

ZAKLJUČNO POROČILO
O REZULTATIH OPRAVLJENEGA RAZISKOVALNEGA DELA
NA PROJEKTU V OKVIRU CILJNEGA RAZISKOVALNEGA
PROGRAMA (CRP) »KONKURENČNOST SLOVENIJE 2006 – 2013«

REPUBLIKA SLOVENIJA
POSREDELEC JAVNEGA POGOJENJA
JAVNA AGENCIJA ZA RAZISKOVALNO DEJAVNOST
REPUBLIKE SLOVENIJE, LJUBLJANA 3

I. Predstavitev osnovnih podatkov raziskovalnega projekta

1. Naziv težišča v okviru CRP:

Povezovanje ukrepov za doseganje trajnostnega razvoja

Proj. št.: - 6 - 10 - 2008

Št. 0110

Šifra zadava:

03113 - 107 / 2008

Vrednost:

14

2. Šifra projekta:

V4-0351

3. Naslov projekta:

Priprava podlag za izdelavo nacionalne strategije za zagotavljanje ohranjanja genofonda gozdnih drevesnih vrst ob uporabi gensko spremenjenih dreves v kmetijstvu

3. Naslov projekta

3.1. Naslov projekta v slovenskem jeziku:

Priprava podlag za izdelavo nacionalne strategije za zagotavljanje ohranjanja genofonda gozdnih drevesnih vrst ob uporabi gensko spremenjenih dreves v kmetijstvu

3.2. Naslov projekta v angleškem jeziku:

Foundations for national strategy for assuring the preservation of gene-pool of forest tree species in the case of use of genetically modified trees in agriculture in Slovenia

4. Ključne besede projekta

4.1. Ključne besede projekta v slovenskem jeziku:

gozdna drevesna vrsta, gozdni genski viri, gensko spremenjeni organizmi, gensko spremenjena drevesa, modeliranje, ocena tveganja

4.2. Ključne besede projekta v angleškem jeziku:

forest tree species, forest gene resources, genetically modified organisms, genetically modified trees, modelling, risk assessment

5. Naziv nosilne raziskovalne organizacije:

510 – 0481 Univerza v Ljubljani (Biotehniška fakulteta)

5.1. Seznam sodelujočih raziskovalnih organizacij (RO):

Inštitut Jožef Stefan
Gozdarski inštitut Slovenije
Kmetijski inštitut Slovenije

6. Sofinancer/sofinancerji:

ARRS
MKGP

7. Šifra ter ime in priimek vodje projekta:

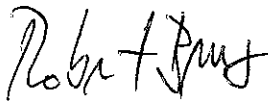
11958

Robert Brus

Datum: 30. 09. 2008

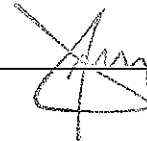
Podpis vodje projekta:

doc. dr. Robert Brus



Podpis in žig izvajalca:

prof. dr. Andreja Kocijančič, rektorica
Po pooblastilu
prof. dr. Janez Hribar, dekan



II. Vsebinska struktura zaključnega poročila o rezultatih raziskovalnega projekta v okviru CRP

1. Cilji projekta:

1.1. Ali so bili cilji projekta doseženi?

- a) v celoti
- b) delno
- c) ne

Če b) in c), je potrebna utemeljitev.

1.2. Ali so se cilji projekta med raziskavo spremenili?

- a) da
- b) ne

Če so se, je potrebna utemeljitev:

2. Vsebinsko poročilo o realizaciji predloženega programa dela¹:

Program dela in metodika

Programsko in metodološko je raziskovanje potekalo v štirih delovnih sklopih, ki pa so bili med seboj povezani in oblikovani glede na vsebinski in časovni potek izvajanja projekta.

Pregled raziskovalnih aktivnosti in regulativ na področju GS dreves ter priprava podatkov

Ta del raziskave je obsegal izdelavo natančnega pregleda in analizo trenutnega stanja in obstoječih trendov na področju raziskav, poljskih poskusov in sproščanja gensko spremenjenih dreves v svetu. Izdelana je bila baza podatkov o obstoječih znanstvenih referencah o gensko spremenjenih drevesih in podan pregled zakonske ureditve v svetu, v Evropski Uniji in v Sloveniji. Namen raziskave je bil tudi pregledati in predstaviti cilje genskega spreminjanja dreves in analizirati možne vplivi na okolje. Na osnovi študija obstoječe znanstvene literature smo izdelali seznam avtohtonih drevesnih vrst, ki so potencialno najbolj ogrožene s strani GS dreves, na katerih potekajo intenzivne raziskave, predstavljeni so načini ogroženosti in izbrana je bila modelna vrsta, za katero je bil pozneje razvit predlog metodologije presoje ogroženosti s strani GS iste ali sorodne vrste, s katere je mogoč vertikalni prenos genov. Za izbrano modelno vrsto smo pripravili potrebne podatke za izvedbo ocene stopnje ogroženosti.

V tem delu raziskave smo uporabljali internetne vire, mednarodne podatkovne baze ter tiskane in elektronske oblike znanstvene periodike za pregled in analizo stanja na področju gensko spremenjenih dreves v svetu. Pregledani sta bili evropska in slovenska zakonodaja in analizirane in uporabljene podatkovne baze Zavoda za gozdove Slovenije o razširjenosti in lesnih zalogah drevesnih vrst po odsekih, Digitalne baze rabe zemljišč (MKGP) in druge baze podatkov, pregledan in podrobno analiziranih je bilo več Tehničnih dosjejev iz Prošenj za sproščanje gensko spremenjenih drevesnih vrst. Zbrani in analizirani so bili v znanstvenem tisku objavljeni podatki o lastnostih peloda, njegovega prenosa in vitalnosti in možnostih uspešne introgresije.

Model vplivnega območja GS dreves

V tem delu raziskave je bil izdelan model za izračun širine vplivnega območja na primeru nasadov izbrane modelne drevesne vrste na nivoju Slovenije. Določena so bila področja, ki bodo izpostavljena različnim stopnjam potencialnega opraševanja s pelodom GS vrste, če bi v gozdnem ali zunajgozdnem prostoru pričeli gojiti GS obliko vrste. Zaradi mozaične prepletenosti gozdnega in kmetijskega prostora v Sloveniji smo na osnovi modela ocenjevali potencialni vpliv hipotetičnih nasadov GS vrste na genofond sorodnih gozdnih drevesnih vrst. Ugotavljali smo, kje bi bilo možno osnovati nasade GS vrste, ki ne bi obremenjevali naravnih populacij v gozdnih združbah. Model omogoča izračune, ki temeljijo na vnaprej določeni fiksni širini pufernega pasu in na dinamično določeni širini, ki je izračunana s pomočjo modeliranja odnosov med lokalno specifičnimi dejavniki okolja. Model izračune prilagodi različnim vnaprej in s strani uporabnikov (ministrstvo) določenim deležem nasadov GS vrste na nivoju države, seveda na površini, primerni za njihovo pridelavo. Rezultati so podani tudi v obliki kart in preglednic in predstavljajo pomembno osnovo v procesu priprave podlag za razvoj strategije ohranjanja genofonda gozdnih drevesnih vrst. Obstoječi, podobni modeli (npr. modela Genesys in Mapod ter rezultati projekta SIGMEA) so izdelani za GS enoletnice, izdelava tovrstnega modela za GS dreves na nivoju Slovenije pa je v svetovnem merilu prva. To je obenem tudi pomemben prispevek k uveljavitvi Slovenije v mednarodnem raziskovalnem prostoru na področju preučevanja vplivov GS dreves na okolje. Rezultati tega sklopa lahko predstavljajo izhodišče širše zasnovanih evropskih raziskovalnih projektov.

Izdelava modela vplivnega območja GS dreves na primeru nasadov izbrane modelne vrste je

¹ Potrebno je napisati vsebinsko raziskovalno poročilo, kjer mora biti na kratko predstavljen program dela z raziskovalno hipotezo in metodološko-teoretičen opis raziskovanja pri njenem preverjanju ali zavračanju vključno s pridobljenimi rezultati projekta.

temeljila na analizi podatkov o dejanski in potencialni razširjenosti vrste v gozdnih združbah Slovenije, o lokacijah obstoječih zunaj gozdnih nasadov ter podatkih o značilnostih rastišč in nasadov vrste na ravni Slovenije. Model v okolju geografskega informacijskega sistema prikazuje lokacije, stopnje kontaminiranosti, potencialno primerna in neprimerna mesta za osnovanje GS nasadov in ogrožena področja naravnih populacij modelne vrste v gozdnih združbah. Model je zgrajen s pomočjo uporabe sodobnih tehnik podatkovnega rudarjenja in strojnega učenja.

Sistem načrtnega spremljanja stanja genofonda gozdnih drevesnih vrst

Razvoj sistema načrtnega spremljanja stanja genofonda gozdnih drevesnih vrst pomeni pripravo načrtov za izvedbo posnetka ničelnega stanja (angl. base line study) genofonda izbranih gozdnih drevesnih vrst Slovenije, ki omogoča detekcijo in objektivno vrednotenje vplivov GS dreves na genofond. Namen raziskave je bil urediti zbirko uporabljenih genskih markerjev pri drevesnih vrstah ter postaviti podatkovne zbirke in/ali povezave na obstoječe podatkovne zbirke o genskih markerjih, z možnostjo hitrega ugotavljanja načina določevanja markerjev v rastlinskem materialu. Rezultat tega sklopa raziskave je bil tudi načrt razvoja metod in laboratorijskih kapacitet za spremljanje GS organizmov v gozdnih ekosistemih ter v nasadih gensko spremenjenih drevesnih vrst zunaj gozda ter priprava navodil za vzpostavitev laboratorija za vpeljavo zaprtega sistema dela in ustreznega varnostnega sistema (v skladu z ZRGSO).

Ta del raziskave je potekal s pomočjo pregleda podatkovnih baz o uporabljenih genskih markerjih pri drevesnih vrstah in pregleda virov, dostopnih na medmrežju ter priprava podatkov o uporabljenih konstruktih za oblikovanje podatkovne zbirke o genskih konstruktih za potrebe izvajanja laboratorijskih testov sledenja. Vpeljane so bile tudi metode dela v laboratoriju za analizo GSO v skladu z zakonodajo in glede na predvidene možnosti.

Podlage za razvoj strategije ohranjanja integritete genofonda gozdnih drevesnih vrst

Na osnovi ugotovitev iz prvih treh sklopov raziskave so pripravljene podlage za celovito presojo možnih vplivov GS dreves na genofond gozdnih drevesnih vrst. Predlagani so možni pristopi vrednotenja potencialnih vplivov GS dreves na gozd, pri čemer smo izdelali širši konceptualni okvir in na njegovi osnovi ob upoštevanju veljavne zakonodaje tudi originalni model za oceno tveganja za okolje (OTO) v primeru GS dreves, ki je potencialno uporaben tudi za presojo vpliva GS kmetijskih rastlin. Na modelni izbrani drevesni vrsti smo izdelali tudi konkretno simulacijo možnega vrednotenja vplivov na okolje, rezultati pa bodo uporabna podlaga pri presoji in odločanju o morebitnih vlogah za gojenje gensko spremenjenih dreves v Sloveniji in pri izdelavi konkretnih strategij ohranjanja genofonda in konkretnih načrtov monitoringa določene vrste.

Najpomembnejši rezultati

1 Pregled stanja raziskav in gojenja gensko spremenjenih dreves

Drevesne vrste na splošno spreminjajo s podobnim namenom kot kmetijske rastline. Carman (2005) kot najpogostejše navaja naslednje namene genskega spreminjanja dreves: osnovanje velikih monokulturnih plantaž, pridelava prehrane za ljudi in živali, proizvodnja okrasnega drevja, pridelava eteričnih olj, pridelava biofarmaceutskih snovi, ohranitev redkih in ogroženih drevesnih vrst, varstvo erozijskih žarišč in ustavitve dezertifikacije in fitoremediacija degradiranih površin.

