14,6 % površine gozdov. Največje površine gozdov so v območjih Nature 2000 na območju Rašice in južnem pobočju Šmarne gore (784,2 %), sledi Ljubljansko Barje (759,9 ha), 159,8 ha pa je v Kresnicah (Medvode). Za ta območja so cilji in usmeritve ter načrtovani ukrepi v gozdnogospodarskih načrtih naravnani k ohranitvi ugodnega stanja določenega habitatnega tipa gozda in v gozdu živečih ali na gozd drugače vezanih vrst, zaradi katerih je bilo osnovano območje Nature 2000 (GOLOB 2003).



Slika 5.5: Posebne kategorije gozdov in Natura 2000 v MOL (GIS 2009)

Preglednica 5.2: Površina gozdnih tal v Mestni občini Ljubljana glede na varovalno funkcijo gozda

Varovalna funkcija	ha	%
1. stopnja: funkcija določa način gospodarjenja z gozdom	610,98	5,2
2. stopnja: funkcija pomembno vpliva na način gospodarjenja z gozdom	1 926,04	16,5
3. stopnja: funkcija le deloma vpliva na način gospodarjenja z gozdom	8 711,62	74,8
funkcija ni določena	401,97	3,5
SKUPAJ gozdna tla	11 650,60	100,0



Slika 5.6: Površina gozdnih tal v Mestni občini Ljubljana glede na stopnjo hidrološke in varovalne funkcije gozda (GIS 2009)

Najožja (VVO I) in ožja (VVO II) vodovarstvena območja zavarovanih vodnih virov, iz katerih padavinske in površinske vode napajajo del vodonosnika s podtalnico, bi morala biti uvrščena v gozdove s poudarjeno prvo in drugo stopnjo hidrološke funkcije. Tu se gozdna dela izvajajo, vendar v skladu z omejitvami iz gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtov. V teh gozdovih obstaja nevarnost, da se lahko zaradi nepazljivosti pri sečnji in spravilu lesa v preperelem in razpokanem delu kamnin sorazmerno hitro pojavijo olja in drugi naftni derivati. Hkrati obstaja tudi nevarnost erozijskega delovanja zaradi gradnje gozdnih prometnic in spravila lesa s težko mehanizacijo. Zato smo v nadaljevanju predstavili priporočila za gozdnogojitvene ukrepe v gozdovih, kjer je ohranjanje režima in kakovosti vodnih virov zaradi vpliva na napajalno območje vodonosnika izredno poudarjeno.

Na območju vodonosnika Ljubljanskega polja so se zaradi intenzivne urbanizacije ohranili le fragmentirani ostanki nižinskih obrežnih in poplavnih gozdov, ki pa so zelo degradirani.



Slika 5.7: Nižinski poplavni gozd v bližini Gameljn (foto: U. Vilhar)

Njihov pomen z vidika ohranjanja režima in kakovosti vodnih virov je predvsem prestrežanje onesnažil iz okoliških kmetijskih površin, prometnic in urbanih površin, ohranjanje temperaturnega režima vodotoka s senčenjem vodne struge ter prostorska rezerva, primerna za zadrževalnike visokih voda. V teh gozdovih so priporočila za gozdnogojitvene ukrepe naslednja (VILHAR / FAJON 2007):

- Vzpostavlja in ohranja naj se pas obvodne vegetacije (drevja in grmičevja), ki lahko omili ali prepreči vnos pesticidov in drugih onesnažil v vodotok.
- Selektivna sečnja v ožjih obrežnih pasovih naj se izvaja predvsem z namenom odstranitve starih in nestabilnih dreves.
- Obnova naj poteka v vrzelih, manjših od 0,1 ha.
- Ob podiranju dreves naj le-ta padajo proč od struge. Ostanke (veje, vrhače) odstranimo iz struge.
- Poškodovane brežine vodotokov utrjujemo z biotehničnimi ukrepi: lesenimi kaštami, vrbovimi ščetkami in popleti, lesenimi oblicami ali gabioni (armirano zemljino). Ukrepi bodo omogočili vzpostavitev naravne obrežne vegetacije.
- Obrežni sestoji vrb in jelše zahtevajo redčenja, obrezovanje enoletnih poganjkov ali panjaste sečnje: vrbe na 20-25 let, jelše na 15-20 let.
- Izogibajmo se visokim koncentracijam pepela in prahu v območjih, kjer bi jih veter ali voda lahko zanesla v vodotoke. Sežiganje sečnih ostankov naj se izvaja pazljivo.

Gradnja in uporaba gozdnih prometnic:

- Gradnja prometnic naj poteka na pobočjih z manjšimi nakloni, upoštevajoč čim manjše razgaljanje tal, vkope in dolžino prometnic. Uporaba težke mehanizacije je na erodibilnih tleh omejena ali prepovedana, v strugah vodotokov prepovedana.
- Gozdne ceste in vlake se gradijo pod strogimi pogoji in standardi gradnje in vzdrževanja, ki so navedeni v Pravilniku o gozdnih prometnicah.
- Vzpostavi naj se režim prometa na gozdnih cestah v dogovoru z občinami, lastniki zemljišč in Zavodom za gozdove Slovenije. Najprimernejša je zapora cest, kadar se gozdna dela ne izvajajo. Tako se lahko cestišče stabilizira in obnovi zaščitni pas vegetacije ob prometnicah.

Priporočila za gozdno mehanizacijo:

- Obvezna uporaba biološko razgradljivih olj za mazanje motornih žag ter v hidravličnih sistemih strojev povsod pri delu v gozdu. S tem bi preprečili nepotrebno onesnaževanje voda in gozdnih tal (KOŠIR 2006).
- Mesta za skladiščenje goriva in olja naj bodo stran od vodotokov in drugih vodnih teles, pripravljen naj bo podroben načrt v primeru razlitja.
- Pranje, vzdrževanje oziroma popraviljanje gozdne mehanizacije se v gozdu ne sme izvajati. Parkirna mesta za gozdno mehanizacijo in pretakalne ploščadi morajo biti tlakovani tako, da so neprepustna za vodo in naftne derivate. Tlakovane površine morajo biti obdane z robniki, meteorne vode z njih pa speljane v kanalizacijo preko ustrezno dimenzioniranih lovilcev olj. Če parkirišče ni tako urejeno, je potrebno pod kritična mesta na vseh vozilih postaviti lovilne posode ali pivnike, ki preprečujejo iztekanje nevarnih tekočin v tla.
- V primeru, da pride do izliva nafte in naftnih derivatov na pretakalni ploščadi ali v gozdu, je potrebno onesnaženje omejiti, razlito nevarne snovi pa se s pomočjo ekološke opreme (pivniki, granulat) poberejo v ustrezne posode.

