

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Tomaž VERNIK

**SPREMLJANJE VSEBNOSTI ORGANSKE SNOVI V
KMETIJSKIH TLEH V SLOVENIJI**

MAGISTRSKO DELO

Ljubljana, 2014

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Tomaž VERNIK

**SPREMLJANJE VSEBNOSTI ORGANSKE SNOVI V KMETIJSKIH
TLEH V SLOVENIJI**

MAGISTRSKO DELO

**MONITORING OF SOIL ORGANIC MATTER IN AGRICULTURAL
SOIL OF SLOVENIA**

M. SC. THESIS

Ljubljana, 2014

Na podlagi Statuta Univerze v Ljubljani ter po sklepu Senata Biotehniške fakultete z dne 27.02.2012 je bilo potrjeno, da kandidat izpolnjuje pogoje za **magistrski Univerzitetni podiplomski študij Varstvo okolja ter opravljanje magisterija znanosti**. Za mentorja je bila imenovana izr. Prof. dr. Helena Grčman iz Biotehniške fakultete in za somentorja doc. dr. Borut Vrščaj s Kmetijskega inštituta Slovenije.

Pri izdelavi naloge so sodelovali: Kmetijski Inštitut Slovenije (KIS), Oddelek za kmetijsko ekologijo in naravne vire, Biotehniška fakulteta, Infrastrukturni center za pedologijo in varstvo okolja (ICPVO). Del študija je bil v okviru bilateralnega dogovora opravljen na Cranfield University, National soils resources Institute (NSRI), Bedfordshire, v Veliki Britaniji v okviru magistrskega študija »MSc Environmental management – Ecological conservation«.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Franc LOBNIK
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta

Član: izr. prof. dr. Helena GRČMAN
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta

Član: doc. dr. Borut VRŠČAJ
Kmetijski inštitut Slovenije

Član: dr. Primož SIMONČIČ
Gozdarski inštitut Slovenije

Datum zagovora: 16. julij 2014

Diplomsko delo je rezultat lastnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svojega diplomskega dela na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je delo, ki sem ga oddal v elektronski obliki, identično tiskani verziji.

Tomaž Vernik

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Md
DK	UDK 631.42/.45(043.3)
KG	tla / organska snov / vsebnost ogljika / monitoring / nacionalni program spremljanja
AV	VERNIK, Tomaž, univ. dipl. inž. agr., MSc
SA	GRČMAN, Helena (mentor) / VRŠČAJ, Borut (somentor))
KZ	SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Univerzitetni podiplomski študij Varstva okolja
LI	2014
IN	SPREMLJANJE VSEBNOSTI ORGANSKE SNOVI V KMETIJSKIH TLEH V SLOVENIJI
TD	Magistrsko delo
OP	XI, 64 [7] str., 4 pregl., 24 sl., 2 pril. 87 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Pregledali smo sisteme zajema podatkov tal, ki namensko ali posredno zagotavljajo podatke o vsebnosti talne organske snovi (TOS). Zbrali in opisali smo nacionalne sisteme Avstrije, Nemčije, Poljske, Velike Britanije in ZDA. Ločeno smo naredili pregled obstoječih sistemov monitoringa gozdnih tal, KRT in ROTS v Sloveniji ter glede na informacije o rabi in razpoložljivost podatkov statistično primerjali tri sisteme znotraj štirih testnih območji. Pregledali in opisali smo glavne usmeritve ter priporočila EU, pregledali znanstvene objave s področja organiziranega monitoringa tal ter vključili rezultate nekaterih nacionalnih in mednarodnih projektov. V primeru Poljske, Velike Britanije in ZDA smo uporabili tudi osebne izkušnje izvajalcev posameznih shem ter upoštevali njihova priporočila. Ugotovili in potrdili smo domnevo, da v Sloveniji obstajajo velike razlike v metodologijah posameznih sistemov spremljanja talnih parametrov. V kontekstu smernic ter dobrih praks iz tujine smo podali sklep, da so obstoječi sistemi v Sloveniji za potrebe spremljanja vsebnosti TOS neprimerni in da Slovenija potrebuje enoten monitoring kmetijskih tal. Izpostavili so tudi dobre prakse iz tujine ter jih na podlagi primernosti za Slovenijo tudi komentirali. Kot rezultat smo podali priporočila za vzpostavitev monitoringa TOS v kmetijskih tleh Slovenije. Opredelili smo prostorsko zasnovo monitoringa, razporeditev podvzorčnih mest, priporočili globine vzorčenja in protokol popisa na lokaciji ter podali protokol vzorčenja ter nabor analiz in analitskih standardov.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Md

DC UDC 631.42/.45(043.3)

CX soil / organic matter / carbon content / monitoring / national scheme

AU VERNIK, Tomaž

AA GRČMAN, Helena (supervisor) / VRŠČAJ, Borut (co-supervisor)

PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101

PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, University Postgraduate Study Programme in Environmental Protection

PY 2014

TY MONITORING OF SOIL ORGANIC MATTER IN AGRICULTURAL SOIL OF SLOVENIA

DT M. Sc. Thesis

NO XI, 64 [7] p., 4 tab., 24 fig., 2 ann., 87 ref.

LA sl

Al sl/en

AB Study reviewed the existing soil monitoring systems which focus or indirectly provide soil organic matter content (SOM) data. According to the accessible information and publications national systems of Austria, Germany, Poland, Great Britain and the USA were selected and described. Additionally the existing systems in Slovenia were reviewed and according to land use information and accessibility of data three were statistically compared within four test areas. EU guidelines and scientific publications on topic of organised soil monitoring were reviewed and results of several national and international projects acknowledged. Study also included personal experience and recommendations of the involved in the schemes in Poland, Great Britain and USA. Study concludes and confirms the hypothesis of large discrepancies in methodology of soil monitoring systems in Slovenia. In context best practice guidelines, study suggests that the existing soil monitoring systems in Slovenia are inappropriate for SOM monitoring and that Slovenia needs an organised national scheme for agricultural soils. Through the analysis of foreign systems, we highlighted good practice examples and their suitability for Slovenia. As a result study gives recommendations for the establishment of TOS monitoring in agricultural soils of Slovenia. It defines spatial design, distribution of sub-sampling points, sampling depths, site description and gives a strict sampling protocol and mandatory set of analysis and analytical standards.

KAZALO VSEBINE

	KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
	KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
	KAZALO VSEBINE	V
	KAZALO PREGLEDNIC	VII
	KAZALO SLIK	VIII
	OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	IX
1	UVOD	1
1.1	NAMEN IN CILJI NALOGE	2
2	PREGLED OBJAV	3
2.1	TALNA ORGANSKA SNOV (TOS)	3
2.2	TOS, TALNI ORGANSKI OGLJIK IN HUMUS	4
2.2.1	Mehanizmi, ki vplivajo na ravnotežje TOS v tleh	5
2.3	SPREMLJANJE VSEBNOSTI TOS	7
2.4	METODE MERJENJA TOS	7
3	MATERIAL IN METODE	10
4	REZULTATI	13
4.1	PREGLED STANJA V DRŽAVAH ČLANICAH EU	13
4.1.1	Sistemi monitoringa	14
4.1.1.1	Avstrija	14
4.1.1.2	Nemčija	14
4.1.1.3	Velika Britanija	15
4.1.1.4	Poljska	16
4.1.2	Sistem monitoringa TOS v ZDA	17
4.1.3	Spremljanje lastnosti tal v Sloveniji	19
4.1.3.1	Raziskave onesnaženosti tal Slovenije (ROTS)	20
4.1.3.2	Monitoring gozdnih tal Slovenije v okviru metodologije ICP Forests	21
4.1.3.3	Kontrola rodovitnosti kmetijskih tal Slovenije (KRT)	22
4.1.3.4	Pedološka karta Slovenije	23
4.1.4	Obstoječi in javno dostopni podatki tal Slovenije	24
4.1.4.1	Rezultati nekaterih analiz vsebnosti TOS opravljenih v Sloveniji	25

4.2	PRIMERJAVA REZULTATOV VSEBNOSTI TOS PRI KRT, ROTS IN PEDOLOŠKIH PROFILOV PEDOLOŠKE KARTE SLOVENIJE PK25	32
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	36
5.1	KLJUČNA ZASNOVA NACIONALNEGA MONITORINGA TOS	36
5.1.1	Namen in cilji zasnove sistema monitoringa TOS	36
5.1.2	Prostorska ureditev mreže opazovalnih lokacij in njihovo število	37
5.1.2.1	Pretekle prostorske analize, kot pomoč pri prostorski zasnovi	38
5.1.2.2	Kompatibilnost obstoječih in novega sistema monitoringa	42
5.1.3	Razporeditev in število podvzorčnih mest in globin	43
5.1.4	Protokol in metodologija vzorčenja	45
5.1.4.1	Volumska gostota tal	46
5.1.5	Nabor analiz in analitskih standardov	46
5.2	KOMENTAR PRIMERJAVE REZULTATOV KRT, ROTS IN PK25.	47
5.2.1	Pomankljivost opravljene analize	48
5.3	UGOTOVITVE IN PRIPOROČILA	48
5.3.1	Priporočila za postorsko zasnovo monitoringa TOS kmetijskih tal Slovenije	50
5.3.2	Nabor analiz in analitskih standardov	52
6	POVZETEK (SUMMARY)	54
6.1	POVZETEK	54
6.2	SUMMARY	56
7	VIRI	58
	ZAHVALE	
	PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Vsebnost TOS v petih razredih (Mihelič in sod., 2010).....	8
Preglednica 2: Obvezne in priporočene globine vzorčenja ravni 1 in 2 ICP Forests za gozdna tla (ICP Forests, 2006)	22
Preglednica 3: Slovenski, nekateri evropski in ameriški sistemi, ki spremljanjo vsebnost organske snovi	31
Preglednica 4: Priporočene vrste laboratorijskih analiz po ustreznih standardih.....	53

KAZALO SLIK

Slika 1: Sestava talne organske snovi (Leštan, 2002)	4
Slika 2: Ponori organskega ogljika na planetu izražen v milijardah ton ogljika (PgC) (Malhi, 2002).....	5
Slika 3: Prikaz testnih območji na primeru preseka lokacij KRT za travinje	12
Slika 4: Mreža opazovalnih lokacij monitoringa kvalitete obdelovanih tal Poljske (Siebielec, 2013).....	16
Slika 5: Prikaz straticikacije na podlagi talnih, klimatskih in podatkov o rabi tal ZDA (Spencer in sod., 2011).....	18
Slika 6: Zasnova okvira vzorčenja po nacionalnem sistemu vzorčenja tal ZDA (Spencer in sod., 2011).....	18
Slika 7: Mreža vseh izbranih opazovalnih lokacij ROTS za Slovenijo (Zupan in sod., 2008).....	20
Slika 8: Okvir in globine vzorčenja pri sistemu ROTS (Zupan in sod., 2008)	21
Slika 9: Pedološka karta Slovenije 1:25.000	24
Slika 10: Analiza vsebnosti TOS na njivskih in sorodnih zemljiščih globine 0-25 cm (Sušin in sod., 2009).....	26
Slika 11: Analiza vsebnosti TOS na travinju globine 0-6 cm (Sušin in sod., 2009).....	27
Slika 12: Vsebnost povprečne TOS 0-20 cm v % na podlagi podatkov PK25 (Sušin in sod., 2009).....	28
Slika 13: Prikaz vsebnosti TOS po globinah iz podatkov ROTS (Zupan in sod., 2008)	29
Slika 14: Prikaz razlik v vsebnosti TOS na izbranih lokacijah ROTS	29
Slika 15: Prikaz lokacij vzorčenja po metodologiji ICP Forests (Fisher in sod., 2012)	30
Slika 16: Prikaz njivskih in travniških lokacij vzorčenja sistema KRT	32
Slika 17: Prikaz njivskih in travniških lokacij vzorčenja sistema ROTS.....	33
Slika 18: Prikaz njivskih in travniških lokacij vzorčenja sistema PK25	34
Slika 19: Organska snov v plasti tal 0 – 20 cm za štiri regije, tri sisteme meritev in dve rabi tal brez dveh podatkov sistema PP (PK25)	35
Slika 20: Klimatska regionalizacija Slovenije (Bat in sod., 2004).....	39
Slika 21: Prikaz padavinske karte Slovenije (povprečje 1961-1990) (Vernik in sod., 2010).....	40
Slika 22: Agro-klimatske cone Slovenije (Vernik in sod., 2010)	41

Slika 23: Ocena tveganja za zmanjševanje vsebnosti TOS v kmetijskih tleh Slovenije (Sušin in sod., 2009).....	42
Slika 24: Shema vzorčenja po 'Predloga sistema monitoringa onesnaženosti tal' (Mihelič in sod., 2000)	44

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

BBodSchG	(Bundesbodenschutzgesetz) Nemški zvezni zakon o varstvu tal.
BF	Biotehniška fakulteta, Univerze v Ljubljani
BS	British standard ki ga ureja organizacija za standardizacijo Združenega Kraljestva, (British Standards Institution)
C	Ogljik
CEC	Kationska izmenjalna kapaciteta
cm	Centimetri
C:N	Razmerje med ogljikom in dušikom
CO ₂	Ogljikov dioksid
°C	Stopinje Celzija
EC	Evropska komisija
EU	Evropska unija
EuroSoilNet	(European Soil Monitoring Network) Mreža evropskih monitoringov tal
GEIN	(German Environmental Information Network) Nemška zvezna mreža okoljskih podatkov
GERK	Grafična enota rabe zemljišča kmetijskega gospodarstva
GIS	(Geographic Information System) geografski informacijski sistem
GPS	(Global positioning system) globani pozicijski sistem; GPS naprava
H	Vodik
HCl	Klorovodikova kislina
ICPVO	Infrastrukturni center za pedologijo in varstvo okolja, Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani
INTERREG	V Iniciativa/program financiranja pod okriljem Evroskega regionalnega sklada za razvoj (European Regional Development Fund) med leti 2007 in 2013
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in European Community, Direktiva Evropske Komisije: 2007/2/EC
ISO standard	Standard, ki ga ureja mednarodna organizacija za standardizacijo (International Organization for Standardization)
JRC	Joint research center, Evropska Komisija. Ispra, Italija
KIS	Kmetijski inštitut Slovenije
KRT	Kontrola rodovitnosti tal

LOI	Loss On Ignition: Metoda analize vsebnosti organske snovi v talnih vzorcih s popolnim sežigom
MKO	Ministrstvo za kmetijstvo in okolje Republike Slovenije
N	Dušik
NRI	(National Resource Inventory) baza podatkov za okolje, ZDA
NSI	(National soil inventory) baza podatkov za tla Anglije in Walesa
NSRI	(National Soil Resources Institute) Nacionalni inštitut za tla Velike Britanije, Cranfield University, Cranfield, Beds, United Kingdom
O	Kisik
OC	Organic Carbon - Organski ogljik
PgC	Pentagram ogljika = 10^{15} g
pH	Koncentracija vodikovih ionov
PTF	Pedo transfer funkcija
ROTS	Raziskave onesnaženosti tal Slovenije
S	Žveplo
SEM	Nacionalni monitoring okolja Republike Poljske
TC	(Total carbon): Skupni ogljik
TIS	Talni informacijski sistem
TOS	Talna organska snov
UDK	(Umweltdatenkatalog) Nemška zvezna baza okoljskih podatkov
ZDA	Združene države Amerike

1 UVOD

Tla so bistven del kopenskih ekosistemov ter neobnovljiv naravni vir, ki ima centralno vlogo pri kroženju snovi in plinov na planetu. Tla so več funkcionalen medij, ki omogoča rast in razvoj rastlin (pridelava hrane), filtrira podzemne vode (samoočiščevalna sposobnost) predstavlja medij skozi katerega poteka kroženje snovi oz. hranil in habitat, ki odločilno vpliva na biotsko raznolikost. V kontekstu varovanja narave in boja proti klimatskim spremembam (Nacionalni ..., 1999; Resolucija ..., 2006) so tla vse bolj prepoznana tudi kot ključen ponor atmosferskega CO₂, uskladiščenega v obliki talne organske snovi (TOS) (Aslam in sod., 2000). Evropska komisija tako v okviru poročila »Raba tal, sprememba rabe tal in gozdarstvo« (LULUCF) že postopno uvaja ločeno poročanje o izpustih iz kmetijskih površin za države članice. Kot kratkoročen oz. poltrajen vir hranil, TOS tlem v veliki meri določa rodovitnost in s tem kakovost tal (Doran in Parkin, 1995). Obenem aktivno sodeluje pri tvorbi strukturnih agregatov, ki izboljšujejo strukturno trdnost tal (odpornost na erozijo) ter izboljšuje sposobnost tal za zadrževanje vode (odpornost za sušo, poplavna varnost) in hranil (tudi onesnažil - težkih kovin). TOS je nosilec širših okoljskih funkcij pomembnih za vzdržnost celotnega ekosistema ter zato pogosto ključen podatek pri različnih prostorskih analizah.

Vrsta človekovih dejavnosti vpliva in spreminja tla. Kmetijska in posebej pedološka stroka zato pospešeno išče nove načine trajnega gospodarjenja s tlemi, kot ključnega za ohranjanje tal kot naravnega vira (Kibblewhite, 2012). Pri tem je poznavanje lastnosti tal, prostora, rabe tal in posebej naravnih potencialov ključnega pomena. Tak pristop zahteva kakovostne, ustrezno interpretirane in strukturirane podatke, ki jih je s pomočjo geo-informacijskih tehnologij mogoče vključiti v ustrezne modele, rezultate teh pa neposredno uporabiti kot strokovne podlage za izboljšanje prostorskega načrtovanja in upravljanje tal in prostora. Posebej je pomembna večfunkcionalna funkcija tovrstnih podatkov ter pomen pri poročanju v okviru mednarodnih konvencij o stanju okolja.

Slovenija trenutno nima enotnega sistema spremljanja talnih lastnosti na kmetijskih zemljiščih. Za učinkovito prilagajanje kmetijstva okoljevarstvenim zahtevam zato potrebujemo sistematično zbrane in dostopne podatke o tleh. Glavni namen vzpostavitve monitoringa organske snovi na kmetijskih tleh Slovenije je zasnovati sistem, ki bo zagotavljal ustrezne podatke za spremljanje vsebnosti TOS, napovedovanje trendov in pravočasno uvajanje ukrepov za ohranjanje/povečevanje vsebnosti TOS v kmetijskih tleh Slovenije. Sistem mora biti zasnovan tako, da omogoča napovedovanje trendov in ne le služiti kot posnetek trenutnega stanja vsebnosti TOS (Ogle, 2012; Spencer in sod., 2011). Upoštevati mora vse glavne faktorje vpliva na ravnotežje TOS v tleh; rabo tal, način in intenzivnost pridelave, talne in klimatske značilnosti. Ob tem je nujno, da je sistem zasnovan na statistično pravilen način, z rednim programom ponovitev ter znanim statističnim odstopanjem, ki ga je v vsakem trenutku moč preveriti in upoštevati pri ugotavljanju trendov TOS (Lark, 2009). Zasnova monitoringa je hkrati priložnost, da se na nivoju države vzpostavi enotna metodologija in mreža opazovalnih lokacij, ki bi/bo v

prihodnosti služila tudi za zajem drugih talnih lastnosti, ki jih kmetijstvo stalno potrebuje, predvsem v boju proti klimatskim spremembam in izpolnjevanju konvencij in obveznosti do EU.

1.1 NAMEN IN CILJI NALOGE

Namen naloge je bil pregledati obstoječe sisteme monitoringa tal v Sloveniji in nekaterih državah v tujini, kjer že imajo vpeljana spremljanje TOS, ugotoviti njihovo primernost za Slovenijo ter podati priporočila za izboljšanje in vzpostavitev učinkovitejšega sistema monitoringa kmetijskih tal. Analiza obstoječih sistemov spremljanja se osredotoča predvsem na prostorsko zasnovo, metodologijo vzorčenja in analiz ter nabor merjenih parametrov. Pomemben vidik je upoštevanje prizadevanj Evropske Komisije (EC), da se vzpostavi enoten oz. primerljiv sistem monitoringa tal znotraj držav članic EU.

Cilj naloge je analizirati stanje in potrebe Slovenije na področju sistematičnega beleženja podatkov o vsebnosti TOS, ter na podlagi obstoječih dobrih praks podati priporočila za zasnovo sistema organiziranega spremljanja vsebnosti TOS, ki bo zagotavljal ustrezne podatke in omogočil zaznavanje sprememb talnih lastnosti skozi daljše časovno obdobje. Analiza je zasnovana tako, da upošteva vse glavne faktorje vpliva na ravnotežje TOS v tleh: rabo tal, način in intenzivnost pridelave ter talne in klimatske značilnosti Slovenije. Hkrati mora sistem zagotavljati tudi združljivost in primerljivost podatkov z drugimi državami (EU) ter slediti uveljavljenim mednarodnim in nacionalnim standardom. Pričakovani rezultat so konkretna priporočila za ustreznejšo prostorsko zasnovo, metodologijo vzorčenja in analiz ter izbor podatkov za nacionalni sistem spremljanja vsebnosti organske snovi v kmetijskih tleh Slovenije.

Hipoteze:

- a.) obstoječi sistemi spremljanja talnih parametrov v Sloveniji ne zagotavljajo ustreznih podatkov za zanesljivo oceno stanja vsebnosti TOS, sledenje, oceno zaloga/ponora organskega ogljika (OC) v kmetijskih tleh Slovenije ter, oceno vplivov kmetijskih praks na TOS in zanesljivo vrednotenje sprememb vsebnosti TOS skozi čas.
- b.) v Evropi in drugod po svetu obstajajo kakovostni in učinkoviti sistemi monitoringov, ki metodološko in vsebinsko omogočajo spremljanje vsebnosti, trendov ter oceno zaloga OC v kmetijskih tleh.
- c.) na podlagi analize izkušenj in dobrih praks ter poznavanjem okoljskih lastnosti Slovenije, lahko podamo izhodišča in priporočila za izboljšanje prostorske zasnove, metodologije vzorčenja in analiz ter nabor podatkov za vzpostavitev kakovostnega in mednarodno primerljivega nacionalnega sistema spremljanja vsebnosti organske snovi v kmetijskih tleh Slovenije.

2 PREGLED OBJAV

2.1 TALNA ORGANSKA SNOV (TOS)

Tla so, kot osnovni gradnik okolja, heterogen sistem, ki se počasi in stalno razvija in spreminja. Zaradi razgibanosti prostora se glede na lokacijo stalno spreminja njena globina, struktura talnih horizontov ter kemijska in fizikalna sestava tal. Tla so sestavljena iz mineralnega in organskega dela ter z zrakom in/ali vodo napolnjenih por. Mineralni del tal in njegove lastnosti so v večini pogojene z lastnostmi matične podlage (Brady in Weil, 2008). Ta se ob počasnem preperevanju postopno meša z vrhnjim, to je organskim delom tal, ki ga sestavljajo živi deli rastlin (korenine) in (mikro)organizmi ter organski opad in talna organska snov (TOS). TOS se v tleh nahaja v stabilnih, to je v vodi težje topnih, in bolj mobilnih, torej lažje topnih oblikah (Bot in Benites, 2005; Baldock, 2007). TOS kemično sestavlja kar 50 % ogljik (C), 40 % kisik (O), 5 % vodik (H), 4 % dušik (N) in okoli 1 % žveplo (S) (Aslam in sod., 2000). TOS nastaja iz odmrlih, delno oziroma popolnoma razgrajenih delov rastlin in živali. Te se najprej razgradijo na osnovne organske komponente, ki lahko ponovno tvorijo nove organske molekule (Schulze in sod., 2005), oziroma v procesu mineralizacije do konca oksidirajo pri čemer nastaja CO₂ oziroma metan.

Razgradnja in mineralizacija organske snovi sta močno odvisni od talnih lastnosti predvsem od pH in zračno-vodnega režima, ki ga določajo talne lastnosti, vrsta rabe tal, podnebje in čas (Kutsch in sod., 2010). V zelo kislih tleh je motena večina mehanizmov kroženja snovi. Zmanjšana je kationska izmenjalna kapaciteta, posledično pa je manj hranil dostopnih rastlinam. Kislo okolje tudi negativno vpliva na večino mikroorganizmov in njihovo aktivnost s čimer je ovirana (ustavljena) tudi mineralizacija. Podnebje na tla vpliva predvsem preko režima in količine padavin in temperatur. Padavine imajo največji vpliv na zračno-vodne lastnosti tal, ki posredno določajo mikrobo aktivnost (mineralizacijo), rastne pogoje za rastline ter ob enem povzročajo površinsko izpiranje/raztapljanje TOS. Temperatura vpliva predvsem na aktivnost mikroorganizmov, pri čemer govorimo o optimalnih pogojih pri katerih je posamezna vrsta mikroorganizmov najaktivnejša (Davidson in sod., 2000; Harris in Steer, 2005). Proces mineralizacije poteka v več fazah na katere vpliva tudi vrsta razpoložljive organske snovi (stopnja razgradljivosti) ter okoljske razmere. Pri vsaki od faz razgradnje sodelujejo bakterije, glive in mikroorganizmi, ki so najbolj prilagojeni trenutnim okoljskim in fizikalno kemijskim pogojem (Van-Camp in sod., 2004a). Raztopljene organske spojine, sladkorji in dušikove spojine so zelo hitro podvržene razgradnji, veliko težje pa se zaradi visoke molekulske mase razgraja humus in lignin, ki sta v tleh obstojnejša (Freeman in sod., 2001). Na vsebnost TOS v tleh v veliki meri vpliva tekstura tal. Zelo peščena in zračna tla pospešujejo razgradnjo in imajo posredno nižje vsebnosti TOS. Večja količina gline v tleh, zmanjšuje zračnost tal in zvišuje vlažnost, s čimer se upočasnjuje mineralizacija in posledično ustvarijo pogoji, pri katerih se TOS v tleh lahko akumulira. Produkti razgradnje TOS so obstojnejše, navadno na talne delce adsorbirane snovi ali humus, ki v

talni raztopini lahko tvorijo odpornejše, mineralno-organske komplekse. Tla pridobijo splošno strukturnost in strukturno trdnost oz. obstojnost; s tem pa odpornost na erozijo; izboljšajo se zračno-vodne in zato tudi rastne razmere (rodovitnost). Kot produkt mineralizacije TOS se ob raztopljenem ogljiku v ozračje sproščata tudi CO₂ in metan. Oba občutno prispevata k skupnim emisijam toplogrednih plinov iz kmetijstva (Bradey in Weil, 1996). V vodi raztopljena humificirana TOS se lahko preko površinskega in gravitacijskega odtoka (skozi profil) izpira tudi v površinske in podzemne vode, ter s tem občutno vpliva na njuno kvaliteto (Stutter in sod., 2006; White in sod., 2003).

2.2 TOS, TALNI ORGANSKI OGLJIK IN HUMUS

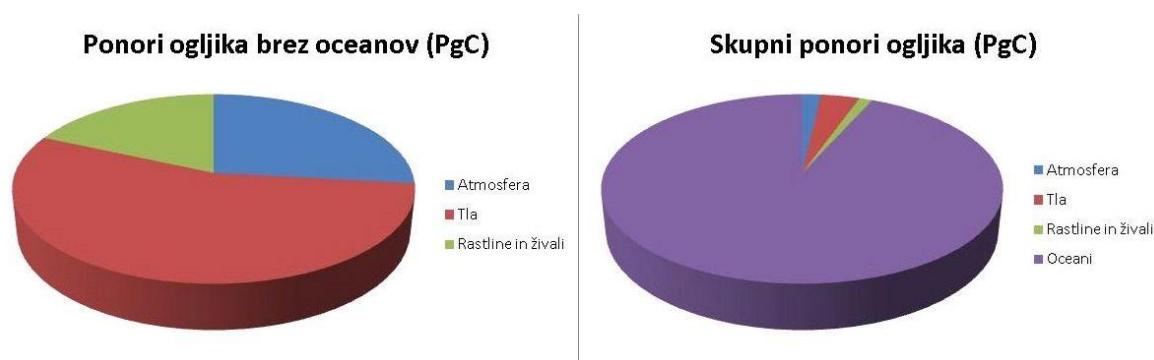
Približno polovico kemične sestave TOS predstavlja ogljik (Aslam in sod., 2000). Tla so največji ponor kopenskega organskega ogljika (OC) na planetu in ga vsebujejo več kot vse živeče rastlinstvo in živalstvo skupaj ter nekajkrat več, kot celotna atmosfera (Dick in Gregoritch, 2004). Tla vsebujejo okoli 1500 PgC, rastline in živali 500 PgC, oceani 38000 PgC in atmosfera 730 PgC, pri čemer predstavlja PgC ali pentagram, 10¹⁵ gramov ogljika (Malhi, 2002). Pri tej oceni ni upoštevana litosfera, ki v kamninah in sedimentih sicer vsebuje stabilne oblike ogljika (glej Slika 2). V zgornjem metru talnega profila je na primer uskladiščena kar tretjina vsega kopenskega OC. Talni organski ogljik (OC) se kot produkt razgradnje TOS v tleh nalaga v obliki stabilnejših, humificiranih organskih ostankov (Magdoff in Weil 2004). Večji del TOS (60–80 %) v tleh predstavlja stabilna organska snov ali humus ki ga sestavljajo humin, huminske kisline in fulvo kisline. Ti so hkrati poltrajni vir rastlinskih hranil pri čemer predvsem humin in huminske kisline tlem dajejo značilno črno in temno rjavo barvo. Poleg humusa v tleh najdemo tudi manj obstojne, ne- humificirane snovi (20–40 %), ki so v tleh hitro razgradljive. Sem štejemo nelignificirane in lignificirane ogljikovodike (predstavljajo večji vir OC v tleh), masti, voske, lipide, proteine in encime, različne (ribo)nukleinske kisline ter mikrobne in rastlinske izločke (Leštan, 2002). Med ne- humificirane snovi štejemo tudi lignin, ki ga mikroorganizmi težko razkrojijo in je zato v tleh izredno obstojen.



Slika 1: Sestava talne organske snovi (Leštan, 2002)

Figure1: Composition of soil organic matter (Leštan, 2002)

Glavni mehanizem, ki uravnava vsebnost TOS, s tem pa tudi ravnotežje OC v tleh je mineralizacija. Mineralizacija je proces razgradnje TOS pri kateri sodelujejo različne vrste talnih mikroorganizmov. Hitrost mineralizacije je v veliki meri pogojena z razmerjem med vsebnostjo ogljika (C) in dušika (N) v talni raztopini (C:N). Ta določa pogoje za mikroorganizme, ki s svojo aktivnostjo razgrajujejo TOS. Razpoložljiva količina OC v tleh (kot del razgradljivih oblik TOS) tako direktno vpliva na raven biološke aktivnosti tal (Harris in Steer, 2005). Poleg C:N razmerja je mineralizacija pogojena še z »optimalnimi pogoji« pri katerih so posamezne vrste mikroorganizmov najaktivnejše. Govorimo o optimalni temperaturi, vlagi, pH in zračnosti tal. V procesu mineralizacije se kot stranski produkt v okolje sprošča ogljik v različnih oblikah. Usoda in oblika sta zelo različni in odvisni predvsem od okoljskih pogojev. OC se iz tal lahko izgublja kot plinasti CO₂ (Davidson in sod., 2000), plinasti metan (Schulze in sod., 2005) lahko se izpira raztopljen v vodi (tudi kot CO₂) oziroma fizično, kot sediment, preko površinskega odtoka (Baird in Cann, 1999). Prekomerni izpusti lahko občutno prispevajo k skupnim emisijam toplogrednih plinov v ozračje (Brady in Weil, 2008; Stutter in sod., 2006).