1.1 Pregled raziskav in poljskih poskusov z gensko spremenjenimi drevesi

Število poljskih poskusov na drevesnih vrstah je mnogo nižje kot pri kmetijskih rastlinah in poskusi so v primerjavi s klasičnimi poskusi z drevesnimi vrstami večinoma zelo kratkotrajni. Belgija je bila prva država, ki je izvedla poljski poskus na drevesni vrsti, in sicer leta 1988 na črnem topolu (FAO, 2000). Danes največ raziskav poteka v rodovih *Populus* (47 %), *Pinus* (19 %), *Eucalyptus* (7 %), *Liquidambar* (5 %), *Picea* (5 %) in *Betula* (3 %), pri sadnih in okrasnih

vrstah pa pri prunusih (*Prunus* sp.), jablanah (*Malus* sp.) in hruškah (*Pyrus communis*). O raziskavah poročajo iz 35 držav na vrstah iz 29 drevesnih rodov (FAO, 2004). Povečuje se obseg poljskih poskusov z GS drevesi. WWF navaja 100 poljskih poskusov med letoma 1988 in 1999, največ od tega v ZDA in Kanadi (FAO, 2002). Leta 2004 je v 16 državah po svetu potekalo že 210 poljskih poskusov, največ v ZDA, poleg tega še v Južni Ameriki, nekaterih evropskih državah in na Novi Zelandiji. Bistvena razlika med izvajanjem poskusov v ZDA in Evropi ter državami Latinske Amerike, JV Azije in Afrike je, da v Evropi in ZDA poskuse izvajajo znanstvene, vladne in izobraževalne ustanove, pri drugih pa raziskave finančno podpira zasebni sektor (Suzuki, 2006). Evropske države, ki se ukvarjajo z genskim spreminjanjem dreves ali njegovim raziskovanjem, so: Belgija, Danska, Finska, Francija, Italija, Nemčija, Nizozemska, Norveška, Portugalska, Španija, Švedska in Velika Britanija (BIOTECH, 2006). Največ poskusov je narejenih na predstavnikih rodu *Populus* (*P. tremula*, *P. deltoides*, *P. tremuloides* in številni križanci). Sledijo *Malus domestica*, *Betula pendula* in *Prunus avium*. Poizkuse izvajajo našete države tudi na eksotičnih drevesnih vrstah. Poleg vrst, navedenih v preglednici 4, so to še *Malus pumila* (Nizozemska in VB), *Eucalyptus* sp. (Portugalska, Španija, VB), *Actinidia* sp. (Italija) in *Citrus* sp. (Italija, Španija). Podatki veljajo za obdobje 1993-2005. Poleg zgoraj omenjenih številnih poljskih poskusov obstajata tudi že dve GS drevesni vrsti, ki sta bili sproščeni za komercialno rabo – papaja in črni topol. Gensko spremenjeno papajo, ki je odporna proti papajinemu virusu, sadijo na Havajih od leta 1997 (Sedjo, 2005). Leta 2001 so komercialno zasadili hibridni topol oziroma klon, imenovan "topol 741" (*P. alba* × [*Populus davidiana*+*Populus simonii*] × *Populus tomentosa*), kateremu so s spremenjenima genomu CryIAc in API vzpostavili odpornost proti žuželkam. Posajenih je bilo 0,4 milijona sadik (FAO, 2004). GS črni topol (*Populus nigra*) so preizkušali na Kitajskem že leta 1994, leta 2000 pa so državni organi dovolili tudi komercialno sajenje GS dreves, ki so odporni proti škodljivcem. Tvorbo Bt toksina v topolih so spodbudili z vnešenim genom CryIAc. Ta klon nosi ime "topol 12". Z namenom ustavitve dezertifikacije na SZ Kitajske je bilo leta 2002 posajenih 1 milijon topolov na površini 300 ha (FAO, 2004; Sedjo, 2005). Oba omenjena topola sta ženska klona, z njunim izborom so med drugim preprečili proizvodnjo peloda, ki bi lahko povzročil nekontrolirano širjenje v okolje.

1.2 Problematika uvajanja gensko spremenjenih drevesnih vrst v okolje

Pri morebitnem sproščanju GS dreves v okolje je tveganje še večje kot pri kmetijskih rastlinah, kjer gre večinoma za enoletnice. Nezaželena introgresija genov v naravne populacije in nepričakovane interakcije bi lahko ogrozile trajnost gospodarjenja z gozdom ali povzročile druge neželene učinke. Pri presojanju vpliva GS dreves na okolje je potrebno še zlasti upoštevati, da so drevesa dolgoživi organizmi, da je njihov življenjski krog daljši kot pri kmetijskih rastlinah, da so poskusi in testiranja zahtevnejši in dražji, nekateri, npr. študij reprodukcijske in življenjskega cikla pa so v realnih prostorskih in časovnih okvirih praktično nemogoči. Zaradi dolge življenjske dobe dreves obstaja veliko možnosti za pojav nepredvidljivih stranskih učinkov ali nepričakovanega aktiviranja neaktivnih genov, še zlasti v stresnih nepredvidljivih razmerah (npr. podnebne spremembe, ekstremne temperature). V javnosti gensko spremenjena drevesa pogosto povzročajo tudi negativne občutke in mnenja, Carman (2005) pa kot glavne razloge za to navaja možen pretok genov v naravne populacije, mogoče zmanjšanje genetske pestrosti dreves in živali na njih, nevarnost zmanjšanja ekosistemske pestrosti zaradi izgube vrst in možnost povečane uporabe herbicidov, pesticidov in fungicidov s posledičnim velikim odtokom naštetih kemikalij v tla in podtalnico.

Pri izvajanju poskusov z GSO je največja nevarnost, da pride do vnosa genov GSO v naravno okolje ter da se pojavi prenos transgenov v naravne populacije z nepričakovanimi posledicami. Da bi dosegli varnost izvajanja poljskih poskusov in s tem pridobili naklonjenost javnosti, v splošnem priporočajo upoštevanje naslednjih varnostnih ukrepov (Suzuki, 2006): poljski poskusi naj potekajo kratek čas, do razvoja cvetov, cvetenje dreves ni dovoljeno, uporaba izolacijskih pasov, dovolj široka puferna cona, reden nadzor med poskusom in še 5-let po končanju poskusa, zaprt

transport GS materiala (sadič, lesa), popolna odstranitev dreves in štorov po koncu poskusa, uničenje lesnih ostankov z ognjem in skrbno vodenje zapiskov.

1.3 Ocena uporabe gensko spremenjenih dreves v svetu v prihodnosti

Glede na predstavljeno stanje in trende v svetu lahko pričakujemo, da se bodo število in obseg poljskih poskusov, verjetno pa tudi obseg komercialnih nasadov v svetu v prihodnosti povečevali. Vendar moramo upoštevati tudi dejstvo, da se bo povečeval razkorak med genskemu spreminjanju naklonjenimi in nenaklonjenimi območji. V Evropi je čedalje več držav ali vsaj območij v državah, ki razglašajo svoj status – področje brez GSO (GMO-free ..., 2006). Pri nasprotovanju uporabe GSO so najbolj aktivne nevladne organizacije Greenpeace, Friends of the Earth, American Lands Alliance ipd., v Sloveniji je to Umanotera. Povečuje se število akcij na terenu, ko pripadniki okoljevarstvenih organizacij uničujejo plantaže ali poljske poskuse (Suzuki, 2006). Najbolj odmevna primera sta se zgodila l. 1999 v Veliki Britaniji, ko so aktivisti uničili dve poskusni polji z GS koruzo in poljski poskus z gensko spremenjenim topolovim klonom z ligninsko modifikacijo (Pilate et al., 2002). WWF podpira uporabo GSO, kjer se bo z njo povečala možnost razvoja družbe, še posebno razvoj medicinskih znanosti (WWF, 1999). Vendar hkrati opozarja, da zavrača sproščanje GSO v okolje, še posebej s kmetijskih površin, dokler niso izvedene obširne ekološke raziskave.

Prihodnost raziskav z gensko spremenjenimi drevesi je pogojena s številnimi dejavniki. Med njimi je zagotovo interes po razvoju, ki naj bi prinesel izboljšave za zdravje ljudi ali varstvo okolja. Napovedi o prihodnosti raziskav omenjajo tudi začasne prepovedi komercialnega sajenja GS dreves, ponekod tudi prepoved ali omejitve poljskih poskusov. Državni predpisi in javno mnenje lahko prikažeta GS drevesa v tako negativni luči, da bodo poskusi postali predragi in jih bodo raziskovalne ustanove opustile (FAO, 2004). Vsekakor je verjetnost implementacije GS dreves večja v ekonomsko manj razvitih območjih sveta in v območjih, kjer je plantažno gojenje drevesnih vrst že sedaj ustaljena praksa. V območjih, kot je Evropa, kjer prevladuje na dolgoletni tradiciji temelječ način gospodarjenja z gozdovi in kjer je varovanje gozdnih genskih virov vse pomembnejša naloga, pa bo morebitni začetek komercialne uporabe transgenih dreves verjetno mnogo počasnejši.

1.4 Koristi in tveganja

Od raziskav z GS drevesi bodo imele po mnenju strokovnjakov (FAO, 2004) različne skupine organizacij številne koristi. *Komercialne koristi*, ki jih pričakujejo od GS dreves, so: povečana proizvodnja lesa, izboljšana kakovost lesa, odpornost proti povzročiteljem škod in bolezni, zmanjšana predelava lesa in nižji proizvodni stroški, manjša količina kemikalij za pridelavo papirja, razvoj novih produktov, remediacija zastrupljenih površin, sterilnost dreves, proizvodnje biogoriv, dvig vrednosti borznih delnic, nove do zdaj še neodkrte izboljšave. Od GS drevesa pričakujejo tudi, da bodo *koristna za okolje* zaradi zmanjšane pritiska na naravne gozdove, zmanjšane uporabe kemikalij v gozdovih in v predelavi lesa, saniranja degradiranih površin, ponora ogljikovega dioksida, povečane produktivnosti na enoto površine, prilagoditve dreves na stresne rastiščne razmere, zmanjševanje erozije in ker bodo pomemben obnovljiv vir energije in obnovljiv surovinski vir. Od GS dreves naj bi imelo *korist tudi zdravje ljudi* zaradi manjše količine peloda v zraku in zato manj alergij, pridelave farmacevtskih sredstev in povečanja rekreacijskih površin. *Druge koristi* naj bi bile razvojna možnost za države v razvoju, pospešitev konvencionalnega žlahtnjenja, skrajšanje žlahtniteljskih ciklov, zmanjšana pozornost in odpor javnosti na kloniranje in možnost upočasnitve globalnega segrevanja.

Z vsako koristjo pride tudi slabost. Na nekaterih področjih se bodo povečala tveganja. *Komercialna tveganja* predstavljajo odpor javnosti, visoka tveganost naložb, možnost monopola velikih družb, problem z nehotenim prenosom genov na gensko nespremenjena drevesa, slab vpliv plantaž na biodiverzitetu, pojav odpornih insektov in ekoterorizem. *Tveganja za ljudi* predstavljajo možen pojav novih alergenov in novih strupenih snovi, *okoljska tveganja* pa so

povezana z nekontroliranim pretokom genov in njihovim vplivom na neciljne organizme, slabšo prilagodljivostjo GS dreves na rastne razmere in na motnje v prehranjevalnih verigah. Možna posledica uvajanja GS dreves na plantaže je tudi monopolna prevlada velikih podjetij na tržišču, ki bodo patentirala postopke za vzgojo GS drevesnih vrst ter tako onemogočila gojenje GS dreves majhnim pridelovalcem.

2 Pregled predpisov s področja raziskav in sproščanja GS dreves v EU in Sloveniji

Prva predpisa EU o gensko spremenjenih organizmih sta bili direktivi 90/220/EGS o namernem sproščanju GSO v okolje (ES, 1990a) ter 90/219/EGS o rabi gensko spremenjenih mikroorganizmov v zaprtih sistemih (ES, 1990b). Za področje gensko spremenjenih drevesnih vrst je pomembna predvsem prva, ki jo je leta 2001 zamenjala nova direktiva, in sicer **direktiva 2001/18/ES (ES, 2001)**. Ta upošteva mednarodne izkušnje na področju mednarodnih trgovinskih obveznosti in predvideva izpolnjevanje zahtev Kartagenskega protokola. V uvodu je poudarjena nujnost ustanovitve skupne metodologije za oceno tveganja za okolje ter označevanja vsega, kar vsebuje GSO. Prednostne naloge direktive so izboljšanje učinkovitosti in transparentnosti postopka izdaje dovoljenj za izpustitve in trženja GSO. Področje gensko spremenjene hrane in krme pokriva **Uredba 1829/2003/ES (ES, 2003)**, katere cilji so dati osnove za zagotavljanje visoke ravni varstva življenja in zdravja ljudi, zdravja in zaščite živali, okolja ter interesov potrošnikov v zvezi z gensko spremenjenimi živilni in krmo ob zagotavljanju učinkovitega delovanja notranjega trga. **Uredba 1830/2003/ES** pokriva področje o sledljivosti in označevanju gensko spremenjenih organizmov ter sledljivosti živil in krme proizvedenih iz gensko spremenjenih organizmov. Cilj uredbe je vzpostavitev okvirja za sledljivost proizvodov (sem spada tudi semenski material, npr. GRM), ki so sestavljeni iz ali vsebujejo gensko spremenjene organizme, ter živil in krme, proizvedenih iz GSO. Področje čezmejnega gibanja GSO pokriva **Uredba 1946/2003/ES**, ki vzpostavlja skupni sistem za priglasitve in informacije o čezmejnem gibanju GSO in zagotavlja izvajanje določb Protokola v imenu Skupnosti, da bi s tem zagotavljala primerne stopnje zaščite na področju varnega prenosa, ravnanja in uporabe GSO, ki utegnejo imeti negativen učinek na ohranjanje in trajnostno rabo biotske raznovrstnosti, ob hkratnem upoštevanju tveganj za zdravje ljudi.