Vodonosni sistem Ljubljanskega Barja je dobro zaščiten pred negativnimi vplivi s površja, vendar je za onesnaženje občutljivo njegovo napajalno območje. To predstavlja kraško območje Krimsko-Mokrškega hribovja, ki ga večinoma prekriva gozd. Ker se voda v kraškem hidrogeološkem sistemu zadržuje le kratek čas, obstaja za vire vode nevarnost onesnaženja. Dobro ohranjena gozdna tla ter vegetacijska odeja predstavljajo filter, blažilnik oziroma pufer, pretvornik ter zbiralnik za vodo, hranila ter škodljive snovi (KATZENSTEINER 2000). Zaradi nepazljivosti pri sečnji in spravilu lesa v gozdu se v zajetjih v preperem in razpokanem delu kamnin sorazmerno hitro pojavijo olja in drugi naftni derivati. Še posebej nevaren onesnaževalec vode v teh zajetjih so divja odlagališča odpadkov, ki lahko povzročijo dolgotrajno ali pa trajno izgubo vira pitne vode (MENCEJ 1994). Glavni dejavniki, ki ogrožajo kakovost vodnih virov na krasu zaradi gospodarjenja v gozdu, so:

- mineralna olja in drugi naftni derivati (uporaba pri gozdnih delih, avtomobilske ceste, izlitja)
- spiranje nitratov (nekontrolirani posegi v gozdni prostor, krčenje gozdov),
- usedline in sedimenti zaradi erozijskega delovanja (gradnja gozdnih prometnic, spravilo lesa)

Na erozijsko ogroženih območjih je pomen gozda in gozdnih tal z vidika ohranjanja režima in kakovosti vodnih virov predvsem ohranjanje gozdnih tal z močnimi koreninskimi sistemi, prestrezanje čim večje količine padavin, zadrževanje premikajočih se zemeljskih mas. Erozijsko ogrožena območja so predvsem v vzhodnem delu MOL, kjer prevladuje gričevnat in hribovit svet. Gradijo ga nekarbonatne kamnine, slabo vodopropustne, občutljive na vodno erozijo. Zanje je značilen relief z zaobljenimi grebeni, številnimi vodnimi jarki, gladkimi strmimi pobočji, pojavi zemeljskih plazov. V teh gozdovih so priporočila za gozdnogojitvene ukrepe naslednja (VILHAR / FAJON 2007):

- Zagotavljanje stalne pokrovnosti vegetacije in dobra prekoreninjenost tal. Zagotoviti je potrebno trajno prisotnost pomlajevanja, bodisi naravno pomlajevanje ali sadnja.
- Pomlajevanje naj poteka pod zastorom. Vrzeli naj bodo čim manjše, kolikor dopušča uspešnost pomlajevanja.
- Odstranjujemo stara, nestabilna drevesa, saj povečujejo nevarnost proženja zemeljskih plazov.
- V robnem območju jarkov in plazišč (vpliv plazov in hudournikov) trajno ohranjamo in pospešujemo pionirski stadij (vrbe, rušje, siva jelša).
- Zapora vodovoda v soglasju z lokalnimi skupnostmi v obdobju intenzivnih del v gozdu lahko prepreči onesnaženje pitne vode.

Gradnja in uporaba gozdnih prometnic:

- Izogibamo se poškodbam zgornjega ustroja gozdnih cest (npr. vožnja z goseničarji, vlačenje lesa).
- Zapora cest v obdobju večjih in dolgotrajnih padavin prepreči nastajanje kolesnic ter nastajanja potokov v kolesnicah. Hkrati se prepreči zbijanje cestne površine ter sproščanje sedimentov.
- Preventivni ukrep na že zgrajenih gozdnih cestah z velikimi nakloni naj bo betoniranje ali asfaltiranje odsekov cest.
- Rušilna moč vode s ceste naj se umiri v zadrževalnih jarkih, podloženih s skalometom.
- Cestni prepusti naj bodo na vsakih 100-200 m z zajetji za pesek in z vsaj 10 m širokim obcestnim pasom drevja.

Priporočila za gozdno mehanizacijo:

- Na erodibilnih terenih naj se pogosto uporabljene poti in vstopne točke na delovišča utrjujejo s kamenjem, debli in vejami.
- Dela naj potekajo v suhem vremenu, predvsem spomladi in poleti, kar učinkovito zmanjša nevarnost erozije ob vodotokih in zajetjih.

6 PREDLOG SPREMLJANJA STANJA GOZDNIH TAL V MOL

6.1 Monitoring gozdnih tal MOL

6.1.1 Uvod

Obratovalni monitoring tal, prikazan v nadaljevanju, obsega število vzorčnih enot oz. ploskev, statistični model in prostorsko porazdelitev ploskev.

Izmed znakov, ki karakterizirajo lastnosti dveh najpogostejših tipov tal, distričnih in evtričnih rjavih tal, so bili izbrani delež ogljika v mineralnem sloju tal (MC), delež glinenih delcev (Glina), delež dušika (%N) in razmerje med ogljikom in dušikom (C/N), ki označuje hitrost kroženja snovi. Izmed ostalih znakov, je bil v analizi upoštevan še delež nad 25% osutih, torej poškodovanih dreves (%Pdr) (Preglednica 6.1). Za vse znake so značilni razmeroma nizki koeficienti variacije.

Preglednica 6.1.1.1: Vrednosti parametrov (vir: Podatkovna baza za gozda tla 2009, GEKO/GIS in MGGE 2009, NMGK/GIS)

Znak	parameter					
	n	Pvr	SD	min	max	CV%
MC	95	133,86	72,96	40,52	427,38	54
Glina	95	29,28	12,62	5,4	86,2	43
%N	95	0,36	0,23	0,05	0,97	64
C/N	95	20,37	7,70	8,52	46,18	38
%Pdr	9	33,00	22,00			66

Op. n=število vzorčnih enot; Pvr=povprečna vrednost; SD=standardna deviacija; min=minimum; max=maksimum; CV%=koeficient variacije

Statistična moč je bila analizirana brez upoštevanja časovne variacije. V vseh primerih so bili uporabljeni enostranski testi o testiranju hipoteze o sredini (preglednica 6.1.1.1).

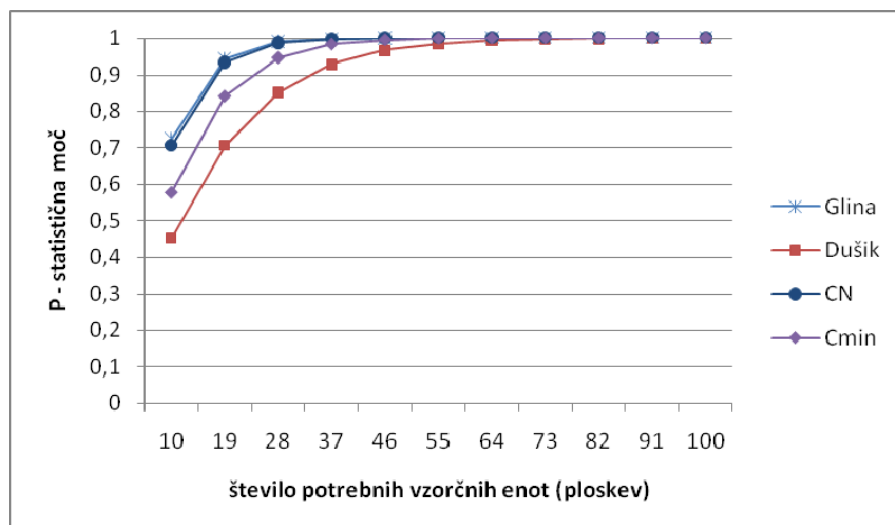
Preglednica 6.1.1.2: Vrste uporabljenih hipotez in vrste testov

	hipoteza	vrsta testa
MC	Ho: Ho \leftrightarrow H1	Testiranje hipoteze o aritmetični sredini
Glina		
%N		
C/N		
%Pdr		