Slika 2: Ponori organskega ogljika na planetu izražen v milijardah ton ogljika (PgC) (Malhi, 2002)
Figure2: Organic carbon stocks on the planet in petagrams of carbon (PgC) (Malhi, 2002)

Predvsem v s TOS bogatih tleh (histosolih), v vodi topne oblike pogosto končajo v vodotokih oz. ponovno vstopajo v procese mikrobne razgradnje, kjer se popolnoma oksidirajo, ter spet sproščajo v atmosfero kot CO₂ oz metan (Freeman in sod., 2001). Raztopljene oblike OC preko vodotokov občutno prispevajo tudi k skupnim zalogam nakopičenega ogljika v oceanih (Cox in sod., 2000; Malhi, 2002). Raztopljen OC je prisoten tako v organski kot tudi anorganski obliki ter skupaj z v vodi raztopljenim CO₂, lahko konča v podzemnih vodah. Pri površinskem odtoku se OC navadno izpira v obliki sedimenta, v ekstremnih primerih je to vidno kot površinska erozija. OC sicer redko, lahko migrira tudi vertikalno skozi profil in se posledično akumulira na manj propustnih plasteh, kar je globlje na pedološkem profilu lahko vidno kot temnejši (pod)horizonti (Vernik, 2005).

2.2.1 Mehanizmi, ki vplivajo na ravnotežje TOS v tleh

Mehanizme, ki uravnava vsebnost TOS v tleh delimo v naravne (pogojene z naravnimi danostmi, lastnostmi tal in klimo) ter antropogene. Med slednje štejemo vse vrste posegov

v površinske sloje tal, npr. intenzivna kmetijska obdelava (oranje), paša, in druge oblike premeščanja/mešanja površinskih, organskih slojev tal ter dodajanje hranil v tla (gnojenje). Ti spremenijo vodno zadrževalne sposobnosti tal, tla zračijo oziroma povečujejo dostopnost hranil in s tem pospešijo mikrobno aktivnost in mineralizacijo TOS (Dick in Gregorich, 2004).

Mehanski posegi v površinske plasti tal navadno vplivajo na sposobnost tal za zadrževanje vode, znižujejo raven podzemne vode ter povečujejo prezračenost tal. Izgradnja melioracijskih jarkov, drenaž ter nasipov, vodnih zbiralnikov in drugih objektov (prehodno) lahko pospeši mineralizacijo (Vernik, 2005). Razkrita in po barvi temnejša organska plast tal, na direktnem soncu absorbira veliko več sončnega obsevanja s tem pa tudi veliko toplote. Ob povečani prisotnosti kisika, ki že sam po sebi pospešuje mikrobno aktivnost, lahko dvig temperature še dodatno prispeva k povečanju razgradnje TOS in mineralizacije. Povišana temperatura in prezračenost povzročita tudi pospešeno izhlapevanje vode iz tal. Melioracijski posegi praviloma spremenijo vodne poti v površinskih plasteh tal in hkrati vplivajo na površinski odtok padavinske vode. Bolj suhe površine z nižjo podtalnico postanejo primernejše za intenzivnejše kmetovanje in tudi pozidavo, ki ob mešanju in premeščanju na druge lokacije trajno spreminja okoljske funkcije tal.

Drugi najpogostejši dejavnik, ki vpliva na vsebnost TOS, je vnos tujih snovi v tla. Te so predvsem v obliki organskih in mineralnih gnojil, gošč čistilnih naprav in drugih dodatkov najpogostejše prisotna v kmetijstvu. Kmetijska obdelava tako na ravnotežje v tleh deluje dvojno. S stalnim mešanjem (zračenjem) na eni ter vnašanjem hranil (gnojenjem) na drugi strani močno vpliva na kroženje organske snovi ter s tem spreminja lastnosti tal. Gnojila, apneni pripravki in fitofarmacevtska sredstva močno vplivajo na pH tal, ta pa direktno na kationsko izmenjalno kapaciteto. V zelo kislih tleh je izmenjava in dostopnost hranil močno motena. Zaradi neugodnih pogojev za mikroorganizme je zmanjšana tudi stopnja mineralizacije. Dvig pH med 5 in 6 poveča dostopnost hranil rastlinam ter ustvari ugodnejše pogoje za rast in razvoj mikroorganizmov. Zaradi občutljivega ravnovesja in velike dinamike vnosov in odvzemov hranil v kmetijskih tleh, količina TOS v kmetijskih tleh med letom zelo niha. Ranljivost in občutljivost se še posebej kaže v primerih histosolov ali s TOS bogatih tal, kot na primer barjanskih, šotnih tal. Bellamy in sod., 2005 poroča o časovno zelo hitrih spremembah (izgubah) po nekod več kot 20 % vsebnosti TOS na nekaterih lokacijah visokih barji v Wales-u v Veliki Britaniji. Večina vzrokov je bila v dodatni študiji (Vernik, 2005) pripisana prav intenzivnosti in spremembam rabe tal.

Paša, še posebej kjer je na pašniku veliko število živali, prav tako spreminja talne lastnosti (Cao in sod., 2004). Količina TOS v tleh je na pašniku navadno rezultat ravnotežja med količino organske snovi, ki se vrne v tla v obliki rastlinskih ostankov in živalskih iztrebkov ter mikrobno aktivnostjo. Vnos hranil v tla je zaradi živalskih iztrebkov povečan, s tem pa posledično povečana tudi mikrobna aktivnost. Iztrebki predvsem zaradi

visoke vsebnosti dušikovih spojin močno vplivajo na razmerje C:N (Bardgett in sod., 2001). Predvsem na histosolih, ki vsebujejo veliko TOS, dodatek N v tla zmanjša C:N razmerje in pospeši mineralizacijo. S pašo se na pašniku zmanjša tudi količina nadzemnih rastlinskih ostankov, ki bi sicer po naravni poti končali v TOS. Veliko število glav živine (GVŽ) na pašniku povzroči tudi prekomerno zbijanje tal predvsem ob napajališčih in vhodih v ograde, kjer se živali raje zadržujejo. Zaradi zbitosti tal se v enoti volumna tal poveča količina ogljika ter zmanjša število por, predvsem v površinskih plasteh (Bellamy in sod., 2005). Postopoma se v površinskem horizontu ustvari manj propustna plast, ki zmanjšuje infiltracijo in poveča površinski odtok. V globlje plasti tal tako pronica manj vode in te postanejo bolj suhe (poveča se mikrobna aktivnost). Pri paši (še posebej pri večjem številu živali na pašniku) prihaja tudi do pogostih poškodb travne ruše in se s tem povečuje možnost za površinsko izpiranje in erozijo.

2.3 SPREMLJANJE VSEBNOSTI TOS

Podatek o vsebnosti TOS v kmetijstvu služi kot ključni indikator primernosti/sposobnosti tal za pridelavo hrane oz. rodovitnosti (Van-Camp in sod., 2004a). Kmetijstvo se zato pogosto, bolj ali manj sistematično loteva rednega spremljanja vsebnosti TOS na obdelovanih, kmetijskih površinah. Zaradi širših okoljskih funkcij tal, ter aktivni vlogi v procesih pomembnih za vzdržnost ekosistemov, je TOS vse pogostejše vključena tudi v različne okoljske analize in napovedi stanja okolja s pomočjo GIS modeliranja. Ker v večini evropskih držav za te študije pogosto ni na voljo dovolj podatkov, si stroka prizadeva vpeljati širši, sistematičen monitoring TOS, ki bi obsegal celotno ozemlje države, ne glede na lokacijo in rabo (Van-Camp in sod., 2004b; Sušin in sod., 2009). Nacionalni sistemi naj bi istočasno zagotavljali čezmejno združljivost in primerljivost podatkov (EU direktiva INSPIRE) (Commission ..., 2007). V ta namen se v zadnjih letih Evropska Komisija pospešeno posveča harmonizaciji obstoječih podatkov (Jones in sod., 2004, 2005; Van-Camp in sod., 2004b) ter iskanju možnosti za harmoniziran sistem monitoringa TOS v državah članicah (Baritz in sod., 2011).

2.4 METODE MERJENJA TOS

Vsebnost TOS se navadno izraža z odstotki (%) organske snovi, pogosto tudi s količino (kg oz. t) organskega ogljika (OC) v prostorski enoti tal. Za potrebe kmetijske pridelave in ocene stanja TOS, se je v kmetijstvu uveljeval pristop označevanja posameznih tal z opisno oznako. Tako v Sloveniji uporabljamo sistem 5 razredov (Mihelič in sod., 2010), sicer povzetih po nemškem vzoru (Blume, 1992).

Preglednica 1: Vsebnost TOS v petih razredih (Mihelič in sod., 2010)

Table1: TOS content in five classes (Mihelič in sod., 2010)

% Humusa v kmetijskih tleh	Oznaka
< 1	Siromašna s humusom
1 - 2	Zmerno siromašna
2 - 4	Humozna
4 - 8	Močno humozna
8 - 15	Zelo močno humozna

Poleg standardizirane metodologije odvzema in hranjenja talnih vzorcev (ISO 10381-6, 2009), kjer so vsi vzorci skladiščeni pri 4 °C, sušeni na zraku in zmleti, so za laboratorijske analize vsebnosti TOS uveljavljene predvsem tri analitske metode:

- Metoda suhega sežiga: temelji na kontroliranem sežigu suhega, zmletega vzorca tal v komori (1000 °C) ki istočasno meri količino CO₂, ki pri tem izhaja. Tovrstne naprave sicer pogosto omogočajo tudi merjenje dušika. Rezultat je izražen kot % vsega ogljika v vzorcu, torej poleg organske snovi tudi ogljika iz oglja in karbonatov. V primerih, ko želimo iz vzorca odstraniti anorganski ogljik in karbonate, to storimo z predhodnim tretiranjem vzorca z klorovodikovo (HCl) kislino, ki le te odstrani. Postopek sicer opredeljuje standard ISO 10694 (1995).
- Metoda s popolnim sežigom - Loss On Ignition (LOI): temelji na določanju utežnega odstotka TOS v suhem vzorcu. Količina TOS se izračuna iz razlike v masi suhega vzorca pred in po sežigu (cca 550 °C). Pri popolnem sežigu TOS v vzorcu povsem zgori. Metoda je zaradi enostavnosti, hitrosti in nizke cene zelo uveljavljena, a žal ni povsem natančna, saj ne upošteva kristalno vezane vode, ki s svojim volumnom in težo vpliva na rezultat.
- Metoda mokre oksidacije (Walkley-Black): temelji na kislinskem razkroju organske snovi v talnem vzorcu. Mokra oksidacija je standardizirana metoda (ISO 14235,1999), pri kateri poteka oksidacija TOS s kalijevim dikromatom, žvepleno in ortofosforno kislino pri temperaturi 130-135 °C. Ostanek kalijevega dikromata je navadno določen s titracijo raztopine železovega sulfata oziroma s postopkom spektrofotometrije.

Letkens in sod. (2007) poroča, da rezultati omenjenih metod sicer niso direktno primerljivi. V ta namen so na voljo pretvorbeni faktorji, ki pa dodatno povečujejo možnost napake. Po mnenju Baritz in sod. (2011) so direktno in povsem primerljivi le rezultati, ki so bili izmerjeni z isto metodo ter v istem laboratoriju. Zaradi narave kalibracije analitske opreme namreč ista metoda lahko daje različne rezultate, če jih izvedemo v različnih laboratorijih (Velkavrh, 2008).

Ne glede na metodologijo odvzema vzorcev večina evropskih sistemov monitoringa predvideva analizo TOS v površinski plasti tal. Zaradi dostopnosti in zahtevnosti postopka sta največkrat v rabi analitski metodi mokre oksidacije imenovana tudi Walkley-Black (ISO 14235, 1999) in metoda s popolnim sežigom (loss-on-ignition). V opisanih sistemih se pri laboratorijskih analizah uporabljajo postopki, ki so v skladu z mednarodnimi standardi. Večji del Evrope tako sledi navodilom, ki jih določa ISO standard oziroma British Standard (BS) v Veliki Britaniji. Analiza TOS je po standardu ISO 14235 (1999) primerljiva metodi BS 1377 Method 3.1 Test 8 (1975). Glavna razlika je v določanju ostanka kalijevega dikromata, ki ga BS določa s titracijo raztopine železovega sulfata, pri standardu ISO pa se določi spektrofotometrično. Kot ugotavlja (Sušin in sod., 2009) so glavni slovenski laboratoriji dovolj dobro opremljeni za izvajanje analize vsebnosti TOS, oz. le to tudi že opravljajo. Vzpostaviti bi bilo potrebno le natančno navodilo in predpisati standard ter po potrebi akreditacijo s strani naročnika (pristojno ministrstvo).

Za izračun zaloga OC v tleh je poleg podatka o vsebnosti OC potreben tudi podatek o volumski gostoti tal. Analize volumske gostote tal se razlikujejo od države do države. Analizo sicer predpisuje in ureja standard ISO 11272 (1998) oziroma standard BS 7755 Section 5.6 (1999) (Velika Britanija), ki na podlagi volumna in teže vzorca določa volumsko gostoto. V Sloveniji je v rabi tudi veliko »hišnih« metod, ki posnemajo omenjena standarda, vendar pa analize niso vedno opravljene dosledno, kar otežuje primerljivost (Vrščaj in Vernik, 2010).

Tudi faza skladiščenja in ravnanja z svežimi vzorci pomembno vpliva na kakovost rezultatov kasnejših analiz. V Veliki Britaniji sta v ta namen v rabi standarda BS 7755 Section 2.6 (1994) (Guidance on the collection, handling and storage of soil for the assessment of aerobic microbial processes in soil) in v BS 7755 Section 3.5 (1995) (Pre-treatment of samples for physio-chemical studies), ki določata, da so vsi vzorci skladiščeni pri 4 °C, sušeni na zraku in zmleti v pedološkem mlinu. Sicer ravnanje z vzorci ureja standard ISO 10381-6 (2009). Ker so šotni vzorci navadno zelo vlaknati, praksa NSI predvideva dodatno obdelavo v ahatnem mlinu (NSRI hišna metoda).

3 MATERIAL IN METODE

Delo je bilo opravljeno v dveh delih.

1.) Najprej smo pregledali objavljene študije na področju organiziranega spremljanja lastnosti tal ter nacionalne sisteme monitoringa tal v Sloveniji, nekaterih evropskih državah ter v Združenih državah Amerike (ZDA). Pri analizi smo se še posebej osredotočili na namen, zgodovino, prostorsko zasnovo, okvir in metodologijo vzorčenja ter nabor analiz in podatkov posameznega sistema. Pri pregledu stanja smo si pomagali tudi z intervjuji z avtorji ali izvajalci posameznih nacionalnih sistemov.

V primeru Avstrije, smo si poleg objav pomagali z izkušnjami kolegov iz zvezne agencije za okolje (Umweltbundesamt) iz Dunaja, predvsem ga. Alexandre Freudenschuss in g. Sigberta Huberja. Oba imata bogate izkušnje z delom na nacionalnem programu monitoringa tal Avstrije in sta aktivno udeležena pri oblikovanju okoljskih politik in monitoringa na evropskem nivoju. Izkušnje z monitoringom kakovosti obdelovanih tal na Poljskem nam je pomagal strniti dr. Grzegorz Siebielec. Na primeru nacionalnega monitoringa tal Anglije in Walesa (National Soil Inventory - NSI) smo poleg objav in lastnega raziskovalnega dela uporabili tudi izkušnje z sodelavcev nacionalnega inštituta za tla (National Soil Resources Institute - NSRI) Cranfield-ske univerze, prof. dr. Patricie Bellamy, Iana Bradleya in prof. dr. Marka Kibblewhitea. V primeru pred kratkim vzpostavljenega sistema monitoringa tal ZDA smo si pomagali z osebno korespondenco s prof. dr. Stephen Ogle iz Colorado State University v Koloradu v ZDA.

Pri analizi obstoječih sistemov v Sloveniji, so nas v veliki meri vodile praktične izkušnje z delom na programih »Raziskave Onesnaženosti Tal Slovenije (ROTS)« ki ga vodi Infrastrukturni center za pedologijo in varstvo okolja (ICPVO), Biotehniške fakultete (BF), Univerze v Ljubljani (UL) ter sicer neformalne »kontrolne rodovitnosti (KRT)« v okviru Kmetijskega inštituta Slovenije (KIS). Pomagali smo si tudi z izkušnjami sodelavcev z Gozdarskega inštituta Slovenije, ki so ob vzpostavitvi monitoringa gozdnih tal Slovenije in razvoju lastne PTF (Kobal in sod., 2011), postavili vzgled za ureditev tematike monitoringa TOS v Sloveniji. V analizo smo vključili tudi podatke pedološke karte Slovenije (PK25), ki v veliki meri še vedno služi kot glavni vir merjenih podatkov tal.

Pri delu smo upoštevali tudi rezultate nekaterih evropskih projektov; Urban SMS – INTERREG IV., predvsem v delu, ki je obravnaval pregled nacionalnih zakonodaj rabe tal ter GS Soil - Geodata-Services for European Soil Data – eContent Plus, ki je obravnaval harmonizacijo podatkovnih baz in posredno metodologij pridobivanja podatkov v 18 državah EU. V nalogo smo vključili tudi sklepe iz konferenc in strokovnih posvetov v Bruslju, ki smo se jih udeležili: »Soil organic matter - the old truth and new challenges«, 21. September 2011, »Remediation of contaminated sites – key for an efficient land management in the EU« 10. November 2011, »Soil remediation and soil sealing, 10. in 11 maj 2012«.

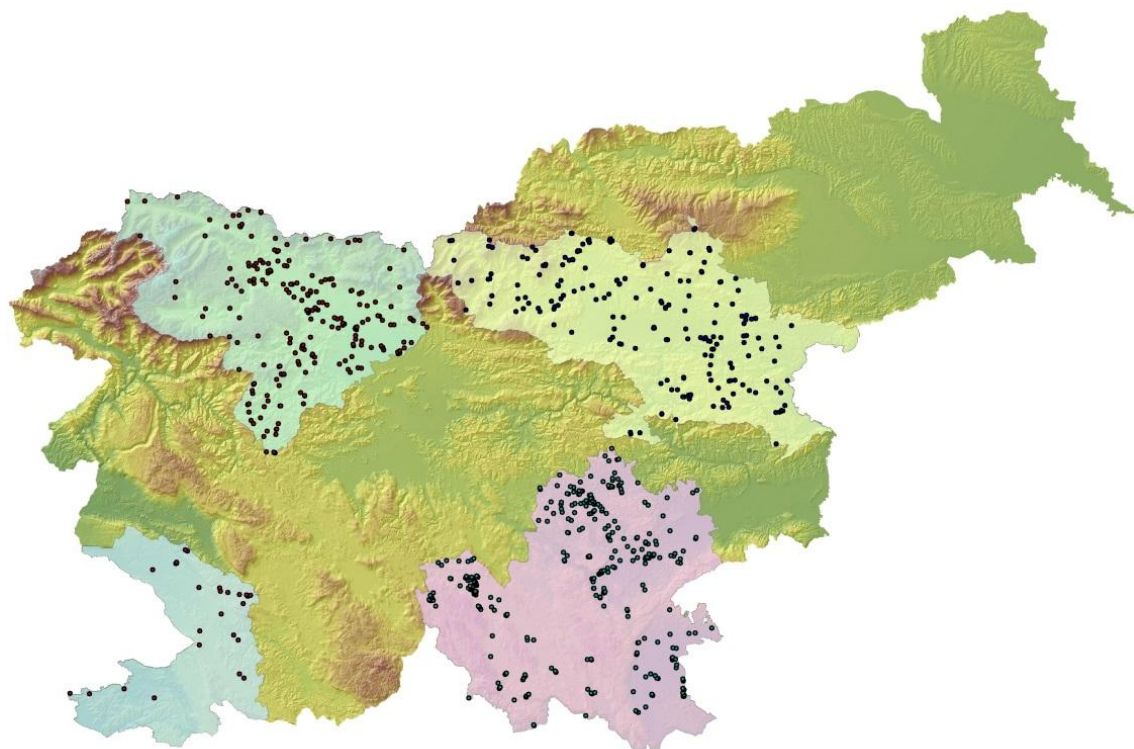
2.) V drugem delu smo se osredotočili na obstoječe sisteme v Sloveniji ter primerjali rezultate merjenj TOS na kmetijskih tleh, kot jih beležijo sistemi ROTS, KRT in PK25. Podatke smo zbrali iz uradnih evidenc: ROTS - Infrastrukturni center za pedologijo in varstvo okolja, Biotehniška fakulteta, UL (ICPVO – podatki ..., 2013), KRT - Kmetijski inštitut Slovenije (KIS – podatki... 2013) ter uradna baza cca 1700 pedoloških profilov v okviru pedološke karte Slovenije PK25, katere avtor je Infrastrukturni center za pedologijo in varstvo okolja, Biotehniške fakultete, UL in lastnik Ministrstvo za kmetijstvo in okolje (MKO) (ICPVO – grafični ..., 2007). Evidentirano kmetijsko rabo v posamezni bazi smo poenotili, ter za vse sisteme oblikovali 5 razredov:

- Njive (njive in vrtovi),
- Travinje (košeni in ne košeni travniki, pašniki in zatravljene njive),
- Sadovnjaki (intenzivni in ekstenzivni sadovnjaki),
- Vinogradi
- Oljčniki

Zaradi različnih globin vzorčenja tal, je v uradnih evidencah podatek o vsebnosti TOS pri vsakem sistemu izražen za različne debeline slojev tal. Sistema KRT in ROTS imata predpisane globine vzorčenja, pri PK25 pa so bili vzorci odvzeti iz talnega profila in sicer glede na opisane talne horizonte, torej ne vedno na enakih globinah. Podatek o TOS smo zato izračunali za globino 0 - 20 cm z uporabo uteženega povprečja, kjer je utež predstavljala debelino horizonta. Podatke TOS smo izbrali iz vseh horizontov, ki so imeli zgornjo mejo manjšo ali enako 20 cm. Pri izračunu zaradi pomankanja podatkov nismo upoštevali volumske gostote tal. Tako izračunan podatek TOS pri PK25 predstavlja oceno % TOS v tleh na globini med 0 in 20 cm.

Da bi rezultate posameznih sistemov lahko primerjali na manjšem vzorcu, smo za analizo določili štiri testna območja in sicer na osnovi karte slovenskih regij. Testna območja smo določili glede na geografsko pozicijo ter klimatske lastnosti in izbrali JV Slovenijo, Savinjsko, Gorenjsko in Obalno Kraško regijo. Pri določitvi za posamezno regijo kot testno območje smo želeli zajeti vse glavne klimatske pasove Slovenije; alpsko, mediteransko ter kontinentalno. Znotraj vsakega testnega območja smo nato naredili preseke glede na rabo ter za vsak vir podatkov posebej. Rezultate smo v obliki atributnih tabel izvozili, ter jih v programu GraphPad Prism 3.0. statistično primerjali. Statistično smo primerjati rezultate vseh treh sistemov in sicer znotraj vsakega testnega območja ter glede na rabo tal. Za rabo smo vzeli njive in travinje, ki sta bila edini rabi zastopani na vseh testnih območjih.

Analizo smo opravili s pomočjo programske opreme Esri ArcMap 10.0 in Esri ArcCatalogue. Osnovne statistike ter grafe okvir z ročaji smo izrisali s pomočjo statističnega programa GraphPad Prism 3.0.



Slika 3: Prikaz testnih območji na primeru preseka lokacij KRT za travinje

Figure 3: Presentation of test plots on the example of clipped locations KRT for grassland

Na podlagi analize izbranih sistemov monitoringa v tujini, raziskav prostora in naravnih zakonitosti Slovenije ter izkušenj z delom na slovenskih sistemih, smo postavili okoljske, metodološke, analitske in uporabniške kriterije, ki so nujni za vzpostavitev primerljivega in učinkovitega monitoringa kmetijskih tal Slovenije.

Kot rezultat naloge smo podali konkretna priporočila. V analizo smo vključili tudi rezultate že izvedenih slovenskih študij, predvsem v okviru ciljno razvojnih projektov (CRP) in strokovnih nalog za Ministrstvo za kmetijstvo in okolje (MKO).

4 REZULTATI

4.1 PREGLED STANJA V DRŽAVAH ČLANICAH EU

Danes je stanje na področju monitoringa organske snovi po Evropi precej neenotno (Baritz in sod., 2011; Huber in sod., 2001). Analiza, ki je bila narejena za 15 članic EU, je pokazala zelo heterogeno metodologijo zbiranja vzorcev in analitskih metod, neurejeno hranjenje in slabo primerljivost podatkov. Ker so zasnove sistemov pogosto objavljene le v jeziku države, kjer je sistem vzpostavljen, to še dodatno otežuje pregled stanja. V zadnjem desetletju se stanje predvsem zahvaljujoč vrsti projektov, ki jih financira Evropska Komisija (EC), izboljšuje kar deloma potrjuje tudi študija EEA/ETC TE 2003 (European Topic Centre / ETC Terrestrial Environment) (Baritz in sod., 2011). Opisane in harmonizirane so bile nacionalne baze podatkov o vsebnosti TOS in OC ter rezultati objavljeni v obliki karte vsebnosti organske snovi v površinski plasti tal (0-30 cm) za celo Evropo (Van-Camp in sod., 2004b). Karta je bila sicer izdelana z modeliranjem podatkov iz baze geografskih podatkov tal Evrazije (Soil Geographic Database of Eurasia) (Jones in sod., 2004, 2005).

Usmeritev delovne skupine EC je leta 2004 prinesla s skupnimi politikami podkrepljene predloge za enoten sistem spremljanja širših okoljskih ter talnih parametrov (Van-Camp in sod., 2004c). Tako je nastal predlog krovnega zakona oziroma tematske strategije Thematic Strategy For Soil Protection (2006), ki je Evropski parlament še ni potrdil. Pod vodstvom Evropske mreže za raziskave in globalne spremembe (European Network for Research in Global Change) so v zadnjem desetletju nastali različni strateški dokumenti, ki obravnavajo možne skupne rešitve za poenoten sistem zbiranja in hranjenja podatkov: Networking of Long-term Integrated Monitoring in Terrestrial Systems ter predlog za poenoteno evropsko mrežo monitoringov - European Soil Monitoring Network (EuroSoilNet), ki ga je zasnoval Joint Research Centre (JRC) v Ispri v Italiji. Cilj je vzpostaviti sistem, ki bo omogočil znanstveno primerjavo in izmenjavo podatkov med državami, učinkovito implementacijo in uresničevanje zastavljenih ciljev okoljskih politik. S pomočjo tako organiziranega sistema bi bila omogočena tudi identifikacija glavnih okoljskih groženj, s tem pa možnost za pravočasno in ustrezno ukrepanje. Projekti, ki so v okviru različnih okvirnih programov usmerjeni v oblikovanje novih politik in strategij na področju okolja, tla vse bolj postavljajo v ospredje in izpostavljajo njihovo široko in pomembno vlogo pri kroženju snovi v ekosistemu. Ob tem (Albrecht, 2007) v svoji analizi ugotavlja, da je v zadnjih 15 letih vedno težje dobiti sredstva namenjena zajemu novih okoljskih podatkov. Za učinkovito uporabo obstoječih zbirk podatkov je torej pomembno, da se jih primerno strukturira, poenoti in po možnosti nadgradi.

4.1.1 Sistemi monitoringa

4.1.1.1 Avstrija

Avstrija ima v uporabi več ločenih sistemov, med katerimi sta za spremljanje vsebnosti TOS v rabi predvsem Okoljski monitoring tal (Environmental Soil Survey) (Blum in sod., 1989) ter Monitoring tal Avstrije (Soil Monitoring System) (Blum in sod., 1996). Monitoring tal Avstrije se je izkazal za zelo koristnega saj je z nekaj več kot 6000 lokacijami prvič natančno popisal talne tipe za vso državo. Kasneje so se med prvo ponovitvijo na Tirolskem pokazale določene pomanjkljivosti predvsem zaradi goste mreže in nenatančnosti navigacije, kar je botrovalo slabi ponovljivosti, zamudnosti ter visokim stroškom (Baritz in sod., 2011). Avstrija ima danes v veljavi nekoliko prirejen okoljski monitoring tal, ki temelji na 400 reprezentativnih lokacijah, izbranih po posameznih pokrajinah na podlagi geografskih karakteristik (relief, pedologija, kmetijske površine, urbano itd), onesnaženosti (zgodovina rabe, bližina virov onesnažil itd.) in vrsti rabe tal (gozdovi, obdelovalne površine, travniki itd.). Sistem je bil prvič izvajan med leti 1987 in 1995 in temelji na mreži vzorčnih mest 4 x 4 km, ki pa je zaradi specifike reliefa in rabe tal ponekod zožena na 2,75 x 2,75 km. Del mreže je zaradi velike okoljske raznolikosti stratificiran. Tla za analizo TOS se vzorči s polkrožno sondo okoli lokacije, torej kot povprečne vzorce. Predvidene globine vzorčenja so na globinah 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-50 cm (Blum in sod., 1999). V vzorcih se laboratorijsko izmeri tekstura (glina, pesek, melj %), organska snov, karbonati, pH, elektro-prevodnost, kationska izmenjalna kapaciteta (CEC), celokupni dušik (N_{tot}), hranila in težke kovine. Zbiranje in hranjenje podatkov ima Avstrija urejeno z nacionalnim informacijskim sistemom BORIS (Soil Information System BORIS). Sistem predvideva ponovitev vzorčenja na vsakih 3-10 let.

4.1.1.2 Nemčija

Nemčija ima od leta 1980/1997 vpeljan sistem monitoringa tal, ki ga na zvezni ravni ureja Zvezni zakon o varstvu tal ali Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG). V okviru tega se vzorči in analizira tudi TOS. Metodologija in prostorska razporeditev vzorčnih lokacij je sicer določena na podlagi priporočil zveznih strokovnjakov za monitoring in priporočena v dokumentu za vzpostavitev stalnih opazovalnih talnih ploskev (Bayeren, 1991). Posamezna opazovana ploskev ni natančneje opredeljena v nobenem od omenjenih dokumentov. Navodila Bayeren (1991) so bila implementirana brez dodatnih metodoloških uskladitev na zvezni ravni. Izjemi sta bili zvezni pokrajini Brandenburg in Schleswig-Holstein, kjer so določili opazovalne lokacije na podlagi statistične in prostorske analize (Schröder in Schmidt, 2004). Tako je sistem prostorsko heterogen saj temelji na stratificirani mreži opazovalnih točk, pri čemer so točke večinoma določene na podlagi ekspertne ocene znotraj vsake zvezne pokrajine posebej. Nemčija je pokrita z 800 oz. 1800 opazovalnimi točkami. Izvajanje in vodenje sistema je prav tako urejeno s strani posamezne zvezne vlade in na zvezni ravni ni vedno popolnoma usklajeno. Poleg obstoječega monitoringa, ki pokriva vse rabe je v uporabi še sistem vzorčenja gozdnih tal,

kjer je bila v sklopu projekta BioSoil določena enakomerna mreža opazovalnih točk 8 x 8 km. Tla vzorčijo na globinah 0-5, 5-10, 10-30, 30-60 in 60-90 cm. Kjer je le mogoče, vzorčijo še na 90-120 in 120-140 cm. Zaradi razpršenosti podatkov je od leta 2010 v veljavi dogovor o centralnem zbiranju in analizi podatkov s strani zvezne vlade. Vzorčenje in kemijske analize ostajajo v domeni zveznih pokrajin in se strogo držijo standardov ISO in uveljavljenih analitskih metod. Podatki so hranjeni v centralnih bazah na zvezni ravni in sicer Umweltdatenkatalog (UDK) oziroma German Environmental Information Network (GEIN).