2.1 Slovenija

Poleg predpisov EU so v Sloveniji za obravnavo GS dreves lahko pomembni in zanimivi predvsem naslednji sedaj veljavni predpisi. **Zakon o ravnanju z gensko spremenjenimi organizmi – ZRGSO-UPB1 (l. 2005)** je horizontalni zakon in ureja uporabo GSO ali izdelkov, ki vsebujejo GSO ali so sestavljeni iz njih ali njihovih kombinacij z zahtevo po predhodno izdelani oceni tveganja za okolje in zdravje ljudi. Zakon ureja ravnanje z GSO in določa ukrepe za preprečevanje in zmanjševanje možnih škodljivih vplivov na okolje, zlasti glede ohranjanja biotske raznovrstnosti, do katerih bi lahko prišlo zaradi GSO. **Zakon o gozdovih – ZG (l. 1993)** ne vsebuje določil o GS organizmih, vsebuje pa določila, ki so pri obravnavi GS dreves potencialno zanimiva. Glede GS dreves, ki imajo Bt spremenbo, je potencialno zanimivo določilo o prepovedi rabe kemičnih sredstev v gozdu oz. določilo Pravidnika o varstvu gozdov, ki omejuje rabo fitofarmaceutskih sredstev v gozdu. Uporaba GS dreves z vnešeno odpornostjo proti herbicidom v gozd bi lahko upoštevaloč našo zakonodajo bila nesprejemljiva, ker uporaba herbicidov v gozdu ni dovoljena. Gozdne plantaže so iz tega izvzete, ker sodijo med kmetijska zemljišča. Pravidnik o varstvu gozdov oz. **Zakon o gozdnem reprodukcijskem materialu – ZGRM (l. 2002)** določa pogoje za pridelovanje, trženje in uporabo GRM. Reprodukcijski material drevesnih vrst in umetnih križancev, ki izvira iz gensko spremenjenega semenskega objekta, se lahko trži samo v kategoriji "testiran", pri čemer je treba navesti podatek o tem, ali je reprodukcijski material gensko spremenjen in ali izhaja iz začasno odobrenega semenskega objekta iz 37. člena zakona. Zanimiva so določila 19. člena glede prepovedi uporabe reprodukcijskega materiala v gozdarstvu: a) če se ugotovi, da bi določen reprodukcijski material

zaradi svojih fizičnih ali dednih lastnosti lahko imel škodljive vplive na gozd, okolje, genske vire ali biodiverzitetu, se trženje do končnega uporabnika za ta reprodukcijski material prepove, b) ne glede na omenjena določila se o prepovedi trženja in uporabe gensko spremenjenega reprodukcijskega materiala odloča v skladu s predpisi o gensko spremenjenih organizmih. Za semenski objekt, ki izvira iz gensko spremenjenih organizmov, se k vlogi za odobritev semenskega objekta priloži tudi dovoljenje za namerno sproščanje gensko spremenjenih organizmov v okolje, v skladu s predpisi o gensko spremenjenih organizmih. **Zakon o semenskem materialu kmetijskih rastlin – ZSMKR-UPB1 (l. 2005)** določa dejavnost javne službe na področju semenarstva in izvajalce javne službe ter ureja pogoje za pridelavo, pripravo za trg, uvoz in trženje semenskega materiala kmetijskih rastlin, tudi sadnih in okrasnih rastlin.

2.2 Pomembnejše ugotovitve o obstoječem pravnem okvirju in gensko spremenjenih drevesih

Pri obravnavi gensko spremenjenih dreves, kjer gre za zelo novo področje, moramo biti pozorni na njihovo rabo. Drevesne vrste lahko uporabljamo: v gozdarstvu (vključno z varovalnimi pasovi in gozdniimi plantažami), za zunajgozdne lesnoproizvodne in druge nasade, v sadjarstvu in v okrasne namene.

V zakonodaji EU je obravnavanje gensko spremenjenih organizmov oz. njihovega sproščanja v okolje in dajanje v promet odvisno od tega, ali se taki organizmi uporabljajo za prehrano ljudi oz. krmo za živali ali ne. Načeloma lahko rečemo, da bi se Uredba 1829/2003/ES o gensko spremenjenih živilih in krmi uporabljala samo v primeru rabe GS dreves v sadjarstvu. Ob takem pristopu pa nas zmotita naslednji dejstvi:

- med drevesnimi vrstami, ki se uporabljajo v gozdarstvu so tudi take, ki so po kmetijski zakonodaji uvrščene med sadne rastline (npr. pravi kostanj) in
- med drevesnimi vrstami, ki se uporabljajo v gozdarstvu, so tudi take, ki jih kmetijska zakonodaja ne obravnava, ampak imajo užitne plodove (npr. jerebika) oz. se njihovi cvetovi nabirajo in sušijo za čaj (npr. pri lipi) ali pa se uporabljajo za izdelavo domačih zdravil (npr. nabiranje smrekovih vršičkov).

Osnovno vprašanje je: Kako obravnavati tiste drevesne vrste oz. posamezna drevesa, katerih deli se lahko uporabljajo kot živila ali krma, čeprav v osnovi niso temu namenjena? Pri predstavljenih primerih rabe nekaterih drevesnih vrst, kljub drugačnemu osnovnemu namenu rabe, lahko smiselno pričakujemo, da njihove dele lahko uživajo ljudje, kar govori v prid prizadevanjem, da bi za take vrste izdajanje dovoljenja za sproščanje in dajanje na trg potekalo po Uredbi 1829/2003/ES. Tudi ta predvideva postopek določevanja ali živilo oz. krma sodi na področje uporabe njenih določil, in sicer po členu 35(2). O problematiki bi se bilo smiselno dodatno posvetovati z ustreznimi organi EU (DG za zdravje in varstvo potrošnikov, EFSA, Komisija, ...). Pri obravnavanju GS dreves je le-ta potrebno razvrstiti v dve skupini, in sicer 1) GS drevesa, katerih deli niso užitni za ljudi oz. se jih ne more uporabljati kot krma za živali in 2) GS drevesa, katerih deli so namenjeni za uživanje ali pa se smiselno pričakuje, da jih bodo uživali ljudje oz. se jih lahko uporablja kot krmo za živali ali pa se to smiselno pričakuje.

Od uvrstitve v prvo ali drugo skupino je odvisno, ali bo postopek za sproščanje in dajanje na trg GS drevesa potekal po Direktivi 2001/18/ES ali po Uredbi 1829/2003/ES. Po pridobljenem dovoljenju za sproščanje in trženje je obravnavanje GS drevesa odvisno od področja prijavljene rabe. Če je za GS drevesa bilo pridobljeno dovoljenje za rabo v gozdarstvu, potem jih bo treba obravnavati po predpisih s področja gozdarstva in za njihov razmnoževalni material uporabljali določila Zakona o GRM. GS drevesa z dovoljenjem za rabo v sadjarstvu bomo obravnavali po predpisih s področja kmetijstva in bomo za njihov razmnoževalni material uporabljali določila Zakona o semenskem materialu kmetijskih rastlin ter Pravilnik o trženju razmnoževalnega materiala in sadik sadnih rastlin, namenjenih za pridelavo sadja. Tudi GS drevesa z dovoljenjem za rabo kot okrasne rastline bomo obravnavali po predpisih s področja kmetijstva, za njihov razmnoževalni material pa bomo poleg Zakona o semenskem materialu kmetijskih rastlin uporabljali še Pravilnik o trženju razmnoževalnega materiala okrasnih rastlin.

3 Ocena verjetnosti sproščanja gensko spremenjenih dreves v Sloveniji

Slovenija je med redkimi evropskimi državami, v katerih še ni sproščenih gensko spremenjenih organizmov ne v komercialnih nasadih ne v poljskih poskusih. Glede na zakonodajo, ki to dovoljuje, in glede na vrste gensko spremenjenih rastlin, ki jim je odobrena pridelava v EU pa lahko pričakujemo, da se bodo tudi slovenski pridelovalci razmeroma kmalu začeli zanimati za pridelovanje GS rastlin pri nekaterih poljščinah. Potencialno obstaja tudi možnost izkazovanja interesa po pridelovanju gensko spremenjenih drevesnih vrst.

Obseg raziskovalnega dela, genskega spreminjanja in poljskih poskusov z gensko spremenjenimi drevesnimi vrstami v svetu je v primerjavi s kmetijskimi rastlinami razmeroma majhen, vendar narašča. Vprašanje je, kakšna je verjetnost, da bi v prihodnosti tudi v Sloveniji prišlo do sproščanja gensko spremenjenih dreves in če bi prišlo do sproščanja, katere gensko spremenjene drevesne vrste bi bile pri tem najbolj verjetno uporabljene. Eden ciljev raziskave je oceniti, kakšni bi bili možni vplivi sproščanja gensko spremenjenih vrst na avtohtone oziroma divje populacije istih ali sorodnih drevesnih vrst in na okolje nasploh, ali ob tem obstaja tveganje in nevarnost za okolje in ali je ob tem mogoče pričakovati tudi potencialne škodljive učinke.

Gozd v Sloveniji pretežnogradijo avtohtone populacije domačih drevesnih vrst. Osnovna izhodišča gospodarjenja z gozdom so trajnost, mnogonamenskost in sonaravnost, ki jo v veliki meri dosegamo z naravnim pomlajevanjem. Samo majhen delež letne obnove gozdov poteka z umetno obnovo. Pomemben del doktrine sonaravnosti je ohranjanje gozdnih genskih virov in ohranjanje genofonda avtohtonih populacij, to pa je tudi eden pomembnih temeljev trajnostnega gospodarjenja z gozdom. Varovanje gozdnih genskih virov ureja Zakon o gozdnem reprodukcijskem materialu. Na osnovi njegovih omejitev je zaenkrat malo verjetno, da bi prišlo do neposrednega sproščanja gensko spremenjenih dreves v gozd, čeprav pri presojanju potencialnega tveganja ne smemo popolnoma zanemariti niti te možnosti. Morebitno namerno sproščanje gensko spremenjenih dreves v Sloveniji, sprva seveda kvečjemu v poljskih poskusih, je precej bolj verjetno na kmetijskih oziroma zunajgozdnih površinah (sadovnjaki, nasadi hitrorastočih vrst za celulozo, nasadi za proizvodnjo biomase, vetrozaščitni in drugi pasovi, bioremediacijski nasadi, nasadi, namenjeni testiranju, raziskovalnemu in znanstvenemu delu ter žlahtnjenju, drevesnice, okrasna drevnina). Enako pomembno pa je upoštevati tudi možnost nenamernega, naključnega vnosa (npr. vegetativno razmnoževanje pri topolu, naključen prenos semena, posledica naplavin rek...), ki se z odprtostjo Slovenije za tranzitni promet (ceste, železnice, letalski promet, morski promet) povečuje.

3.1 Potencialne GS drevesne vrste v Sloveniji

Na osnovi celovitega pregleda stanja raziskav in gojenja na področju GS dreves v svetu smo izbrali tri avtohtone drevesne vrste, za katere menimo, da:

- bi bile pri morebitnem vnosu gensko spremenjenih dreves iste ali sorodne vrste v Slovenijo potencialno lahko deležne neželenih učinkov ali pa
- bi bile te vrste ali njihovi sorodniki zaradi gensko spremenjenih lastnosti najbolj privlačne za morebitne pridelovalce v Sloveniji.

Pri odločitvi o izbiri treh vrst smo še zlasti upoštevali naslednje lastnosti vrst oziroma kriterije:

- vrsta je v svetu vsaj že v fazi poljskih poskusov – gojenje v poljskih poskusih je pokazatelj potencialne zanimivosti vrste za gojenje;
- znane genske modifikacije bi bile lahko privlačne tudi za naše pridelovalce,
- intenzivnost raziskav v svetu in število znanih genskih modifikacij,
- različne vrste modifikacij pri obravnavanih izbranih modelnih vrstah,
- velikost potencialnih površin za gojenje v Sloveniji,
- gospodarska pomembnost vrste v slovenskem gozdarstvu,
- velikost potencialnega območja raznosa genov,
- verjetnost križanja oz. introgresije GS vrste z naravno vrsto ali sorodnikom in

- potencialni vplivi na genofond iste divje vrste ali njenih sorodnikov v naravnih populacijah.