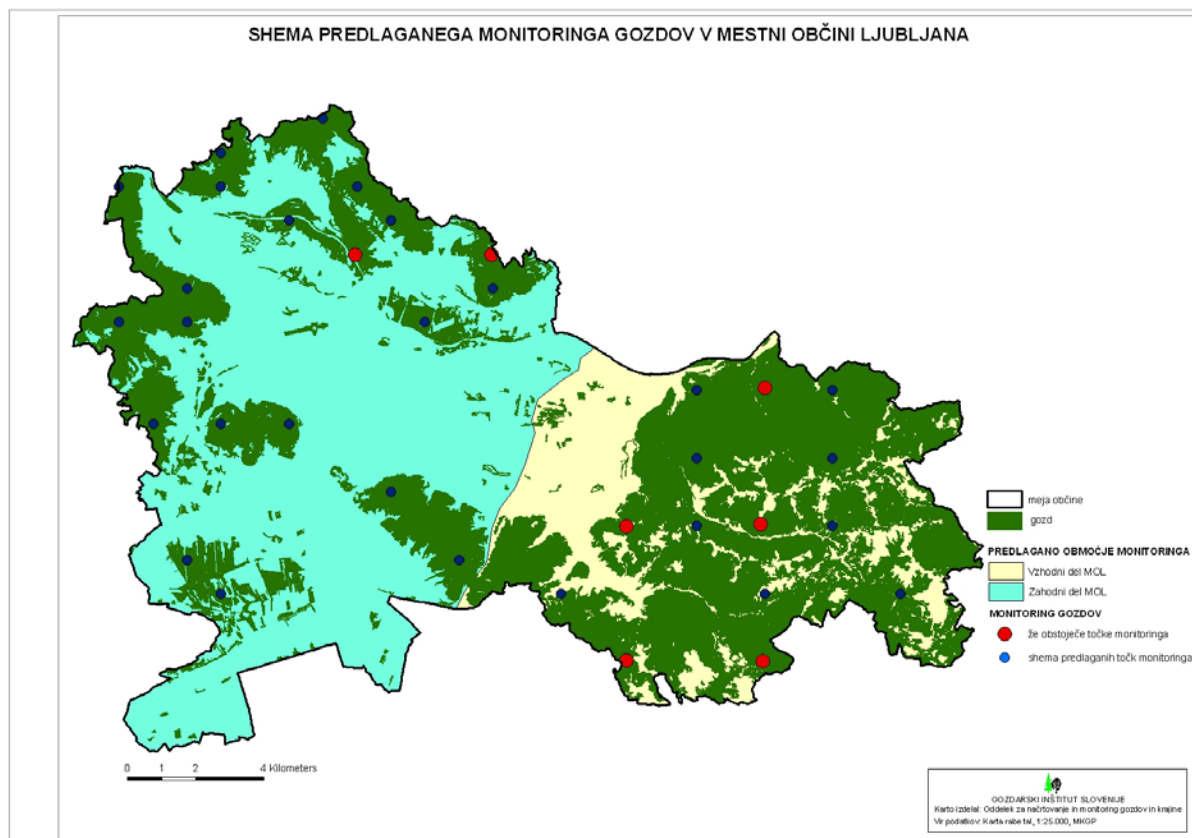
6.1.2 Potrebno število vzorčnih enot (n) oz. ploskev in njihova razporeditev v MOL

Da bi se z obratovalnim monitoringom tal lahko odkrivalo pomembnejše razlike med lastnostmi tal v času, je bila izdelana simulacija, ki predvideva, da bi z monitoringom bilo mogoče zaznavati 30% ali večje razlike med zaporednimi stanji (Slika 6.1). Glede na poznane variacije posameznih znakov je bilo kot najmanjše, še smiselno, število vzorčnih enot (ploskev) določeno število 35. Teh 35 ploskev bi kazalo razporediti v razmerju 60:40% v korist zahodnega dela MOL, v katerem je bistveno več zajetij in virov

Za zaznavanje manjših zaporednih sprememb (npr. 10 ali 20%) in v primeru večje variacije znakov, pa predlagani sistem monitoringa ne bi zadoščal in bi zahteval bistveno večje število ploskev (cca. 150 – 200).



Slika 6.1.2.1: Potrebno število ploskev za zaznavanje 30% sprememb; Ho; Ho \leftrightarrow H1



Slika 6.1.2.2: Shematska razporeditev ploskev v MOL (predlog delitve na Z in V območje)

6.1.3 Vrsta monitoringa in znaki

Izmed več poznanih tipov monitoringov, se kot najbolj smiseln kaže monitoring, ki temelji na stalnih vzorčnih ploskvah. Ta se npr. že uporablja v slovenskem, švicarskem, švedskem, ameriškem in kanadskem gozdarstvu, njegova odlika pa je, da zaradi vezanih (koreliranih) meritev omogoča zanesljivo zaznavanje sprememb v času in prostoru z najmanjšim številom ploskev. Ploskve so običajno krožne oblike, velikosti 5 a in so v prostoru težko razpoznavne zaradi nevidnih označb.

Da bi se lahko spremljalo stanje gozdnih tal, bi bilo smiselno snemati naslednje skupine znakov: rastišče, sestoj, tla, mineralna prehrana rastlin. Posamezni znaki so podrobneje prikazani v preglednici spodaj (Preglednica 6.1.3) in v publikacijah Monitoring gozdov in gozdnih ekosistemov - Priročnik za terensko snemanje podatkov (Kovač et al. 2009) in Navodila za opis talnega profila (Kobal et al. 2006), ki sta sestavna dela tega elaborata.

Za monitoring gozdnih tal potrebujemo tri vrste navodil; za terensko delo se uporabljajo priročniki za opis rastiščnih lastnosti ploskev ter metodologijo izkopa talnega profila in tal po v naprej določenih globinah ter navodila za opis talnih horizontov. Pri opredelitvi talnih enot oz. tipov uporabljamo ustrezno klasifikacijo tal (npr. Atlas gozdnih tal 2005). Za pripravo talnih vzorcev za nadaljnjo obdelavo v analitskih laboratorijih pa potrebujemo primerljive analitske metode (mednarodno ali pa nacionalni standardi), ki natančno določijo analitske postopke. Poleg opisanega pa moramo spoštovati dogovorjene protokole, kot npr. QA / QC za zagotavljanje ustreznosti kakovosti pri vzorčenju, ravnanju z vzorci gozdnih tal, pripravi za analize, ustrezne analitske postopke (gozdna tla vsebujejo namreč več organske snovi kot tla s

kmetijskih površin) in ustrezno kontrolo podatkov/rezultatov ter tok podatkov in njihovo hranjenje.