4.1.1.3 Velika Britanija

Velika Britanija ima dobro uveljavljen sistem monitoringa tal, ki ga vodi nacionalni inštitut za tla - National Soil Resources Institute (NSRI), sicer del Cranfield-ske univerze – Cranfield University. V okviru monitoringa redno spremljajo talne parametre, med katerimi je tudi vsebnost TOS. Sistem je zasnovan na enakomerni mreži 5 x 5 km na kateri je izbranih 1200 opazovalnih lokacij po vsem otoku, ki odgovarjajo v naprej postavljenim kriterijem (ustrezna raba, talni tip, dostopnost in globina). Na vsaki lokaciji je predviden izkop talnega profila 40 x 40 cm do spodnje meje B horizonta oz. globine 75 cm. Opišejo talne horizonte po WRB, okolico (zaraščenost, bližina vodotokov, površinski posegi...), rabo tal in lastnosti terena (nadmorska višina, oblika in % naklona) (Bellamy in sod., 2005; Black in sod., 2008). Kjer je to mogoče, zabeležijo tudi zgodovino rabe tal (Vernik, 2005). Profil vzorčijo po horizontih (povprečen vzorec za horizont), pri čemer se zabeleži globina vzorčenega horizonta. Na globinah 10, 30 in 50 odvzamejo po tri cilindre z neporušenim vzorcem tal za analizo volumske gostote tal. Na vsaki lokaciji odvzamejo tudi povprečen površinski vzorec tal za analizo vsebnosti TOS. Ta je sestavljen iz 25 podvzorcev odvzetih s kombinirano pedološko sondo (0-15 cm) na enakomerni mreži 16 x 16 m (razmik 4 m) okoli mesta izkopa profila. Ves rastlinski material se iz vzorca sproti ročno odstrani.

V pripravljalni fazi vedno preverijo dostopnost in primernost vsake lokacije. Kjer ta pade na rob karte, se jo zaradi možnosti napak pri navigaciji prestavi na primernejše meto, ki je v radiju 1 km. Da bi zagotovili kar najvišjo stopnjo ponovljivosti, pri navigaciji na terenu uporabljajo karto v merilu 1:10.000 in aeroposnetke, od leta 2005 pa tudi GPS napravo (Vernik, 2005). Interval posameznih vzorčenj je predviden na vsakih 5 do 15 let. Sistem ima tudi poseben protokol, pri katerem v primerih, ko lokacija ne ustreza zastavljenim pogojem, poiščejo ustrezno mesto po vnaprej natančno opredeljenem postopku. Ta določa radij 100 m od prvotne lokacije in iskanje alternativnega mesta odvzema najprej 100 m na sever, nato 100 m na vzhod, zahod in na koncu 100 m na jug. Vsa merjenja razdalji in navigacijo po novem opravijo s pomočjo GPS naprave. Odvzeti vzorci so označeni in hranjeni v skladu z standardi BS 7755 Section 2.6 (1994) in v BS 7755 Section 3.5 (1995). Analiza vsebnosti TOS je predvidena po postopku z mokro oksidacijo (BS 1377 Method 3.1 Test 8, 1975) pri čemer se ostanek kalijevega dikromata določi s titracijo raztopine železovega sulfata.

4.1.1.4 Poljska

Poljska ima od leta 1995 vzpostavljen monitoring kakovosti obdelovanih tal (Monitoring of soil quality of arable land in Poland), ki ga ureja in izvaja Nacionalni inštitut za pedologijo in rastlinsko produkcijo (Institute of Soil Science and Plant Cultivation – State Research Institute) v Pulawy. Naročnik je krovni inšpektorat za varstvo narave (Chief Inspectorate of Environmental Protection) in je financiran s strani nacionalnega programa za varstvo narave in gospodarjenje z vodami Poljske (Siebielec, 2013). Monitoring kakovosti obdelovanih tal je sicer del obsežnejšega nacionalnega monitoringa okolja (SEM). Posamezni deli SEM so trenutno tudi v fazi harmonizacije, za kar skrbi krovni inšpektorat za varstvo narave (Chief Inspectorate of Environmental Protection). Monitoring kakovosti obdelovanih tal Poljske strogo zajema le kmetijske površine v ruralnih predelih s ciljem spremljanja in ovrednotenja sprememb v sestavi in kakovosti obdelovanih tal kot posledice kmetijske in nekmetijske rabe. Sistem spremlja zelo dolg nabor talnih podatkov med drugim tudi ciljano TOS in OC a ne predvideva vzorčenja za analizo volumske gostote. Ta podatek je na voljo v bazi oziroma preko izračuna PTF. Mreža vzorčnih lokacij je bila določena na podlagi 50.000 meritev talnega monitoringa tal Poljske, ki je bil izveden v začetku 90ih. Mreža ni pravilna in je določena kot kompromis med reprezentativno geografsko razporeditvijo, rabo tal v posamezni pokrajini (odstotek kmetijskih in obdelovanih površin), potencialnimi grožnjami za degradacijo tal (industrija, gostota prebivalstva...) ter da vključuje reprezentativno vse teksture in talne tipe (ekspertna ocena) (Siebielec, 2013).



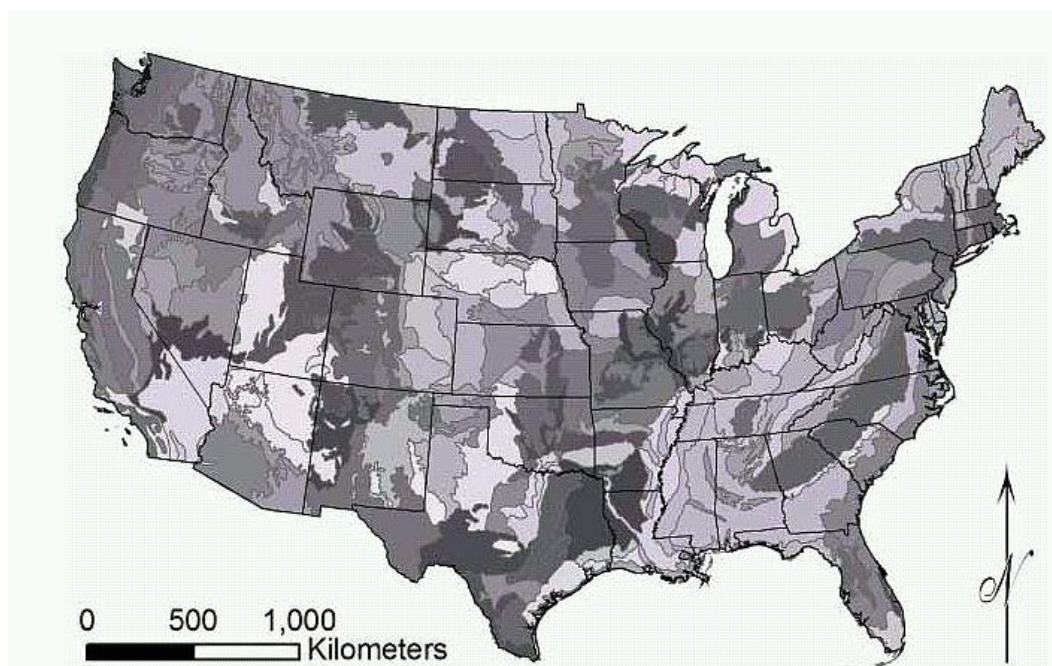
Slika 4: Mreža opazovalnih lokacij monitoringa kvalitete obdelovanih tal Poljske (Siebielec, 2013)

Figure 4: Sampling grid for selected locations of Polish monitoring system for arable land (Siebielec, 2013)

Gostota opazovalnih lokacij je bolj gosta v predelih z bolj gosto industrijsko dejavnostjo, kar je posledica pestre in hitro spreminjajoče rabe tal. Mrežo sestavlja 216 opazovalnih lokacij. Pred vsakim vzorčenjem se lokacije določi na podlagi pedološke karte in aero-foto posnetkov. Navigacija in lociranje posamezne lokacije na terenu se nato opravi s pomočjo GPS naprave in aero-foto posnetkov. V primerih kjer lokacija ne ustreza kriterijem (npr. se spremeni raba...), se nova določi v neposredni bližini. Glavna kriterija poleg bližine sta še primerljiva raba (vrsta in intenzivnost) in tekstura tal. Tla se vzorči na globini od 0 – 20 cm in sicer v 20 ponovitvah na mreži 10 x 10 m okrog lokacije. V posušenih in zmletih vzorcih določajo TOS s pomočjo mokre oksidacije pri čemer se ostanek kalijevega dikromata določi s titracijo raztopine železovega sulfata. Ob vzpostavitvi sistema leta 1995, so na vseh lokacijah izkopali in opisali tudi talne profile, ter vzorčili tla po horizontih do globine 70 cm. Vzorčenje je predvideno vsakih 5 let in je bilo do sedaj v celoti ponovljeno trikrat (baza podatkov za leta 1995, 2000, 2005 in 2010).

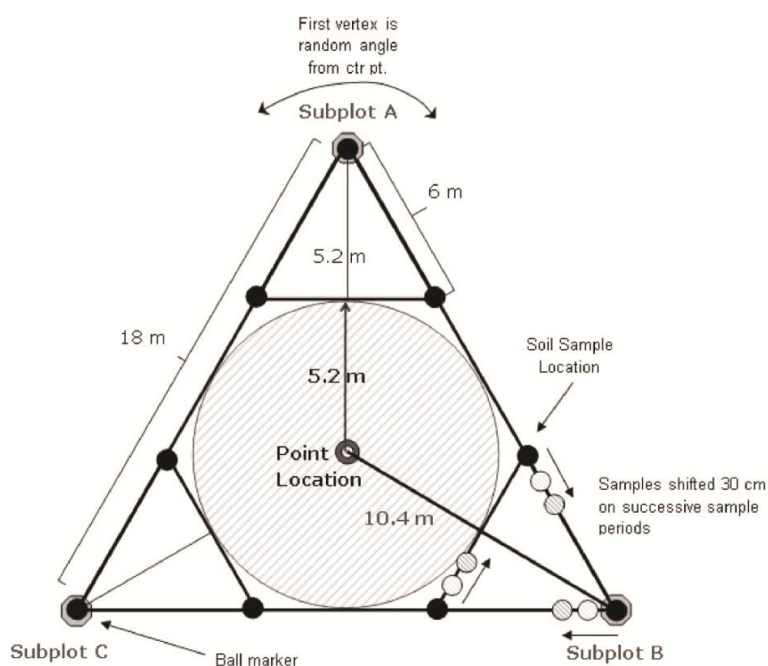
4.1.2 Sistem monitoringa TOS v ZDA

V ZDA so enoten monitoring tal za vse zvezne države vzpostavili v letu 2011 in je trenutno v fazi implementacije. Sistem so zasnovali iz potrebe po zanesljivejšemu viru podatkov, med drugim tudi za spremljanje dinamike TOS ter poročanje o prispevku kmetijstva k celokupnim emisijam CO₂ v ozračje (Ogle, 2012; Spencer in sod., 2011). Monitoring so zasnovali na osnovi obstoječega sistema monitoringa naravnih virov, National Resource Inventory (NRI) in sicer enotno za vse zvezne države. ZDA je do leta 2011 sicer uporabljala modelsko izračunavanje bilance TOS ter s tem povezanih emisij CO₂ iz kmetijstva, katere točnost je vprašljiva (Ogle in sod., 2010). Z novo pridobljenimi podatki v letih 2010/2011 si stroka obeta, da bo lahko merjene podatke uporabila kot referenco pri natančnejši kalibraciji obstoječih, procesiranih statističnih modelov. Tak pristop naj bi zagotovil večjo natančnost izvedenih (modelnih) rezultatov (Ogle, 2012) s tem pa možnost širše, večnamenske uporabe. Sistem je bil zasnovan na podlagi mreže opazovanih točk NRI (Spencer in sod., 2011). S postopkom stratifikacije so vse kmetijske površine najprej združili v razrede in sicer glede na talne podatke, klimatske podatke ter podatke o rabi tal. Obstoječih 5000 vzorčnih mest so tako razdelili v 370 poligonov (glej Slika 5), ter z analizo variance določili novo mrežo opazovalnih lokacij znotraj poligonov z reprezentativno drugačnimi lastnostmi.



Slika 5: Prikaz straticikacije na podlagi talnih, klimatskih in podatkov o rabi tal ZDA (Spencer in sod., 2011)
Figure 5: Stratification of USA based on soil, climatic and land use data (Spencer et al., 2011)

Vsaka lokacija je bila v naslednji fazi določena s pomočjo GPS naprave na terenu. Za vse lokacije je bila zasnovana razporeditev podvzorčnih mest. Okoli mesta, ki je predstavljalo lokacijo, je bil navidezno zarisan enakostranični trikotnik s stranico 18 m (Slika 6). Trikotnik je bil nato na ogliščih trajno označen z vkopanimi tremi elektronskimi oznakami (1401-XR EMS, 3M Corporation, Austin, TX, USA).



Slika 6: Zasnova okvira vzorčenja po nacionalnem sistemu vzorčenja tal ZDA (Spencer in sod., 2011)
Figure 6: Sampling design under the national soil monitoring system of USA (Spencer et al., 2011)

Vsaka oznaka hkrati predstavlja enega od oglišč manjšega, enakostraničnega trikotnika s stranico 6 m, postavljenega v oglišču velikega trikotnika. Trije takšni trikotniki so predstavljali pod-lokacijo. Mesta odvzema vzorca so bila na vsaki od stranic manjših trikotnikov/pod-lokacij in sicer v smeri urinega kazalca od oglišča, po tri na vsako pod-lokacijo, torej skupaj 9 na lokacijo.

Na vsaki lokaciji so vzorčili iz vseh 9. mest in sicer na globinah 0-10, 10-20, 20-30, 30-50 in 50-75 cm. Postopek novega sistema monitoringa tudi predvideva, da se pri vsakem naslednjem vzorčenju mesto odvzema vzorcev zamakne za 30 cm v smeri urinega kazalca (glej tudi Slika 6). S tem so želeli odpraviti napako, ki bi lahko nastala zaradi vpliva posega v površinski plasti (mineralizacijo), s tem pa na ravnotežje TOS. Pri pripravi in analizah vzorcev so predvideli nabor standardiziranih metod, pri katerem se TOS določa z metodo mokre oksidacije (Walkley – Black) oziroma popolnega sežiga (Loss On Ignition). Sistem tudi predvideva vse standardne pedološke analize talnih vzorcev; pH, tekstura, kationska izmenjalna kapaciteta, osnovna hranila ter ob prvem vzorčenju tudi volumska gostota. Sistem predvideva 5 do 10 letni interval med posameznim vzorčenjem.

4.1.3 Spremljanje lastnosti tal v Sloveniji

V Sloveniji nimamo enotnega organiziranega nacionalnega monitoringa tal. Obstajajo sicer trije ločeni vendar povsem namenski sistemi zbiranja podatkov tal in sicer:

- V okviru Raziskav onesnaženosti tal Slovenije (ROTS), ki ga vodi Infrastrukturni center za pedologijo in varstvo okolja, Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani (ICPVO – podatki ..., 2013, Zupan in sod., 2008),
- Vzorčenje gozdnih tal, kot del Monitoringa Gozdov in gozdnih ekosistemov, ki ga izvaja Gozdarski inštitut Slovenije ter
- vsakoletno a neurejeno zbiranje vzorcev kmetijskih tal v okviru kontrole rodovitnosti tal (KRT), kjer vzorce analizira vrsta kmetijsko gozdarskih zavodov in javnih inštitucij s področja kmetijstva iz vse Slovenije in katerih podtake za potrebe nadaljnjih analiz zbira Kmetijski inštitut Slovenije (KIS – podatki... 2013, Vrščaj in sod., 2011). KRT sicer kljub pobudam več strokovnih inštitucij s strani države še vedno ni uradno sprejet in financiran sistem.

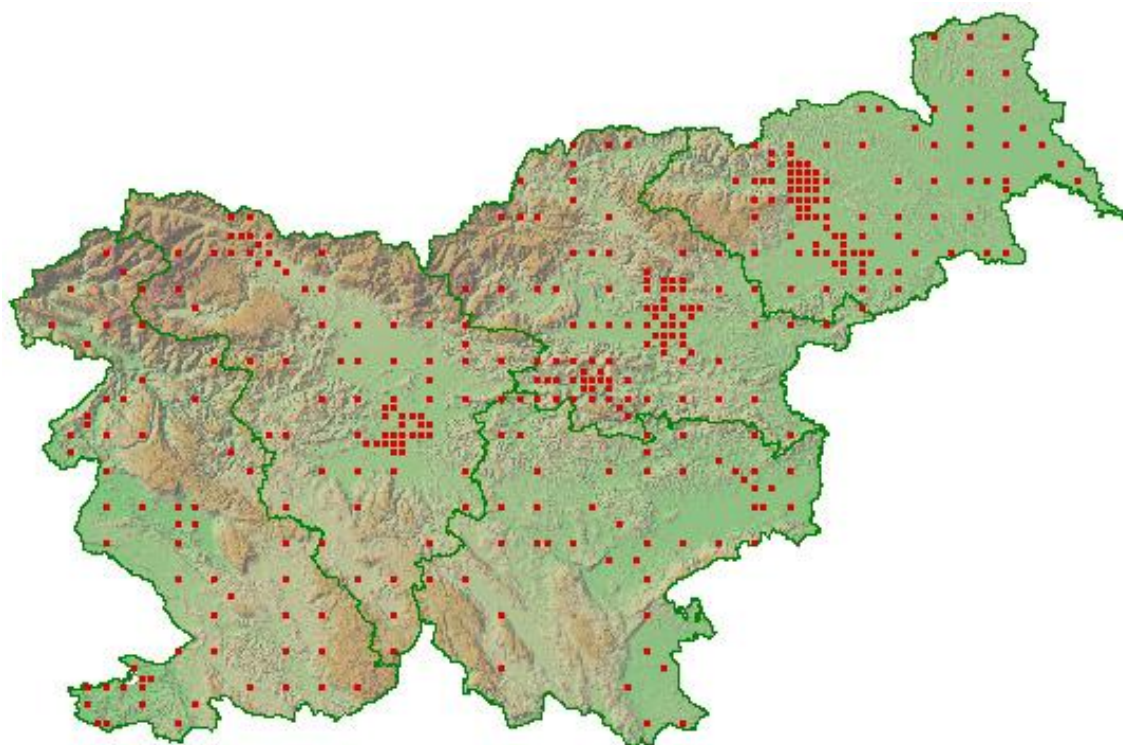
Kot dober pregled zatečenega stanja služi tudi pedološka karta Slovenije v merilu 1:25000 (ICPVO – grafični ..., 2007).

Vsi sistemi sicer beležijo podatek o vsebnosti TOS, vendar med seboj niso harmonizirani zato je med njimi vrsta metodoloških in analitskih razlik kar posledično pomeni, da podatki niso ali pa so slabo primerljivi.

4.1.3.1 Raziskave onesnaženosti tal Slovenije (ROTS)

Sistem je rezultat prizadevanj pedološke stroke po organiziranem sistemu zbiranja podatkov onesnaženosti tal. Prvi poizkus protokola organiziranega monitoringa sega v leto 1994, ko je na pobudo delovne skupine »varstvo tal« v okviru skupnosti alpskih dežel Alpe-Jadran nastalo priporočilo o načinu spremljanja onesnaženosti tal (Mihelič in sod., 2000). Monitoring, zbiranje in hranjenje podatkov onesnaženosti tal so bili sicer zapisana tudi v Nacionalnem programu varstva okolja (Nacionalni ..., 1999) ter kasneje v Resoluciji ... (2006). Slednji je dokončno opredelil metodologijo in določil koordinatno mrežo vzorčnih mest po vsej državi.

Zaradi pomakanja sredstev se je do danes opravila analiza le za cca. 25 % ozemlja Slovenije in da bi preverili učinkovitost sistema je bilo vzorčenje na 20 lokacijah tudi že ponovljeno. Celovit pregled stanja onesnaženosti tal tako ostaja prednostna naloga. ROTs je za Slovenijo pomenil pomembno prelomnico, saj je kot prvi postavil enotno metodologijo spremljanja talnih lastnosti ter določil organizirano mrežo opazovalnih lokacij. Podatki se hranijo v talnem informacijskem sistemu Infrastrukturnega centra za pedologijo in varstvo okolja na Biotehnični fakulteti UL (ICPVO – podatki ..., 2013).



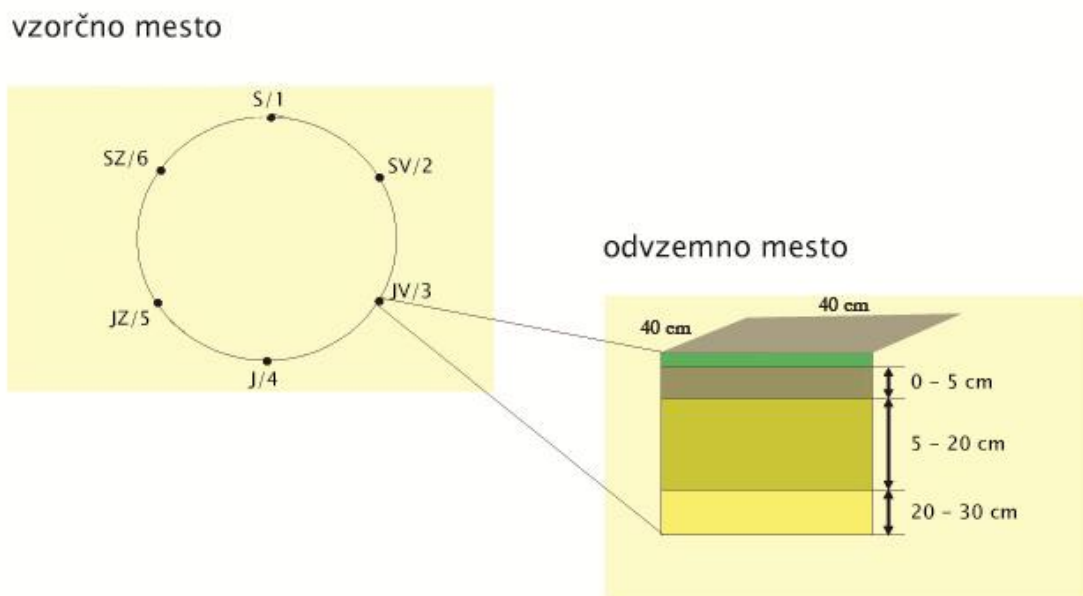
Slika 7: Mreža vseh izbranih opazovalnih lokacij ROTs za Slovenijo (Zupan in sod., 2008)

FigureSlika 7 7: Sampling grid for selected ROTs locations for Slovenia (Zupan et al., 2008)

ROTS je v okviru Nacionalni ... (1999) predvideval mrežo vzorčnih mest 2 x 2 km oz 4 x 4 km na negozdnih površinah nad 600m nadmorske višine. Zaradi velikega števila 2600

vzorčnih lokacij in počasne dinamike izvajanja vzorčenja, je bila gostota vzorčnih točk z Resolucijo ... (2006) zmanjšana in sedaj poteka na mreži 8 x 8 km (oziroma 16 x 16 km na negozdnih površinah nad 600m nadmorske višine). Med temi so bile izbrane reprezentativne vzorčne točke (600) na katerih se meri širok nabor pedoloških parametrov: pH, tekstura, TOS ter vsebnosti anorganskih in organskih onesnažil (Zupan in sod., 2008).

Rezultate analiz sistem tolmači v skladu s predpisanimi vrednostmi iz Uredbe o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednosti nevarnih snovi v tleh (1996) Ur.l. RS 68/96. Tla se vzorči v povprečnem (skupnem) vzorcu iz 6 odvzemnih mest, na krogu polmera 25-50 metrov z enovito rabo ter do globine 30 cm. Sistem predvideva izkop profilov do globine do 30 cm na vseh 6 odvzemnih mestih na obodu krožnice ter vzorčenje tal na globinah: 0-5 cm, 5-20 cm in 20-30 cm. Čas vzorčenja je predviden med septembrom in novembrom, ko je večina pridelkov že pobranih, novi še niso bili posejani oziroma zemljišče še ni preorano.



Slika 8: Okvir in globine vzorčenja pri sistemu ROTS (Zupan in sod., 2008)

Figure 8: Sampling design and depths for ROTS (Zupan et al., 2008)

4.1.3.2 Monitoring gozdnih tal Slovenije v okviru metodologije ICP Forests

Monitoring gozdov je organiziran in edini redno izvajan monitoring tal v Sloveniji. Obravnava spremljanje več dejavnikov gozdnega pokrova, pri čemer tla predstavljajo del zajetih podatkov. Sistem je posebej prilagojen tudi zajemu podatkov TOS. Prvi resni poskusi vzorčenja gozdnih tal segajo v sredino osemdesetih let, ko je bil sprejet mednarodni program sodelovanja za ocenjevanje in sledenje učinkov onesnaženega zraka na gozdove, ki je predvidel prvo raven opazovanja. Sledila je direktiva Council Regulation N°. (EEC) 3528 (1986); ki je uvedla današnji dve ravni spremljanja stanja gozdov.

Slovenija trenutno sledi uredbi Regulation (EC) No. 2152 (2003), ki na drugi ravni (celostno) vključuje spremljanje biotske raznovrstnosti, klimatskih sprememb in njihovega vpliva na gozdne ekosisteme. Program se v Sloveniji izvaja od leta 2004, skladno z Zakon o gozdovih (1993) in Pravilnik o varstvu gozdov (2000); cilji pa so bili zapisani tudi v Resoluciji ... (2006). Sistem uporablja mednarodno metodologijo, ki je bila opredeljena v dopolnjeni verziji ICP Forests, (2006). Lokacije vzorčenja gozdnih tal so opredeljene na mreži 16 x 16 km in sicer 45 izbranih reprezentativnih lokacij po vsej Sloveniji. Predvideni časovni interval med posameznimi ponovitvami je vsakih 10 let. Gozdarski inštitut Slovenije, ki sicer izvaja monitoring, bolj natančne raziskave opravlja tudi na manjši, 8 x 8 km mreži. Tla vzorčijo v dveh stopnjah in sicer iz izkopanega profila iz globin 0-10 in 10-20 cm, ki ga opišejo po postopkih predvidenih v metodologiji ICP Forests. Dodatno se zgornje organske horizonte tal (Ol, Of in Oh) vzorči znotraj kovinskega okvirja 25 x 25 cm, ki se ga horizontalno položi na čelo izkopanega profila (metodologija projekta BioSoil) (Urbančič in sod., 2007). Med naborem je predvideno tudi vzorčenje za analizo volumnske gostote tal s pomočjo kovinskih cilindrov z znano prostornino. Podatki se hranijo v centralni bazi podatkov na Gozdarskem inštitutu Slovenije.

Preglednica 2: Obvezne in priporočene globine vzorčenja ravni 1 in 2 ICP Forests za gozdna tla (ICP Forests, 2006)

Table 2: Compulsory and optional sampling depths of level 1 and 2 of ICP Forests for forest soils (ICP Forests, 2006)

Raven 1 (a)		Raven 2 (b)	
Obvezno	Neobvezno	Obvezno	Neobvezno
0-10 cm	0-5 cm	0-10 cm	0-5 cm
10-20 cm	5-10 cm	10-20 cm	5-10 cm
/	20-40 cm	20-40 cm	/
/	40-80 cm	40-80 cm	/

(a) Neobvezno / priporočeno za primere, kjer se pričakuje velike razlike med površinskimi in globljimi talnimi horizonti.

(b) Obvezno samo pri prvem vzorčenju. Pri naslednjih vzorčenjih neobvezno.

4.1.3.3 Kontrola rodovitnosti kmetijskih tal Slovenije (KRT)

Sistem rednega zbiranja podatkov tal za potrebe kontrole rodovitnosti v Sloveniji trenutno uradno ne obstaja in je voden povsem neurejeno in stihijsko. Metodologija se naslanja na metodologijo postavljeno v smernicah za utemeljeno gnojenje (Mihelič in sod., 2010), a le kot priporočilo. V okviru Programa prilagajanja kmetijstva klimatskim spremembam so bila v letu 2011 izdelana strokovna in pravna izhodišča za vzpostavitev organiziranega sistema KRT, ki pa do danes uradno še ni bil sprejet in vzpostavljen (Vrščaj in sod., 2011).

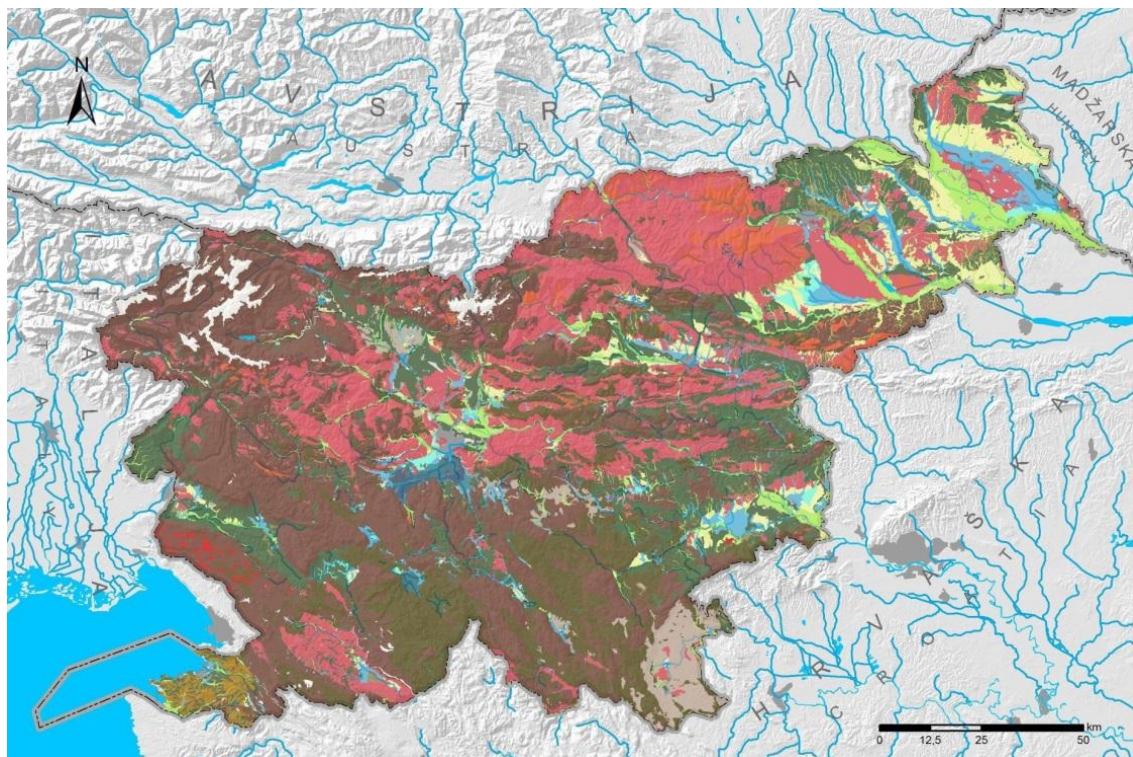
Podatki so bili zajeti iz različnih virov, po večini z naslova vzorčenj, ki se vsako leto izvajajo na kmetijskih površinah izključno na pobudo kmetov in lastnikov/upravljalcev zemljišč (KIS – podatki... 2013). Ta sicer nima predpisane enotne metodologije temveč le priporočila, kot jih opisuje Mihelič in sod., (2010). Navodilo priporoča, da se vzorce za analizo odvzame kot več podvorcev na isti njivi, pri čemer je priporočljivo, da je vsak sestavljen iz vsaj 20 podvorcev, ki se jih pred analizo združi v enega in homogenizira. Globine vzorčenja so predpisane po rabi in sicer na njivah in obdelanih površinah 0-25 cm (globina oranja) ter na travnikih in pašnikih na globini 0-6 cm. Na terenu se navadno izpolni tudi zapisnik vzorčenja, ki pa pogosto dosledno ne predpisuje opredelitve lokacije (koordinat) ter načina odvzema (s pomočjo svedra ali lopate...). Analiza Vrščaj in sod. (2011) tako izpostavlja prav problem natančne opredelitve globine vzorčenja ter vprašljivem številu podvorcev, ki se jih združi v povprečnem površinskem vzorcu. Za prostorsko opredelitev ter GIS analizo sta nujna tudi koordinate lokacije ter opis rabe tal. Čeh in Vajs (2010) hkrati opozarjata na neusklajenost analitskih metod, ki jih izvajajo različni laboratoriji in inštitucije po vsej državi, saj se uporabljajo različne standardizirane in hišne metod.