Z upoštevanjem zgoraj naštetih kriterijev smo izbrali naslednje avtohtone drevesne vrste:

- črni topol (*Populus nigra*),
- navadna smreka (*Picea abies*),
- divja češnja (*Prunus avium*),

3.2 Utemeljitev izbora

Črni topol (*Populus nigra*)

Črni topol, njegovi hibridi (*Populus* × *canadensis*, *P. simonii* × *P. nigra*, ...), hibridi drugih vrst topolov (*Populus tremula* × *P. alba*, *P. tremula* × *P. tremuloides*, *P. deltoides* × *P. simonii*, *P. sieboldii* × *P. grandidentata*, ...) in drugi topoli (*Populus deltoides*, *P. tremula*, *P. tomentosa*, ...) so daleč najpogostejša gensko spremenjena drevesa. Med spremenjenimi lastnostmi so najpogostejše odpornost proti škodljivcem, odpornost proti herbicidom, zmanjšan delež ali spremenjene lastnosti lignina in povečana rast. Znanih je večje število poljskih poskusov z gensko spremenjenimi topoli. Topoli so bili prve in zaenkrat edine vrste, uporabljene v komercialnih nasadih, poleg znanih primerov je na Kitajskem v fazi odobritve sproščanja še več drugih gensko spremenjenih topolov.

Topoli so vrste, ki se tudi v naravi lahko uspešno medsebojno križajo tako znotraj sekcij kot med sekcijami, pogosto prisotna je introgresija. Vse vrste so anemogamne in anemohorne, kar omogoča prenos genov tako s cvetnim prahom kot s semeni na velike razdalje. Tudi v naravi so pogosti primeri vegetativnega razmnoževanja, kar povečuje možnost nekontroliranega naključnega vnosa in potencialnega osnovanja podivjanih, s skrajnih primerih invazivnih populacij. Črni topol v večjem delu Evrope velja za redko vrsto z ogroženim genofondom. V njegovo ohranjanje in vzpostavljanje nekdanjih habitatov vlagajo veliko sredstev. Na genofond črnega topola bi morebiten vnos gensko spremenjenih topolov lahko vplival in ga spremenil, potencialno bi lahko prišlo tudi do škodljivih učinkov.

Hkrati so topoli za pridelovalce izredno zanimive vrste. Zaradi hitre rasti, kratke rotacije in enostavnega gojenja jih gojijo v nasadih za proizvodnjo biomase, celuloze ter v bioremediacijskih in drugih nasadih. Med gensko spremenjenimi topoli so v poljskih poskusih najpogostejši in po naši oceni tudi za morebitne pridelovalce v Sloveniji najbolj zanimivi transgeni topoli s povečano vsebnostjo in spremenjenimi lastnostmi lignina, verjetno pa tudi transgeni Bt topoli, odporni proti škodljivcem. V Sloveniji so površine topolovih nasadov zaenkrat razmeroma majhne in omejene na kmetijska zemljišča in obrečna rastišča v nižinskem svetu, vendar ob spreminjajočih se razmerah v kmetijstvu in na trgu povečanje interesa za gojenje transgenih topolov v Sloveniji v prihodnosti ni izključeno.

Navadna smreka (*Picea abies*)

Pri navadni smreki je najpogostejša in najpomembnejša genska transformacija vnos Bt gena za odpornost proti žuželkam, znane so tudi transformacije za odpornost proti herbicidom in glivam in za spremenjene lastnosti lesa. Na Finskem sta registrirana najmanj dva poljska poskusa z gensko spremenjeno navadno smreko. Podobne genske transformacije in poljski poskusi potekajo tudi z nekaterimi drugimi smrekami, na primer z vrstami *Picea engelmannii*, *P. glauca*, *P. mariana* in *P. sitchensis*.

Smreke so anemogamne in anemohorne, večinoma tujeoprašne vrste. Križanje vrste *P. abies* z nekaterimi drugimi vrstami smrek je sicer možno, a izjemno redko in težavno. Vendar pa je zaradi anemogamnosti možen prenos genov s cvetnim prahom na velike razdalje.

V Sloveniji je smreka z 32 % deležem v lesni zalogi gospodarsko najpomembnejša drevesna vrsta. Čisti ali mešani gozdovi smreke poraščajo večji del Slovenije in smreka bistveno soustvarja razmere v habitatih in pogojuje zdravstveno stanje ter stabilnost gozdov. Morebitno razširjanje gensko spremenjene smreke bi potencialno lahko močno spremenilo vegetacijsko sliko gozda v

večjem delu Slovenije, na primer ob morebitni selektivni prednosti vnesenega klona v primerjavi z naravnimi populacijami ali ob nepredvidljivih interakcijah, ki bi lahko povzročile škodljive učinke. Čeprav veljavna zakonodaja tega ne dopušča, bi vnašanje gensko spremenjene smreke z Bt toksinom v gozd ob podnebnih spremembah, katerih posledica so pogoste suše in gradacije podlubnikov (družina *Coleoptera*), potencialno lahko postalo zanimivo za zmanjševanje ali celo preprečevanje napadov podlubnikov. Ista genska sprememba bi lahko postala zanimiva tudi pri osnovanju zunajgozdnih nasadov za vzgojo okrasnih dreves, na primer novoletnih smrečic, kjer bi bila odpornost proti žuželkam (na primer proti ušem šiškaričam (*Adelgidae*), ki povzročajo nastanek neestetških šišk, ...) zaželjena lastnost.

Divja češnja (*Prunus avium*)

Pri prunusih oziroma koščičarjih najpogosteje gensko spreminjajo slivo (*Prunus domestica*) in sicer za odpornost proti virusu PPV (Plum Pox Virus), ki je povzročitelj t.i. šarke, za odpornost proti kanamicinu in marelico (*P. armeniaca*) za odpornost proti virusu, vendar tudi breskev (*P. persica*) za intenzivnejšo rast vej in češnjo (*P. avium*) za boljše koreninjenje. Odobreni so tudi poljski poskusi s prunusi. Križanje prunusov, ki so žužkocvetke, z divjimi sorodniki je možno, čeprav zelo redko, možna pa je tudi introgresija. Prenos peloda na velike razdalje je kljub žužkocvetnosti možen in raziskave kažejo, da velik del efektivnega cvetnega prahu v populacije rožnic prihaja z daljinskim transportom. V primeru vnašanja gensko spremenjene češnje ali drugih vrst prunusov bi lahko prišlo do neposrednega opráševanja divje češnje v naravnih populacijah oziroma do introgresije gojene transgene češnje, pomemben pa bi lahko bil tudi raznos plodov z morebitnim kalivim semenom v naravne populacije ali nadaljnje vegetativno razmnoževanje podlag v zapuščenih ali posekanih sadovnjakih in njihovo nekontrolirano razširjanje v naravne habitate.

Po drugi strani spada divja češnja (*P. avium*) v slovenskih gozdovih med pomembne plemenite listavce. V zadnjih letih je v gozdovih ena najpogosteje sajenih in najbolj pospeševanih vrst listavcev. Hkrati so češnje in drugi koščičarji med razmeroma pogosto sajenimi in na kmetijskih površinah razširjenimi sadnimi vrstami. Ob intenziviranju pridelave ni izključena želja pridelovalcev po vnosu gensko spremenjenih sort s spremenjenimi lastnostmi, na primer z odpornostjo proti virusu PPV.

Na osnovi zgoraj povedanega ocenjujemo, da je med vsemi GS drevesnimi vrstami verjetnost za začetek komercialnega gojenja največja prav pri topolih. Zato smo **črni topol (*Populus nigra*) izbrali za modelno vrsto**, za katero smo v nadaljevanju preučevali potencialno ogroženost genofonda ter zgradili konkretni model vplivnega območja GS dreves in oceno tveganja za okolje ob hipotetičnem sproščanju v okolje katerega od gensko spremenjenih tipov topola.

4. Model vplivnega območja GS dreves

4.1 Model vplivnega območja

Cilj izdelave modela vplivnega območja GS topola je bil preveriti, kako bi na genofond obstoječih naravnih populacij črnega topola (*Populus nigra*) lahko vplival vnos gensko spremenjenega topola. Pri tem pa je potrebno poudariti, da se model v tem delu nikakor ne nanaša na celovito vrednotenje možnih vplivov na okolje (to obravnava ocena tveganja za okolje – OTO), ampak zgolj na možne vplive na genofond črnega topola.

Izhodišča za določitev zaščitnega področja okrog naravnih populacij topola v Sloveniji smo prevzeli po doktorski disertaciji *Measuring and Modeling Gene Flow from Hybrid Poplar Plantations: Implications for Transgenic Risk Assessment* (Di Fazio, 2002), ki je z empirično raziskavo podala modele prostorskega razširjanja peloda, semen in lesnih ostankov topola, ki predstavljajo tri osnovne oblike razširjanja genov topola po prostoru.

Modeli, zgrajeni na osnovi empiričnih podatkov, imajo obliko negativnih eksponentnih enačb. Za

potrebe našega projekta smo modele uporabljali za ugotavljanje širine zaščitnega pasu ob različnih stopnjah opraitve oz. deleža raztrosa semen ali pojavljanja klonov iz topolovih lesnih drevesnih ostankov. Pri izračunih širin zaščitnih pasov smo se zavedali problema daljinskega transporta peloda in semen, ki ga v obravnavanem poskusu pač niso mogli vrednotiti. DiFazio (2002) je pokazal, da $\frac{1}{4}$ do $\frac{1}{2}$ vseh opraitev izvira iz naslova daljinske opraitve. V našem modelu uporabljeni podatki so trenutno najboljši možni znani približki, ki pa jih bo ob novih spoznanjih v prihodnosti v modelu mogoče ustrezno korigirati. Za povečanje zanesljivosti uporabljenih napovednih modelov bi morali izvesti poskuse na terenu, kar pa močno presega finančne in časovne okvire tega projekta.

Stopnje opraitve, raztrosa in pojavljanja klonov smo določili na osnovi kriterijev EU o označevanju GSO produktov. Uporabili smo štiri mejne vrednosti: 0,9%: prag, ko je potrebno produkt označiti kot GSO; 0,45%: varni prag za pridelovalca; 0,01%: prag, ko je mogoče prisotnost GOS kvantificirati; 0,001%: prag možne detekcije GSO.

Širine zaščitnega pasu pri določeni stopnji **opraitve** smo izračunali po enačbi $d = -(1/0.007) \ln(y/0.67)$ (y – stopnja opraitve (relativni delež), d – širina varovalnega pasu (m)), tako da širine zaščitnih pasov za omenjene štiri mejne vrednosti znašajo: 615m, 715m, 930m in 1260m.

Širine zaščitnega pasu za vse štiri stopnje **raztrosa semen** smo izračunali po enačbi: $d = -(1/0.05) \ln(y/0.9)$ (y – delež semena (relativni delež), d – širina varovalnega pasu (m)) in znašajo 92m, 105m, 136m in 182m.

Zaščitna pasova pred raztrosom **lesnih drevesnih** ostankov sposobnih vegetativnega razmnoževanja smo izračunali po enačbi: $d = -(1/0.05) \ln(y/0.6)$ (y – delež semena (relativni delež), d – širina varovalnega pasu (m)) in znašajo 84, 97, 128 in 174 m.

4.2 Določitev območij, kjer obstaja možnost vpliva na genofond naravnih populacij črnega topola

Območja, s katerih bi lahko potencialno prišlo do neželenega vpliva na genofond naravnih populacij topola v Sloveniji, smo določili na osnovi podatkov o prisotnosti topola v gozdnem prostoru, podatkov o razširjenosti rastlinskih gozdnih združb, ki imajo v svoji vrstni strukturi topol in rezultatov modela za določitev potencialnih rastišč topola izven gozdnega prostora.

Podatke o razširjenosti topola v gozdnem prostoru in podatke o rastlinskih združbah, ki v svoji vrstni sestavi vsebujejo topol, smo pridobili iz baze podatkov o gozdnih fondih Zavoda za gozdove Slovenija (odseki.dbf, drevna.dbf, razfaz.dbf). Te podatke smo uporabili za izgradnjo modela potencialnega habitata topola zunaj gozdnega prostora. Za indukcijo napovednih habitatnih modelov smo uporabili štiri klasifikacijske algoritme: J48, JRip, SD algoritem in RelSets. Kot neodvisne spremenljivke smo uporabili: vrsta zemljišča, pokrajina, relief, nagib, kamnitost, skalovitost, kamnina, razpad kamenine, tip tal, globina tal. Odvisna spremenljivka, katero smo napovedovali, je bila prisotnost topola (prisotne, odsoten). Kriteriji za vrednotenje modelov so bili kompleksnost (največ štirje hierarhični nivoji), napovedna točnost in mere napake (povprečna absolutna napaka, koren kvadrata povprečne napake). Izmed vseh modelov smo na osnovi njihove kvalitete izbrali regresijsko klasifikacijski model, zgrajen z algoritmom J48. Njegova struktura pove, da je topolovo rastišče odvisno od tipa pokrajine, ki mora biti ravnina z nagibom do 2 % in določene kombinacije nadmorske višine in matične podlage: če je matična podlaga mešan grušč do 316 m nm. v., če je matična podlaga nekarbonatni pesek, med 195 in 228 m nm. v., in če je mešani prod in pesek do 245 m nm. v.