Preglednica 6.1.3.1: Predlagani znaki za snemanje (indikatorji)

Naziv znaka	Št. znaka v publikaciji	Opombe
združba	19	določitev po šifrantu
tip sestoja	21, 22, 24	določitev po šifrantu
kamnina	13	določitev po šifrantu
gospodarjenje	31	določitev po šifrantu
drevesna vrsta	34	določitev po šifrantu
defoliacija dreves na ploskvah	44	določitev po šifrantu

Poleg naštetih indikatorjev za popis sestojnih razmer je potrebno opisati talne tipe, ki prevladujejo na izbrani ploskvi, skladno s prilagojeno slovensko klasifikacijo tal (Urbančič s sod. 2005, MZK). Priporoča se še opis tal z uporabo WRB klasifikacije (World Reference Basis, 2001). Pedološke profile in vzorce tal se vzorči po talnih profilih in iz vnaprej določenih globin. Za vsako vzorčeno plast ali horizont se odvzame vsaj en reprezentativen združen vzorec ali več posameznih vzorcev. Organski (O in H)* plasti se vzorčita posebej. Pri vzorčenju iz vnaprej določenih globin, se uporabi naslednja delitev plasti:

- 0 - 10 cm (priporoča se ločen vzorec za 0 – 5 cm in za 5 – 10 cm)
- 10 - 20 cm
- 20 - 40 cm
- 40 - 80 cm



Slika 6.1.3.1: Vzorčenje gozdnih tal, leva stran – vzorčenje organskega dela tal, desna stran: vzorčenje talnega profila (GIS 2006, 2009)

Znaki oz. indikatorji za gozdna tla, ki se določijo v vzorcih odvzetih na stalnih vzorčnih ploskvah

Preglednica 6.1.3.1: Pregled kemijskih parametrov tal

Parametri	Organski horizonti	Mineralni horizonti
masa frakcij na ha (tla, korenine, skelet, vlaga)	x	
tekstura		x
pH [0,01M CaCl ₂]	x	x
CNS	x	x
CaCO ₃		x
KIK	x	x
SPF: P po kislinskem razkroju	x	x
K, Ca, Mg, Mn po kislinskem razkroju	x	
Cu, Zn po kislinskem razkroju	x	x
ET AAS: Pb, Cd...	x	x

Analizira se lahko več, vse ali del neobveznih parametrov. Glede na izkušnje in mednarodne zahteve predlagamo uporabo metod vzorčenja, priprave vzorcev in analitskih postopkov in uporabo QA/QC postopka metodologijo ICP Forest:

- a) ICP Forest manual, part IIIa (Annex) Sampling and Analysis of Soil (last update: 2006: [http://www.icp-forests.org/pdf/Chapt_3a_2006\(2\).pdf](http://www.icp-forests.org/pdf/Chapt_3a_2006(2).pdf))
- b) ICP Forest manual, part IIIb Soil Solution Collection and Analysis (last update: 2002 / forms: 2003: <http://www.icp-forests.org/pdf/manual3b.pdf>)

Opisano metodologijo uporabljamo za vzorčenje tal in talne raztopine vse od l. 1994, od l. 2006 pa je del slovenske metodologije določene s Pravilnikom o varstvu gozdov (2006).

V primeru razširjenega monitoringa stanja gozdnih tal in gozda pa predlagamo, da se na istih ploskvah izvaja tudi biomonitoring organskega materiala, t.i. bioindikatorjev. V primeru MOL in gozdnih tal predlagamo za bioindikacijske rastline smreko, oz. bor ali listavce (bukev, hrast). Predlagamo uporabo metodologija po ICP Forest, ki se v Sloveniji uporablja vse od l. 1988:

- c) ICP Forest manual, Sampling and Analysis of Needles and Leaves (last update: 2000 / 2007) <http://www.icp-forests.org/pdf/manual4.pdf>

Metodologija za vzorčenje in analizo foliarnega materiala je del Pravilnika o varstvu gozdov (2006).

6.2 Intenzivno spremljanje stanja gozdnih tal in procesov

Poleg monitoringa tal na mrežah predlagamo, da se na treh izbranih območjih izvajajo poglobljeni monitoringi tal in talne raztopine in depozita; depozit prehaja preko krošenj drevja v gozdna tla, tu pa se odvisno od razmer ali spira v podtalje ali pa zaradi sušnih razmer izhlapeva.

Spremljanje talne raztopine poteka na izbranih trajnih opazovalnih ploskvah, cilji spremljanja pa so:

- določiti in spremljati trende kemizma talne raztopine glede na stresne dejavniki (npr. kisli depozit-usedline v okolici industrijskih središč, kmetijskih površin, cest...)
- spremljati vpliv onesnaženega ozračja na gozd, gozdna tla in stanje vode v tleh (!!).



Slika 6.2.1: Ploskev za intenzivno spremljanje stanja gozdnih tal in gozda na Brdu pri Kranju v okviru mednarodnega programa FutMon Life+ (GIS 2009)

Po analogiji metodologij spremljanja stanja gozdnih tal stalnih vzorčnih ploskvah (poglavje 6.1.3) predlagamo, da se na treh izbranih objektih v gozdu na vodovarstvenih območjih uporabi metodologija po ICP Forest in FutMon Life+:

- a) ICP Forest manual, part IIIa (Annex) Sampling and Analysis of Soil (last update: 2006: [http://www.icp-forests.org/pdf/Chapt_3a_2006\(2\).pdf](http://www.icp-forests.org/pdf/Chapt_3a_2006(2).pdf))
- b) ICP Forest manual, part IIIb Soil Solution Collection and Analysis (last update: 2002 / forms: 2003: <http://www.icp-forests.org/pdf/manual3b.pdf>)
- c) ICP Forest manual, Sampling and Analysis of Needles and Leaves (last update: 2000 / 2007) <http://www.icp-forests.org/pdf/manual4.pdf> in ICP Forest manual za spremljanje depozitov in meteoroloških parametrov.

Opisano metodologijo uporabljamo za vzorčenje tal in talne raztopine vse od l. 1994, od l. 2006 pa je del slovenske metodologije določene s Pravilnikom o varstvu gozdov (2006). Za mesto loacij predlagamo, da se ena izmed intenzivnih ploskev v neposredni bližini mesta

Ljubljane, t.j. na Rožniku. Takšen objekt bi imel poleg informativne vrednosti glede stanja gozdnih tal in gozda (intenzivni vpliv emisij mesta, prisotna erozija in zbitost tal zaradi intenzivne rekreacije. etc.) lahko tudi izobraževalno vlogo za prebivalce mesta kot tudi za študente biotehniških ved.