Sicer po neuradnih podatkih v Sloveniji pedološke analize opravlja vsaj 10 laboratorijev, ki letno skupaj analizirajo med 10.000 in 50.000 talnih vzorcev. Vrščaj in sod. (2011) ugotavljajo, da je za veliko nihanje v številu vzorcev krivo predvsem dejstvo, da kmet ni z ničemer obvezan, da redno oddaja vzorce v analizo. Razpršenost vzorcev iz zelo različnih lokacij dodatno otežujejo združljivost z ostalimi shemami (npr. ROTS) saj so te pogosto nepopolne in med seboj slabo ali neprimerljive. Na podlagi razpoložljivih podatkov vsebnosti TOS tako lahko govorimo le o okvirnih značilnostih/stanju v kmetijskih tleh Slovenije, ne moremo pa slediti ali napovedovati dinamike vsebnosti TOS. Ob študiji, ki je bila izdelana v okviru strokovnih nalog Ministrstva je bila poudarjena potreba ter podan predlog zasnove nacionalnega sistema kontrole rodovitnosti, ki bi bistveno bolje urejal odvzem, analizo podatkov, hranjenje vzorcev in hranjenje podatkov KRT (Vrščaj in sod., 2011). Podana je bila tudi zasnova spletne aplikacije e-TLA, ki bi poleg hranjenja in interpretacije podatkov, delovala tudi kot podpora pri obveščanju kmetov in pridelovalcev v Republiki Sloveniji.

4.1.3.4 Pedološka karta Slovenije

Kljub temu, da ne spada med sisteme monitoringa tal, je potrebno na tem mestu nujno omeniti tudi obstoječo digitalno pedološko karto Slovenije. Pedološka karta Slovenije v merilu 1:25.000. Infrastrukturni center za pedologijo in varstvo okolja (ICPVO), Biotehniška fakulteta, UL in Ministrstvo za kmetijstvo in okolje (MKO) (v nadaljevanju PK25) vse od vzpostavitve v sredini devetdesetih let (Vrščaj in Lobnik, 1997, 1999) predstavlja temeljno evidenco podatkov tal na nivoju države, regij in občin (ICPVO – grafični ..., 2007). Karta kljub svoji starosti še danes predstavlja najbolj popoln posnetek rasporejenosti vrst tal Slovenije, ki je bil narejen z enotno metodologijo. Karto so izdelali na Biotehniški fakulteti, Univerze v Ljubljani in je bila zasnovana na podlagi merjenih

podatkov približno 1700 pedoloških profilov, ki so bili opisani in vzorčeni glede na globino, rabo tal ter značilnosti talnih horizontov. Lastnik podatkov je Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Republike Slovenije. Ta preko svoje spletne strani omogoča prost dostop do osnovnih podatkov, ki so nato navadno osnova za nadaljne ciljne okoljske ocene in analize (ICPVO – grafični ..., 2007).



Slika 9: Pedološka karta Slovenije 1:25.000 (Vir podatkov: ICPVO – grafični ..., 2007)

Figure 9: Slovenian soil map 1:25.000 (Data source: ICPVO – grafični ..., 2007)

4.1.4 Obstoječi in javno dostopni podatki tal Slovenije

Slovenija je imela ob vzpostavitvi talnega informacijskega sistema konec devedesetih let dobro urejene in organizirane podatke o tleh (Vrščaj in Lobnik, 1998, Vrščaj in Tič, 1998). Kasneje se podatkov ni organizirano in sproti dopolnjevalo in posledično je sistem danes manj pregleden, podatki pa so hranjeni na več lokacijah ter pogosto neenotno strukturirani. Z večjo dostopnostjo računalniških orodij in dobro pokritostjo Slovenije s signalom širokopasovnega interneta, so se odprle nove možnosti uporabe podatkov tal, predvsem na hitro rastočem področju upravljanja z okoljem in naravnimi viri. Podobno kot marsikje v tujini so se tudi v Sloveniji pojavili poizkusi vzpostavitve centralne nacionalne baze podatkov tal, ki bi hkrati preko WEB aplikacij, služila kot servis za vladne službe, kmetijsko svetovalno službo, strokovnjake in kmete (Vrščaj in sod., 1990, 2011). Podobne sisteme poznamo v več evropskih državah npr. na Poljskem, Nemčiji, Avstriji in Veliki Britaniji (Albrecht, 2007; Baggott in sod., 2005; Black, 2008; Blum in sod., 1999; Siebielec, 2013), pri čemer je dostop do podatkov različno urejen in v veliki meri odvisen od lastništva ter zakonodaje posamezne države. Za Slovenijo je bil velik del sistema in

organiziranosti že razvit v devetdesetih letih (Vrščaj in Lobnik, 1998, 1999; Vrščaj, 1999). Z razvojem baz podatkov in informacijskih orodij v zadnjem desetletju je danes sistem možno še nadgraditi (Vrščaj, 2007a). Enovit talni informacijski sistem, kljub širokemu prizadevanju različnih institucij, s strani države še ni dokončno prepoznan in uvrščen med prednostne naloge pristojnih ministrstev. Vrsta slovenskih raziskovalnih institucij tako ločeno zbira in hrani podatke o tleh, ter jih v okviru posameznih tematik uporablja v domačih in mednarodnih raziskavah (Vrščaj in sod., 2011; Vrščaj in Vernik, 2010).

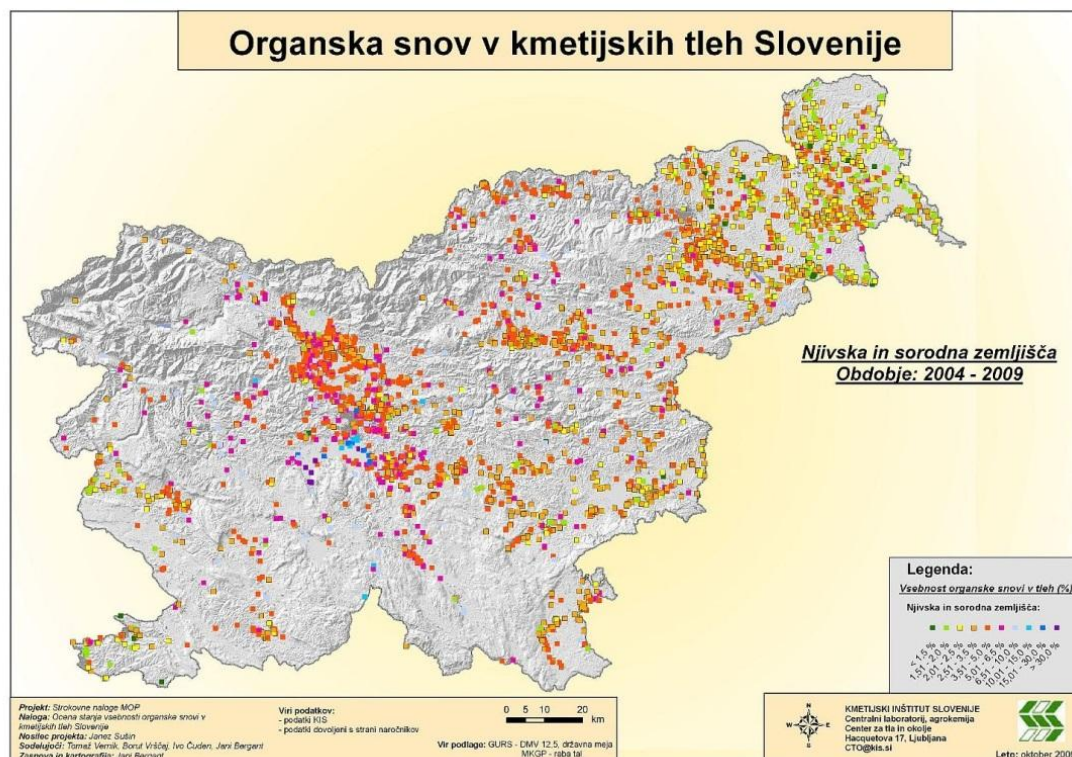
Tu je potrebno tudi omeniti INSPIRE direktivo Evropske Komisije, ki državam članicam nalaga poenotenje baz ter s tem primerljivost in združljivost na ravni EU. Zaradi pomanjkljivih in neenotnih baz podatkov tal, se za potrebe poročanja v povezavi s kmetijstvom in izpusti CO₂ pred Evropsko Komisijo (Kyoto, LULUCF) le te dopolnjujejo z ekspertnimi ocenami (Vrščaj, 2006, 2007b; Vrščaj in sod., 2008), ki pa pogosto ne zadovoljijo recenzentov. Evropska komisija hkrati vedno bolj zaostri zahteve, s čimer dobivajo na pravilni metodologiji pridobljeni in ustrezno urejeni podatki vedno večjo vrednost.

4.1.4.1 Rezultati nekaterih analiz vsebnosti TOS opravljenih v Sloveniji

V preteklosti je bilo v Sloveniji že narejenih nekaj poizkusov ovrednotenja stanja vsebnosti ter ocene zalog TOS predvsem v povezavi z obveznostmi Slovenije pri poročanju v okviru konvencij (Kyoto, LULUCF). Študije so uporabljale različne vire ter baze podatkov. Slovenija ima sicer na voljo veliko število podatkov, vendar so le ti v veliki meri niso primerni za kaj več kot oceno trenutnega stanja.

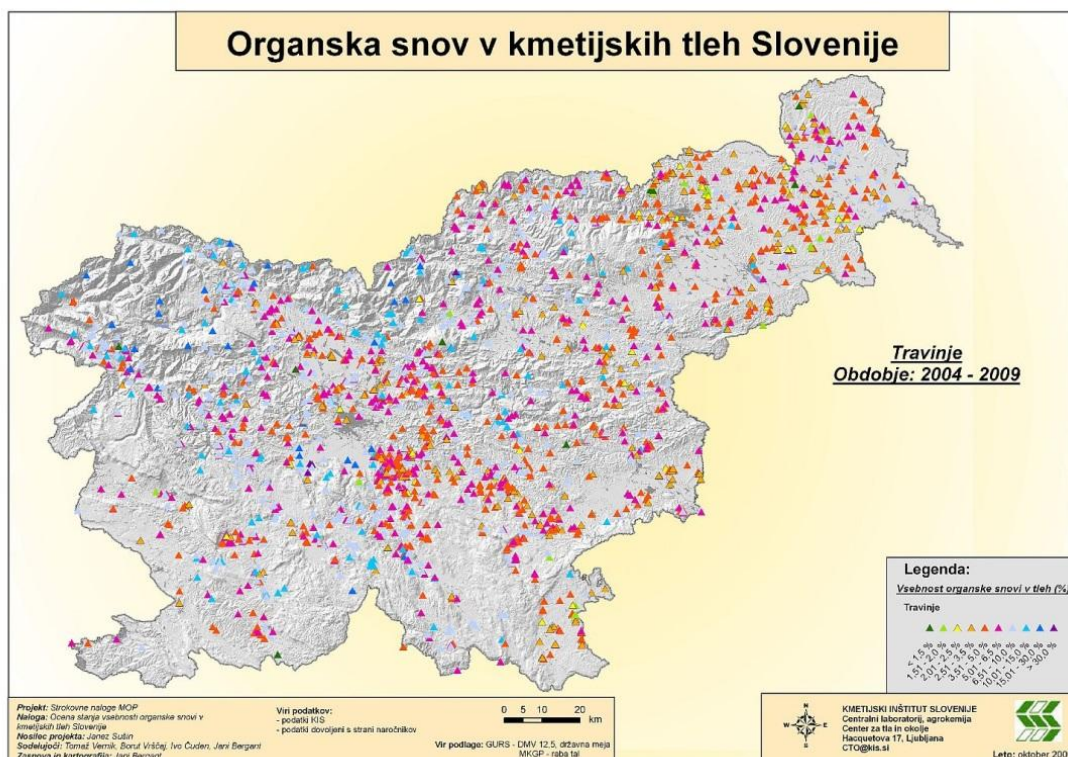
Strokovne naloge Ministrstva za kmetijstvo in okolje

Ministrstvo za kmetijstvo in okolje je v letu 2009 v okviru okoljskih kazalcev Kmetijskemu inštitutu Slovenije naročilo študijo »Vsebnost talne organske snovi ter redno spremljanje njene dinamike«. Namen naloge je bil na podlagi obstoječih podatkov oceniti stanje preskrbljenosti in preveriti možnost za redno spremljanje vsebnosti TOS v kmetijskih tleh Slovenije (Sušin in sod., 2009). V ta namen so bili zbrani podatki 8511 lokacij, kjer je bila poleg drugih talnih parametrov izmerjena tudi vsebnost TOS. Naloga je naredila analizo stanja za kmetijska tla med leti 2004 in 2009. Na podlagi rezultatov so bile izrisane karte (glej Slika 10 in Slika 11) glede na evidentirano rabo tal (Sušin in sod., 2009). Podatki so obsegali vzorce zelo različnih talnih tipov od plitvih in po večini lažjih tal primorskih vinogradov, kjer je vsebnost TOS navadno nizka, pa do s TOS bogatih, barjanskih travnikov in njiv.



Slika 10: Analiza vsebnosti TOS na njivskih in sorodnih zemljiščih globine 0-25 cm (Sušin in sod., 2009)
Figure 10: Analysis of SOM content for arable land on depths 0-25 cm (Sušin et al., 2009)

Zajeti podatki so bili rezultat zelo različnih načinov vzorčenja (pogosto lastniki zemljišč sami) in metod kemijskih analiz (različni laboratoriji). Ker so navodila za tovrstno vzorčenje podana le kot priporočilo (Mihelič in sod., 2010) je razporeditev vzorčnih mest med posameznimi leti povsem naključna tj. vedno na drugi lokaciji. Slika 10 prikazuje točkovne rezultate analize stanja vsebnosti TOS na njivskih in sorodnih zemljiščih na globini 0-25 cm, Slika 11 pa enako na travinju vendar na globinah 0 - 6 cm. Ker so (bila) vzorčenja opravljena vedno na drugem mestu, ker metodologija odvzema niti analiz ni usklajena ter zaradi manjkajočih podatkov o volumski gostoti, naloga ni mogla oceniti dinamike TOS niti zalog TOS v kmetijskih tleh. S stališča kmetijske pridelave je tu treba omeniti, da bi morali biti rezultati podani v skladu z 5. razredi za humoznost (Mihelič in sod., 2010), namesto uporabljene skale, ki med razredi ni enakomerna. Obstoječi prikaz uporabniku namreč ne omogoča realnega vpogleda v stanje s tem pa ocene uporabnosti podatkov TOS za kmetijsko pridelavo (rodovitnost...).

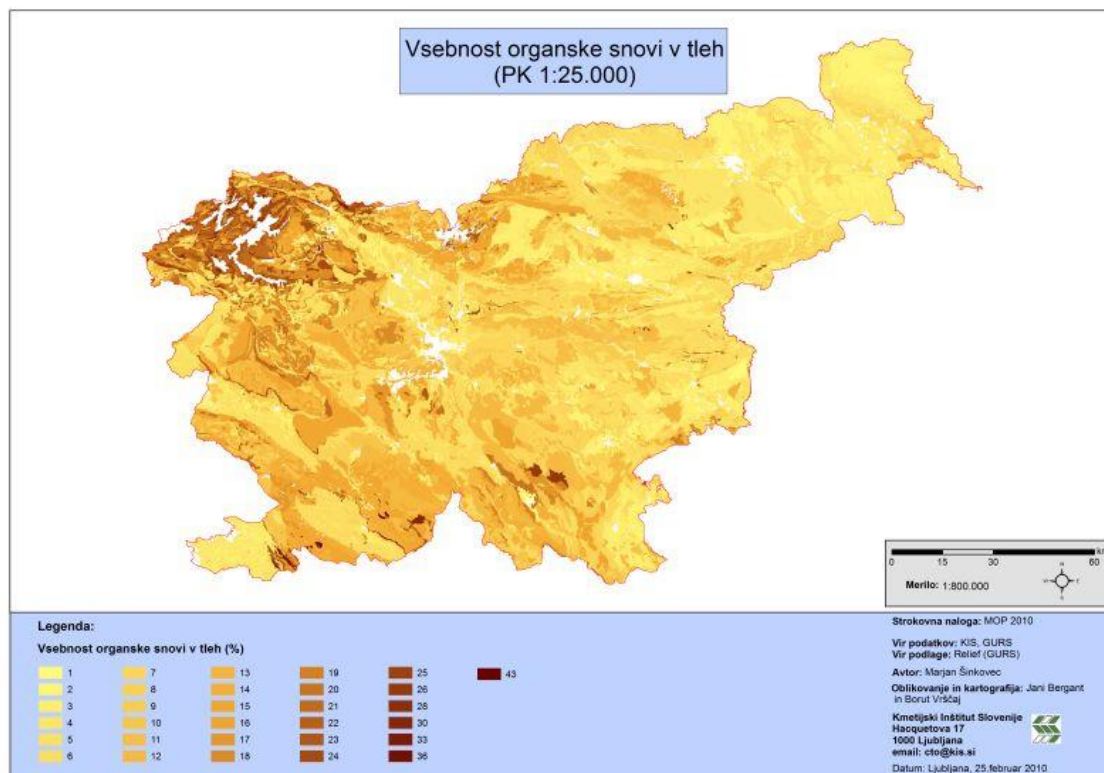


Slika 11: Analiza vsebnosti TOS na travinju globine 0-6 cm (Sušin in sod., 2009)

Figure 11: Analysis of SOM content for grasslands on depths 0-6 cm (Sušin et al., 2009)

Poizkus interpolacije iz PK25

Ker obstoječi podatki niso bili ustrezni, so se avtorji iste naloge poizkusili oceniti vsebnosti TOS tudi iz podatkov digitalne pedološke karte Slovenije PK25. Vsebnost TOS je bila na podlagi baze podatkov PK25 ocenjena za globino 0-20 cm ter posamezen talni tip (Sušin in sod., 2009). Analiza je temeljila na merjenih podatkih nekaj več kot 1700 opisanih talnih profilov. Rezultat je bila rastrska karta vsebnosti TOS. Ker je bil vsak profil opisan in vzorčen glede na horizonte (neenotne globine) je bila vsebnost TOS preračunana kot uteženo povprečje za globino 0-20 cm (Slika 12). Omenjeni poizkus interpolacije rezultatov glede na talni tip in talno kartografsko enoto PK25 je sicer podoben praksam v tujini. Podoben pristop pri uporabi podatkov pedološke karte je bil uporabljen tudi pri izdelavi karte vsebnost organskega ogljika Evrope (0-30 cm) v merilu 1 x 1 km (Jones in sod., 2004). Pri tem je vredno opozoriti, da je takšna ponazoritev prostorske porazdelitve TOS do neke mere netočna in hkrati lahko tudi zavajajoča, saj temelji na oceni in ne merjenih podatkih. Pri upoštevanju merjenih podatkov pedoloških profilov PK25 problem predstavlja predvsem interpretacija podatkov, saj so globine opisanih profilov različne. Slabost opisane karte je tudi v tem, da je bila vsebnost TOS razdeljena v 31 razredov in sicer glede na % organske snovi pri čemer širine razredov niso bile enakomerne. Tudi tu bi bila zaradi poenotenja in lažje primerljivosti/interpretacije bolj primerna uporaba 5. razredov po Mihelič in sod. (2010).

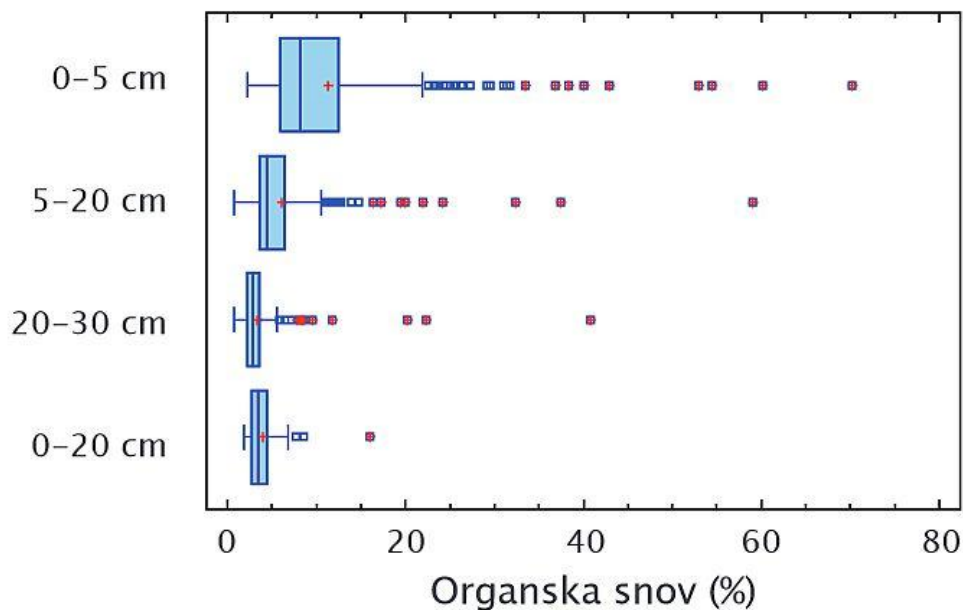


Slika 12: Vsebnost povprečne TOS 0-20 cm v % na podlagi podatkov PK25 (Sušin in sod., 2009)

Figure 12: Average SOM content 0-20 cm in % based on PK25 (Sušin et al., 2009)

Raziskave onesnaženosti tal Slovenije

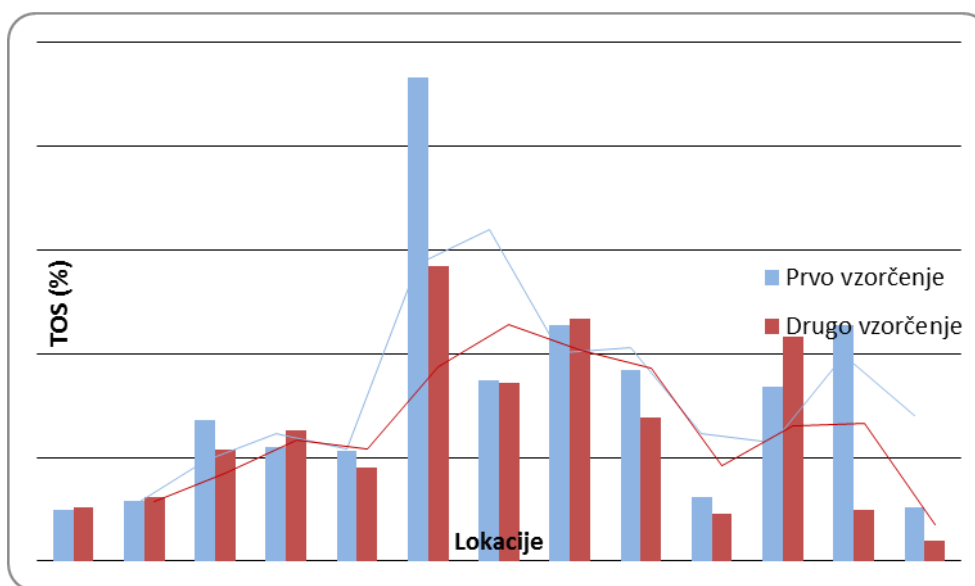
Za namen ocene ter spremljanja stanja onesnaženosti tal je bil leta 1999 zasnovan monitoring onesnaženosti tal Slovenije (ROTS), katerega prvo vzorčenje v celoti še ni bilo zaključeno. Podatki so obsegali 299 lokacij na enakomerni mreži, od globine 0-30 cm (Zupan in sod., 2008). Monitoring izvaja Infrastrukturni center za pedologijo in varstvo okolja (ICPVO). Poročilo je vključevalo tudi analizo organske snovi po horizontih 0-5 cm, 5-20 cm in 20-30 cm (glej Slika 13).



Slika 13: Prikaz vsebnosti TOS po globinah iz podatkov ROTS (Zupan in sod., 2008)

Figure 13: SOM content by depths based on ROTS data (Zupan et al., 2008)

Raba tal je poleg kmetijske obsegala tudi gozd, gorske travnike, območja v zaraščanju ter urbane površine. Da bi preverili učinkovitost vzpostavljenega sistema, so avtorji še pred zaključenim prvim vzorčenjem celotne Slovenije, ponovno obiskali ter vzorčili 13 izbranih lokacij. Podatki so na sicer majhnem vzorcu potrdili trend izgube TOS iz tal. Pri tem pa je potrebno poudariti, da je bila raba na teh lokacijah zelo različna (Slika 14).

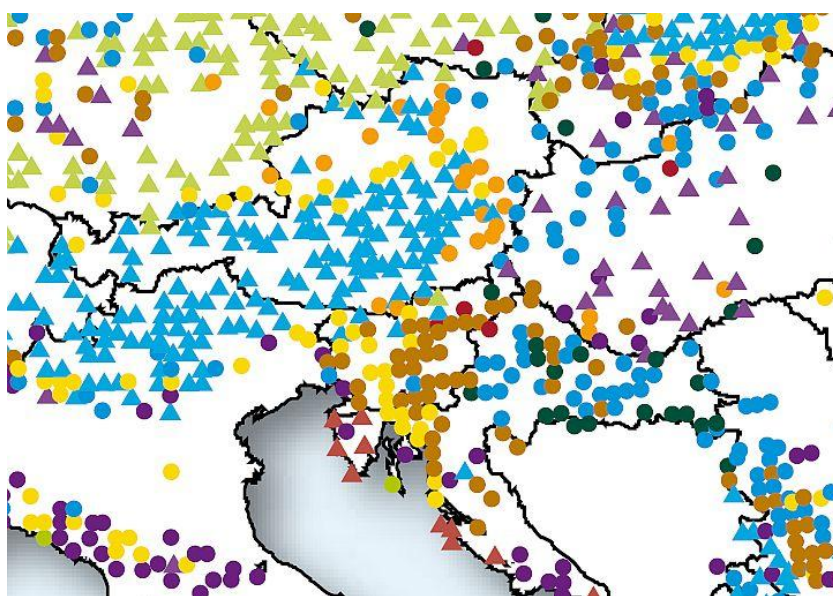


Slika 14: Prikaz razlik v vsebnosti TOS na izbranih lokacijah ROTS

Figure 14: Change in SOM content on selected ROTS monitoring sites

Monitoring gozdnih tal Slovenije

V okviru monitoringa gozdnih tal Slovenije, ki ga izvaja Gozdrski inštitut Slovenije v okviru metodologije ICP Forests, se poleg gozdnega pokrova spremlja tudi stanje vsebnosti TOS (raven dve). V ta namen je Slovenija pokrita z 45 opazovalnimi ploskvami/lokacijami. Metodologija določa globine vzorčenja na dveh nivojih in sicer glede na globino O oz. H horizontov ter fiksne globine mineralnih plasti 0-10 in 10-20 cm. Razpoložljivi podatki so v točkovni obliki ter na mreži 16 x 16 km. Rezultati se objavljajo v okviru skupnega letnega poročila. Surovi podatki za izris karte nam za potrebe te naloge žal niso bili dosegljivi. Na sliki 15 je prikazana zgolj karta lokacij vzorčenja monitoringa gozdnih tal po metodologiji ICP Forests, povzeta po poročilu za leto 2012 (Fisher in sod., 2012).