Informacije o dejanski prostorski razširjenosti topola v gozdnem prostoru, o razširjenosti gozdnih združb, potencialnih rastiščih zunaj gozdnega prostora (določeni na osnovi modela habitata) in rezultati modela razširjenja peloda, semen in drevesnih ostankov so predstavljali vhodne podatke v sistem MapInfo 15.0, ki smo ga uporabili za vizualizacijo, analizo in sintezo rezultatov tega dela projekta. Z vizualizacijo podatkov in oblikovanjem določenih vsebinskih slojev (razširjenost topola, rastlinske združbe, zaščitni pasovi okrog dejanskih lokacij nahajanja topola, potencialni habitatni izven gozdnega prostora) in njihovega prekrivanja (tvorba presekov in unij posameznih

vsebinskih slojev), smo na nivoju Slovenije po posameznih kategorijah določili površine in deleže, ki bi bili pomembni za ohranitev naravnega genofonda topola (preglednica 1).

Preglednica 1: Površine območij po posameznih kategorijah

Prostorski nivo	Kategorija	Površina (ha)	Delež v % (glede na celotno površino prostorskega nivoja)	
Gozd	Razširjenost topola v gozdnem prostoru Slovenije ¹	43.755,73	3,7	
	Fitocenoze na ravni asociacije v gozdovih blizu ekol. optimuma za topole	4.736,79	0,4	
	Ugodni rastni pogoji za topol glede na model	292,33	0,0	
	Ugodni rastni pogoji za topol glede na model in asociacijo (unija modela in rastlinskih združbe s topolom)	5.029,12	0,4	
	Površine primerne za osnovanje topolovih nasadov, ki ne bi ogrožale naravnih populacij	1.521,41	0,1	
Slovenija (gozdni in negozdni prostor)	Potencialni habitat topola ²	108.718,19	5,4	
	Neprimerno za gojenje topolovih plantaž ob upoštevanju	0,9 % oprašitve	303.867,78	15,0
		0,001 % oprašitve	519.057,86	25,6
	Pogojno možno osnovanje topolovih GS nasadov ob upoštevanju	0,9 % oprašitve	60.157,42	3,0
		0,001 % oprašitve	45.212,10	2,2
Zunaj Slovenije	Varovalne cone za zaščito obstoječih populacij v Sloveniji ob upoštevanju	0,9 % oprašitve	11.918,61	
		0,001 % oprašitve	29.735,84	

¹ lesna zaloga topola večja od 0 v odsekih)

² glede na model in "topolove" fitocenoze)

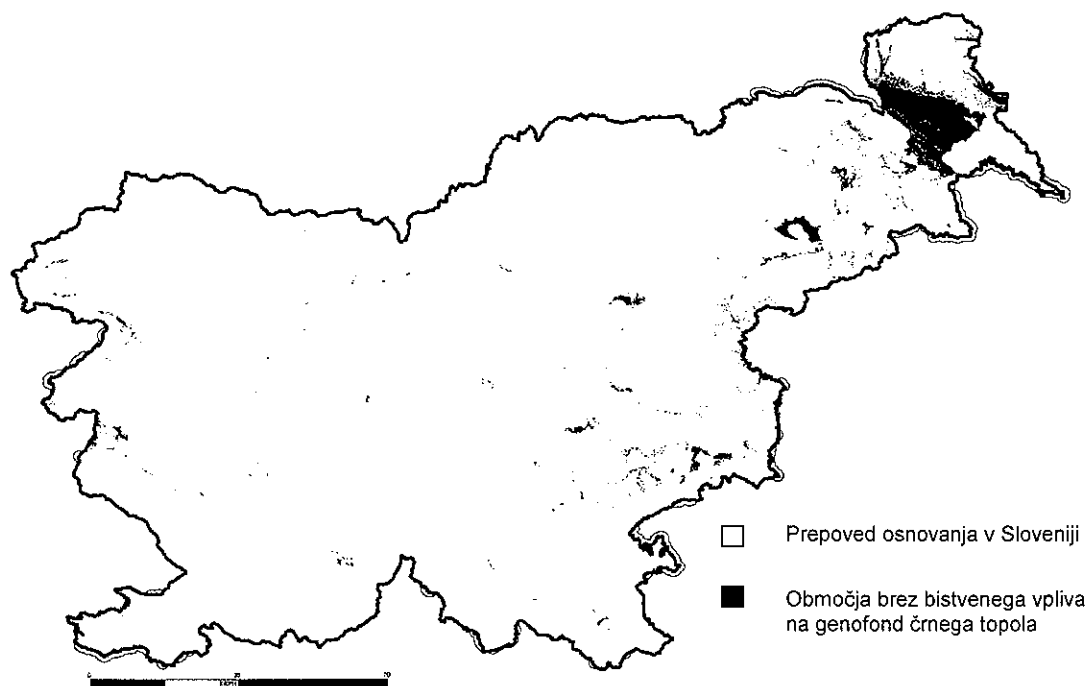
Za zavarovanje genofonda obstoječe populacije topola v Sloveniji smo najprej vse tiste odseke, v katerih se pojavlja topol, označili kot neprimerne za vnos GS topolov (43.755,73 ha oz. 3,7 % gozda v Sloveniji). Nato smo oblikovali sloj z gozdnimi rastlinskimi združbami, katerih sestavni del je tudi črni topol. Te površine predstavljajo prostorsko razprostrtost širšega ekološkega optimuma, kjer ima topol zaključen reprodukcijski cikel in ne predstavlja tako imenovane sukcesijsko prehodne vrste. Združbe s topolom se nahajajo izključno v gozdnem prostoru, saj negozdni prostor ni rastiščno opredeljen. Njihova površina znaša 4.736,79 ha. V naslednjem koraku smo s pomočjo habitatnega modela (ob uporabi DMR za določitev nagiba in višinskih pasov ter s pomočjo reklasifikacije kamnin po Osnovni geološki karti v merilu 1: 100.000) določili tudi potencialna topolova rastišča v negozdnem prostoru (103.689,07 ha), saj je prav v

tem prostoru možnost osnovanja novih topolovih plantaž največja. Tako smo prišli do celotne površine potencialnih topolovih rastišč, ki prestavlja unijo potencialnih topolovih rastišč združenih, določenih z habitatnim modelom, dejanske razširjenosti odsekov s topolom v lesni zalogi in razširjenosti rastlinskih združenj s topolom. Ta znaša 108.718,19 ha ali 5,4 % površine Slovenije (preglednica 1).

Za zaščito obstoječih topolovih populacij pred introgresijo morebitnih GS topolov (ali neavtohtovih, ne-GS topolov) smo okrog odsekov, v katerih se pojavlja topol, oblikovali zaščitni pas in sicer v premeru 1260 m, kar po empiričnih podatkih zagotovi stopnjo kontaminacije, ki je manjša od 0,01 %. S spojitvijo odsekov z naravno prisotnostjo topola in zaščitnega pasu okrog njih dobimo površino, na kateri bi morale biti prepovedano kakršno koli osnovanje nasadov GS topolov. To prepovedano območje pokriva 519.057,86 ha ali 25,6 % celotne Slovenije. Če bi hoteli povsem zaščititi obstoječe populacije topola v Slovenije, bi bilo potrebno oblikovati varnostne cone tudi zunaj meja Slovenije v skupni površini 29.735,84 ha.

Ob nekoliko milejšem varovalnem režimu obstoječih populacij, ko bi dopustili 0,9 % (širina pasu je 615 m) stopnjo križanja z oprasitvijo (pelod), bi površina, na kateri bi bilo prepovedano osnovati GS topolove nasade, znašala 303.867,78 ha ali 15 % slovenskega ozemlja. Tudi pri tej stopnji varovanja bi bilo potrebno uvesti zaščitne cone tudi zunaj Slovenije v skupni površini 11.918,61 ha.

Razlika med potencialnim habitatom topola in območji, kjer bi bilo potrebno prepovedati osnovanje kakršnih koli nasadov GS topolov, predstavlja področje, kjer bi lahko prišlo do osnovanja nasadov GS topola, ki upoštevajoč dosedaj znane empirične podatke ne bi imeli bistvenega vpliva na genofond naravnega topola v Sloveniji. Površina teh področji znaša ob 0,9 % tolerančnem pragu 60.157,86 ha oz. 3,0 % površine Slovenije, ob 0,001 % pragu pa 45.212,10 ha oz. 2,2 % Slovenije (slika 1). Seveda pa to nikakor ne pomeni, da bi na teh površinah lahko dovolili gojenje GS topolov brez OTO oziroma upoštevanja tudi drugih vrst vplivov na okolje.



Slika 1: Območja, neprimerna za gojenje topolovih plantaž in območja brez bistvenega vpliva na genofond črnega topola v primeru širitve peloda GS topolov (širina pasu = 1260 m (stopnja razširjanja peloda je 0,001 %)

Potencialno nevarnost za neželeni vpliv na genofond črnega topola v Sloveniji predstavlja tudi osnivanje samosevni (potepuških) populacij vzdolž glavnih cestnih in železniških koridorjev. Te populacije bi se lahko osnovali iz drevesnih ostankov GS topolov, ki bi med transportom padle ob prometnico ali progo. Celotno področje vzdolž transportnih koridorjev tako predstavlja potencialno nevarnost za naravne populacije. Za identifikacijo te potencialne nevarnosti smo vzdolž glavnih prometnic (avtoceste, regionalne ceste in železniške proge) oblikovali vplivna območja, ki lahko negativno vplivajo na naravne populacije topola. Širino teh območji smo določili za vse tri oblike razširjenja genov (pelod, seme, drevesni ostanki) ob upoštevanju tolerančnega praga 0,9 % in 0,001 %. Tako smo dobili površine potencialno nevarnih področji, ki so za posamezne oblike transporta in tri tolerančne pragove za razširjanja genov s pelodom, predstavljene v preglednici 2. Skupna površina odsekov, v katerih je naravno prisoten topol in ki ležijo v vplivnem območju prometne infrastrukture v primeru širitve GS materiala s pelodom (verjetnost 0,001 %) znaša 11361,89 ha. To pomeni, da bi ob vseh predpostavkah o verjetnosti opraitve in sposobnostih zaznavanja GS organizmov v primeru prevažanja GS materiala po glavnih prometnih poteh lahko prišlo do neželenih vplivov na genofond obstoječih populacij topola na kar 25,97 % vse površine, na kateri je topol prisoten.

Preglednica 2: Površine najbolj rizičnih območij za širitev GS topolov ob glavnih prometnicah pri različnih načinih in stopnjah razširjanja

	Način širitve in delež kontaminacije (%)	Površina (ha)					
		Kloni		Oprašitev		Seme	
		0,9	0,001	0,9	0,001	0,9	0,001
	Širina var. pasu (m)	84	174	615	1260	92	182
Prometnica	Avtoceste in magistralne ceste	27.470,91	56.672,26	190.483,11	359.546,42	30.079,57	59.248,90
	Železnice	19.416,41	39.328,05	138.380,67	279.146,19	20.772,63	41.139,10

Rezultat modela jasno pokaže, da že samo s stališča varovanja genofonda naravnih populacij črnega topola v Sloveniji velika večina površine območja s sicer primernimi rastišči nikakor ne bi prišla v poštev za kakršnokoli snovanje nasadov GS topolov. Seveda pa to ne pomeni, da bi lahko na ostalih primernih površinah brez temeljite presoje in ovrednotenja še vseh drugih možnih vplivov na okolje osnivanje nasadov GS topolov lahko dovolili. Osnovni namen modela je bil razviti metodologijo in pokazati enega od možnih načinov, kako bi lahko presojali tudi morebitno ogroženost genofonda drugih vrst v primeru, da bi prišlo do vlog za sproščanje njihovih GS tipov.

5 Sistem načrtnega spremljanja stanja genofonda gozdnih drevesnih vrst

V času trajanja projekta so bile izdelane podlage za vzpostavitev sistema permanentnega monitoringa genofonda gozdnih drevesnih vrst, ugotavljanje njegovih sprememb ter določitev ustreznih laboratorijskih metod. Pripravljen je bil pregled uporabljenih genskih markerjev za odkrivanje GSO pri gozdnih drevesnih vrstah ter pregled potencialnih nevarnosti glede vnosa GSO in horizontalnega prenosa genov v gozdarstvu. Izdelan je bil tudi pregled znanih modifikacij drevesnih vrst.