Predlog objekta na Rožniku:

- bližina Centra Ljubljane in visoka obremenitev z onesnažili
- visoka potencialna erodibilnost tal
- gozdovi s posebnim namenom – rekreacijska funkcija

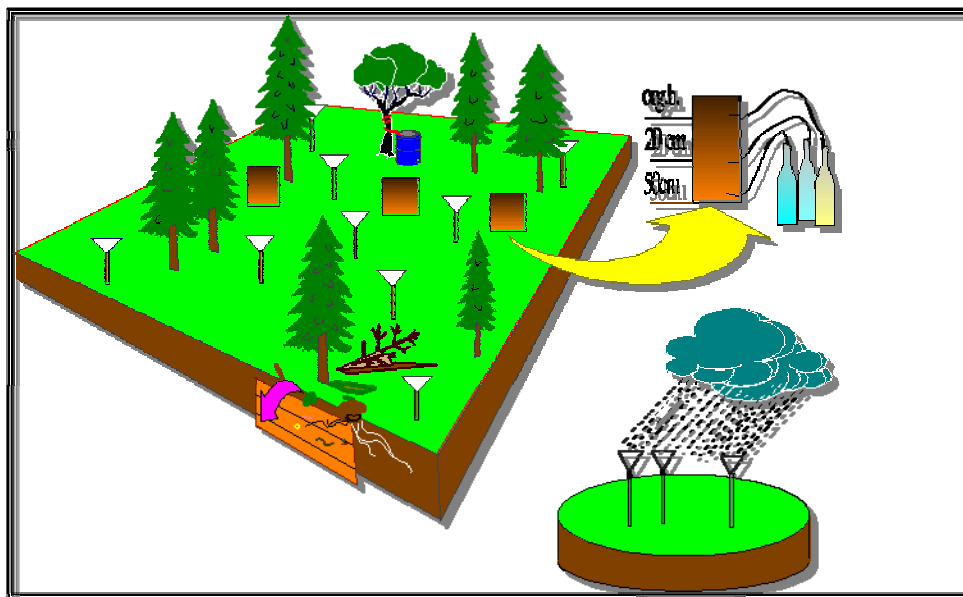
Za druga dva objekta predlagamo, da se poišče primerni lokaciji na območju savskih nanosov oz. da se poišče morebitne že obstoječe trajne raziskovalne objekte v vodovarstvenem pasu z daljšimi časovnimi nizi snemanj stanja okolja, gozdnega ekosistema (nižinski poplavni gozdovi) etc. Za tretjo lokacijo predlagamo vzhodno območje MOL, znotraj vodovarstvenih območij.

Lokacije stalnih raziskovalnih ploskev so predlagane na podlagi ugotovljenih »vročih točk« Savski prod:

- pomemben vodonosnik za vire vode na Ljubljanskem
- najožje (VVO I) in ožje vodovarstveno območje (VVO II)
- visoka potencialna erodibilnost tal
- gozdovi s poudarjeno prvo in drugo stopnjo hidrološke funkcije
- gozdovi s poudarjeno drugo stopnjo varovalne funkcije območje Nature2000.

Zasavsko hribovje (vzhodno območje MOL):

- vplivno območje Termoelektrarne Toplarne Ljubljana (TE-TOL), ki je največja soproizvajalka toplotne in električne energije v Sloveniji
- emisije iz območja mesta Ljubljane
- pomembni vodonosniki manjše izdatnosti za lokalne vodne vire
- visoka potencialna erodibilnost gozdnih tal
- visoka ranljivost gozdnih tal



Slika 6.2.2: Shematični prikaz raziskovalne ploskve »Intenzivnega spremljanja stanja gozdnih ekosistemov« (Simončič s sod. 2000)

Leta 2006 je bil v nalogi »Rekreacijska vloga gozda v katastrski občini Zgornja Šiška« (VERLIČ 2006) z GPS napravo poskusno posneta gostota poti, ki na pretežnem delu niso širše kot 40 cm (mnoge ožje stezice niso vštete!). Izračunana gostota je kar 330 m/ha! Poškodbe tal (zbitost, erozija, poškodbe podrasti ter korenin), ki jih rekreacija v tem delu povzroča, so znatne. Metoda je hitra in ugodna ter primerna za prikaz obremenjenosti gozdnih tal zaradi rekreacijske vloge urbanih gozdov.



Slika 6.2.3: Mreža poti obravnavanega območja, prikazana s programom Google EarthMap (SVz ekspozicija Šišenskega hriba (pogled proti Šiški; Verlič 2006)

Kot četrto območje kjer predlagamo izvajanje intenzivnega monitoringa gozdnih tal pa je še posebej tudi kot t.i. »hot spot« območje za spremljanje emisij TGP / CO₂ zanimivo Ljubljansko Barje:

- alternativni viri vode za MOL
- območje Nature2000
- Krajinski park Ljubljansko Barje

6.3 Dodatni predlogi in osveščanje javnosti o vlogi in pomeni ohranjenosti gozdnih tal, tal ter gozdov/gozdnih ekosistemov

Kot dodatne naloge v povezavi s spremljanjem gozdnih tal v MOL predlagamo redno popisovanje divjih odlagališč in drugih nelegalnih posegov v gozdovih.

Poleg spremljana gozdnih tal predlagamo (variantno) spremljanje vsebnosti kovin v gozdnih sadežih, glivah in v listju oz. iglicah drevja (natančen opis v poglavju 6.1.3).

Kot sestavni del spremljanja stanja gozdnih tal in gozda v MOL je tudi ozaveščanje javnosti in lastnikov gozdov.