Slika 15: Prikaz lokacij vzorčenja po metodologiji ICP Forests (Fisher in sod., 2012)

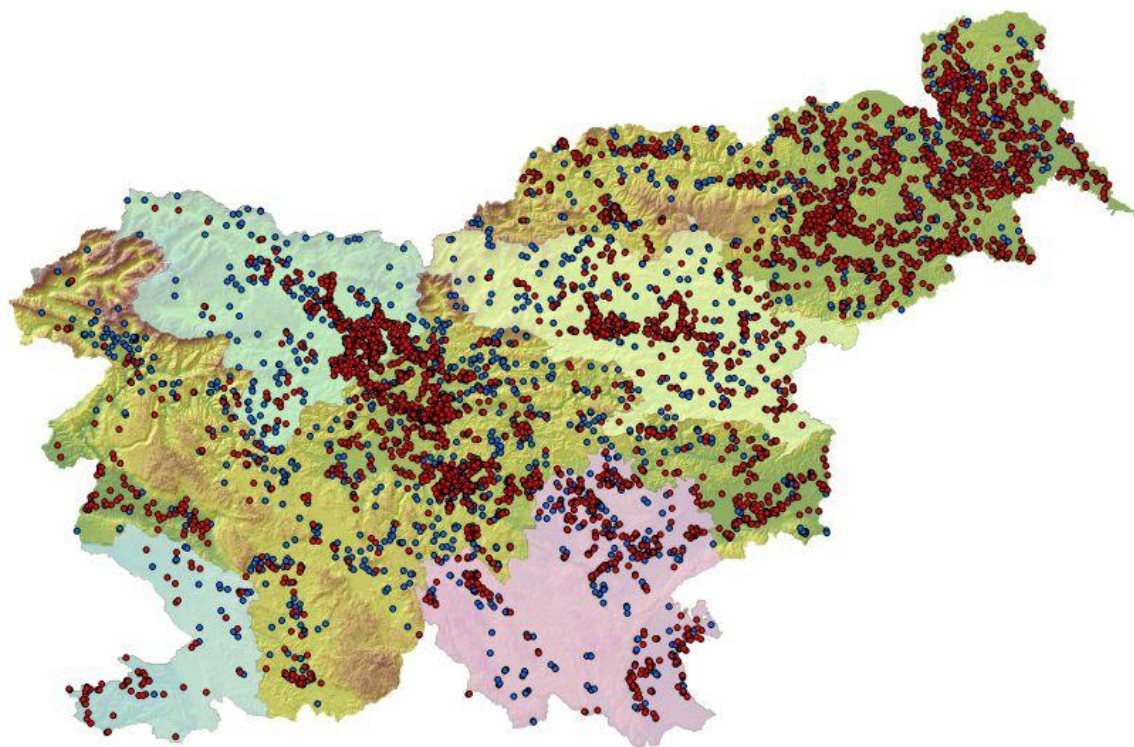
Figure 15: Sampling location according to ICP Forests methodology (Fisher et al., 2012)

Preglednica 3: Slovenski, nekateri evropski in ameriški sistemi, ki spremljajo vsebnost organske snovi
Table 3: Systems that collect organic matter content data of Slovenia, some European countries and the US

Država	Ime sistema	Prostorska ureditev				Vzorčenje			Interval vzorčenja
		Velikost	Okvir odvzema podvzorcev	Število podvzorcev	Rotiranje mest odvzema	Globina	volumska gostota Kopetsky	Izkop Profila	
Slovenija	ROTS	Mreža 8x8 oz 16x16 km	Krožnica radija 25-50m (6xprofil)	(6x5) 30	Ne	0-5, 5-20, 20-30 cm	Ni posebej določeno	Do globine 40 cm	5 do 10 let
	KRT	Neurejen sistem	Naključen	priporočeno min 20	Ne	0-25 cm oz. 0-6 cm	Ni posebej določeno	Ne	Ni obvezno predpisano. (5 let)
	PK25 Pedološka karta Slovenije	Neurejena mreža opazovalnih točk	/	/	/	Do matične podlage	Ni posebej določeno, ponekod da	Do matične podlage	Enkratno
	Monitoring gozdnih tal (ICP Forests)	Mreža 8x8 oz 16x16 km	Kovinski okvir 25x25 cm	5	Ne	Horizonti O in H oz. 0-10 cm 10-20 cm	horizonti Ol, Of in Oh	Do matične podlage	10 let
Avstrija	Environmental Soil Survey	Mreža 4x4 oz 2,75x2,75	Naključen	Ni posebej določeno	Ne	0-10, 10-20, 20-30, 30-50 cm	Ni posebej določeno	Do matične podlage	3 do 10 let
Nemčija	Federal Soil Monitoring	Mreža 8x8 km/stratificirana mreža	Neenoten. (odvisno od zvezne pokrajine)	Odvisno od zvezne pokrajine	Ne	0-5, 5-10, 10-30, 30-60, 60-90 cm (-120 oz -140 cm)	Ni posebej določeno	Do globine 90 cm (200 cm)	5 do 10 let
Velika Britanija	NSI	Mreža 5x5 km	Mreža 16x16m	25	Ne	0-75 cm	10, 30 in 50 cm	Do globine 75 cm	5 do 15 let
Poljska	Monitoring kakovosti obdelovanih tal	Neurejen sistem	Mreža 10x10m	20	Ne	0-20 cm	Ni posebej določeno	Da ob prvem vzorčenju	5 let
ZDA	NMS	Stratificirana mreža	Trikotnik 16x16x16m	9	30 cm smer urinega kazalca	0-10, 10-20, 20-30, 30-50, 50-75 cm	Ni posebej določeno (ob prvem vzorčenju)	Ne	5 do 10 let

4.2 PRIMERJAVA REZULTATOV VSEBNOSTI TOS PRI KRT, ROTS IN PEDOLOŠKIH PROFILOV PEDOLOŠKE KARTE SLOVENIJE PK25

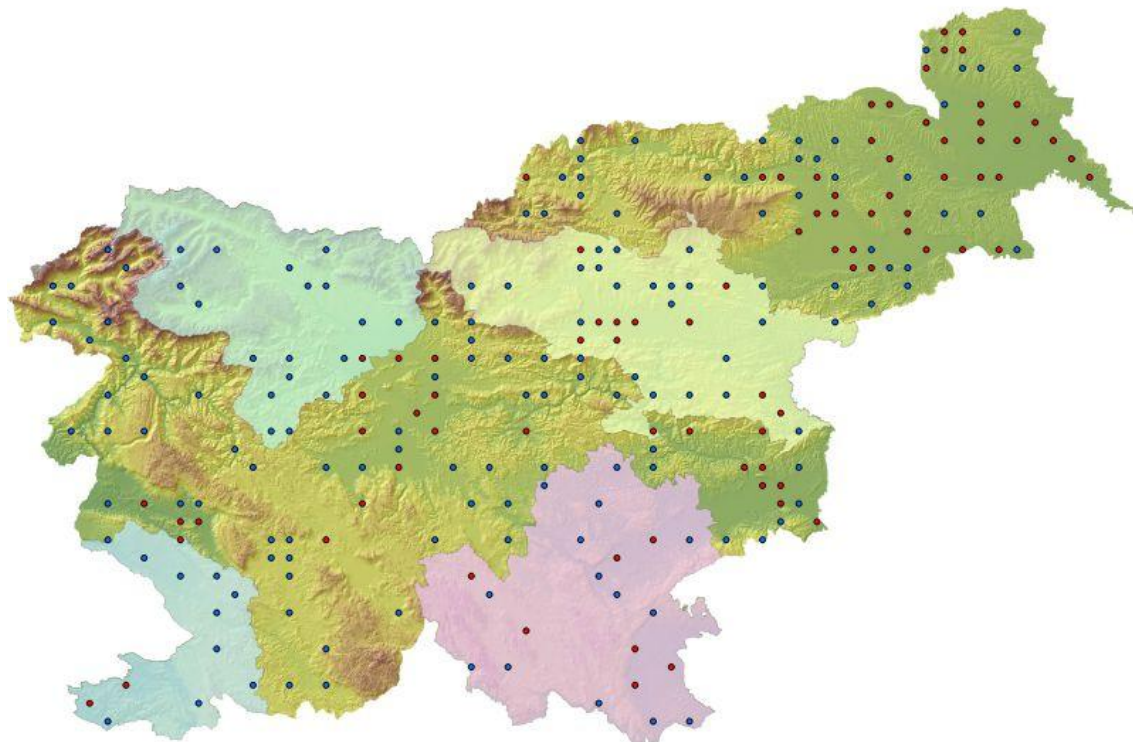
V analizo smo vključili zbrane rezultate sistemov KRT, vzorčenih med leti 2004-2009, ROTS ki so bili vzorčeni med leti 2004-2006 ter podatke pedoloških profilov Pedološke karte Slovenije 1:25000 (PK25), ki so bili vzorčeni med leti 1989-1998. Kot testna območja smo izbrali štiri regije; JV Slovenija, Savinjska, Gorenjska in Obalno-Kraška. Na podlagi osnovnih statistik ter izrisa grafov smo znotraj posameznega testnega območja želeli primerjati značilnosti podatkov vsebnosti TOS za obe rabi tal.



Slika 16: Prikaz njivskih in travniških lokacij vzorčenja sistema KRT

Figure 16: KRT arable and grassland sampling locations

Za potrebe analize smo upoštevali vsebnosti TOS za globino 0-20 cm. Pri PK25 je bil vsak profil opisan in vzorčen glede na horizonte (neenotne globine) zato smo vsebnost TOS ponovno preračunali kot uteženo povprečje za globino 0-20 cm (glej tudi Slika 18). Zaradi zelo raznolikih naborov ter neenakomerne prostorske razporeditve podatkov smo na izbranih testnih območjih lahko primerjali le rabi njive in travinje (glej Slika 19).

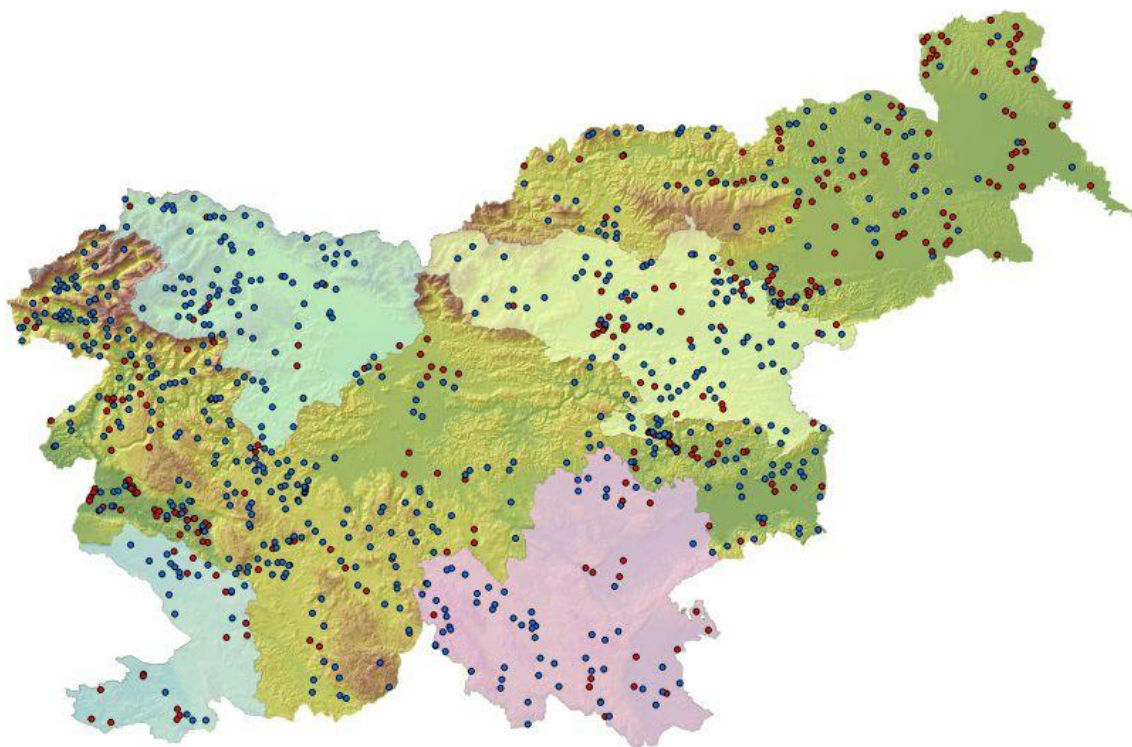


Slika 17: Prikaz njivskih in travniških lokacij vzorčenja sistema ROTS

Figure 17: ROTS arable and grassland sampling locations

Slika 19 prikazuje primerjavo rezultatov za njivsko rabo na testnih območjih JV Slovenija, Savinjska, Gorenjska in Obalno-Kraška. Zaradi boljše preglednosti, smo iz prikaza namenoma izpustili dva statistična osamelca in sicer oba pri sistemu PK25 za njive na Gorenjskem (35,00) in travinje na Savinjskem (47,7). Oba podatka sta bila sicer vključena v izračun osnovnih statistik, ki ga povzemamo v nadaljevanju.

Sistem ROTS na vseh testnih območjih kaže najmanjše število podatkov (skupno 37 od tega 10 na njivah in 27 na travinju). Največje število podatkov ima na vseh testnih območjih KRT (skupno 1235 lokacij od tega 902 na njivah in 333 na travinju) med tem ko sistem PK25 (skupno 109 lokacij od tega 38 na njivah in 71 na travinju) kaže največji razpon podatkov ter najvišje ekstremne vrednosti (osamelci) ter posledično najvišje standardne deviacije (glej tudi Slika 19 in Prilogo A). Izstopata predvsem osamelca pri njivah na Gorenjskem (35,0) ter pri travinju na Savinjskem (47,7). Oba podatka sta bila izvzeta iz prikaza na Slika 19 zaradi boljše preglednosti grafov.

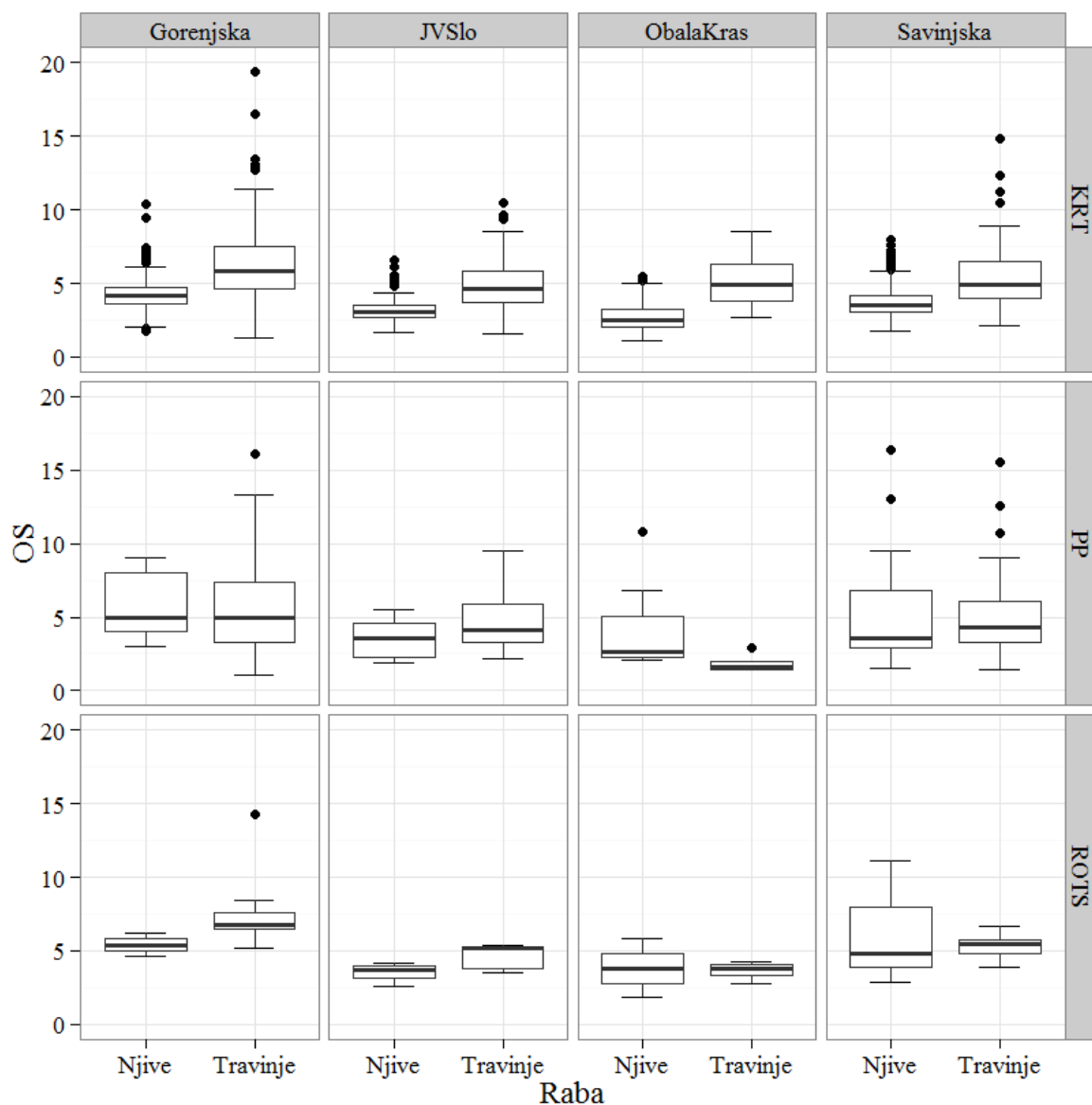


Slika 18: Prikaz njivskih in travniških lokacij vzorčenja sistema PK25

Figure 18: PK25 arable and grassland sampling locations

Gledano za vsa testna območja imajo njive v povprečju nižje vsebnosti TOS (4,73) kot travinje (5,16). Izjema je le sistem PK25, kjer so v povprečju vrednosti TOS višje za njive (5,79) kot za travinje (4,69). Povprečne vrednosti TOS so najvišje na Gorenjskem (njive = 6,78, travinje = 6,61), sledi mu Savinjska (njive = 5,14, travinje = 5,62), JV Slovenija (njive = 3,42, travinje = 4,83) ter Obalno-Kraška z najnižjimi vrednostmi (njive = 3,57, travinje = 3,59).

Primerjava statistik za izbrane sisteme znotraj posameznega testnega območja prav tako kaže zelo različne lastnosti podatkov. Tako so na primer povprečne vrednosti na njivah na Gorenjskem pri KRT 4,3 pri ROTS 5,4 in pri PK25 10,66. Podobno je tudi pri travinju, kjer povprečne vrednosti nihajo med 6,4 pri KRT, 5,8 pri ROTS in 7,7 pri PK25. V JV Sloveniji so povprečne vrednosti nekoliko bolj izenačene. Pri njivah nihajo med 3,2 pri KRT, 3,5 pri ROTS in 3,5 pri PK25 ter podobno pri travinju med 4,9 pri KRT, 4,6 pri ROTS in 4,9 pri PK25. Podobno kot na Gorenjskem povprečne vrednosti nihajo tudi na Savinjskem (njive: KRT 3,7, ROTS 6,3 in PK25 5,4; travinje: KRT 5,4, ROTS 5,3 in PK25 6,2) in Obalno-Kraškem (njive: KRT 2,7, ROTS 3,8 in PK25 4,3; travinje: KRT 5,3, ROTS 3,6 in PK25 1,9) (glej Priloga A).



Slika 19: Organska snov v plasti tal 0 – 20 cm za štiri regije, tri sisteme meritev in dve rabi tal brez dveh podatkov sistema PP (PK25)

Figure 19: Organic matter content in depths 0 – 20 cm for four test plots, three systems and two landuses without two outliers at system PP (PK25)

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 KLJUČNA ZASNOVA NACIONALNEGA MONITORINGA TOS

Slovenija potrebuje boljši vpogled v stanje kmetijskih tal. Sistem monitoringa je nujen in predpogoj pri zagotavljanju ustreznih podatkov. Urejeno zbiranje podatkov tal ter TOS zagotavlja možnosti spremljanja stanja in napovedovanja trendov. Hkrati pristojnim inštitucijam zagotavlja enostavnejšo presojo upravičenosti in ustreznosti ukrepov ter nudi osnovo za oblikovanje ustreznih okoljskih politik v boju proti klimatskim spremembam. Ustreznost tako pridobljenih podatkov bo hkrati bistveno olajšala izpolnjevanje mednarodnih obveznosti Slovenije, predvsem poročanja v okviru mednarodnih konvencij (Kyoto) ter kot polnopravne članice EU (LULUCF).

Zasnova organiziranega in sistematičnega nacionalnega monitoringa je zahtevna naloga, ki združuje znanja s področja opazovanja okolja (Environmental audit), pedologije, statistične analize ter zahteva organizacijska ter informacijska znanja. Morvan in sod. (2008) ter Spencer in sod. (2011) ugotavljajo, da mora organizirano spremljanje talnih parametrov v svoji zasnovi omogočati sistematično beleženje in zaznavanje sprememb talnih lastnosti skozi daljše časovno obdobje. Na podlagi opisanih izkušenj držav in že uveljavljenih sistemov monitoringa TOS ter s pomočjo mnenj strokovnjakov, lahko izpostavimo dobre in slabe strani posameznih sistemov, ter podamo ključne smernice, kot vodilo pri vzpostavitvi učinkovitega nacionalnega sistema monitoringa kmetijskih tal v Sloveniji.

Za pridobitev kakovostnih podatkov in s tem omogočeno ustrezno primerjavo posameznih sistemov, je najprej potrebno določiti ključne kriterije. Ti hkrati delno oblikujejo tudi okvir zasnove, ki jo je potrebno v določenih primerih dodatno prilagoditi naravnim danostim in razmeram:

1. Opredelitev namena in ciljev, skladnih s potrebami države ter vrsto podatkov.
2. Postavitev in reprezentativno število stalnih vzorčnih mest, ki zagotavljajo natančnost in kakovost informacij ter upoštevajo lokalne/naravne dejavnike.
3. Določitev zasnove vzorčenja na posamezni lokaciji, da ta zagotavlja ponovljivost in minimalno sistemsko napako.
4. Določitev protokola / metodologije odvzema vzorcev na posamezni lokaciji, v skladu z uveljavljenimi mednarodnimi standardi ISO ter skladnih z usmeritvami in priporočili EC.
5. Opredelitev nabora podatkov in analiz, skladnih z mednarodnimi standardi in metodologijami.

5.1.1 Namen in cilji zasnove sistema monitoringa TOS

Namen in cilji monitoringa morajo biti oblikovani v okviru potreb ter ob upoštevanju naravnih danosti Slovenije. Ker Slovenija nima nacionalnega sistema monitoringa

kmetijskih tal je to hkrati priložnost, da se spremljanje TOS vključi v širši kontekst in zasnuje enoten, nacionalni monitoring, ki bo reševal manjko podatkov o tleh tudi na drugih področjih (boj proti klimatskim spremembam (suša), ohranjanje rodovitnosti...).

Pri snovanju je pomembno upoštevati smernice podane s strani Evropske Komisije (Commission ..., 2007), ki bodo zagotovile skladnost ter primerljivost podatkov na evropski ravni. Slovenija bo s tem pridobila bolj kakovostne podatke, povečala uspešnost in natančnost poročanja v izpolnjevanju mednarodnih obveznosti in izračunavanju izpustov toplogrednih plinov v okviru kmetijske pridelave ter omogočila učinkovito ter pravočasno ukrepanje. Ob tem je treba poudariti tudi večnamensko vlogo podatkov TOS ne le za podrobnejše raziskave procesov kroženja ogljika v slovenskih agro-ekosistemi temveč tudi v druge okoljske analize. Učinkoviti in pravočasni ukrepi upravljanja s tlemi bodo znatno prispevali k ohranjanju/izboljšanju rodovitnosti kmetijskih tal, ohranjanju nekaterih redkih ekosistemov ter najboljših kmetijskih površin ter učinkovitejšemu boju proti klimatskim spremembam in negativni bilanci izpustov toplogrednih plinov iz kmetijstva.

5.1.2 Prostorska ureditev mreže opazovalnih lokacij in njihovo število

Slovenija ima precej razgiban relief in talne lastnosti kar posledično zelo omejuje možnosti za intenzivnejšo ter s tem učinkovito kmetijsko pridelavo. Predvsem zaradi velikega nagiba, plitvih in skalovitih tal in vse večje pozidanosti, imamo v Sloveniji vse manj površin, primernih za tržno usmerjeno pridelavo hrane (Vrščaj, 2008). Trenutna oskrba Slovenije z doma pridelano hrano je sicer precej pod ravni, ki bi Sloveniji zagotavljala minimalno raven samooskrbe. Ker je s stališča samooskrbe nujno, da se ohranjanja najboljše kmetijske površine se mora zasnova monitoringa TOS med drugim usmeriti tudi na najkakovostnejše in najbolj ogrožene površine. Med prve štejemo predvsem kmetijske površine na ravninah, kjer so tla globoka in kjer je možna uporaba mehanizacije. Poleg ogroženosti teh površin zaradi pozidav, so te izpostavljene zelo intenzivni rabi tal (oranje, premeščanje in mešanje površinskih plasti). Pomembno vlogo igrajo tudi naravni dejavniki kot so klima (pogostost poletnih suš), geografska pozicija (naklon) in talne lastnosti (lahka, drenirana tla na prodih in peskih...). Ob upoštevanju Slovenskih razmer je potrebno izpostaviti predvsem način razporeditve vzorčnih mest pri sistemih Velike Britanije (dolga tradicija in utečenost) in ZDA (nov sistem, ki vključuje nova znanja).

NSI v Veliki Britaniji ima natančno določeno metodologijo ter enakomerno mrežo opazovalnih lokacij po vsej državi. Zaradi zelo pogostih in obsežnih šotič (Wales, Škotska) ter njihovega pomena, mreža opredeljuje vsa zemljišča ne glede na rabo (Bellamy in sod., 2005; Kibblewhite, 2012). Enakomerna mreža je za Slovenijo sicer manj priporočljiva (klimatska, talna in geografska pestrost), a je ideja o monitoringu vseh površin, ne glede na rabo zanimiva saj zajemajo tudi površine, ki sicer niso pod kmetijsko rabo a imajo visoko vsebnost TOS. Predvsem površine z visoko vsebnostjo TOS (histosoli) lahko ob nepremišljeni rabi tal predstavljajo potencialno velik vir izpustov CO₂ v ozračje.

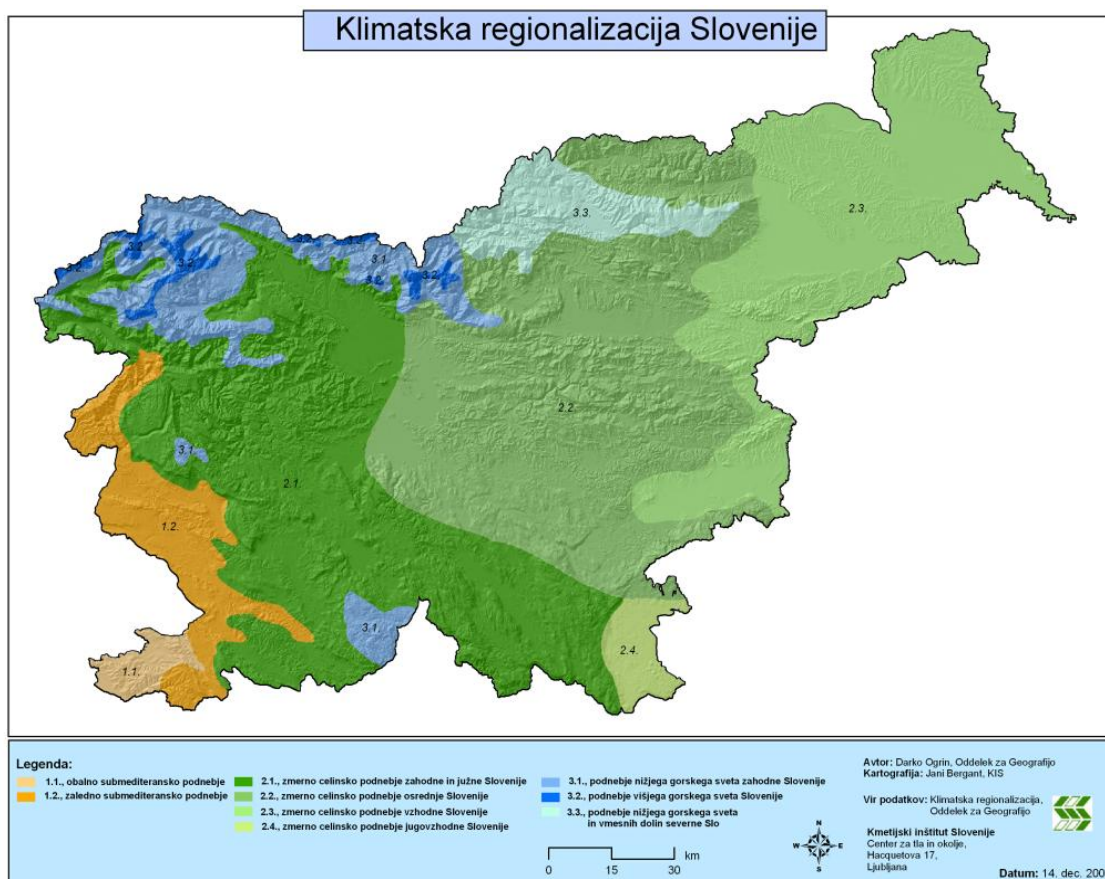
Poleg travnikov in njiv bi bilo zato vredno razmisliti tudi o vključitvi sicer maloštevilnih šotišč in barij. Histosoli z visoko vsebnostjo TOS predstavljajo ponore atmosferskega CO₂. Te površine v večini primerov že štejemo med območja velike naravne vrednosti (biotska raznovrstnost). Šota je koncentriran in neobnovljiv vir TOS, ki nastaja izredno počasi ter le v določenih pogojih. Tudi kjer zaradi mineralizacije tla niso več kategorizirana kot šotna (primer Ljubljanskega barja), ta še vedno predstavljajo velik, potencialni vir CO₂ in jih je zato potrebno varovati. Trenutno histosoli ter naravna šotišča, ki so v kmetijski rabi niso posebej zaščitena niti se na njih ne izvaja program spremljanja, ki bi omogočal ustrezno prilagoditev kmetijskih praks. Vključitev v redni monitoring vsebnosti TOS bi bil tako lahko prvi korak k sistematičnim in rednim raziskavam dinamike TOS na teh površinah. Problematiko šotišč je sicer potrebno reševati ločeno in bolj celostno. Po izkušnjah Velike Britanije, je monitoring šotišč prispeval k izboljšanju razumevanja procesov mineralizacije, s tem pa odprl možnosti za učinkovito in sonaravno upravljanje teh zemljišč. Ob dejstvu, da je teh površin v Sloveniji le za vzorec, je to hkrati morda zadnja priložnost, saj mnogi med njimi pospešeno izginjajo.

Dobra stran Ameriškega sistema je določitev opazovalnih lokacij, ki je bila opredeljena na podlagi stratifikacije GIS sloja talnih lastnosti, značilnosti klime, rabe tal ter vsebnosti TOS (v nadaljevanju; agro-klimatske cone). Podoben pristop sicer opisujejo tudi Schröder in Schmidt (2004) v primeru nekaterih nemških zveznih pokrajin. Agro-klimatske cone določajo območja z enakimi pogoji za mineralizacijo TOS. Med posameznimi razredi (razpon pogojev znotraj ene agro-klimatske cone) je v naslednji fazi moč poiskati statistično reprezentativen vzorec lokacij, za posamezno državo. Ameriški pristop določitve opazovalnih lokacij na podlagi v naprej določenih in stratificiranih agro-klimatskih con, bi bil za Slovenijo zelo primeren saj upošteva prostorsko variabilnost talnih, klimatskih in geografskih lastnosti, Slovenije. Mreža opazovalnih lokacij bi bila je posledičnoneenakomerna, kriterijem za določitev posamezne lokacije pa se po potrebi lahko doda tudi kriterij dostopnosti. Po vzoru drugih sistemov v tujini (Blum in sod., 1999; Schröder in Schmidt, 2004; Spencer in sod., 2011) je za ustrezno določitev števila vzorčnih mest nujna uporaba statistične analize, ki upošteva prostorsko variabilnost in dejavnike vpliva na mineralizacijo TOS. Tovrsten pristop se je v ZDA že izkazal kot učinkovit in daje v začetni fazi implementacije zelo obetavne rezultate (Ogle, 2012).

5.1.2.1 Pretekle prostorske analize, kot pomoč pri prostorski zasnovi

Slovenija že ima poizkus stratifikacije kmetijskih površin na cone, ki jih definira klima. V okviru ciljno raziskovalnega projekta znanje za mir M2-0220, je bil leta 2010 razvit model določanja potreb rastlin po vodi za potrebe napovedovanja in oceno sušnosti tal Slovenije (Vernik in sod., 2010). Analiza je poleg podatkov o padavinah in fenoloških lastnostih izbranih kmetijskih rastlin vključevala tudi karto agro-klimatskih con Slovenije, ki pa je temeljila le na že objavljenih in dosegljivih virih. Rezultati študije so pokazali potrebo po izdelavi stratifikacije kmetijskih zemljišč, glede na talne, klimatske in geografske dejavnike (nadmorska višina, relief, ekspozicija...). Ker Slovenija teh podatkov nima, je v študiji

izdelana karta agroklimatskih con (glej Slika 22) v veliki meri temeljila na karti klimatske regionalizacije Slovenije (Bat in sod., 2004), kjer so bili izločeni glavni podnebni tipi Slovenije (glej Slika 20).

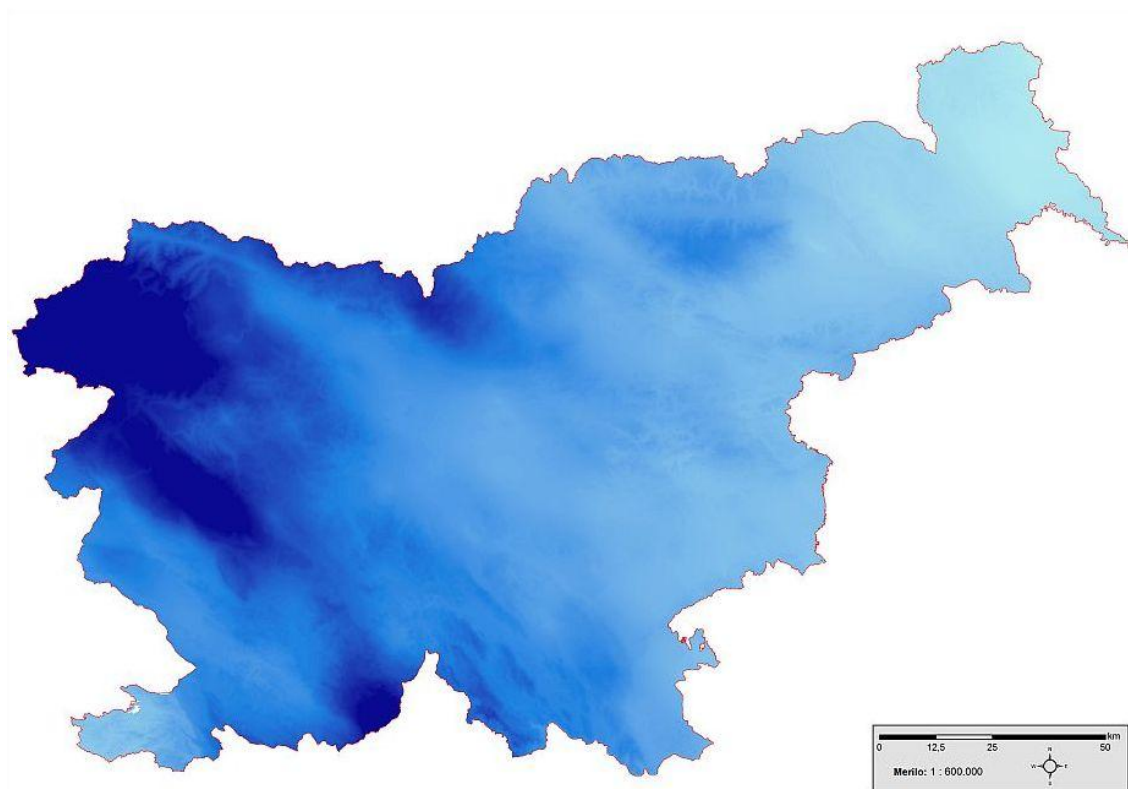


Slika 20: Klimatska regionalizacija Slovenije (Bat in sod., 2004)

Figure 20: Climatic regionalisation of Slovenia (Bat et al., 2004)

Uporabljeni podatkovni sloj je bil edini razpoložljivi vir, ker naloga ni predvidevala dodatnih analiz in ustvarjanja novih podatkov. Za natančnejšo in resnejšo analizo kot takšen ni ustrezal potrebam naloge, saj je upošteval le razmejitve glede na regije ne pa tudi dejanskih pogojev na posamezni lokaciji, kot jih na primer povzema ameriški sistem (glej tudi Slika 5).