5.1 Genske modifikacije drevesnih vrst

5.1.1 Seleksijski in reporterski geni

Seleksijski geni so neobhodni v postopkih transgeneze rastlin, ker omogočajo ločevanje transformiranih in netransformiranih tkiv. Najpogostejši seleksijski geni so bakterijski geni za odpornost proti antibiotikom (npr. *nptII*), v manjši meri pa tudi geni za odpornost proti herbicidom (npr. *pat* gen). Za določanje uspešnosti prenosa novega gena v rastlinski genom pa se uporabljajo reporterski (markerski) geni. Najpogostejši je *uidA* gen, ki kodira encim β -glukoronidazo (GUS) in omogoča barvno reakcijo tkiva. Slabost tega sistema je, da se pri določanju ekspresije GUS gena tkiva uničijo. Zato se v zadnjem času uveljavljajo reporterski geni, pri katerih ostanejo tkiva nepoškodovana (npr. GFP).

Največji delež v poljskih poskusih zavzemajo „eksperimentalne“ lastnosti, kot so ekspresija genov, in vitro regeneracijski postopki, ekspresija markerskih genov, manjši delež pa zavzemajo testiranja različnih lastnosti. Sklepamo lahko, da so genske transformacije drevesnih vrst v razvoju in da je glede na značilnosti dreves (dolga juvenilna faza in rastna doba, visoka heterizigotnost itd.) potrebno obsežno in dolgotrajno testiranje npr. stabilne ekspresije genov v večih vegetacijskih obdobjih ali vrednotenje vplivov transgenih dreves na okolje.

5.1.2 Odpornost proti herbicidom

Večina dreves je občutljivih za herbicide, ki jih uporabljamo za zatiranje plevela. Transgena drevesa z odpornostjo proti herbicidom bi lahko bila zanimiva za plantažne nasade ali za nasade dreves na močno zapleveljenih lokacijah. Za vzgojo transgenih dreves z odpornostjo proti herbicidom se uporabljata v glavnem dve strategiji odpornosti rastlin proti herbicidom.

Detoksifikacija herbicida, odpornost proti glufosinatu

PTT je neselektivni herbicid in deluje tako na pridelke kot na plevela. Uporablja se kot herbicid širokega spektra, pred vznikom in tudi kot desikant. PTT izvira iz dveh talnih mikroorganizmov, *Streptomyces viridochromogenes* in *S. hygroscopicus*. Industrijsko je sintetiziran kot DL-racemska mešanica (glufosinat amonij), v kateri je herbicidno aktiven le L-PPT. Ker je L-PPT strukturni analog glutamata, ireverzibilno inhibira GS, to pa povzroči visoko akumulacijo amoniaka v rastlini, kar povzroči prekinitev fotosinteze in razgradnjo kloroplastov in odmrtnje po nekaj dneh. Absolutna odpornost proti PPT pri rastlinah ni znana, glede na zahtevano količino herbicida obstaja le določena stopnja tolerance. Za vzgojo proti PPT odpornih rastlin je mehanizem izposojen od bakterij, ki sintetizirajo PPT in se morajo zato zaščititi pred njegovim delovanjem. Te bakterije sintetizirajo encim fosfotricin-N-acetiltransferazo (PAT), ki z acetilacijo proste amino skupine PPT povzroči njegovo inaktivacijo. Gena za PAT encim sta bila izolirana iz *S. viridochromogenes* - *pat* gen in *S. hygroscopicus* - *bar* gen. Z vnosom *bar* oz. *pat* gena so dosegli odpornost proti herbicidu glufosinatu pri topolu in njegovih hibridih ter pri *Picea abies* in *Pinus radiata*.

Vnos odpornega tarčnega encima, odpornost proti glifosatu

Glifosat je herbicid širokega spektra in je registriran v mnogih državah. Visoka občutljivost rastlin za glifosat omejuje njegovo uporabo pred vznikom ali eventuelno kot desikant. Glifosat proizvajajo samo industrijsko. Po kemični zgradbi je to N-fosfometil-glicin, osnova njegovega herbicidnega delovanja pa je inhibicija encima 5-enolpiruvil-3-fosfošikimatne kisle sintaze (EPSPS). Glede na poznavanje delovanja herbicida je mogoče vzgojiti rastline z odpornostjo proti glifosatu z vnosom gena za EPSPS, odpornega proti glifosatu. Najbolj razširjen gen, ki kodira rezistentno izoformo EPSPS, je Gen (*aroA(cp4)*), izoliran iz talne bakterije *Agrobacterium*. Gen za odpornost proti glifosatu je bil vnešen v hibride topola, evkalipt ter vrsti *Larix decidua* in *Pinus radiata*.

5.1.3 Odpornost proti škodljivcem

Tako kot pri kmetijskih rastlinah se je tudi pri drevju izkazala za najboljšo strategijo vzgoja dreves, odpornih proti škodljivcem z uporabo Bt genov.

Vir Bt genov - Bacillus thuringiensis

Vir insekticidnih genov oz. proteinov, na katerem še danes temelji glavna strategija rastlin, odpornih proti škodljivcem, je bakterija *Bacillus thuringiensis* (*B.t.*). *B.t.* je danes osnova za 90 % bioinsekticidov. Bt-bioinsekticidi so po 35 letni prisotnosti na tržišču uporabljeni proti več kot 300 vrstam insektov.

Ena od glavnih prednosti uporabe *B.t.* kot bioinsekticida je njegova neškodljivost za ljudi, sesalce in ne-ciljne organizme. Bt-proteini ne delujejo insekticidno proti vsem žuželkam, temveč proti škodljivcem iz družin *Lepidoptera*, *Coleoptera* in *Diptera*.

Mehanizem insekticidnega delovanja Bt-proteinov

Pri hranjenju ličinke s sporami *B.t.* insekticidni kristalni protein (ICP) pod vplivom visokega pH prebavnih sokov in črevesnih proteaz razpade na protoksine. Proteaze specifično cepijo protoksine na večjo podenoto na C- terminalnem koncu in na več manjših podenot na N-terminalnem koncu proteina. N-terminalne podenote so polipeptidi, ki nosijo toksično aktivnost Bt-proteina in določajo njegovo specifičnost za insekte posameznih vrst. Bt-protein je toksičen za določeno žuželko le, če pride do interakcije med protoksinom in receptorjem v membrani epitelnih celic črevesa. Žuželke, občutljive za različne kristalne proteine, imajo receptorje specifične za posamezne Bt-proteine. Bt-geni so bili transformirani v hibride topola, vrsti *Picea glauca* in *Pinus radiata* ter v številne sadne drevesne vrste.

Pri topolu so uporabili tudi drugo strategijo, ki temelji na uporabi *proteaznih inhibitorjev*.

Proteazni inhibitorji (PI) se lahko akumulirajo v visokih koncentracijah v založnih organih stročnic in žit, vključno s koruzo. Običajno ne delujejo na rastlinske endogene proteaze in so specifični za encime škodljivcev ali mikrobov. V *P.alba* × *P. grandidentata* je bil vnešen gen *pin2*, ki kodira proteazni inhibitor v krompirju, v *P.tremula* × *P. tremuloides* pa proteazni inhibitor iz riža. Pri ambrovcu (*Liquidambar styraciflua*) so za doseglo odpornosti proti škodljivcem uporabili kombinacijo dveh genov; vnesli so gen peroksidazo, vključeno v rast celice in razvoj celične stene ter Bt gen.

5.1.4 Odpornost proti glivičnim boleznim

Razvoj dreves z odpornostjo proti glivičnim boleznim bi bil mogoč z vključevanjem genov, ki kodirajo proti-glivične snovi, vendar je znano, da je takšna odpornost pogojena z več geni, kar ovira transformacije. Veliko glivnih patogenov zelo hitro razvije detoksifikacijski sistem za rastlinske proti-glivične snovi. Strategije, ki jih pri rastlinah največkrat uporabljajo za razvoj odpornosti proti glivičnim boleznim, so transformacije genov za hidrolitične encime (hitinaza in beta-1,3-glukanaza), sintetične protimikrobne peptide, stilben sintazo in drugi.

Transformacije za vzgojo dreves z odpornostjo proti glivičnim boleznim so izvedli pri jablani (stilben sintaza), topolih (stileben sintaza, oksalaz oksidaza), trepetliki in njenih hibridih (pinosilvin sintaza iz bora) ter brezi (hitinaza).

5.1.5 Cvetenje in spolno razmnoževanje

Razumevanje procesov cvetenja pri drevju lahko služi dvema različnima namenoma: pospešitvi cvetenja in s tem zmanjšanju dolge juvenilne dobe ter vzgoji sterilnih dreves in s tem preprečitvi razširjanja transgenega peloda. Pri kritosemenkah so študije pokazale, da je proces cvetenja reguliran s kompleksnim sistemom, kontroliranim s transkripcijskimi faktorji, ki so kodirani z MAD-box geni. Ortologi MAD-box genov so bili nato odkriti v različnih vrstah kritosemenk in

golosemnik, kot na primer v navadni smreki (*Picea abies*) in črni smreki (*Picea mariana*) ter v boru *Pinus radiata*.

Za zgodnje cvetenje so tako npr. vključili v vrste rodu *Citrus* Mad-box gene Arabidopsisa, *LEAFY* in *APETALA*; konstitutivna ekspresija obeh genov je v sadikah citrusov skrajšala juvenilno fazo in inducirala zgodnje cvetenje, lastnosti pa so se prenesle na potomce, ki so imeli generativni čas od semena do semena 1 leto.

Pri proučevanju vzgoje sterilnih dreves uporabljajo dve strategiji: uporabo tkivno specifičnega promoterja za ekspresijo citotoksičnega gena in inhibicijo genov za cvetenje na ravni RNA ali na ravni proteinov. Glavni problem pri študiju procesov cvetenja je odvisnost razvoja dreves od okoljskih dejavnikov.

Najnovejše odkritje pri cvetenju pa je vloga malih molekul RNA (siRNA) v kontroli cvetenja. Pri Arabidopsisu je bila namreč izolirana siRNA, ki nadzoruje razvoj cvetov. Glede na to, da je uporaba iRNA pri različnih organizmih (nematode, miši, rastline, človek) zelo uspešen sistem za utišanje genov, lahko pričakujemo nadaljnje raziskave na tem področju tudi pri proučevanju cvetenja drevesnih vrst.

5.1.6 Kakovost lesa

Izboljšanje lastnosti lesa je mogoče s spreminjanjem njegove kemijske strukture. Obseg raziskav na tem področju se je glede na pomen lesa kot obnovljivega vira in industrijskega materiala v zadnjem času povečal. Lesena celična stena je v glavnem zgrajena iz polimerov celuloze, lignina in hemiceluloze. Osnovne kemijske lastnosti polimerov celične stene lahko spreminjamo z genskimi modifikacijami in s tem se spreminjajo lastnosti lesa. Dosežemo lahko na primer nižjo vsebnost lignina, višjo vsebnost celuloze, podaljšano „trajanje“ lesa, povečano stabilnost in trdoto itd. Do sedaj so bile preizkušane številne modifikacije lesa na ravni laboratorijskih poskusov in nekaj modifikacij je bilo preizkušenih tudi že v poljskih poskusih (znižana vsebnost lignina v topolu).

Dobro so preučene modifikacije zmanjšanja vsebnosti lignina v lesu. Te modifikacije so lahko industrijsko pomembne, saj bi les z zmanjšanim deležem lignina bistveno pocenil proizvodnjo papirja ob istočano ekološko sprejemljivejši proizvodnji. S transformacijo antisense 4CL gena v trepetliko so dosegli 40 % zmanjšanje lignina, s transformacijo sense Cald5H gena pa povečanje siringil/gvaiacil razmerja brez zmanjšanja deleža lignina, kar kaže na uporabnost sistema. Modifikacije vsebnosti lignina v hibridih topola so dosegli tudi z utišanjem genov za encime kot so OMT, CAD in F5H. S tema genoma je bil transformiran tudi topol, ki je bil preizkušen v 4-letnih poljskih poskusih v Franciji in Veliki Britaniji.

5.2 Priprava pogojev za načrtno spremljanje stanja genofonda gozdnih drevesnih vrst

V času trajanja projekta je bila s pomočjo pregleda literature in patentov pridobljena metodologija, na osnovi katerih smo pripravili osnovne protokole za sledenje gensko spremenjenim organizmom lesnatih vrst.

V okviru projekta je bila izvedena tudi udeležba na seminarju ISTA na temo odkrivanja GSO v semenu gozdnega drevja.

Ker delo z gensko spremenjenimi organizmi zahteva tudi ustrezno opremljen in varovan laboratorij, je bil velik del aktivnosti usmerjen v pripravo projekta adaptacij infrastrukture (laboratorija FIGE). Trenutna konfiguracija laboratorija GIS zagotavlja varno delo z ne-GMO organizmi, pripravili pa smo načrt prenove celotnega laboratorija z vgradnjo ustreznih naprav za ustvarjanje podtlaka in z ustreznimi filtri za odstranjevanje potencialnih GMO delcev. Pripravljena so bila navodila za vzpostavitev laboratorija za spremljanje GSO z vpejavo zaprtega sistema dela in ustreznega varnostnega sistema (v skladu z ZRGSO), vendar izvedba (v okviru lastnih sredstev GIS za investicijsko vzdrževanje stavb) še ni bila izvedena.