7 REFERENCE / VIRI

- ArcGIS Desktop 9.3, 2008. ESRI GIS and Mapping Software. Redland.
- ArcView GIS 3.2, 2008. ESRI GIS and Mapping Software. Redland.
- ARSO – Agencija RS za okolje, 2003. Ranljivost slovenskega kmetijstva in gozdarstva na podnebno spremenljivost in ocena predvidenega vpliva. 146 s.
- ARSO – Agencija RS za okolje, 2005. Podnebne karte povprečnih mesečnih in letnih temperatur 1971-2000.
- ARSO – Agencija RS za okolje, 2006a. Podnebne karte povprečnih mesečnih in letnih padavin 1971-2000.
- ARSO – Agencija RS za okolje, 2006b. Podnebne karte povprečnih mesečnih in letnih evapotranspiracij 1971-2000.
- ASKEEV, O.V. / TISCHIN, D. / SPARKS T.H. / ASKEEV, I.V., 2005. The effect of climate on the phenology, acorn crop and radial increment of pedunculate oak (*Quercus robur*) in the middle Volga region, Tatarstan, Russia.- *Int. J. Biometeorol.* 49: 262-266.
- BERGANT, K., 2003. Projekcije simulacij globalne klime na lokalni nivo in njihova uporaba v agrometeorologiji.- doktorska disertacija, Ljubljana.
- BERGANT, K., 2007. Projekcije podnebnih sprememb za Slovenijo.- In: JURC, M., (ed.), Podnebne spremembe – Vpliv na gozd in gozdarstvo. Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive vire, Ljubljana, Strokovna in znanstvena dela 130: 67-86.
- BINKLEY, D., MACDONALD, L.H. 1994. Forests as non-point sources of pollution, and effectiveness of Best Management Practices. New York, National Council for Air and Stream Improvement. s. 57.
- CHANG, M. 2003. Forest hydrology: an introduction to water and forests, CRC Press LLC. s. 392.
- CIMPERŠEK, M., 2004. Prilagajanje gozdov podnebnim spremembam.- *Gozdarski vestnik*, 62, s. 169-178.
- CPVO – Center za pedologijo in varstvo okolja, 1999. Digitalna pedološka karta Slovenije 1:25000
- Critical load, dynamic modelling and impact assessment in Europe, CCE status report 2008 (<http://www.mnp.nl/en/themasites/cce/publications/cce-status-report-2008/index.html>)
- CROKE, J., HAIRSINE, P., FOGARTY, P. 2001. Soil recovery from track construction and harvesting changes in surface infiltration, erosion and delivery rates with time. *Forest Ecology and Management* 143. s. 3-12.
- Digitalni ortofoto posnetki (DOF5). 2006. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana.
- DMV 25 (DIGITALNI MODEL VIŠIN)-DMV12.5. 2009. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana.
- EASTMAN – Guide to GIS and Image Processing. 2006. Idrisi Andes. Clark Labs. Worcester. 327 p.
- ELER, K., KOBAL, M., URBANČIČ, M., KUTNAR, L., SIMONČIČ, P., BATIČ, F.. *First experience of critical loads calculation and dynamic modelling in Slovenia*. [S. l.: s. n., 2008]. 1 plakat, barve.
- EPA 2009. Drinking Water & Ground Water. <http://www.epa.gov/safewater/index.html>
- FAJON Š. 2007. Voda in urbani prostor : seminarska naloga :[podiplomski študij Varstva naravne dediščine]: Ljubljana. str. 4.
- FAJON Š. et al. 2008. Model za vrednotenje hidrološke vloge gozda. V: Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007-2008 / ur. Drago Perko et al.]. Ljubljana : Založba ZRC. Str. 207-218.

- FAJON, Š., FERREIRA, A., JAPELJ, A., URBANČIČ, M. 2008. Model za vrednotenje hidrološke vloge gozda V: Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007-2008 / ur. Drago Perko. Ljubljana: Založba ZRC, str. 207-218.
- FREHNER, M., WASSER, B., SCHWITTER, R. 2005. Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemaßnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). s.
- GILBERT O.L. 1991. The ecology of urban habitats. Chapman&Hall. London. str. 337.
- GOLOB, A. 2003. Gozdnogospodarski načrti in ohranjanje biotske pestrosti gozdov v luči pravnega reda Evropske Unije. http://www.natura2000.gov.si/uploads/tx_library/priloga4.pdf
- Gozdovi na območju MOL. 2007. Podatkovna baza Zavoda za gozdove Slovenije. Ljubljana.
- Hidrogeološka karta, Hidrogeografska območja, Kategorizacija vodotokov, Izviri, Vodovarstvena območja. 2006. Agencija republike Slovenije za okolje, Ministrstvo za okolje in prostor
- ICP Forest manual, part IIIa (Annex) Sampling and Analysis of Soil (last update: 2006: [http://www.icp-forests.org/pdf/Chapt_3a_2006\(2\).pdf](http://www.icp-forests.org/pdf/Chapt_3a_2006(2).pdf))
- ICP Forest manual, part IIIb Soil Solution Collection and Analysis (last update: 2002 / forms: 2003: <http://www.icp-forests.org/pdf/manual3b.pdf>)
- ICP Forest manual, Sampling and Analysis of Needles and Leaves (last update: 2000 / 2007) <http://www.icp-forests.org/pdf/manual4.pdf>
- IPCC, 2001. Climate Change 2001: impacts, adaptation and vulnerability.- In: McCARTHY, J. J. / CANZIANI, O. F. / LEARY, N. A. / DOKKEN, D. J. / WHITE, K. S., (eds.), Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007: impacts, adaptation and vulnerability.- In: PARRY, M. L. / CANZIANI, O. F. / PALUTIKOF, J. P. / VAN DER LINDEN, P. J. / HANSON, C. E., (eds.), Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- JURC, M. (ur.), 2007b. Podnebne spremembe : vpliv na gozd in gozdarstvo. Studia forestalia Slovenica, št. 130. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire.
- KAJFEŽ-BOGATAJ, L. 2001. Klimatske spremembe in njihove posledice - dejstva in predvidevanja.- Gozdarski vestnik, 59, s. 203-208.
- Karta rabe tal 1:25.000. 2005. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, Ljubljana.
- Kategorije gozdov. 2007. Podatkovna baza Zavoda za gozdove Slovenije. Ljubljana.
- KATZENSTEINER, K. 2000. Wasser- und Stoffhaushalt von Waldecosystemen in den noerdlichen Kalkalpen. Wien, Universitaet fuer Bodenkultur. s. 159.
- KELLOMÄKI, S. / LEINONEN, S., (eds.), 2005. Management of European Forests under Changing Climatic Conditions. Final Report of the Project Silvistrat.- University of Joensuu, Research Notes 163, Joensuu, Finland.
- KIMMINS, J.P. 1997. Forest Ecology: A Foundation for Sustainable Management. Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall. s. 596.
- KOBAL M. et al. 2006. Navodila za opis talnega profila. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 40 str.
- KOBAL, M., ELER, K., URBANČIČ, M., ZUPAN, M., MIHELIČ, R., SIMONČIČ, P.. Organic carbon content of forest and agricultural soils in Slovenia. V: BLUM, Winfried E. H. (ur.), GERZABEK, Martin H. (ur.), VODRAZKA, Manfred (ur.). *Eurosoil 2008 : University of Natural Resources and Applied Life Sciences (BOKU)*,

Vienna, Austria, August 2008-08-04 : book of abstracts. Vienna: University of Natural Resources and Applied Life Sciences, 2008, str. 13