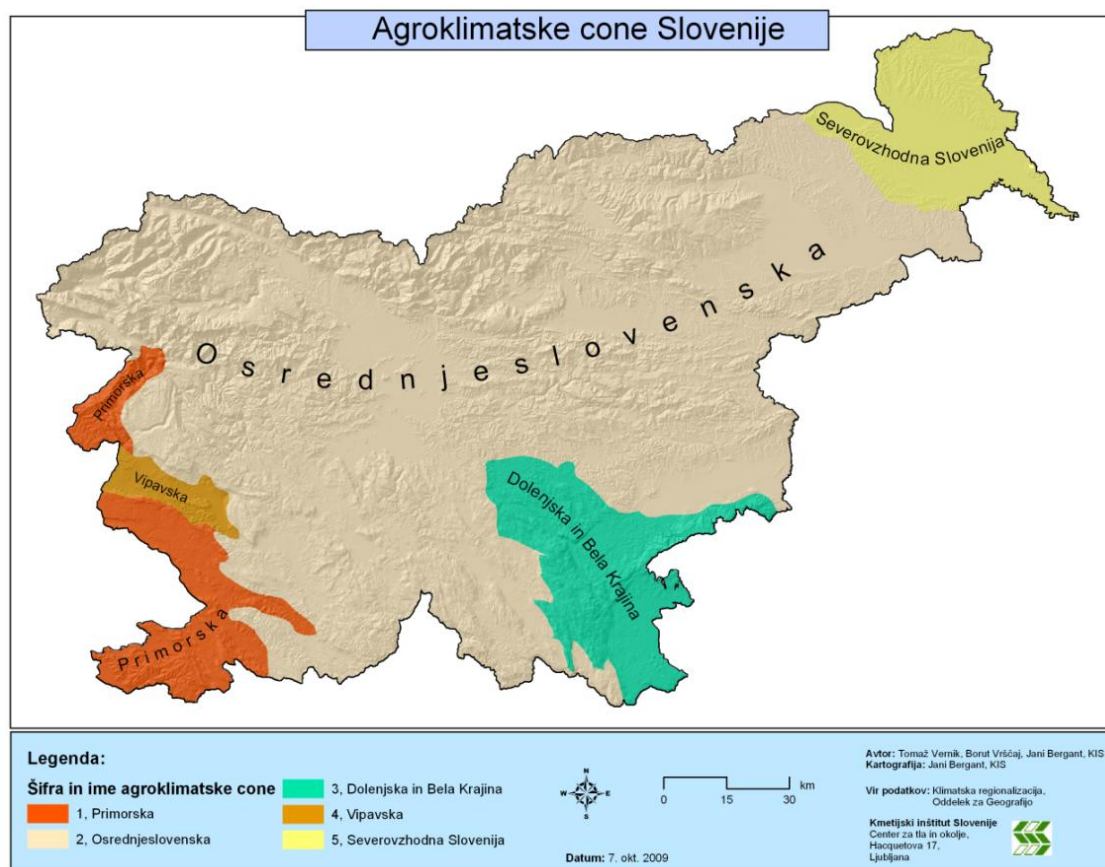
Analiza je predvidela 5 opisnih (ne grafičnih) agro-klimatskih con, glede na geografsko lego oz. podnebne značilnosti: Vipavska, Primorska, Osrednjeslovenska, Dolenjska in Bela Krajina ter Severovzhodna Slovenija. S pomočjo strokovne ocene so bile opisne agro-klimatske cone najprej pripisane območjem s kmetijsko rabo, upoštevane so bile fenološke značilnosti posameznih klimatskih tipov in nekatere izmed njih imensko preoblikovane. Nastal je nov GIS sloj petih, glavnih, agro-klimatskih con (Slika 22:), ki pa ni upošteval podatkov tal. Ta sloj je trenutno na voljo v bazi Kmetijskega inštituta Slovenije.



Slika 21: Prikaz padavinske karte Slovenije (povprečje 1961-1990) (Vernik in sod., 2010)

Figure 21: Precipitation map of Slovenia (average 1961-1990) (Vernik et al., 2010)

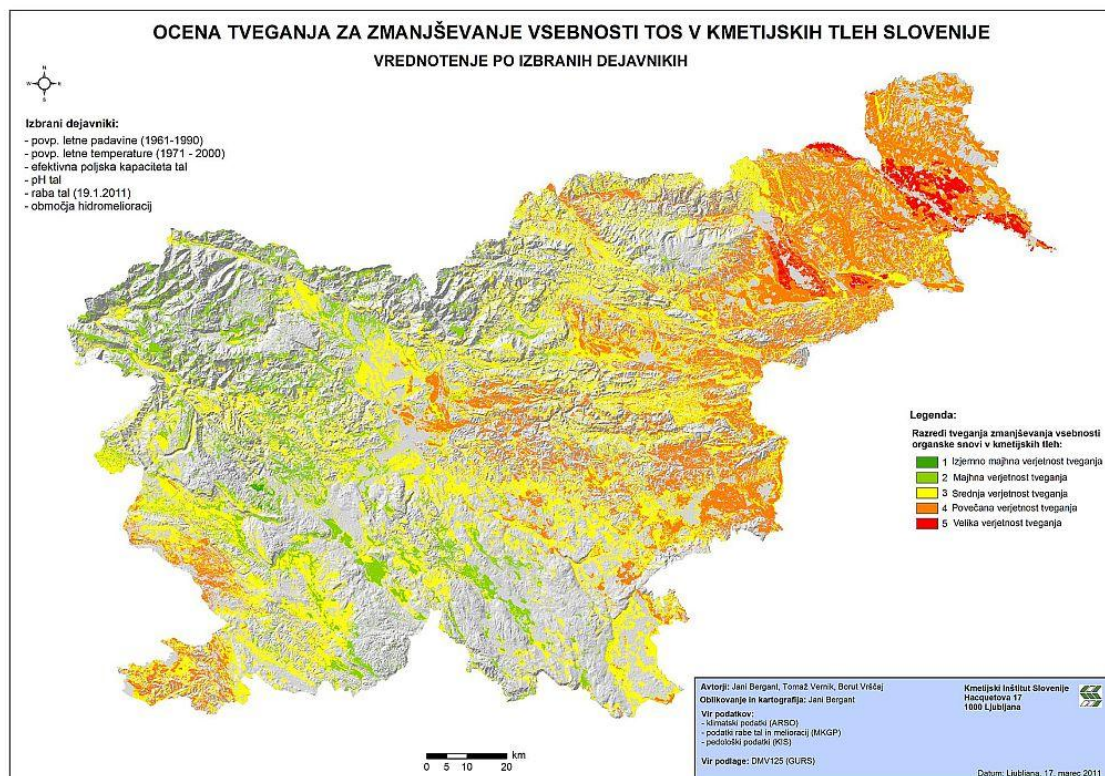
Za potrebe monitoringa TOS v kmetijskih tleh Slovenije bi bilo po ameriškem zgledu nujno potrebno zasnovati nov sloj startifikacije Slovenije, ki bi poleg klimatskih lastnosti (temperature, padavin) upošteval še ostale dejavnike vpliva na mineralizacijo TOS; talni tip, vsebnost TOS, relief oz. ekspozicijo in intenzivnost ter vrsto rabe tal. S pomočjo statistične analize bi iz posameznih stratificiranih enot v naslednji fazi izbrali reprezentativne lokacije, ki bi sestavljale mrežo opazovalnih lokacij za monitoring. Pri tem je nujno upoštevati tudi rezultate nekaterih predhodno opravljenih študij.



Slika 22: Agro-klimatske cone Slovenije (Vernik in sod., 2010)

Figure 22: Agro-climatic zones of Slovenia (Vernik et al., 2010)

Študija izdelana v letu 2009 v okviru strokovnih nalog za Ministrstvo za okolje in prostor je na podlagi GIS modela opredelila območja večjega tveganja za izgube TOS (glej Slika 23) (Sušin in sod., 2009). Ta model je bil zasnovan precej bolje, in sicer na osnovi glavnih antropogenih in naravnih faktorjev vpliva na mineralizacijo TOS po Dick in Gregoritch, (2004). Kot naravni faktorji so bili uporabljeni informacijski sloji talnih lastnosti, vsebnost TOS, temperatur, padavin, sončnega obsevanja in reliefa, kot antropogeni pa intenzivnost rabe (njive, travniki) ter sloj melioracij. Za vsakega od omenjenih dejavnikov, je bila dodeljena utež glede na vpliv na mineralizacijo TOS, pri čemer je največjo težo seveda nosil informacijski sloj talnih lastnosti (tekstura, vsebnost TOS in pH).



Slika 23: Ocena tveganja za zmanjševanje vsebnosti TOS v kmetijskih tleh Slovenije (Sušin in sod., 2009)

Figure 23: SOM decline risk assessment for agricultural soil in Slovenia (Sušin et al., 2009)

Rezultat je bil opredeljen v 5 razredih in sicer od najbolj ogroženih kmetijskih površin (na Slika 23 prikazanih rdeče), do površin na katerih ni večje nevarnosti (na Slika 23 prikazano zeleno). Takšna karta je lahko v veliko pomoč pri načrtovanju in prilagajanju rabe ter v vodilo pri uresničevanju preventivnih ukrepov. Hkrati je lahko tudi koristno vodilo pri določitvi mreže opazovalnih lokacij novega monitoringa, saj opredeljuje kmetijske površine iz katerih v danih pogojih Slovenija potencialno izgublja največ TOS.

5.1.2.2 Kompatibilnost obstoječih in novega sistema monitoringa

Ob vzpostavitvi novega sistema monitoringa se zastavlja tudi vprašanje o možnosti in upravičenosti prekrivanja lokacij z obstoječimi Slovenskimi shemami. Vzorčenje več shem med obiskom iste lokacije sicer lahko bistveno izboljšala učinkovitost in zniža stroške naročniku. Ta je za obstoječe Slovenske sisteme vprašljiva predvsem zaradi neskladnosti metodologij. Ti namreč predvidevajo precej različne globine (večinoma površinski horizonti) in drugačno (ROTS) ali sploh nedefinirano (KRT) razporeditev in število podvzorčnih mest. ROTs in monitoring gozdnih tal Slovenije sicer že določata enakomerni mreži opazovalnih lokacij 8 x 8 km oz. 16 x 16 km, ki pa bi ju bilo težko vključiti v novo mrežo lokacij v okviru agro-klimatskih con. Kjer bi določeno mesto kljub temu ustrezalo kriterijem obeh shem, bi bilo izredno težko združiti razporeditev podvzorčnih mest in globin vzorčenja. Vsaka učinkovita zasnova monitoringa TOS namreč poleg površinskih

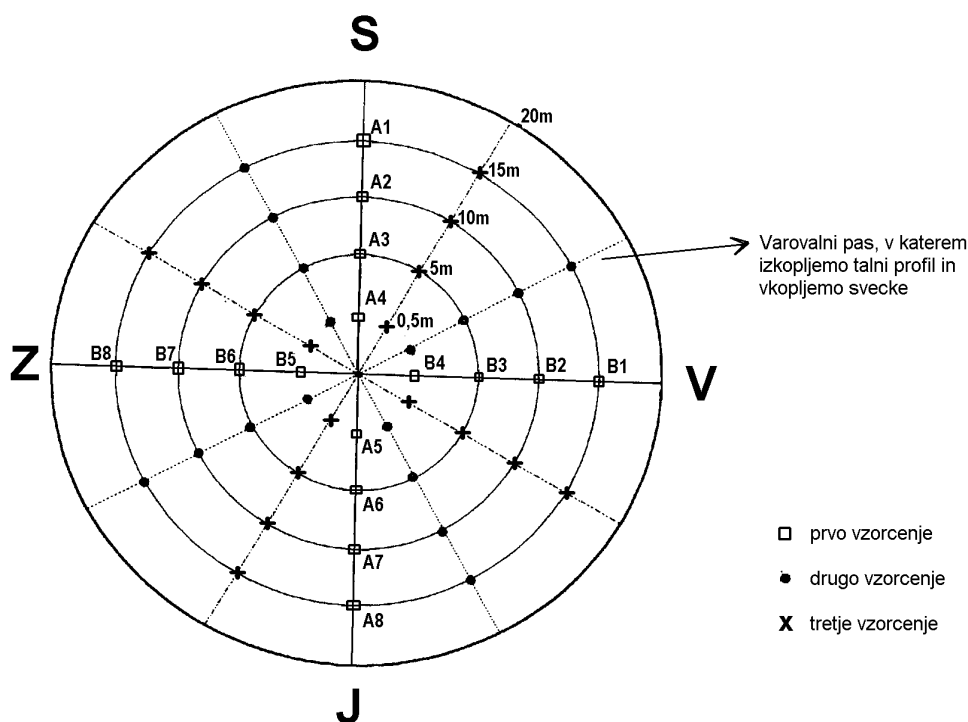
plastí (0-25 cm in min. 20 podvzorcev) predvideva tudi vzorčenje na večjih globinah, s čimer se omogoči širši vpogled v dinamiko in usodo TOS v tleh. Prav zasnova odvzema vzorcev navadno odseva cilje posamezne sheme. Združen pristop v obliki enotne sheme bi lahko predstavljal rešitev, vendar bi bilo pri tem nujno preveriti primerljivost starih (arhivskih) in novih podatkov. Kot učinkovit in dobro utečen sistem je primer monitoringa gozdnih tal Slovenije lahko odlična osnova. Kljub temu je zaradi povsem specifičnih zahtev, različne intenzivnosti ter s tem kroženja hranil in TOS priporočljivo sistema ločiti.

5.1.3 Razporeditev in število podvzorčnih mest in globin

Razporeditev podvzorčnih mest je poleg metodologije vzorčenja najpomembnejši del organiziranega zbiranja podatkov tal, saj najbolj vpliva na točnost in reprezentativnost pridobljenih podatkov. Primerjava evropskih sistemov kaže precej različne izbire globin vzorčenja. Obstoječi sistemi vzorčenja tal v Sloveniji predvidevajo vzorčenje le v površinskih talnih horizontih (KRT 0–6 (travinje) oz. 0-25 cm (njive) in ROTS 0-5, 5-20 in 20-30 cm ter 0-20 in 20-30 (njive). V Evropi večina sistemov monitoringa TOS že predvideva vzorčenje tudi na večji globini, pri čemer se TOS vedno ne meri (glej Preglednica 3). Black in sod. (2008) poročajo o vzorcih golobjih horizontov, predvsem v kontekstu spremljanja usode TOS v talnem profilu. Ob vpeljavi trajnega hranjenja talnih vzorcev, se ti vzorci lahko analizirajo tudi kasneje. Angleški in ameriški sistem priporočata vzorčenje do globine 75 cm (Spencer in sod., 2011), nekateri do trde matične podlage (Blum in sod., 1999; Schröder in Schmidt, 2004). Zaradi velike skalovitosti in večinoma zelo plitvih tal, je v Sloveniji tako priporočljiv predvsem slednji pristop.

Prvi ukrep, ki ga opisuje večina sistemov doma in v tujini in ki zagotavlja natančnost rezultatov je vzorčenje površinskih horizontov v več ponovitvah tj. odvzem povprečnega (združenega) vzorca, sestavljenega iz več podvzorcev, ki jih vzamemo na posamezni lokaciji. Kot opisujejo Black (2008), Blum in sod. (1999), Hiederer in sod. (2011), Mihelič in sod. (2000), Vrščaj in sod., (2011) ter Vrščaj (2007b), se podvzorci odvzeti mreži okoli določene lokacije združijo, homogenizirajo ter analizirajo kot en, povprečen talni vzorec. Pri načrtovanju je zato potrebno določiti ustrezno razporeditev odvzema le-teh. Določiti je potrebno reprezentativno število, vzorec in metodologijo določanja vzorčnih mest. Mnenja o minimalnem številu podvzorcev, ki še zadosti statistični presoji so različna. V prizadevanjih po poenotenju in primerljivih podatkih držav članic EU, ter ob upoštevanju standardne napake pri 95 % stopnji zaupanja, Baritz in sod. (2011) priporoča vsaj 20 podvzorcev. Večina sistemov spremljanja talnih parametrov predvideva strog protokol razporeditve mest odvzema podvzorcev. V veljavi so pristopi, ki mesta določajo na krožnici (Mihelič in sod., 2000), trikotniku (Spencer in sod., 2011) in na enakomerni mreži okoli lokacije, kot je to v primeru NSI v Veliki Britaniji. Ob tem nekateri sistemi ne predpisujejo posebne oblike odvzema temveč na določeni površini le globino in število, torej naključno razporeditev podvzorcev. Vsak poseg v površinske plasti potencialno lahko močno vpliva na mineralizacijo (zračenje in rahljanje) ta pa direktno na rezultate. To pride v poštev predvsem za travne površine, kjer ni oranja in rahljanja. Vzorčenje na natanko

istem mestu v zamiku nekaj let lahko potencialno pomeni napako v rezultatih. Tako je pri vzorčenju poleg ponovljivosti, ki jo zagotavlja protokol, bistvenega pomena predvideti tudi zamik mesta odvzema vzorca. Vpliv predhodnih posegov v površinske plasti ne sme vplivati na rezultate pri naslednjih vzorčenjih. Teoretično gledano torej sistemi s stalno mrežo ali krožnico ob natančni in dosledni izvedbi lahko dajejo napačne rezultate saj je vzorčenje vsakič opravljeno na natanko istem mestu. V praksi je to seveda skorajda nemogoče, saj tudi uporaba GPS naprave zaradi merilne napake ne zagotavlja popolnoma natančne ponovljivosti pri navigaciji. Vseeno pa je vsak sistem, ki že v sami zasnovi dopušča možnost napak, slab sistem. Pri snovanju le tega je torej treba zagotoviti, da metodologija vzorčenja dopušča minimalen vpliv na rezultate. Spencer in sod. (2011) v ta namen predvidevajo stalno označitev vseh lokacij na mreži. Mesta odvzema vzorca so po protokolu določena na krakih trikotnika ki jih označujejo talne oznake, pri čemer se ob vsakem ponovnem vzorčenju mesto odvzema zamakne za 30 cm v smeri urinega kazalca. Tak pristop je za Slovenjo sicer dober, a bi ga bilo vredno razširiti, saj predvideva le 9 podvzorcev, potrebovali pa bi jih vsaj 20 (Baritz in sod., 2011). Slovenija je pred leti že imela tovrsten predlog protokola v okviru 'Predloga sistema monitoringa onesnaženosti tal' (Mihelič in sod., 2000).



Slika 24: Shema vzorčenja po 'Predloga sistema monitoringa onesnaženosti tal' (Mihelič in sod., 2000)

Figure 24: Sampling scheme after 'Proposal for soil contamination monitoring' (Mihelič et al., 2000)

Sistem žal ni nikoli zaživel. Protokol je predvideval, da se od središča ploskve, zakoliči v smeri sever-jug diagonalo A (na Slika 24 z oznako A) in pravokotno na njo v smeri vzhod-zahod diagonalo B. S trasirkami se nato označi odzemna mesta na obeh diagonalah in sicer na 0.5 m, 5 m, 10 m in 15 m od središča ploskve. Protokol je pri naslednjem

vzorčenju predvideval zamik vzorčnih mest pri čemer se obstoječe diagonale zamakne za 30°. Za delo je bila predvidena uporaba GPS naprave, ki podpira FIELD GIS tehnologijo (COGO) oz. GPS sistem v kombinaciji z jeklenim merilnim trakom in kompasom. Uporaba omenjene tehnologije je nujna, zaradi kompleksne zasnove vzorčenja in posledično prostorske občutljivosti. Za kvalitetne podatke morata biti označitev in odvzem mest vzorčenja, kar se da natančna. Slovenija ima sicer zelo razdrobljena kmetijska zemljišča, ki pri navigaciji do lokacije nudijo obilo orientacijskih točk. Kljub temu bi bilo nujno razmisliti o stalni označitvi lokacij, ki bi po vzoru ameriškega sistema lahko odločilno pripomogla k natančnosti, ponovljivosti in kvaliteti podatkov. Ob vpeljavi omenjene krožne zasnove vzorčnih mest, bi stalna označitev dodatno olajšala terensko delo in povečala natančnost zamika vzorčnih mest pri vsakem vzorčenju.

Končno je tu tudi interval vzorčenja, ki je v večini pregledanih evropskih sistemov predviden vsakih 5 oz. 10 let. Z vidika prakse in uveljavljenega kolobarja v Sloveniji je najprimernejši čas po spravilu letnih pridelkov jeseni oziroma zgodaj spomladi preden se na njivi poseje prva kultura. Tla so takrat gola in njiva je dostopna, ne da bi med navigacijo in vzorčenjem povzročali škodo. Čas pred spravilom pridelka je po večini tudi čas, ko se njiv ne gnoji več. Rezultati analize TOS v vzorcih odvzetih takoj po gnojenju, lahko vodijo do napačnih rezultatov, saj hranila praviloma močno vplivajo na mineralizacijo in vsebnost TOS v tleh.

5.1.4 Protokol in metodologija vzorčenja

Terensko delo predstavlja proporcionalno največji del stroškov vsakega vzorčenja. Ko smo enkrat na terenu je tako poleg povprečnega površinskega vzorca ter vzorcev po globinah nujno v zasnovo vključiti tudi dodatne analize, kot so izkop, popis in vzorčenje talnega profila, odvzem neporušenih vzorcev za analizo volumske gostote tal, popis okolice, rabe in zgodovine rabe (intervju z lastnikom/upravljavcem). Izkop, opis in analiza profila, je smiseln predvsem ob vzpostavitvi sistema, saj zagotovi boljši vpogled v talne lastnosti in značilnostih posamezne lokacije. Slovenija ima sicer na voljo zelo neenotne podatke talnih profilov in nov zajem podatkov za celo državo bi bil koristen. Ob enem bi lahko preverili natančnost analize agro-klimatskih con ter jih po potrebi popravili.

Slovenija ima precej dobro oblikovano metodologijo vzorčenja tal z dobrimi praksami. Uporablja se standardna pedološka oprema; pedološka sonda ali cevna sonda (redko lopata), kovinski (Kopecky) cilindri s plastičnimi pokrovčki, pedološki nož, barvna lestvica Munssel Soil Colour Chart ter terenski obrazec za popis profila in lokacije. Dobre prakse in med strokovnjaki poenoteno metodologijo vzorčenja smo priporočili in objavili tudi v poročilu ciljno raziskovalnega projekta »Algoritmi digitalne kartografije in pretvorbene funkcije za potrebe nacionalnega talnega informacijskega sistema« (Vrščaj in Vernik, 2010). Vernik (2005) po vzoru prakse NSI za potrebe spremljanja TOS dodatno priporoča tudi ročno odstranitev vegetacije (trava in mah) iz posameznega vzorca, oziroma odstranitev trave in mahu iz površine tal na mestu vboda sonde pred samim

vzorčenjem. Za Slovenijo je zanimiv predvsem slednji pristop, saj v glavnem nimamo šotišč, kjer bi bil prisoten mah *Sphagnum*. Neporušeni vzorci za analizo volumske gostote tal so odvzeti s pomočjo kovinskih cilindrov z znanim volumnom (Kopetsky) iz stene profila in sicer v treh ponovitvah; največkrat na globinah 10, 30 in 50 cm. Cilindre se ob robovih očisti ter na obeh straneh zapre s polietilenskimi pokrovčki, ki preprečijo izgubo vzorca.

5.1.4.1 Volumska gostota tal

Slovenija z redkimi izjemami nima sistematično merjenih podatkov o volumski gostoti tal (Sušin in sod., 2009) ter pogosto neprimerljive globine vzorčenja, ki sledijo globinam talnih horizontov. Prav volumska gostota je ključnega pomena za izračun zalog/ponora organskega ogljika v tleh, ki ga zahteva poročanje Kyoto (UN ..., 1998). Ob vzpostavitvi sistema bi zato poleg profila morali zajeti tudi vzorce za analizo volumske gostote. Merjen podatek za volumsko gostoto bi omogočil preveritev obstoječih modelskih ocen in ponoven, tokrat natančnejši izračun ponorov organskega ogljika v kmetijskih tleh Slovenije. Da je ta smer prava, potrjuje tudi praksa v Veliki Britaniji (NSI), ki ob vsakem vzorčenju in popisu talnega profila, ne glede na protokol nacionalnega monitoringa tal (NSI) vzorči tudi s cilindri (Vernik, 2005). Ker so tla v Sloveniji plitva in skeletna/kamnita (skelet presega 10 %), je merjenje gostote tal s klasično metodo le deloma ustrezno (Baritz in sod., 2011). Za Slovenijo je zato priporočljiv nekoliko bolj zamuden pristop, ki pri izkopu profila poleg odvzema vzorca s cilindrom, predvideva tudi oceno kamnitosti s sejanjem večjega vzorca tal ter oceno kamnitosti, kar je sicer že ustaljena praksa pri standardnem popisu profila (Vrščaj in Vernik, 2010).

Preračunavanje volumske gostote tal z uporabo pedotransfer funkcij (PTF) je zanesljiv in v svetu uveljavljen pristop, ki zahteva prilagoditev in kalibracijo na okoljsko specifiko dežele kjer se bo uporabljal. Slovenija sicer že ima izdelan PTF za gozdna tla (Kobal in sod., 2011), ki pa za kmetijske površine ni primeren. Oblikovanje specifične PTF za kmetijska tla Slovenije bi bil torej naslednji nujen korak, pri zagotavljanju celostnih podatkov ter priložnost za kalibracijo obstoječih podatkov. Pri tem imamo v mislih predvsem travnike, pašnike in trajne nasade, saj je zaradi narave stalnega mešanja na obdelovalnih površinah ta pristop manj primeren.

5.1.5 Nabor analiz in analitskih standardov

Kot narekujejo mnoge dobre prakse v tujini (npr. v Nemčiji, Veliki Britaniji in ZDA), vsak sistem hkrati določa pravila o načinu dostopnosti in hranjenja podatkov. Slovenija ima v ta namen že predviden sistem Talnega Informacijskega Sistema (TIS), ki je bil v okviru strokovnih nalog za Ministrstvo za okolje in prostor v letu 2009/2010 nadgrajen s spletnim portalom (Sušin in sod., 2009; Vrščaj in Vernik, 2010). Obenem je bil v okviru projekta GS SOIL (E-content Plus) precejšen del podatkov vključen v harmonizacijo po

smernicah (Commission ..., 2007). V tem kontekstu torej priporočamo implementacijo pravil INSPIRE tudi za novi sistem monitoringa TOS na kmetijskih tleh Slovenije.

Vzpostavitev monitoringa TOS v kmetijskih tleh Slovenije hkrati ponuja priložnost, da se na nacionalni ravni uvede trajno hranjenje talnih vzorcev. Vzorci tal predstavljajo rezultat skrbnega načrtovanja, terenskega dela in naknadne priprave vzorcev tal, ki so zaradi visoke cene tovrstnih raziskav zelo vredni. Če so ustrezno hranjeni, so zelo obstojni in tako kadar koli omogočajo ponovno analizo in presojo rezultatov. Podoben sistem sicer že poznajo v Veliki Britaniji, kjer zmlete in suhe vzorce tal hranijo v okviru nacionalnega sistema popisovanja tal (National Soil Inventory – NSI). Hranjenje vzorcev sicer natančneje ureja standard ISO 10381-6 (2009). Ponovne analize z novejšimi metodami, ki v času vzorčenja morda niso bile dosegljive, lahko ponujajo priložnost za natančnejšo informacijo. Večina analiz se tako lahko precej preprosto ponovi, brez ponovnega obiska lokacije in dodatnih stroškov vzorčenja. Prostor za hranjenje vzorcev se uredi v okviru »banke« talnih vzorcev in sicer centralno, torej vsi vzorci se hranijo na enem mestu. Skrbnik banke se izbere v okviru nacionalnih institucij, ki delujejo na področju raziskav okolja in tal.

5.2 KOMENTAR PRIMERJAVE REZULTATOV KRT, ROTS IN PK25.

Primerjava rezultatov na vseh štirih testnih območjih potrjuje hipotezo, da izbrani sistemi dajejo zelo različne rezultate tako glede na kvaliteto (natančnost) kot tudi glede na število lokacij ter s tem povezanih analitskih rezultatov. Pri podajanju rezultatov je nujno poudariti potencialno negotovost, kot posledica heterogenosti tal.

Podatki izbranih treh sistemov kažejo pri njivah zelo različno število rezultatov. To kažejo tudi izrisani grafi (glej Slika 19) z velikostjo okvirjev ter standardnimi deviacijami predvsem pri sistemu ROTS in PK25. Podatki ROTS so na vseh testnih območjih najslabše zastopani, kar je posledica redke mreže opazovalnih lokacij ter velikosti izbranih testnih območji. Analiza potrjuje, da so njive po večini slabše založene s TOS kot travinje. Izjeme, kot je sistem PK25 pri njivah na Gorenjskem in travinju na Savinjskem je pričakovati na izjemnih lokacijah s šotnimi tlemi oziroma tam, kjer je bila raba tal spremenjena iz travinja ali gozda v njive. Podatek o rabi in opis lokacije v bazi nista pokazala nobenih motečih dejavnikov. Žal sledljivost rabe za nadaljno analizo ni bila na voljo, saj zgodovina rabe ni del nabora podatkov nobenega od izbranih sistemov. Za to bi bila potrebna dodatna analiza baze rabe, za kar imamo v Sloveniji urejeno bazo imenovano "grafična enota rabe zemljišča kmetijskega gospodarstva" ali krajše GERK.

Pri njivski rabi KRT na vseh testnih območjih kaže precej izenačene, v primerjavi z ROTS in PK25 tudi nekoliko nižje vrednosti, kar je predvsem posledica metodologije, saj so vzorci KRT po večini iz lokacij z intenzivnejšo kmetijsko obdelavo.

Tudi pri travinju se kaže zelo različno število podatkov in velikosti okvirjev posameznega sistema. Kot je pričakovati, so na travinju vsebnosti TOS nekoliko višje kot pri njivah. Standardne napake so visoke predvsem pri PK25, kar je verjetno posledica dejstva, da podatki izhajajo iz talnih profilov pri katerih je bilo vzorčenje opravljeno glede na opisane horizonte torej na zelo neeotnih globinah. Vzorci prav tako niso bili združeni in homogenizirani. Podatki ROTS imajo na travinju na vseh testnih območjih več podatkov kot so jih imeli na njivah, kar je verjetno posledica uporabljene metodologije izbora mreže vzorčnih lokacij. Najštevilčnejši so ponovno podatki KRT, ki imajo na večini testnih območjih in najnižjo standardno napako. Izjema je Obalno-Kraška, kjer ima tudi KRT le 4 lokacije. Vzrok je verjetno v naravnih danostih in dejstvu, da zaradi vročih poletij in pomankanja vode tu travinje slabše uspeva. Zaradi zelo različnih standardnih napak iz primerjave srednjih vrednosti ne moremo zanesljivo sklepati o primerljivosti podatkov.