6 Podlage za razvoj strategije ohranjanja integritete genofonda gozdnih drevesnih vrst

Najpomembnejša komponenta pri izdelavi podlag za razvoj strategije ohranjanje integritete genofonda gozdnih drevesnih vrst je kakovostna ocena tveganja za okolje (OTO) in na njeni osnovi izdelan natančen načrt monitoringa ob morebitnem vnosu. Ocena tveganja ob namernem sproščanju gensko spremenjenih dreves v okolje v osnovi poteka po enakih načelih in upoštevajoč iste predpise kot v primeru drugih gensko spremenjenih organizmov, zlasti kmetijskih rastlin, vendar je pri tem potrebno upoštevati nekaj specifičnosti. Najpomembnejše med njimi so naslednje: drevesa so dolgoživi organizmi in njihov življenjski krog je daljši kot pri kmetijskih rastlinah, poskusi in testiranja so zahtevnejši in dražji, nekateri, npr. študij reprodukcijskega in življenjskega cikla pa so v realnih prostorskih in časovnih okvirih praktično nemogoči. Zaradi dolge življenjske dobe dreves obstaja veliko možnosti za pojav nepredvidljivih stranskih učinkov ali nepričakovanega aktiviranja neaktivnih genov. Kmetijske rastline v naravi večinoma nimajo bližnjih sorodnikov, s katerimi bi se lahko križale, medtem ko so sorodna ali istovrstna drevesa glavni graditelji gozdnih ekosistemov. Poleg tega imamo v primeru transgenih dreves opravka z večjimi količinami biomase kot pri kmetijskih rastlinah. Zaradi kratke zgodovine žlahtnjenja dreves je križanje gojenih dreves z divjimi sorodniki razmeroma preprosto, med najresnejše možne neželene vplive GS dreves na okolje pa uvrščajo vertikalni transfer genov oziroma pretok genov z raznosom cvetnega prahu, ki lahko traja desetletja. Nezanemarljivi pa so tudi procesi razširjanja samih GS dreves preko semen (problem dormance semen v tleh) in vegetativnega razmnoževanja.

Ocena tveganja ob namernem sproščanju GS organizmov je zahtevana in natančneje opredeljena predvsem v naslednjih evropskih in slovenskih zakonih oziroma predpisih: Zakon o ravnanju z gensko spremenjenimi organizmi – ZRGSO-UPB1 (2005), Direktiva 2001/18/ES, Priloga II k Direktivi 2001/18/ES, dodatno in podrobneje pa še v Odločbi Komisije o navodilih za dopolnitev Priloge II k Direktivi 2001/18/ES (2002) in v Pravilniku o oceni tveganja za namerno sproščanje gensko spremenjenih organizmov v okolje (2006). V nešteti predpisih je opredeljeno, da je predmet ocene tveganja za namerno sproščanje GSO v okolje ugotovitev, analiza in ovrednotenje vseh možnih vplivov nameravanega namernega sproščanja GSO na okolje ali zdravje ljudi in določitev ravni tveganja ter potrebnih ukrepov za nadzor in obvladovanje tveganja.

Pri izvajanju ocene tveganja za okolje (OTO) je v osnovi potrebno slediti naslednjim načelom, opredeljenim v Prilogi II Direktive 2001/18/ES:

- ugotovljene značilnosti GSO in njegove uporabe, ki bi lahko povzročila škodljive učinke, je treba primerjati s tistimi, ki jih predstavlja nespremenjeni organizem;
- OTO je treba opraviti na znanstveno temeljit in pregleden način na podlagi razpoložljivih znanstvenih in tehničnih podatkov;
- OTO je treba opraviti po načelu presoje posameznega primera.

Bistveno pri zgoraj navedenih načelih je, da je potrebno oceno tveganja za okolje in možnosti upravljanja s tveganjem izvesti po načelu *presoje vsakega posameznega primera* ob upoštevanju vpliva na okolje glede na naravo vnesenega organizma. Glede na to, da v Sloveniji dosedaj še ni bila vložena nobena prijava za namerno sproščanje kakršne koli gensko spremenjene drevesne vrste, smo modelno vrsto za izdelavo vzorčne OTO izbirali med vrstami, za katere so bile prijave dosedaj vložene vsaj v kateri od drugih držav EU in jih obenem že tudi gojijo v poljskih poskusih. Hkrati smo izbirali med transgenimi vrstami, ki bi zaradi svojih specifičnih spremenjenih lastnosti lahko bile med prvimi zanimive tudi za slovenske pridelovalce.

Za oceno tveganja smo kot modelno vrsto izbrali ženski klon INRA 717-1-B4 topolovega križanca *Populus alba* × *Populus tremula* z ligninsko spremembo. Transgeni topol so leta 1995 istočasno posadili v dveh poljskih poskusih v Franciji in Veliki Britaniji. Del francoskega poskusa še poteka, angleški poskus pa so julija 1999 uničili t.i. ekoaktivisti (Pilate et al. 2002). Osnovni podatki v nadaljevanju se nanašajo na podatke iz Tehničnega dosjeja iz Prošnje za podaljšanje pooblastila za sproščanje št. 43 z dne 17. maja 1995. V nadaljevanju ta topol imenujemo ligninski

topol.

Izbiro tega klona za modelno vrsto utemeljujemo s tem, da so topoli za pridelovalce izredno zanimive vrste. Zaradi hitre rasti, kratke rotacije in enostavnega gojenja jih gojijo v nasadih za proizvodnjo biomase, celuloze ter v bioremediacijskih in drugih nasadih. Med gensko spremenjenimi topoli so v poljskih poskusih v EU najpogostejši prav ligninsko spremenjeni kloni in po naši oceni so tudi za morebitne pridelovalce v Sloveniji med potencialno najbolj zanimivimi prav transgeni topoli s povečano vsebnostjo in spremenjenimi lastnostmi lignina. V nadaljevanju je izdelana ocena tveganja za primer namernega sproščanja tega klona.

6.1 Ocene tveganja in upravljanje s tveganjem za primer namernega vnosa ligninskega transgenega topola 717-1-B4

Metodologija predstavljene ocene tveganja ob namernem vnosu ligninskega transgenega topolovega klona INRA 717-1-B4 v osnovi sledi navodilom iz zgoraj naštetih predpisov.

Predstavljena je metodologija izdelave ocene tveganja, odločitveni model in končni rezultati ocene tveganja za izbrani primer. Metodologija je izdelana v skladu z 7. in 9. členom Pravilnika o oceni tveganja za namerno sproščanje gensko spremenjenih organizmov v okolje (2006).

V skladu s 7. členom smo ugotovitve in vrednotenje tveganja podali v šestih, spodaj opisanih korakih:

- Korak 1: Določitev **značilnosti**, ki lahko povzročijo škodljive učinke,
- Korak 2: Ovrednotenje **razsežnosti** možnih posledic vsakega škodljivega učinka, če do njega pride,
- Korak 3: Ovrednotenje **verjetnosti** pojava vsakega določenega možnega škodljivega učinka,
- Korak 4: Ocena **tveganja**, ki ga predstavlja vsaka ugotovljena značilnost GSO,
- Korak 5: Uporaba **strategij za obvladovanje tveganja** zaradi namernega sproščanja GSO in
- Korak 6: Določitev **skupnega tveganja** GSO.

Predpisan šeststopenjski pristop k ugotovitvi in vrednotenju tveganja smo v skladu z 9. členom pravilnika, ki opredeljuje ugotavljanje tveganja namernega sproščanih višjih rastlin, izvedli na devetih različnih področjih možnih škodljivih vplivov:

- 1. Obstočnost in invazivnost:** verjetnost, da GSVR postane obstojnejša od prejemnih ali starševskih rastlin v kmetijskih habitatih ali bolj invazivna v naravnih habitatih,
- 2. Selektivna prednost:** morebitno selektivno prednost ali pomanjkljivost, preneseno na GSVR,
- 3. Možnost genskega prenosa:** možnost genskega prenosa na isto ali drugo spolno združljivo rastlinsko vrsto,
- 4. Medsebojno vplivanje z drugimi organizmi:** možen takojšnji in kasnejši vpliv posrednega in neposrednega medsebojnega vplivanja GSVR in ciljnih organizmov,
- 5. Medsebojno vplivanje z drugimi organizmi:** možen takojšnji in kasnejši vpliv posrednega in neposrednega medsebojnega vplivanja GSVR in neciljnih organizmov na okolje,
- 6. Vplivi na ljudi:** možni takojšnji in kasnejši učinki na zdravje ljudi kot posledica možnega medsebojnega vplivanja GSVR in oseb,
- 7. Prehranjevalna veriga:** možni takojšnji in kasnejši učinki na zdravje živali in možne posledice za krmo ali prehransko verigo,
- 8. Vplivi na biogeokemijske procese:** možni takojšnji in kasnejši učinki na biogeokemijske procese in
- 9. Vplivi gojenja (gospodarjenja) na okolje:** možni takojšnji in kasnejši, posredni in neposredni vplivi na okolje, ki jih lahko povzročijo specifične metode in postopki pri gojenju GSVR.

Osnove značilnosti ligninskega transgenega topola 717-1-B4 in splošna načela glede pristopa k ugotavljanju in ovrednotenju možnih vplivov namernega sproščanja GSO v okolje in raven tveganja za okolje in zdravje ljudi smo združili v preglednico, kjer stolpci predstavljajo šest korakov, opredeljenih v 7. členu Pravilnika in vrstice devet različnih področji možnega

škodljivega vpliva GSO, določenih z 9. členom Pravilnika. Na osnovi vsebinske strukture preglednice smo za potrebe določitve objektivne in zanesljive ocene skupnega tveganja, ki je podano v zadnjem stolpcu preglednice, razvili metodologijo določitve te ocene skupnega tveganja s pomočjo relacijskih preglednic. Metodologija izdelave relacijskih preglednic temelji na kombinaciji s strani ekspertov določenih pravil vrednotenja kombinacij vrednosti posameznih značilnosti obravnavanega primera.

6.2 Celostna ocena tveganja

Celostna ocena tveganja namernega sproščanja GSO za okolje in zdravje ljudi je glede na obliko rezultatov zelo težavna in močno podvržena subjektivnemu vplivu. Da bi dosegli boljši in objektivnejši pregled nad parcialnimi rezultati in da bi prišli do informacij o izpostavljenosti posameznih elementov okolja tovrstnemu tveganju, smo vsebino iz preglednice vgradili v hierarhično urejen opis naravnega in družbenega sistema. Tako smo razvili metodologijo večparameterskega modeliranja celostne in sistemske ocene tveganja ob namernem sproščanju gensko spremenjenih organizmov v okolje.

6.2.1 Večparametersko modeliranje ocene tveganja

Večparametrsko modeliranje, ki smo ga uporabili v našem primeru, temelji na poznavanju strukture in delovanja ekosistema, ki je izpostavljen nevarnostim zaradi vnosa, kakor tudi na poznavanju možnih vplivov na širši ekonomski sistem in javno zdravje. Celoten sistem smo pretvorili v obliko večparameterskega modela, katerega osnova je razgradnja odločitvenega problema (celostna ocena tveganja) na manjše podprobleme, vse do najnižjega nivoja, ki v našem primeru sestajajo posamezne značilnosti GSR, ki lahko povzročijo škodljive učinke.

Pretvorba obravnavanega sistema v večparameterski model omogoča sistemski pristop vrednotenja in presojo vpliva preučevanega primera na različnih nivojih. Pomembna prednost in novost tovrstnega pristopa je, da omogoča celostno oceno tveganja, v katero so združene tako ocene tveganja po posameznih korakih in hkrati tudi po posameznih škodljivih vplivih. Tako odpravimo subjektivnost pri določanju končne ocene, hkrati pa dobimo tudi sistemski pregled nad posameznimi podsistemi ekosistema ali družbenega sistema in obravnavanih področij, na katere bi lahko delovali posamezni škodljivi vplivi. S sistemskim vpogledom na možne posledice vnosa GSO v okolje je omogočena vzpostavitev celostnega sistema monitoringa, saj s pravilno izbiro hierarhičnega nivoja izvajanja monitoringa dosežemo veliko večjo racionalnost (npr. izognemo se podvajanju) in dosežemo veliko večjo učinkovitost, saj je sistem monitoringa naravnan na spremljanje obnašanja celotnega sistema in ne posameznega dejavnika, kot je to največkrat v primeru vzpostavitve sistema klasičnega monitoringa.