- KOŠIR, P. 2006. Gozdnogospodarski vidiki ohranjanja voda visokega krasa na primeru GE Draga. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: 173 s.
- KOŠIR, Ž. / ZORN-POGORELC, M. / KALAN, J. / MARINČEK, L. / SMOLE, I. / ČAMPA, L. / ŠOLAR, M. / ANKO, B. / ACCETTO, M. / ROBIČ, D. / TOMAN, V. / ŽGAJNAR, L. / TORELLI, N., 1974. Gozdnovegetacijska karta Slovenije, M 1:100.000.- Biro za gozdarsko načrtovanje, Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana
- KOŠIR, Ž. / ZORN-POGORELC, M. / KALAN, J. / MARINČEK, L. / SMOLE, I. / ČAMPA, L. / ŠOLAR, M. / ANKO, B. / ACCETTO, M. / ROBIČ, D. / TOMAN, V. / ŽGAJNAR, L. / TORELLI, N. / TAVČAR, I. / KUTNAR, L. / KRALJ, A., 2003. Gozdnovegetacijska karta Slovenije, digitalna verzija.- Biro za gozdarsko načrtovanje, Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana
- KOŠIR, Ž. / ZORN-POGORELC, M. / KALAN, J. / MARINČEK, L. / SMOLE, I. / ČAMPA, L. / ŠOLAR, M. / ANKO, B. / ACCETTO, M. / ROBIČ, D. / TOMAN, V. / ŽGAJNAR, L. / TORELLI, N., 1974. Gozdnovegetacijska karta Slovenije, M 1:100.000.- Biro za gozdarsko načrtovanje, Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana.
- KOŠIR, Ž. / ZORN-POGORELC, M. / KALAN, J. / MARINČEK, L. / SMOLE, I. / ČAMPA, L. / ŠOLAR, M. / ANKO, B. / ACCETTO, M. / ROBIČ, D. / TOMAN, V. / ŽGAJNAR, L. / TORELLI, N. / TAVČAR, I. / KUTNAR, L. / KRALJ, A., 2003. Gozdnovegetacijska karta Slovenije, digitalna verzija.- Biro za gozdarsko načrtovanje, Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana.
- KOVAČ M. et al. 2009. Monitoring gozdov in gozdnih ekosistemov - priročnik za terensko snemanje podatkov. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 106 str.
- KRAJNC, N., PIŠKUR, M., SIMONČIČ, P., KUŠAR, G., KOBLER, A., LULUCF (CRF sector 5). V: MEKINDA MAJARON, Tajda, LOGAR, Martina, VERBIČ, Jože, KRAJNC, Nike, PIŠKUR, Mitja, SIMONČIČ, Primož, KUŠAR, Gal, KOBLER, Andrej. *Slovenia's national inventory report 2008*. Ljubljana: Environmental agency of the Republic of Slovenia, 2008, str. 147-171.
http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/4303.php.
- KRALJ, Tomaž. Primerjava sistemov za razvrščanje tal na izbranih tleh v Sloveniji : doktorska disertacija = Comparison of soil classification systems on selected Slovenian soils : doctoral dissertation. Ljubljana: [T. Kralj], 2008. XXI, 151 f. , [238] f. pril., ilustr., preglednice.
- KUTNAR L. / KOBLER, A., 2007. Potencialni vpliv podnebnih sprememb na gozdno vegetacijo v Sloveniji.- In: JURC, M., (ur.), Podnebne spremembe – Vpliv na gozd in gozdarstvo. Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive vire, Ljubljana, Strokovna in znanstvena dela 130: 289-304.
- KUTNAR L. / KOBLER, A., 2009. Vpliv podnebnih sprememb na pričakovano prostorsko prerezporeditev tipov gozdne vegetacije.- Zbornik gozdarstva in lesarstva, v tisku
- Mapping Manual 2004 – Manual on methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads and levels and air pollution effects, risks and trends, UNECE CLRTAP (<http://icpmapping.org/cms/zeigeBereich/5/manual-und-downloads.html>)
- MARACCHI, G. / SIROTENKO, O. / BINDI, M., 2005. Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the temperate regions: Europe.- *Climatic Change* 70: 117-135.

- MARINČEK, L. / ČARNI, A. / JARNJAK, M. / KOŠIR, P. / MARINŠEK, A. / ŠILC, U. / ZELNIK, I., 2006. Vegetacijska karta gozdnih združb: Ljubljana, M 1:50.000.- Založba ZRC, ZRC SAZU, Biološki inštitut Jovana Hadžija, Ljubljana, 131 s.
- MARINČEK, L. / ČARNI, A. / KOŠIR, P. / MARINŠEK, A. / ŠILC, U. / ZELNIK, I., 2006. Komentar k vegetacijski karti gozdnih združb Slovenije v merilu 1:50.000 – list Ljubljana.- Založba ZRC, ZRC SAZU, Biološki inštitut Jovana Hadžija, Ljubljana, 131 s.
- MARINČEK, L. / ČARNI, A. / SELIŠKAR, A. / ZUPANČIČ, M., 2002. Vegetacijska karta gozdnih združb Slovenije, M 1:400.000.- ZRC SAZU, Biološki inštitut Jovana Hadžija, Ljubljana.
- MARINČEK, L. / ČARNI, A., 2002. Komentar k vegetacijski karti gozdnih združb Slovenije v merilu 1:400.000.- Založba ZRC, ZRC SAZU, Biološki inštitut Jovana Hadžija, Ljubljana, 158 s.
- MENCEJ, Z. 1994. Zajetja in vodni viri manjše izdatnosti - pomemben vir pitne vode. Gozd in voda: zbornik republiškega seminarja, Poljče, 11.-13. oktober 1994, Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo. 257 s.
- MGGE 2009 - Monitoring gozdov in gozdnih ekosistemov 2009. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije (interno gradivo).
- MIKOŠ, M. 2007. Problemi in perspektive upravljanja z vodami v Sloveniji z vidika varstva pred poplavami in plazovi. Varstvo pred poplavami in plazovi v Sloveniji Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 6 s.
- NATEK, K. 2008. Ko prihrumi voda ... : poplave v Sloveniji. Gea 18. s. 12-19.
- Natura 2000. 2009. ARSO. Ljubljana.
- OGÉE, J., BRUNET, Y. 2002. A forest floor model for heat and moisture including a litter layer. Journal of Hydrology 255. 1-4: s. 212-233.
- OGRIS, N. / JURC, M. / JURC, D., 2008. Varstvo bukovih gozdov - danes in jutri.- V: BONČINA, A. (ur.). Bukovi gozdovi-ekologija in gospodarjenje: zbornik razširjenih povzetkov predavanj. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, s. 36-39.
- OGRIS, N. / JURC, M., 2007. Potencialne spremembe v razširjenosti samoniklih vrst javorov (*Acer pseudoplatanus*, *A. compestre*, *A. platanooides*, *A. obtusatum*) zaradi podnebnih sprememb v Sloveniji.- V: JURC, M. (ur.). Podnebne spremembe : vpliv na gozd in gozdarstvo, Studia forestalia Slovenica, št. 130. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, s. 317-334.
- Pedološka karta 1:25.000. 2009. Center za pedologijo in varstvo okolja BF, Ljubljana.
- Podatkovna baza za gozdna tla 2009. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije (interno gradivo).
- Pravilnik o gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtih, 1998. ULRS, št. 5/1998
- PRYBOLOTNA, N. 2006. Content of the sediment in runoff in the small Beskid's watershed. Assessing of soil and water conditions in forests. A. Boczon. Warsaw, Forest Research Institute, Center for Excellence PROFOREST for Protection of Forest Resources in Central Europe: 141-145 s.
- RUIZ-JAEN M.C., Aide T.M. 2006. An integrated approach for measuring urban forest restoration success. Urban Forestry & Urban Greening: 55–68.
- SHAVER, G. R. / CANADELL, J. / CHAPIN III, F. S. / GUREVITCH, J. / HARTE, J. / HENRY, G. / INESON, P. / JONASSON, S. / MELLILO, J. / PITELKA L. / RUSTAD, L., 2000. Global warming and terrestrial ecosystems: a conceptual framework for analysis.- Bioscience 50: 871- 882.
- SHORTLE, W.C. / SMITH, K.T., 1988. Aluminum-Induced Calcium Deficiency Syndrome in Declining Red Spruce. Science, 240, s. 1017– 1018.