5.2.1 Pomankljivost opravljene analize

Analiza je določila 4 slovenske regije kot testna območja pri čemer pa ni upoštevana dejanske prostorske zarporeditve vzorčnih mest posameznega sistema. Tako je naprimer pri sistemu ROTS na njivah Gorenjske analiza zajela le dve vzorčni mesti, saj sistem v tej regiji ni zajemal vzorčenja na več lokacijah z njivsko rabo. Kot smo že zapisali je bila izbrana metodologija, tj. izbor regij, ki hkrati predstavljajo različne klimatske pasove, za namen te analize pomembna.

5.3 UGOTOVITVE IN PRIPOROČILA

- a.) Slovenija ima trenutno v rabi tri sisteme zbiranja podatkov, ki med drugim zajemajo in merijo tudi podatke TOS na kmetijskih tleh: Kontrolo rodovitnosti (KRT), Raziskave onesnaženosti tal Slovenije (ROTS) in delno monitoring gozdnih tal. Za potrebe spremljanja TOS na kmetijskih tleh Slovenije zadnji ne pride v poštev, saj je v osnovi namenjen in prilagojen izključno monitoringu gozdnih tal. KRT na drugi strani uradno sploh ne obstaja in se izvaja z drugim namenom in povsem nenačrtno. Metodologija (oz. navodilo) je zelo pomanjkljivo, saj natančno ne določa stalnih opazovalnih točk, načina odvzema vzorcev, le okvirno priporoča število podvzorcev ter posebej ne predpisuje analitskih standardov. V večini primerov so posamezna zemljišča vzorčena le enkrat, pogosto brez podtaka o točni lokaciji, kar onemogoča predvsem spremljanje stanja na daljše časovno obdobje. Sistem za lastnika zemljišča ni obvezen. Kot posledica ohlapne metodologije je natančnost in primerljivost na tak način pridobljenih podatkov zelo vprašljiva. Sistem ROTS je edini sistematični sistem monitoringa tal v Sloveniji, ki pa je metodološko prilagojen spremljanju onesnaženosti tal. ROTS je zasnovan na enakomerni mreži opazovalnih lokacij, na vseh rabah tal, ter določa metodologijo razporeditve podvzorčnih mest in vzorčenja. Kljub temu, da večje število lokacij pade tudi na kmetijske površine ter da je med merjenimi parametri tudi TOS, metodologija žal ne ustreza popolnoma potrebam spremljanja vsebnosti TOS. Vzorci so iz izkopanega profila odvzeti le do globine 30 cm in na podlagi le 6.

podvzorčnih mest na lokacijo (v 5. ponovitvah). Sistem tudi ne predvideva zamika vzorčnih mest, s čimer bi se izognili morebitnemu vplivu rahljanja in mešanja tal kot posledice predhodnega vzorčenja na mineralizacijo. Zaradi uporabljene enotne metodologije za celo državo, smo v analizo vključili tudi več kot 1700 opisanih talnih profilov PK25. Ta danes še vedno predstavlja najpopolnejši zajem podatkov tal in ostaja pomemben vir informacij za analize in študije. Kljub temu so podatki PK25 razmeroma stari in raba se je predvsem na kmetijskih površinah od vzorčenja pogosto močno spremenila. Podatek PK25 zato ni vedno popolnoma zanesljiv, predvsem za analize, kjer raba tal igra enega odločilnih faktorjev vpliva na rezultat.

Opravljen analiza podatkov obstoječih sistemov je potrdila velike razlike v strukturi in številu podatkov med sistemi KRT, ROTS in PK25. Analiza je potrdila metodološke pomanjkljivosti in neusklajenosti, ki jih, predvsem za potrebe izpolnjevanja obveznosti in poročanja o stanju okolja in izpustu toplogrednih plinov (UN ..., 1998) iz kmetijstva, Slovenija trenutno sicer nadomešča s po večini in ekspertnimi ocenami in/ali modelskimi napovedmi. Ta pristop je za izpolnjevanje mednarodnih konvencij zaenkrat še ustrezen, a ob napovedih o zaostrovanju pogojev in metodologij predvsem v okviru poročanja LULUCF le ta kmalu ne bo več sprejemljiv. Poseben problem pri izračunavanju zalog organskega ogljika predstavlja podatek o volumski gostoti tal, ki ga v Sloveniji v preteklosti praktično nismo merili in ga danes za kmetijska tla večinoma določamo na podlagi izračuna s pedo-transfer funkcijami (PTF). PTF ki so v rabi so izključno povzete po uveljavljeni literaturi in praksi a niso ustrezno prilagojene slovenskim razmeram. Po zgledu slovenske gozdarske stroke (Kobal in sod., 2011), bi bilo za učinkovito uporabo na kmetijskih tleh (predvsem za neporušena tla na travinju in v trajnih nasadih) potrebno razviti boljšo oziroma prilagoditi uveljavljeno metodo za izračun volumske gostote na kmetijskih tleh. Postopek prilagoditve je nekoliko bolj zahteven pri njivskih in sorodnih tleh, kjer se tla stalno mešajo. Tudi tu so na voljo prakse iz tujine (glede na klimo in relief npr. primer Avstrije) a jih v tej nalogi nismo posebej raziskali.

- b.) Pri vzpostavitvi nacionalnega sistema monitoringa TOS ima Slovenija na voljo precej pestro paleto dobrih praks v Evropi in širše. Pri tem je vredno izpostaviti predvsem prakso sosednje Avstrije (podobnost po naravnih danostih) ter praksi v Veliki Britaniji (NSI) zaradi dolge tradicije/utečenosti in ZDA zaradi metodološke dovršenosti in sodobnega pristopa. Primera kažeta dva povsem ločena pristopa k postavitvi mreže opazovalnih lokacij in razporeditev podvzorčnih mest. Pristop z uporabo agro-klimatskih con v primeru ZDA je za Slovenijo zelo zanimiv saj upošteva pestrost prostora, ki lahko odločilno vpliva na uspešnost sheme. Oba pristopa zagotavljata minimalen vpliv sistemske napake že v fazi vzorčenja pri čemer za sistem v ZDA Spencer in sod. (2011) predlagajo poleg razporeditve tudi rotacijo podvzorčnih mest (mest odvzema vzorcev) ki se jih pri vsakem obisku lokacije zamakne. Na drugi strani je možna tudi določitev mest z večjim tveganjem

(glej tudi Slika 23) kjer se sicer enakomerna mreža zgosti okoli mest z večjim tveganjem, ter po potrebi poveča interval vzorčenja. Podoben pristop sicer že poznamo pri monitoringu gozdov in gozdnih tal. Dodaten dejavnik, ki vpliva na rezultate predstavlja tudi natančnost navigacije in zagotavljanje natančnega lociranja mest odvzema. V ta namen ameriški sistem predvideva stalno označitev lokacij. V primeru Slovenije bi bilo sicer vredno razmisliti o načinih stalne označitve lokacij, a velika razdrobljenost parcel in kmetijske rabe prostora ter uporaba GPS tudi sicer zagotavljajo precej natančno navigacijo, s tem pa tudi ponovljivost. Slovenija je kot članica in podpisnica hkrati dolžna upoštevati in zadostiti tudi potrebam poročanja "Land Use, Land-Use Change and Forestry" (LULUCF, Evropska Komisija-EC) ter zahtevam opredeljenim v odstavkih 3.3 in 3.4 Kyotskega Protokola (UN ..., 1998). Zaradi neurejene situacije ter pogosto manjkajočih podatkov ima Slovenija iz leta v leto več zadreg in posledično zahtev revizorjev po dodatnih pojasnilih k oddanim poročilom. EC sicer podaja tudi dodatne tehnične smernice, predvsem v okviru programov LUCAS in INSPIRE, ki jih moramo prav tako vključiti v zasnovi. Napovedano ponovno vzorčenje vseh lokacij po sistemu LUCAS v letu 2015 je hkrati lahko tudi priložnost za preveritev načrtovanih ali povzetih metodologij. Direktiva INSPIRE je za Slovenijo obvezujoča in se že pospešeno uvaja.

- c.) Učinkovit sistem monitoringa TOS, mora omogočati kar najširšo uporabnost, primerljivost podatkov in natančno oceno bilance TOS. Da bi sistem to tudi zagotavljal, v nadaljevanju podajamo nekaj priporočil za prostorsko zasnovo, razporeditev podvzorčnih mest, protokol in metodologijo odvzema vzorcev ter priporočila za izbiro ustreznih analitskih metod in standardov po vzoru podobnih sistemov v tujini:

5.3.1 Priporočila za postorsko zasnovo monitoringa TOS kmetijskih tal Slovenije

- Upoštevati je potrebno glavne faktorje vpliva na ravnotežje TOS v tleh;
 - a.) rabo tal,
 - b.) način in intenzivnost pridelave,
 - c.) talne in
 - d.) klimatske značilnosti.Te se po vzoru Spencer in sod. (2011) privzame v obliki sloja agro-klimatskih con.
- Mrežo opazovalnih lokacij je potrebno določiti na osnovi analize reprezentativnih mest v okviru agro-klimatskih con, rabe tal in talnih lastnosti.
- Predlagana mreža opazovalnih lokacij mora biti reprezentativna in zadostiti statistični presoji (po Spencer in sod. (2011) izračun standardne napake pri 95 % stopnji zaupanja). Lokacije morajo biti izbrane tako, da omogočajo kar največjo ponovljivost vzorčenja (dostopnost, enovitost terena in rabe...).

- Po predhodni analizi se vključi tudi reprezentativne lokacije najbolj kakovostnih kmetijskih zemljišč ter zemljišča z visoko vsebnostjo organske snovi (šotišča, barja). Kot vodilo se uporabi rezultat analize kmetijskih zemljišč z visokim tveganjem za izgube TOS (Sušin in sod., 2009) ki pa se ga prej nadgradi.
- Natančneje se preuči možnost za vključitev izbranih lokacij sistema ROTS, ki bodo zadostili kriterijem novega sistema monitoringa TOS kmetijskih tal Slovenije.
- Zaradi lažje izvedljivosti se preuči možnosti, da se mreža opazovalnih lokacij opredeli znotraj 25 reprezentativnih vzorčnih ploskev za vso državo.
- Za dokončno potrditev mreže opazovalnih lokacij, se na podlagi zbirke GERK poišče lastnika zemljišča vsake lokacije ter pridobi njegovo dovoljenje za izvajanje vzorčenja. Obisk se izrabi tudi za neformalen pogovor o značilnostih lokacije in (zgodovini) rabe tal.

Razporeditev podvzorčnih mest na posamezni lokaciji:

- Po vzoru protokola iz predloga sistema monitoringa onesnaženosti tal (Mihelič in sod., 2000), se zasnuje protokol, ki na vsaki vzorčni ploskvi predvideva zamik mest odvzema vzorcev med vsakim zaporednim vzorčenjem. Površinski vzorec (povprečen vzorec) se vzorči iz minimalno 20. podvzorčnih mest, ki se jih po dodatni študiji določi na krogu ali mreži okrog vzorčne lokacije.

Priporočene globine vzorčenja, odvisne od rabe tal:

- Za orane površine, kjer se površinske plasti stalno mešajo je priporočena globina površinskega povprečnega vzorca 0-20 cm, ter ostali horizonti na 20-30, 30-50, 50-70 cm, oziroma do matične podlage.
- Na travinju prihaja do akumulacije TOS v površinskih plasteh (rastlinski opad) zato je priporočena globina površinskega povprečnega vzorca 0-10 cm. Globine globljih horizontov so podobne kot na oranah tleh; 10-30, 30-50, 50-70 cm, oziroma do matične podlage.
- V primerih kjer je v rabi minimalna ali »no-till« obdelava tal, je potrebno privzeti način vzorčenja kot pri travinju

Ostale analize in popis lokacije:

- Na vsaki lokaciji se ob prvem obisku izkoplje in opiše talni profil ter vzorči po horizontih. Vzorce za analizo volumske gostote tal se prav tako vzame iz stene profila, priporočljivo na globinah 10, 30 in 50 cm.
- Kjer so tla globlja od 70 cm se skuša oceniti maksimalno globino s pomočjo pedološke sonde, ki se jo zavrti v dno izkopanega profila.

Čas in interval vzorčenja:

- Interval vzorčenja se postavi na 5-10 let in sicer jeseni po spravilu letnih pridelkov oziroma zgodaj spomladi preden se na njivi poseje prva kultura.

Protokol in metodologija vzorčenja:

- Navigacija do opazovalne lokacije:
Pomagamo si z GPS napravo, kartami merila 1:10.000, aero-foto posnetki in šifrant ter napravo za detekcijo vkopanih trajnih oznak. V primeru, da je mesto vzorčenja trajno označeno in je moč potrditi identiteto (oznako) lokacije.
- Vzorčenje na lokaciji:
 - e.) odvzem povprečnega vzorca tal za analizo vsebnosti TOS:
Po sistemu rotirajočih mest odvzema. Vzorec sestavljeni iz vsaj 20 podvzorcev se za vsako lokacijo združi in homogenizira (glej tudi priporočene globine glede na rabo).
 - f.) pred samim vzorčenjem s sondo, iz površine tal predhodno odstranimo vso odvečno vegetacijo (trava, mah), oziroma jo odstranimo ročno če se le ta prime vzorca.
- Izkop, popis in vzorčenje talnega profila:
 - a.) izkopljemo profil do globine 70 cm oziroma do matične podlage
 - b.) opredelimo vrsto matične podlage
 - c.) določimo horizonte in vzorčimo po posameznem horizontu ter popišemo profil (opis talnih tipov s pomočjo World reference base (WRB) klasifikacije, struktura, tekstura, barva, skelet...).
- Pred vzorčenjem za analizo volumnske gostote tal se na vsaki lokaciji najprej preveri skeletnost in s tem smiselnost uporabe klasične metode (s cilindri). Kjer skelet ne presega 10 % se s cilindri vzorči iz stene profila na globinah 10, 30 in 50 cm. Zgornji in spodnji rob cilindra se gladko odreže z pedološkim nožem in pokrije s polietilenskimi pokrovčki, ki preprečujejo da se vzorec presuši. Popis okolice lokacije; naklon in orientacija terena, raba in kjer je to mogoče tudi zgodovina rabe in upravljanja z zemljiščem (če ne predhodno se ob vzorčenju opravi tudi pogovor z lastnikom/upravljavcem zemljišča).

5.3.2 Nabor analiz in analitskih standardov

Tematska strategija za tla, Evropske Komisije (Van-Camp in sod., 2004b) priporoča minimalen nabor parametrov za opis in analizo talnih vzorcev vključenih v sistem monitoringa tal, kamor spada tudi monitoring TOS. V Preglednica 4 navajamo parametre in nabor analitskih standardov, ki jih mora vključevati novi sistem monitoringa TOS kmetijskih tal Slovenije:

Preglednica 4: Priporočene vrste laboratorijskih analiz po ustreznih standardih

Table 4: Suggested type of laboratory analysis following relevant standards

Okrajšava oznake parametra	Naziv parametra	Standard, oz. referenca
Vzorčenje, skladiščenje in ravnanje z vzorci	Vzorčenje, skladiščenje in ravnanje z vzorci	ISO 10381-6 (2009)
Priprava vzorcev	Priprava vzorcev tal za fizikalne in kemične analize	SIST ISO 11464 (2006)
C _{org}	Skupni organski ogljik	ISO 10694 (1995)
N _{tot}	Skupni (organski) dušik	SIST ISO 11261 (1996)
C:N _{ratio}	Razmerje C:N	Izračun
Organska snov	Mokra oksidacija (Walkley-Black)	ISO 14235 (1999)
Volumska gostota	Volumska gostota	ISO 11272 (1998)

Vsi slovenski sistemi že upoštevajo dobro prakso ravnanja z vzorci. Na lokaciji se jih opremi z ustrezno oznako (pogosto posebne nalepke) in med transportom hrani v primerni embalaži ter v hladnem prostoru. V laboratoriju so vzorci hranjeni na 4 °C ter v kar najkrajšem času sušeni in zmleti. Ker je sistem že dobro utečen tu ni pričakovati večjih zadreg. V novem protokolu priporočamo standard ISO 11272 (1998). Za izračun razmerja C:N predpisujemo analize za skupni organski ogljik (C_{org}) in skupni (organski) dušik (N_{tot}). C_{org} se večinoma izračunava iz podatka za vsebnost organske snovi. Dodatna analiza bo po novem zagotavljala možnost kalibracije in preverjanja novih, ter tudi starih, obstoječih podatkov. Obe analizi bosta koristni tudi pri večnamenski rabi rezultatov monitoringa, predvsem pri izračunu emisij in zalog OC iz kmetijstva, ki jih predvideva poročanje Slovenije v okviru programa LULUCF in Kyoto.

Pri analizi organske snovi, smo zaradi zanesljivosti metode in njene cene izbrali analizo vsebnosti TOS po metodi mokre oksidacije (Walkley-Black). Metoda je za Slovenijo zelo primerna tudi zato, ker je s strani analitskih laboratorijev dobro uveljavljena s tem pa ob začetku izvajanja monitoringa ni pričakovati zamud in zapletov.

6 POVZETEK (SUMMARY)

6.1 POVZETEK

Ob osnovni skrbi za ohranjanje rodovitnosti kmetijskih tal bi morala biti trajnostna raba in skrb za ohranjanje kmetijskih zemljišč del vsake okoljske strategije. Pri tem je nujno, da so vse osnovne analize, narejene na podlagi kvalitetnih ter zanesljivih podatkov, ki jih mora zagotavljati na državni ravni ustrezno urejen sistem monitoringa. Mnoge države v svetu imajo že vzpostavljene namenske sisteme monitoringa kmetijskih tal, ki med ostalimi parametri merijo tudi vsebnost talne organske snovi (TOS) ter volumsko gostoto tal. Vsebnost TOS in volumska gostota sta pomembna za napovedovanje trendov ter izračun zalog (ponorov) organskega ogljika (OC) ter pri načrtovanju upravljanja s kmetijskim prostorom, v okviru nacionalnih obveznosti poročanja Kyoto in LULUCF. Dinamika OC je posledično med glavnimi pokazatelji učinkovitosti rabe tal ter ključen podatek za oceno vpliva rabe tal na potencialne izpuste toplogrednih plinov iz kmetijstva.

Slovenija trenutno nima enotnega monitoringa ki bi se osredotočal na kmetijska tla. V rabi so trije ločeni in glede na cilje precej specifični sistemi; monitoring onesnaženosti tal - Raziskave onesnaženosti tal Slovenije (ROTS), kontrolo rodovitnosti kmetijskih tal (KRT) in monitoring gozdnih tal kot del metodologije ICP Forests. Poleg podatkov ki jih dajejo omenjene sheme je ključen vir podatkov tudi pedološka karta Slovenije 1:25000 PK25 (ICPVO – grafični ..., 2007). Ta še vedno predstavlja najboljšežnejši popis talnih lastnosti ob uporabi enotne metodologije v Sloveniji. Opisani sistemi v specifičnem naboru podatkov, med drugim merijo tudi vsebnost TOS vendar spet po vsak zase specifični metodologiji. Tako uporabljajo neenotno metodologijo vzorčenja in analiz, zaradi česar podatki med seboj niso povsem primerljivi. Poleg neusklajenega načina odvzema vzorcev, neenotnih globin vzorčenja in opisa profila, uporabljajo tudi zelo različne analitske metode. Od naštetih sistemov (z nekaterimi izjemami pri PK25) noben sistem ne predvideva vzorčenja in analiz za volumsko gostoto tal, ki je predvsem v primeru monitoringa TOS nujen podatek za izračun zalog oz. ponorov talnega organskega ogljika (OC). Enotno vsi sistemi sicer predvidevajo analize TOS v površinskih horizontih, kar pa popolnoma ne zadostuje za potrebe ocen stanja in spremljanja vsebnosti TOS v kmetijskih tleh. S podobnimi izzivi se srečujejo tudi druge evropske države. V okviru priporočil in smernic Evropske Komisije se pospešeno išče načine kako bi lahko uporabili obstoječe podatke ter načrtuje zajem novih, okoljsko širše usmerjenih in uporabnih podatkov tal. Vrsta držav je v ta namen že vpeljala določene izboljšave, ZDA npr. pa so pred nedavnim uvedle nov, namenski sistem monitoringa TOS ki se tudi v praksi že postopno izvaja.

Zaradi obvez v okviru mednarodnih konvencij in poročanja EU, Slovenija nujno potrebuje reden in urejen monitoring kmetijskih tal, ki bo zagotavljal uporabne in natančne podatke ter omogočil vpogled v bilanco TOS. Na podlagi izkušenj iz tujine ter ob upoštevanju naravnih zakonitosti, je potrebno za Slovenijo zasnovati enoten sistem spremljanja

lastnosti kmetijskih tal, ki bo zagotavljal zajem zelo širokega nabora talnih parametrov ter s tem zadovoljil zahteve pri izdelavi okoljskih poročil. Prav izkušnje iz tujine ter upoštevanje naravnih zakonitosti morata biti glavni vodili za sodoben, učinkovit ter čezmejno primerljiv monitoring. Pri tem je nujno upoštevati lokalno znanje ter izkušnje, obstoječe okoljske študije ter priporočila in usmeritve Evropske Komisije (EC), ki stremijo k poenotenju, primerljivosti in natančnosti podatkov držav članic EU.

Pri analizi sistemov Avstrije, Nemčije, Poljske, Velike Britanije in ZDA naloga izpostavlja predvsem dobre prakse Avstrije zaradi podobnih naravnih danosti in klime, Velike Britanije zaradi bogatih izkušenj na področju upravljanja z zemljišči ter varovanju okolja, ter ZDA zaradi sodobne zasnove in upoštevanja najnovejših znanstvenih dognanj. Kot rezultat smo podali konkretna in detajlna priporočila za zasnovo vseh delov novega sistema monitoringa kmetijskih tal Slovenije; prostorsko zasnovo, določitev in razporeditev opazovalnih lokacij, mest odvzema vzorcev na posamezni lokaciji, globin vzorčenja in protokola za popis talnega profila in lokacije. Po vzoru dobrih praks in ob upoštevanju priporočil EC smo kot rezultat priporočili tudi protokol vzorčenja ter obvezen nabor analiz in analitskih standardov, ki zagotavljajo ustrezne ter mednarodno primerljive podatke.

V drugem delu smo za kmetijske površine slovenije določili štiri testna območja, znotraj katerih smo primerjali rezultate sistemov ROTS, KRT ter podatke PK25 za rabi travinje in njive. Z izračunom osnovnih statistik ter izrisom grafov smo skušali prikazati skladnosti in neskladnosti podatkov ter posledično sklepati na združljivost oziroma primernost obstoječih baz podatkov za potrebe spremljanja vsebnosti TOS v kmetijskih tleh Slovenije.

Opisane dobre prakse in upoštevanje priporočil Sloveniji zagotavljajo sodoben pristop k zbiranju podatkov tal. Dejstvo da danes Slovenija nima ustreznega sistema sledenja lastnosti kmetijskih tal je hkrati tudi naša velika priložnost. Pravilno in zelo široko zasnovan nabor talnih parametrov bi Sloveniji zagotavljal večnamenske podatke in nas hkrati uvrščal med redke evropske države s sodobnim sistemom monitoringa TOS ter nam olajšal izpolnjevanje obveznosti pri poročanju EC.

Z razvojem okoljskih ved se razvijajo tudi načini in metode za oceno stanja okolja, ki upoštevajo in hkrati ponovno definirajo pomen nekaterih sicer že znanih parametrov. Med te sodijo v veliki meri tudi parametri tal. Predvsem za namen prihodnjih analiz in izbiri ukrepov je pomembno, da z novim sistemom hkrati zagotovimo čim širšo uporabnost pridobljenih rezultatov, ki bodo zagotavljali enostavno in natančno izdelavo okoljskih poročil danes, ter hkrati nudili osnovo za podobne analize v prihodnosti.

6.2 SUMMARY

Aside the basic management of soil fertility, sustainable land use and preservation of agricultural land should be part of any environmental strategy. At the same time it is essential that all core analysis is conducted based on high-quality and reliable datasets. Many countries in the world have already established dedicated monitoring systems of agricultural land, which, among other parameters also measure soil organic matter (TOS) content, and soils bulk density. TOS content and bulk density are important for predicting trends and calculating soil organic carbon (OC) stock (sinks), planning the management of agricultural land as well as for national Kyoto and LULUCF reporting obligations. The OC dynamics is consequently one of the main indicators of the efficiency of land management and key information when assessing the impact of land use on the potential greenhouse gas emissions from agriculture.

Slovenia currently doesn't have a uniform organised national monitoring of agricultural soils. There are three separate, by objectives highly specific systems for soil data collection; monitoring of soil contamination formally known as Slovenian Soil Pollution Research (ROTS), Fertility Control for agricultural land (KRT) and Monitoring of Forest Soils as part of the ICP Forests methodology. Additionally one of key sources of soil data is also Soil map 1:25000 PK25. It still represents the most complete description of Slovenian soil types analysed under the same methodology. All three systems are recording TOS content data, however, due to un-harmonised methodology of sampling and laboratory analysis, the results are largely incomparable. Systems propose uncoordinated soil sampling, various sampling depths and different profile description methodologies, using very different methods of analysis. None of these systems (with exception of several profiles in PK25) provide sampling and analysis for bulk density which is in the case of TOS monitoring core information for calculation of organic carbon (OC) stocks. Uniformly all systems propose analysis of TOS in the surface horizon, however, this information is not sufficient for the needs of TOS monitoring in Agricultural Soils. Other European countries are facing similar challenges. In the context of European Commission recommendations and guidelines the solutions are sought to accelerate the use of existing and acquisition of new inoperable soil data. To achieve that, several countries have introduced certain improvements to the methodologies of existing systems and in case of United States introduced a new, focused systems designed to monitor TOS levels.

In the framework of international conventions and reporting to the EU, Slovenia urgently needs a regular and organised TOS monitoring, which will provide useful and accurate information and enabling insight into TOS content balance and selection of correct and timely cause of action. Based on the experience from other countries and considering natural conditions it is necessary to design a new system for Slovenia which will provide a comprehensive dataset hence the essential information for compilation of environmental reports. Experience of other countries and the Slovenia's natural conditions are the key to

a modern, effective and cross-border comparable monitoring of agricultural soils in Slovenia. It is also essential to take into account local knowledge and experience of existing environmental studies made for Slovenian soil and recommendations and guidelines of the European Commission, aimed at uniformity, comparability and accuracy of data provided by Member States. Analysing systems of Austria, Germany, Poland, Great Britain and the U.S. the study especially stresses good practices of; Austria for similar natural conditions and climate, the United Kingdom because of its rich land management and environmental protection experience and the U.S. because of the modern approach incorporating latest scientific knowledge. As a result study gives concrete and a more detailed recommendations for designing all parts of new monitoring system for agricultural soils in Slovenia; spatial design, identification and distribution of monitoring sites, sampling points at each location, sampling depths and the protocol for profile and location description. Based on good practice examples and considering the EC recommendations study also gives the recommendation for sampling protocol and the required set of analysis and analytical standards which will ensure accurate and internationally comparable results.

Furthermore we allocated four test plots and tested results of three selected systems which address agricultural land; ROTS, KRT and data from PK25. Calculating basic statistics and box plot graphs we wanted to present the conformities and inconsistencies of data.

Described good practices and considering the recommendations are ensuring Slovenia a modern approach to soil data collection which would put it among the few countries in Europe with the modern system of TOS monitoring. Proper and broadly designed range of soil parameters would also provide Slovenia more targeted information that could be used for a variety of environmental analysis. With the development of environmental science there are developing also concepts and methods for the state of the environment assessments, which consider and also re-define the meaning of otherwise well known parameters, including soil parameters. Primarily for the purpose of future analysis and selection of measures, it is important that the new system simultaneously ensures the broadest possible applicability of the results, providing easy and accurate production of current environmental reports and at the same time a basis for future analyses of same sort.