- SIMONČIČ, Primož, SMOLEJ, Igor, RUPEL, Matej, URBANČIČ, Mihej, KALAN, Polona, KRAIGHER, Hojka. Kroženje hranil in pestrost ektomikorize v smrekovem gozdu na Pokljuki V: DIACI, Jurij (ur.). *Gorski gozd : zbornik referatov*. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 1998, str. 207-221, ilustr.
- SIMONČIČ, Primož, KALAN, Polona, RUPEL, Matej. Kroženje hranil in biomase na raziskovalnih ploskvah = Cycling of nutrients and biomass on the research plots. V: KRAIGHER, Hojka (ur.), SMOLEJ, Igor (ur.). *Rizosfera : raziskave gozdnih tal in rizosfere ter njihov vpliv na nekatere fiziološke parametre gozdnega drevja v izbranih gozdnih ekosistemih, sestojnih tipih in razvojnih fazah gozda* (Strokovna in znanstvena dela, 118). Ljubljana: Gozdarski inštitut Slovenije, 2000, str. 90-102.
- SIMONČIČ, P. / KOBLER, A. / KRAJNC, N. / MEDVED, M. / TORELLI, N. / ROBEK, R., 2001. Podnebne spremembe in slovenski gozdovi.- Gozdarski vestnik, 59, s. 184-202.
- SIMONČIČ, P. 2001. Soil solution quality and soil characteristics with regard to clear cutting. Glas. Šum. Pokuse 38. s. 159-166.
- SIMONČIČ, P., KOBAL, M., URBANČIČ, M., KUTNAR, L., BATIČ, F., ELER, K.. Slovenia. V: HETTELINGH, J-P. (ur.). *Critical load, dynamic modelling and impact assessment in Europe : CCE status report 2008*. [S. 1.]: Coordination Centre for Effects (CCE), 2008, str. 181-194, ilustr.
- ŠIFRER, M. 1983. Vzroki in učinki rečnih poplav na Slovenskem. Naravne nesreče v Sloveniji kot naša ogroženost, Ljubljana, Geografski inštitut A. Melika ZRC SAZU. 41-49 s.
- TARMAN, K. 1992. Osnove ekologije in ekologija živali. Dražvna založba Slovenije, Ljubljana: 547 str.
- ULRICH, B., 1983. Stabilität von Waldökosystemen unter dem Einfluss des "sauren Regens". Allgem. Forst Zeitschr., s. 670-677.
- Urbanc J., Prestor J., Janža M., Rikanovič R., Strojjan M., Praprotnik B., Železnik B., Žlebni L. 2001. Hidrogeološke raziskave izvirov na območju Ljubljanskega polja in Barja za določitev razpoložljivih in obnovljivih vodnih virov mesta Ljubljane. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije: 27 str. (DIGITALIZIRANO).
- URBANC, J., PRESTOR, J., JANŽA, M., RIKANOVIC, R., STROJAN, M., PRAPROTNIK, B., ŽELEZNIK, B., ŽLEBNIK, L. 2001. Hidrogeološke raziskave izvirov na območju Ljubljanskega polja in Barja za določitev razpoložljivih in obnovljivih vodnih virov mesta Ljubljane. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije s. 27.
- URBANČIČ, M. / SIMONČIČ, P. / PRUS, T. / KUTNAR, L., 2005. Atlas gozdnih tal Slovenije. Ljubljana: Zveza gozdarskih društev Slovenije: Gozdarski vestnik: Gozdarski inštitut Slovenije, 2005. 100 s., ilustr., http://petelin.gozdis.si/impisi/publikacije/atlas_tal.pdf
- URBANČIČ, M., SIMONČIČ, P., KUTNAR, L., PRUS, T. 2005. Atlas gozdnih tal Slovenije V: Gozdarski vestnik (zbirka).
- Uredba o varovalnih gozdovih in gozdovih s posebnim namenom. Ur.l. RS št. 88/2005, 56/2007.
- Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnika Ljubljanskega polja, 2004. ULRS 120/2004
- Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov Ljubljanskega Barja in okolice Ljubljane, 2007. ULRS 115/2007
- VENY, E.S. 1986. Forest Harvesting and Water: The Lake States Experience. Water Resources Bulletin 22. 6: s. 1039-1047.
- VERLIČ, Andrej. *Rekreacijska vloga gozda v katastrski občini Zgornja Šiška : diplomsko delo - univerzitetni študij = The recreational role of the forest in cadastral*

- municipality of Zgornja Šiška : graduation thesis - university studies. Ljubljana: [A. Verlič], 2006. VIII, 71 str., ilustr.*
- VILHAR, U., FAJON, Š. 2007. Vpliv gozda in gozdnogojitvenih ukrepov na hidrološki režim vodozbirnega območja. Gozd in voda: rezultati projekta [Interreg III A]. M. Kovač. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Zavod za gozdove Slovenije: 16-21 s.
- VILHAR, U., ED. 2009. Vpliv gospodarjenja na vodno bilanco jelovo-bukovih gozdov Dinarskega krasa / Influence of management on water balance of the silver fir-beech forests in the dinaric karst. Studia forestalia Slovenica 133. Ljubljana Gozdarski inštitut Slovenije. s. 122.
- VIŽINTIN, G., SOUVENT, P., VESELIČ, M., ČENCUR CURK, B. 2009. Determination of urban groundwater pollution in alluvial aquifer using linked process models considering urban water cycle. Journal of Hydrology 377. 3-4: s. 261-273.
- VON BURGER, H. 1954a. Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewaesser. II. Mitteilung. Der Wasserhaushalt im Sperbel- und Rappengraben von 1915/16 bis 1926/27. Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt fuer forstliche Versuchswesen XVIII. 2: s. 311-416.
- VON BURGER, H. 1954b. Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewaesser. V. Mitteilung. Der Wasserhaushalt im Sperbel- und Rappengraben von 1942/1943 bis 1951/52. Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt fuer forstliche Versuchswesen XXXI. 1: s. 9-58.
- WULLSCHLEGER, E. 1982. Die Erfassung der Waldfunktionen. Berichte. Eidgenössische Anstalt für forstliche Versuchswesen, Birmensdorf. 79 p.
- Zakon o gozdovih, 1994. URLS 323-01/89-1/24
- Zakon o gozdovih. Ur.l. RS št. 30/1993, 67/2002, 110/2007.
- ZORN, M., 1975. Gozdnovegetacijska karta Slovenije.- Opis gozdnih združb. Biro za gozdarsko načrtovanje, Ljubljana.