7 VIRI

- Albrecht J. 2007. Key concepts & techniques in GIS. Los Angeles, SAGE Publications: 103 str.
- Aslam T., Choudhary M.A., Saggar S. 2000. Influence of land-use management on CO₂ emissions from a silt loam soil in New Zealand. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 77, 3: 257–262
- Baggott S.L., Cardenas L., Downes L., Garnett E., Jackson L., Li Y., Passant N., Thomson A. 2005. Greenhouse gas inventories for England, Scotland, Wales and Northern Ireland 1990-2003. Didcot, UK, National Environmental Technology Centre: 46 str.
- Baldock J.A. 2007. Composition and cycling of organic carbon in Soil. V: Nutrient cycling in terrestrial ecosystems. Marschner P., Rengel Z. (Eds). Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag: 1-27
- Bardgett R.D., Jones A.C., Jones D.L., Kemmitt S.J., Cook R., Hobbs P.J. 2001. Soil microbial community patterns related to the history and intensity of grazing in sub-montane ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, 33, 12-13: 1653–1664
- Baritz R., Zirlewagen D., Jones R., Arrouays D., Hiederer R., Schrumpf M., Riek W. 2011. Carbon in European soils. V: Soil carbon in sensitive european ecosystems. Jandl R., Rodeghiero M., Olsson M. (Eds.). Chichester, UK, John Wiley & Sons Ltd.: 49–84
- Bat M., Lovrenčak F., Pavlovec R., Kunaver J., Ogrin D., Zych B., Mihelač S., Bole J. 2004. Narava Slovenije. Ljubljana, Mladinska knjiga: 230 str.
- Bayern Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen. 1991. Konzeption zur Einrichtung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen. Arbeitshefte Bodenschutz 1. Munchen, SAG: 56 str.
- Bellamy P.H., Loveland P.J., Bradley R.I., Lark R.M., Kirk G.J.D. 2005. Carbon losses from all soils across England and Wales 1978–2003. *Nature*, 437, 7056: 245–248
- Black H., Bellamy P., Creamer R., Elston D., Emmett B., Frogbrook Z., Hudson G., Jordan C., Lark M., Lilly A., Marchant B., Plum S., Potts J., Reynolds B., Thompson R., Booth P. 2008. Design and operation of a UK soil monitoring network. Bristol, UK, Environmental Agency: 208 str.
- Blum W.E.H., Brandsetter A., Riedler C., Wenzel W.W. 1996. Bodendauerbeobachtung - Empfehlung für eine einheitliche Vorgangsweise in Österreich. Datenschlüssel Bodenkunde: Empfehlung zur einheitlichen Datenerfassung in Österreich. Wien, Umweltbundesamt: 152 str.
- Blum W.E.H., Englisch M., Nelhiebl P., Schneider W., Schwarz S., Wagner J. 1999. Soil Survey and Soil Data in Austria. European Soil Bureau - Research report, 6: 29–42

- Blum W.E.H., Spiegel H., Wenzel W.W. 1989. Bodenzustandsinventur: Konzeption, Durchführung und Bewertung: Empfehlungen zur Vereinheitlichung der Vorgangsweise in Österreich: Wien, Institut. für Bodenforschung: 95 str.
- Blume H.P. 1990. Handbuch des Bodenschutzes: Bodenökologie und belastung: Vorbeugende und abwehrende Schutzmassnahmen. Landsberg/Lech, Ecomed: 686 str.
- Bot A., Benites J. 2005. The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations: 95 str.
- Brady N.C., Weil R.R. 2008. The nature and properties of soils. 14th edition. Upper Saddle River, N.J, Pearson Prentice Hall: 965 str.
- BS 1377 Method 3.1 Test 8. Methods of test for soils for civil engineering purposes. 1975: 12 str.
- BS 7755 Section 2.6. Soil quality. Sampling. Guidance on the collection, handling and storage of soil for the assessment of aerobic microbial processes in soil. 1994: 10 str.
- BS 7755 Section 3.5. Soil quality. Chemical methods. Pretreatment of samples for physico-chemical analyses. 1995: 16 str.
- BS 7755 Section 5.6. Soil quality. Physical methods. Determination of dry bulk density. 1999: 18 str.
- Cao G., Tang Y., Mo W., Wang Y., Li Y., Zhao X. 2004. Grazing intensity alters soil respiration in an alpine meadow on the Tibetan plateau. *Soil Biology and Biochemistry*, 36, 2: 237–243
- Commission Directive of the European Parliament and of the Council (EC) No 2/2007 of 14 march 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). 2007. Official Journal of the European Union, L108: 1-14
- Council regulation (EEC) No 3528/86 of 17 November 1986 on the protection of the Community's forests against atmospheric pollution. 1986. Official Journal of the European Union, L 326: 1-6
- Cox P.M., Betts R.A., Jones C.D., Spall S.A., Totterdell I.J. 2000. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, 408: 184–187
- Čeh T., Vajs S. 2010. Slovenska medlaboratorijska primerjava na področju analiz vzorcev tal v letu 2010. Interna predstavitev raziskave (organizator KGZ Murska Sobota, Oddelek za kemijske analize in raziskave). Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije (gradivo razdeljeno na predstavitvi, oktober 2010)
- Davidson E.A., Trumbore S.E., Amundson C.D. 2000. Biogeochemistry: Soil warming and organic carbon content. *Nature*, 408: 789–790

- Dick W.A., Gregoritch E.G. 2004. Developing and maintaining soil organic matter levels, V: *Managing Soil Quality: Challenges in Modern Agriculture*. Schjonning P., Elmholt S., Christensen B.T. (Eds). Wallingford, MA, CABI Pub: 103–120
- Doran J.W., Parkin T.B. 1995. Defining soil quality for a sustainable environment. V: *Proceedings of a symposium in Minneapolis, MN, 4-5 November 1992*. Wisconsin, Soil Science Society of America: 3–22
- Fischer, R., Waldner, P., Carnicer, J., Coll, M., Dobbertin, M., Ferretti, M., Hansen, K., Kindermann, G., Lasch-Born, P., Lorenz, M., Marchetto, A., Meining, S., Nieminen, T., Penuelas, J., Rautio, P., Reyer, C., Roskams, P., Sánchez, G. 2012. The condition of forests in Europe. 2012 Executive Report. ICP Forests, Hamburg, ICP Forests: 24 str. <http://www.icp-forests.org/RepEx.htm> (4.10.2013)
- Freeman C., Evans C.D., Monteith D.T., Reynolds B., Fenner N. 2001. Export of organic carbon from peat soils. *Nature*, 412: 758
- Harris J.A., Steer J. 2005. Modern methods for estimating soil microbial biomass and diversity: An integrated approach. V: *The Utilization of Bioremediation to Reduce Soil Contamination: Problems and Solutions*. NATO Science Series, 19: 29–46
- Hiederer R., Michéli E., Durrant T. 2011. Evaluation of BioSoil Demonstration Project - Soil Data Analysis. EUR 24729 EN. Luxemburg, Publications Office of the European Union: 155 str.
- Huber S., Freudenschuß A., Staerk U. 2001. European soil monitoring a assesment framework. EEA technical report. Copenhagen, European Environment Agency: 67, 22 str.
- ICP Forests, 2006. Methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, Manual. Sampling and Analysis of Soil - Part IIIa. Brussels, Research Institute for Nature and Forest: 26 str.
- ICPVO - grafični in pisni podatki Pedološke karte Slovenije 1:25000 in pedoloških profilov. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje (13.12.2007) <http://rkg.gov.si/GERK/documents/PedoloskaKarta.zip> (12.11.2013)
- ICPVO - podatki Raziskave onesnaženosti tal Slovenije. Ljubljana, Biotehniška fakulteta (izpis iz baze podatkov, 22.10.2013)
- ISO 10694. Soil quality - Determination of organic and total carbon after dry combustion. (Elemental analysis). 1995: 7 str.
- ISO 14235. Soil quality - Determination of organic carbon by sulfochromic oxidation. 1998: 5 str.
- ISO 11272. Soil quality - Determination of dry bulk density. 1998: 10 str.
- ISO 10381-6. Soil quality - Sampling - Part 6: Guidance on the collection, handling and storage of soil under aerobic conditions for the assessment of microbiological processes, biomass and diversity in the laboratory. 2009: 6 str.

- ISO 11464. Soil quality - Pretreatment of samples for physico-chemical analysis. 2006: 11 str.
- Jones R.J.A., Heiderer R., Rusco E., Loveland P.J., Montanarella L. 2004. The map of organic carbon in topsoil in Europe, Version 1.2, September 2003. V: European Soil Bureau research report. Explanation of special publication. Volume 17. Luxemburg, Office for Official Publications of the European Communities:1- 40
- Jones R.J.A., Hiederer R., Rusco E., Montanarella L. 2005. Estimating organic carbon in the soils of Europe for policy support. *European Journal of Soil Science*, 56, 5: 655–671
- Kibblewhite M.G. 2012. Definition of priority areas for soil protection at a continental scale. *Soil Use and Management*, 28, 1: 128–133
- KIS – podatki vzorčenj v okviru kontrole rodovitnosti. Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije (Izpis iz baze podatkov, 3.10.2013)
- Kobal M., Urbančič M., Potočič N., De Vos B., Simončič P. 2011. Pedotransfer functions for bulk density estimation of forest soils. *Šumarski list*, 1-2, 135: 19–27
- Kutsch W.L., Bahn M., Heinemeyer A. 2010. *Soil Carbon Dynamics: An integrated methodology*. Cambridge, Cambridge University Press: 286 str.
- Lark R. M. 2009. Estimating the regional mean status and change of soil properties: Two distinct objectives for soil survey. *European Journal of Soil Science*, 60, 5: 748–756
- Leštan D. 2002. *Ekopedologija, Študijsko gradivo*. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 268 str.
- Malhi Y. 2002. Carbon in the atmosphere and terrestrial biosphere in the 21st century. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical & Engineering Sciences* 15, 360(1801): 2925-2945
- Mihelič R., Hodnik A., Hudnik V., Lobnik F., Ruprecht J., Šporar M., Vrščaj B., Zupan M., Knapič M., Lapajne S., Urek G., Tič I. 2000. Vzpostavitev monitoring mreže onesnaženja v kmetijstvu, Osnutek protokola monitoringa onesnaženosti v kmetijstvu. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 80 str.
- Mihelič R., Čop J., Jakše M., Štampar F., Majer D., Tojnko S., Vršič S. 2010. *Smernice za strokovno utemeljeno Gnojenje*. Ljubljana, ministrstvo za kmetijstvo gozdarstvo in prehrano Republika Slovenija: 182 str.
- Morvan X., Saby N.P.A., Arrouays D., Le Bas C., Jones R.J.A., Verheijen F.G.A., Bellamy P.H., Stephens M., Kibblewhite M.G. 2008. Soil monitoring in Europe: A review of existing systems and requirements for harmonisation. *Science of the Total Environment*, 391, 1: 1–12
- Nacionalni program varstva okolja. Ur. l. RS št. 83/99
- Ogle S.M. 2012. "US soil organic matter monitoring scheme". Fort Collins, ZDA, Colorado state University, Natural Resource Ecology Laboratory (osebni vir, 8. oktober 2012)

- Ogle S.M., Breidt F.J., Easter M., Williams S., Killian K., Paustian K. 2010. Scale and uncertainty in modeled soil organic carbon stock changes for US croplands using a process-based model. *Global Change Biology*, 16, 2: 810–822
- Pravilnik o varstvu gozdov. Ur. l. RS št. 92/00
- Regulation of the European Parliament and of the Council (EC) No 2152/2003 of 17 November 2003 concerning monitoring of forests and environmental interactions in the Community (Forest Focus). 2003. Official Journal of the European Union, L 324/1: 1-8
- Resolucija o nacionalnem programu varstva okolja 2005-2012. Ur. l. RS št. 2/06
- Schröder W., Schmidt R.P. 2004. Soil monitoring in Germany. *Journal of Soils and Sediments*, 4, 1: 49–58
- Schulze E.-D., Beck E., Müller-Hohenstein K. 2005. *Plant Ecology*. Berlin, Springer-Verlag: 702 str.
- Siebielec G. 2013. "Soil organic matter monitoring scheme in Poland". gs@iung.pulawy.pl (osebni vir, 18. februar 2013)
- Spencer S., Ogle S.M., Breidt F.J., Goebel J.J., Paustian K. 2011. Designing a national soil carbon monitoring network to support climate change policy: A case example for US agricultural lands. *Greenhouse Gas Measurement and Management*, 1, 3-4: 167–178
- Stutter M.I., Deeks L.K., Low D., Billett M.F. 2006. Impact of soil and groundwater heterogeneity on surface water chemistry in an upland catchment. *Journal of Hydrology*, 318, 1-4: 103–120
- Sušin J., Vrščaj B., Vernik T., Verbič F., Jeretina J., Zagorc B., Rednak M., Glad J., Bergant J., Čuden I. 2009. Poročilo o izvedbi strokovnih nalog za Ministrstvo za okolje in prostor v letu 2008 in 2009 : končno poročilo, (KIS - Poročila o strokovnih nalogah, 123). Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije: 107 str.
- UN Framework Convention on Climate Change. 1998. Report of the conference of the parties on its third session, held at Kyoto from 1 to 11 December 1997. Addendum. Part two: Action taken by the conference of the parties at its third session. Geneva, United Nations Office at Geneva: 60 str.
- Urbančič M., Kobal M., Zupan M., Šporar M., Eler K., Simončič P. 2007. Organska snov v gozdnih tleh. V: Knapič M. (ur.). *Strategija varovanja tal v Sloveniji : zbornik referatov Konference ob svetovnem dnevu tal 5. decembra 2007*. Ljubljana, Pedološko društvo Slovenije: 217–230
- Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh vrednostih vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla. Ur. l. RS št. 68/96
- Van-Camp L., Bujarrabal B., Gentile A.R., Jones R.J.A., Montanarella L., Olazabal C., Selvaradjou S.K. 2004a. Reports of the Technical Working Groups, Established Under the Thematic Strategy for Soil Protection. EUR 21319 EN/3, Luxemburg, Office for Official Publications of the European Communities: 311-496

- Van-Camp L., Bujarrabal B., Gentile A.R., Jones R.J.A., Montanarella L., Olazabal C., Selvaradjou S.K. 2004b. Reports of the Technical Working Groups, Established Under the Thematic Strategy for Soil Protection. EUR 21319 EN/5, Luxemburg, Office for Official Publications of the European Communities: 649-718
- Van-Camp L., Bujarrabal B., Gentile A.R., Jones R.J.A., Montanarella L., Olazabal C., Selvaradjou S.K. 2004c. Reports of the Technical Working Groups, Established Under the Thematic Strategy for Soil Protection. EUR 21319 EN/1, Luxemburg, Office for Official Publications of the European Communities: 1-310
- Velkavrh M. 2008. Primerjava dveh kemijskih metod za določanje organske snovi v tleh, Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 64 str.
- Vernik T. 2005. Factors controlling carbon loss in soils in upland Wales, M. Sc. Thesis. Silsoe, UK, Cranfield University: 74 str.
- Vernik T., Bergant J., Vrščaj B., Čuden I., Godeša T. 2010. Vzpostavitev sistema multidisciplinarnih informacij prostora za napovedovanje in ocenjevanje škod po naravnih nesrečah v kmetijstvu: ciljni raziskovalni program Znanje za varnost in mir 2006 - 2010: projekt M2-0220. Končno poročilo, Delovni sklop 2, Potrebe rastlin po vodi, (KIS - Poročila o raziskovalnih nalogah, 338). Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije: 41 str.
- Vrščaj B., Zupan M., Lobnik F. 1990. Računalniška obdelava podatkov v projektu tematska karta onesnaženosti zemljišč Celjske občine. Zbornik Biotehniške fakultete, Univerza Edvarda Kardelja Ljubljana, Kmetijstvo, 13: 41–58
- Vrščaj B., Lobnik F. 1998. Digitalni podatki tal Slovenije. V: Geografski informacijski sistemi v Sloveniji: 1997-1998: zbornik referatov simpozija, Ljubljana, 29. september 1998. Krevs M., Perko D., Podobnikar T., Stančič Z. (ur.). Ljubljana, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti: 219-232
- Vrščaj B., Tič I. 1998. Digitalni podatki tal Slovenije. Gradivo kot pomoč pri uporabi digitalnih pedoloških podatkov. Verzija 1.0. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 25 str.
- Vrščaj B., Lobnik F. 1999. Establishment of digital soil map of Slovenia in the scale 1:25.000. Zbornik Biotehniške fakultete, Univerz v Ljubljani, Kmetijstvo, 2, 73: 287–300
- Vrščaj B. 2006. Danube Basin Soil Data-SLOVENIA: Končno poročilo, (KIS - Poročila o raziskovalnih nalogah). Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije: 19 str.
- Vrščaj B. 2007. Towards soil information for local scale soil protection in Slovenia. V: Status and prospect of soil information in south-eastern Europe: Soil databases, projects and applications. Novak T. (ur.). Luxembourg, European Communities: 165-177
- Vrščaj B. 2008. Strukturne spremembe kmetijskih zemljišč, njihova urbanizacija in kakovost v obdobju 2002-2007. Hmeljarski bilten, 15: 73–84

- Vrščaj B., Poggio L., Marsan F.A. 2008. A method for soil environmental quality evaluation for management and planning in urban areas. *Landscape and Urban Planning*, 88, 2-4: 81–94
- Vrščaj B., Vernik T. 2010. Algoritmi digitalne kartografije in pretvorbene funkcije za potrebe nacionalnega talnega informacijskega sistema: Razvoj algoritmov digitalne kartografije, Delovni sklop 1.3.1: Modeliranje v nekarbonatnih sistemih: končno poročilo (KIS - Poročila o raziskovalnih nalogah, 347). Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije: 30 str.
- Vrščaj B., Sušin J., Šinkovec M., Žnidaršič Pongrac V., Vernik T., Bregar Z., Gregorčič A., Grčman H., Mihelič R., Žlindra D., Simončič P. 2011. Strokovna in pravna izhodišča za vzpostavitev sistema zbiranja in obdelave podatkov preverjanja rodovitnosti tal (KRT): končno poročilo (KIS - Poročila o raziskovalnih nalogah, 366). Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije: 63 str.
- White S., Graham T., Ritz K., Yallop A., Burton R., Carter J., Bragg O., Sannier C., Dean S. 2003. Control of water quality from upland catchments. Interno poročilo izdelano za Yorkshire Water. Silsoe, Cranfield University: 80 str.
- Zakon o gozdovih. Ur. l. RS št. 30/93
- Zupan M., Grčman H., Lobnik F., Kralj T., Kocjan Ačko D., Tič I., Šinkovec M., Žlebir S. 2008. Raziskave onesnaženosti tal Slovenije. Ljubljana, Agencija RS za okolje: 68 str.

ZAHVALA

Posebej hvala za čas in vse odgovore v zvezi z iskušnjami in delom na nacionalnih sistemih Poljske; Grzegorzu Siebielecu; ZDA, Stephen-u Ogle-u; Avstrije; Alexandri Freideschuss ter Nemčije; Rainer-ju Baritz-u.

Za vso pomoč pri delu na Cranfieldski univerzi Ianu Bradleyu, Marku Kibblewhiteu, Patricii Ballamy, Richardu Andrews, Catarini Henriques in Irene Mijangos Olarra.

Prof. Dr. Francu Lobniku za izkazano zaupanje pri napotitvi na študij v tujino.

Damijani Kastelec za pomoč in nasvete pri statistiki.

Kmetijskemu inštitutu Slovenije za podporo in razumevanje med pisanjem.

Janezu Bergantu za izris kart in pomoč pri GIS obdelavi podatkov.

Alenki in Pavli.

Za navdih, podporo, razumevanje in potrpežljivost.

PRILOGA A - SUPPLEMENT A

Rezultat osnovnih statistik programa GraphPad Prism 3.0

Priloga A1: Osnovne statistike sistemov KRT, ROTS in PK25 glede na testno območje in rabo tal
Supplement A1: Basic statistics for systems KRT, ROTS and PK25 based on test sites and land use

Organska snov										
	Povp.	St. dev.	Q	KV	min	Q1	Me	Q3	max	n
Gorenjska_KRT_Njive	4,3	1	1,1	0,2	1,8	3,6	4,2	4,7	10,4	509
Gorenjska_KRT_Trav	6,4	2,7	2,9	0,4	1,3	4,6	5,8	7,5	19,4	133
Gorenjska_PP_Njive	10,7	12	4,5	1,1	3	4,3	6,5	8,8	35	6
Gorenjska_PP_Trav	5,8	3,9	4,1	0,7	1,1	3,3	5	7,4	16,1	19
Gorenjska_ROT_S_Njive	5,4	1,1	0,8	0,2	4,6	5	5,4	5,8	6,2	2
Gorenjska_ROT_S_Trav	7,7	2,6	1,1	0,3	5,2	6,5	6,8	7,6	14,3	9
JVSlo_KRT_Njive	3,2	0,9	0,8	0,3	1,7	2,7	3,1	3,5	6,6	126
JVSlo_KRT_Trav	4,9	1,9	2,1	0,4	1,6	3,7	4,6	5,8	10,5	104
JVSlo_PP_Njive	3,5	1,4	2,4	0,4	1,9	2,3	3,6	4,6	5,5	7
JVSlo_PP_Trav	4,9	2,7	2,6	0,5	2,2	3,3	4,1	5,9	9,5	6
JVSlo_ROT_S_Njive	3,5	0,8	0,8	0,2	2,6	3,2	3,7	4	4,2	3
JVSlo_ROT_S_Trav	4,6	0,9	1,5	0,2	3,5	3,8	5,2	5,3	5,4	5
ObalaKras_KRT_Njive	2,7	1	1,2	0,4	1,1	2	2,5	3,2	5,5	49
ObalaKras_KRT_Trav	5,3	2,5	2,5	0,5	2,7	3,8	4,9	6,3	8,5	4
ObalaKras_PP_Njive	4,3	3,1	2,8	0,7	2,1	2,3	2,7	5,1	10,8	8
ObalaKras_PP_Trav	1,9	0,7	0,5	0,4	1,4	1,5	1,6	2	2,9	4
ObalaKras_ROT_S_Njiv	3,8	2,8	2	0,7	1,8	2,8	3,8	4,8	5,8	2
ObalaKras_ROT_S_Trav	3,6	0,8	0,8	0,2	2,8	3,3	3,8	4,1	4,3	3
Savinjska_KRT_Njive	3,7	1,1	1,1	0,3	1,8	3,1	3,5	4,2	8	218
Savinjska_KRT_Trav	5,4	2,1	2,5	0,4	2,1	4	5	6,5	14,8	92
Savinjska_PP_Njive	5,4	4,1	3,9	0,8	1,5	2,9	3,6	6,8	16,4	17
Savinjska_PP_Trav	6,2	7,2	3,4	1,2	1,4	3,4	4,4	6,7	47,7	42
Savinjska_ROT_S_Njive	6,3	4,3	4,1	0,7	2,9	3,9	4,8	8	11,1	3
Savinjska_ROT_S_Trav	5,3	0,9	1	0,2	3,9	4,8	5,5	5,8	6,7	10

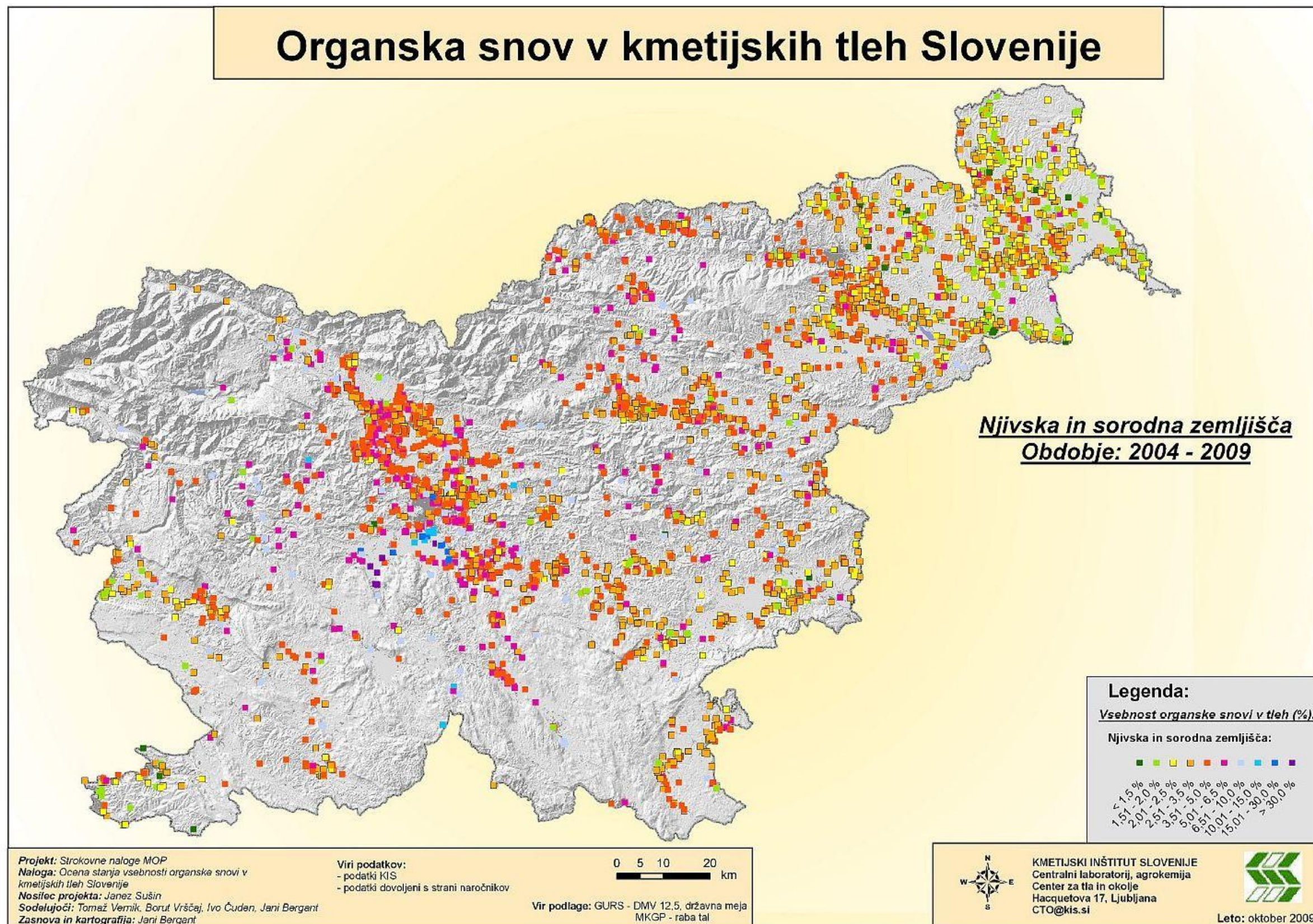
Priloga A2: Skupne povprečne vrednosti TOS glede na testno območje in rabo tal
 Supplement A2: Everage TOS content based on test site and land use

Sistem	Povprečna vsebnost TOS	Skupno po testnem območju	Povprečna vsebnost TOS
Gorenjska njive	6,78	Gorenjska vse	6,69
Gorenjska travinje	6,61		
JVSlo njive	3,42	JVSlo vse	4,13
JVSlo travinje	4,83		
ObalaKras njive	3,57	ObalaKras vse	3,58
ObalaKras travinje	3,59		
Savinjska njive	5,14	Savinjska vse	5,38
Savinjska travinje	5,62		

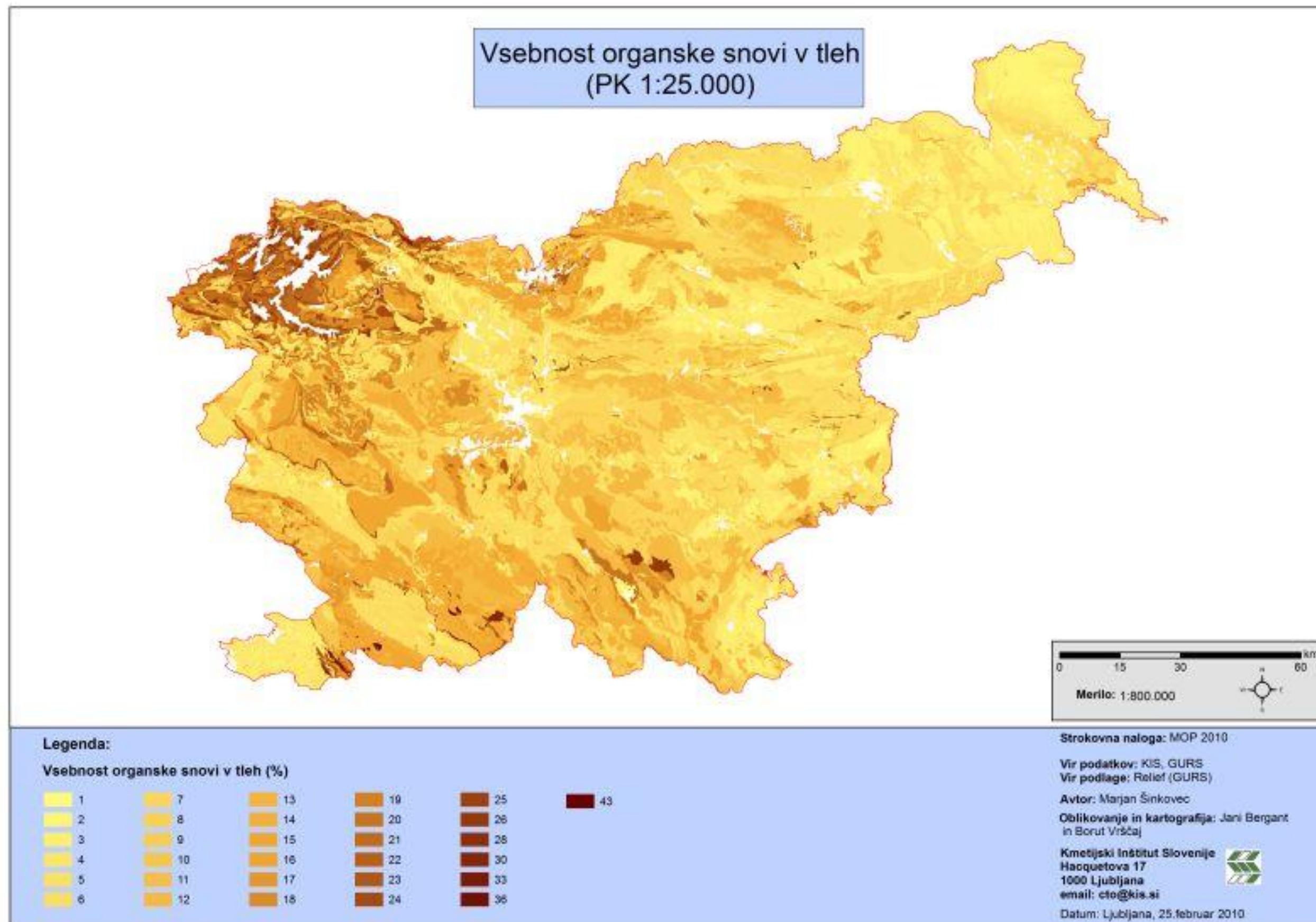
Priloga A3: Povprečne vrednosti TOS glede na sistem in rabo tal
 Supplement A3: Everage TOS content based on system and land use.

Sistem/raba	Povprečna vsebnost TOS
ROTS njive	4,74
ROTS travinje	5,31
KRT njive	3,47
KRT travinje	5,48
PK25 njive	5,97
PK25 travinje	4,69

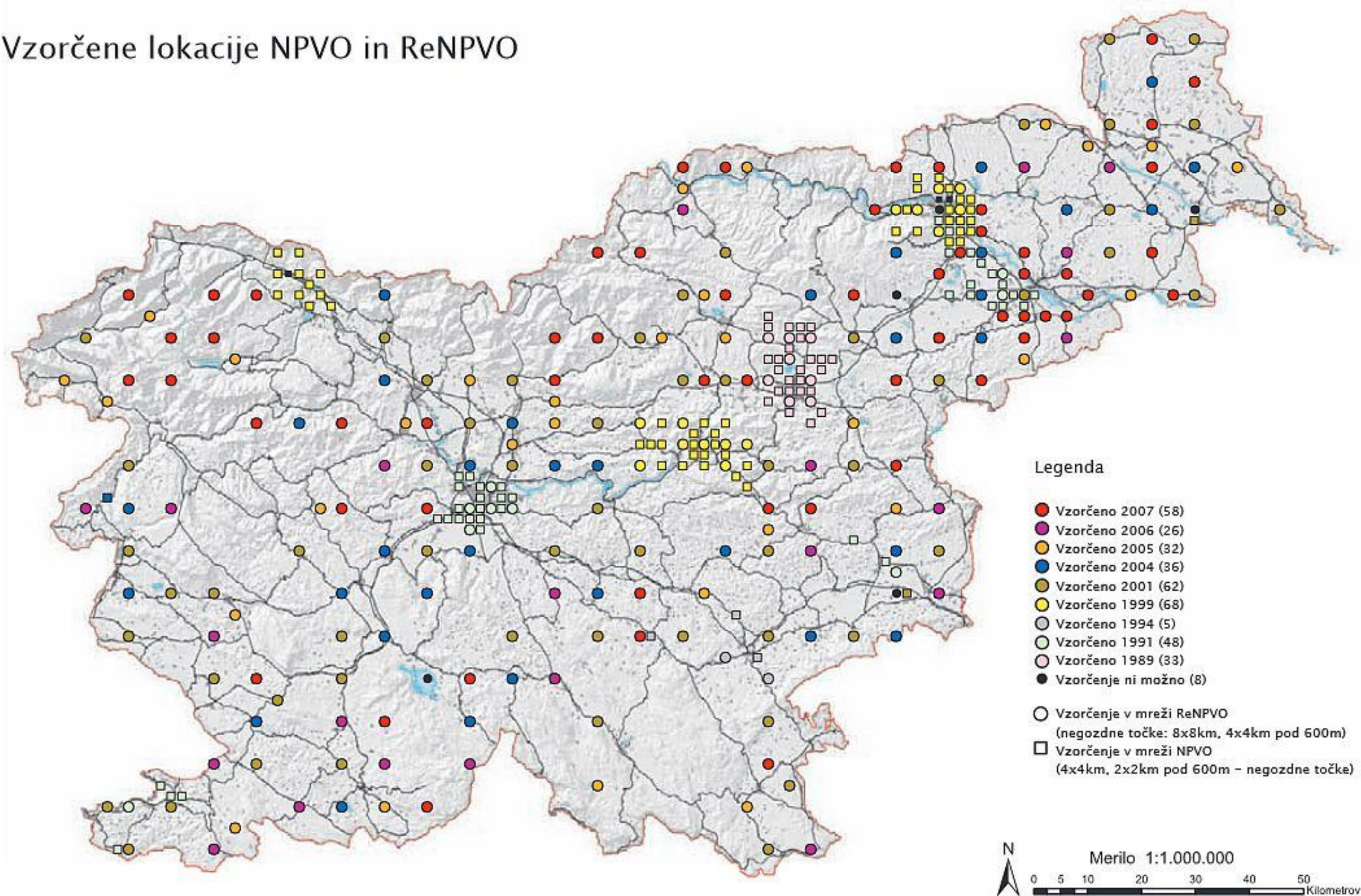
Priloga B1: Karta vsebnosti organske snovi za njive in sorodna zemljišča sistema KRT med leti 2004 in 2009 (Sušin in sod., 2009)
Supplement B1: Map of organic matter content for arable land for KRT between 2004 and 2009 (Sušin et al., 2009)







Vzorčene lokacije NPVO in ReNPVO



Slika 43: Vzorčenje v letih 1989 - 2007 na mreži NPVO in ReNPVO.