Druga pomembna prednost tovrstnega pristopa k celostnem vrednotenju vplivov vnosa GSO v okolje je, da večparameterski model omogoča vrednotenje različnih možnih scenarijev (eksperti lahko podajo pesimistične ali optimistične ocene stopenj tveganja za posamezne nevarnosti), s čimer lahko za obravnavani ekosistem določimo maksimalne in minimalne arbitrarno določene stopnje obremenitve. Vzpostavitev tovrstne možnosti modelnega preverjanja obremenjevanja okolja predstavlja enega od ključnih elementov pri vrednotenju možnosti zagotavljanja soobstoja med gensko spremenjenimi in nespremenjenimi vrstami.

Vrednotenje določenega nabora nevarnosti je v večparametrskem odločitvenem modeliranju sestavljeno iz treh komponent: parametrov, funkcije koristnosti (relacijske povezave posameznih parametrov, ki določajo vrednost elementu na višjem hierarhičnem nivoju v katerega so povezani parametri) in koristnosti (v našem primeru stopnje tveganja, da bo obravnavan primer imel določeno stopnjo tveganja za določen element v hierarhični strukturi). Vhod v model predstavljajo parametri, ki so opredeljeni s predhodno določenimi kriterijalimi vrednostmi. To so spremenljivke, ki ponazarjajo enote, ki se združujejo v elemente višjih hierarhičnih nivojev in se preko funkcije koristnosti hierarhično agregirajo do končne ocene oz. koristnost variante.

Pri graditvi večparametrskega odločitvenega modela smo upoštevali naslednja pravila:

- nabor elementov vključenih v model temelji na biologiji obravnavanih vrst, na značilnostih genskih modifikacij teh vrst in na strukturnih in procesnih elementih ekosistema,
- parametre smo razgradili do količin, za katere je mogoče iz literature pridobiti ustrezne vsebinske podatke in ki hkrati ustrezajo devetim področij možnih škodljivih vplivov predpisanih s Pravilnikom.
- parametre smo strukturirali v vsebinske ekološke in družbeno ekonomske sklope ki ustrezajo okolju v katerem pričakujemo nezaželene vplive obravnavanega primera

Večparameterski model za oceno tveganja smo zgradili s pomočjo programskega orodja DEXi – program za večparametersko odločanje, ki omogoča združevanje kriterijev v končno oceno tveganja in omogoča z različnimi simulacijami vrednosti vhodnih parametrov izvedbo kakovostnih primerjav med posameznimi variantami. Programsko orodje DEXi je bilo izbrano zato, ker zagotavlja sistematično in neposredno določanje funkcij koristnosti več spremenljivk, s čimer se poveča transparentnost izgradnje in uporabe modela za oceno tveganja. Vstopne elemente (kriteriji) v model predstavljajo značilnosti GSR, ki lahko povzročijo škodljive učinke.

6.2.2 Rezultati modela in komentarji

Ocena celostnega tveganja pokaže, da namerni vnos ligninskega transgenega topola 717-1-B4 v obstoječih razmerah lahko predstavlja visoko tveganje, kar pomeni, da je stopnja tveganja, da bi vnos povzročil negativne učinke na naravno in družbeno okolje, 50–75 %. Na nivoju ekosistema je biotska komponenta močno prizadeta, medtem ko bo abiotska komponenta z vnosom transgenega topola srednje prizadeta. Znotraj biotske komponente je stopnja tveganja za rastlinsko združbo visoka, medtem ko je stopnja tveganja za živalsko združbo srednja. Kljub nižji stopnji prizadetosti živalske združbe bi uvedba transgenega topola močno prizadela prehranjevalni splet. Večina podsistemov rastlinske združbe bi bilo z uvedbo ligninskega transgenega topola močno prizadetih, čeprav je pričakovati srednje visoko tveganje, da bi prišlo do razmnoževanja s semeni in ravno tako srednje tveganje, da bi prišlo do spremembe vrstne in fizične strukture rastlinske združbe.

Na nivoju abiotske komponente bi uvedba transgenega topola najbolj ogrozila žive organizme v tleh, medtem ko uvedba ne bi imela vpliva na hidrometeorološke značilnosti ekosistema.

Na nivoju družbenega sistema uvedba ligninskega topola ne bi imela vpliva na zdravje in varnost ljudi, niti naj ne bi imela gospodarskega vpliva na sosednje sestoje, medtem ko bi lahko pričakovali visoko ekonomsko tveganje na področju samega nasada.

Preglednica 3: Vrednotenje možnih vplivov vnosa ligninskega topola na področja, določena s pravilnikom

Predpisano področje	Jakost možnega vpliva
1. Obstojnost in invazivnost	VISOKA
2. Razmnoževanje	VISOKA
3. Možnost genskega prenosa	VISOKA
4. Medsebojno vplivanje z drugimi organizmi	SREDNJE
5. Medsebojno vplivanje z drugimi organizmi	SREDNJE
6. Vplivi na ljudi	NIZKO
7. Prehranjevalna veriga	VISOKO
8. Vplivi na biogeokemijske procese	SREDNJE
9. Vplivi gojenja (gospodarjenja) na okolje	SREDNJE

Rezultati vrednotenja vpliva uvedbe ligninskega topola na posamezna, s pravilnikom predpisana področja, so prikazani v preglednici 3. Najmočnejši vpliv je pričakovati na področjih, ki so neposredno povezana z biološkimi značilnostmi vrste (obstojnost in invazivnost, reprodukcijskimi značilnostmi in prehranjevalna veriga), medtem ko je najmanjši vpliv pričakovati na področju varnosti in zdravja ljudi. Druga področja so podvržena srednjemu vplivu.

6.3 Načrt monitoringa ob morebitnem sproščanju gensko spremenjenih dreves v Sloveniji

Načrt monitoringa ob sproščanju gensko spremenjenih organizmov mora biti v splošnem tesno povezan z oceno tveganja vplivov na okolje ob morebitnem sproščanju gensko spremenjenih rastlin. Obveznost načrta monitoringa okolja za gensko spremenjene organizme vsebuje Uredba (ES) št. 1829/2003 in se pri tem sklicuje na Prilogo VII (Načrt spremljanja) Direktive 2001/18/ES. 13. člen Direktive izrecno zahteva, da mora prijava za dajanje GSO v promet vsebovati tudi načrt monitoringa po Prilogi VII, vključno s predlogom za časovno obdobje načrta spremljanja, ki se lahko razlikuje od predlaganega obdobja odobritve.

Cilj načrta monitoringa, opredeljen v prilogi VII, je:

- potrditi, da so kakršna koli predvidevanja glede pojava in vpliva potencialno škodljivih učinkov GSO ali njegove uporabe v oceni tveganja za okolje in
- določiti pojav škodljivih učinkov GSO ali njegove uporabe na zdravje ljudi ali okolje, ki v oceni tveganja za okolje niso bili pričakovani.

Načrt monitoringa mora izhajati iz rezultatov ocene tveganja za posamezno gensko spremenjeno drevesno vrsto s konkretno modifikacijo, ki poteka po načelu 'od primera do primera'. Ocena tveganja pa lahko potencialne škodljive vplive za konkretno gensko spremenjeno drevesno vrsto šele potem, ko so na razpolago podatki o genski modifikaciji, podatki o biologiji transgene vrste in podatki o njenih spremenjenih lastnostih.

6.3.1 Načrt monitoringa za primer namernega vnosa ligninskega transgenega topola 717-1-B4

Konkretni načrt monitoringa, ki ga predstavljamo v nadaljevanju, je izdelan za primer morebitnega namernega sproščanja ligninskega transgenega topola in sicer ženskega klona INRA 717-1-B4, ki je bil uporabljen tudi za izdelavo ocene tveganja in upravljanja s tveganjem. Izdelan načrt monitoringa v največji možni meri temelji na rezultatih ocene tveganja in v njem smo se usmerili predvsem v monitoring tistih tveganj, ki so bila v oceni tveganja identificirana kot največja.

Ocena tveganja je pokazala, da bi morebiten vnos topola 717-1-B4 pomenil večje tveganje za biotsko kot za abiotsko komponento ekosistema, iz česar sledi, da mora biti tudi monitoring sestavnih delov **biotske komponente** intenzivnejši. Znotraj biotske komponente je stopnja tveganja visoka za rastlinsko združbo, medtem ko je stopnja tveganja za živalsko združbo srednja. Kljub nižji stopnji pričakovane prizadetosti živalske združbe bi lahko uvedba transgenega topola močno prizadela prehranjevalni splet. To so tudi področja biotske komponente, na katerih bo moral biti monitoring najintenzivnejši. Na ravni **abiotske komponente** bi uvedba transgenega topola najbolj ogrozila žive organizme v tleh, kar pomeni, da se mora monitoring usmeriti predvsem v spremljanje številčnosti in strukture mikroorganizmov ter mikro- in mezofavne v tleh. Iz preglednice je razvidno, da je s pomočjo večparameterskega modela za oceno tveganja dobljena ocena tveganja za različna od 9 predpisanih področij odkrila različne jakosti možnih vplivov.

Nizko jakost možnega vpliva pričakujemo predvsem pri vplivih na *zdravje in varnost ljudi* (področje 6), kar pomeni, da za to področje v primeru sproščanja po našem mnenju ni potreben poseben monitoring.

Srednjo jakost možnega vpliva, ob kateri bo potrebno skrben monitoring izvajati predvsem na nekaterih ožjih segmentih, medtem ko na drugih ne bo potreben, pričakujemo na področjih:

- *medsebojno vplivanje z drugimi organizmi* (področji 4 in 5): tu je zaradi visoke stopnje tveganja obvezen monitoring morebitnega osnovanja podivjanih sestojev ali njegovih delov, morebitnih sprememb vertikalne strukture sestojev in monitoring morebitnih sprememb populacij rastlinojedov.

- *vplivi na biogeokemijske procese v tleh* (področje 8): tu pričakujemo predvsem možno močno prizadetost živih organizmov v tleh, zaradi česar je potreben njihov natančen monitoring na skoraj vseh nivojih, medtem ko pri kemizmu tal, fizični strukturi tal, pri kroženju hranil in hidrometeorologiji predvidevamo zahtevo po monitoringu samo za nekatere posamezne postavke.

- *vplivi načina gospodarjenja na okolje* (področje 9): ob skupnem srednjem tveganju se visoko tveganje na nižji ravni pojavlja samo pri morebitni povečani porabi insekticidov in pri morebitnem nastanku škode ob uničevanju koreninskega sistema – za ti postavki je tudi potreben monitoring.

Visoko jakost možnega vpliva, ob kateri bo potrebno skrben monitoring izvajati na večini ožjih segmentov oziroma na večini nižjih nivojev, pa pričakujemo na naslednjih področjih:

- *obstojnost in invazivnost* (področje 1): skrben monitoring je potreben tako za morebitno invazivnost v druge nasade kot za invazivnost v naravne sestoje.

- *razmnoževanje* (področje 2): tu daleč največje tveganje predstavlja možnost razmnoževanja in razširjanja s pomočjo vegetativnih struktur, kar zahteva še posebno skrben monitoring. Visoko tveganje je tudi za velikoprostorsko razširjanja semena, vendar je to tveganje mogoče znatno zmanjšati prav s pomočjo skrbnega in doslednega monitoringa.

- *možnost genskega prenosa* (področje 3): obstaja razmeroma visoko tveganje tako za križanje znotraj vrste kot za križanje ali introgresijo s sorodnimi vrstami, zaradi česar je tudi tu potreben monitoring.

- *prehranjevalna veriga* (področje 7): tveganje za bistvene spremembe prehranjevalne verige je visoko, zato bo monitoring potreben tako pri količini hrane za rastlinojede kot tudi pri morebitni namnožitvi posameznih skupin organizmov.

7. Zaključek

Pregled stanja raziskav, poljskih poskusov, začetkov gojenja gensko spremenjenih dreves v svetu in zakonodajnih okvirov je pokazal, da je v zvezi s prihodnostjo uporabe GS dreves še veliko nerešenih vprašanj. Med najpomembnejša spada ugotavljanje in vrednotenje možnih vplivov na okolje, do česar pa je mogoče priti samo na osnovi preučevanja konkretnih, četudi prostorsko omejenih poljskih poskusov oziroma nasadov GS dreves. Te pa zakonodaja v svetu zasedaj močno omejuje tudi zaradi bojazni pred neželenimi stranskimi učinki in pomanjkljivim obsegom znanja. Zato je izredno pomembno vzpostaviti celovit, pregleden in objektivni način vrednotenja in presojanja možnih vplivov na okolje. V raziskovalni nalogi smo poleg pregleda stanja zakonodaje, raziskav in gojenja GS dreves v svetu na primeru konkretne GS drevesne vrste s pomočjo modela pokazali, kakšen bi lahko bil vpliv sproščanja GS drevesne vrste na naravne populacije njenega bližnjega sorodnika v Sloveniji in kje bi bilo gojenje GS variante že v izhodišču potrebno povsem omejiti. Poleg tega smo razvili izvirno metodologijo za oceno tveganja za okolje, s pomočjo katere je na osnovi veljavnih predpisov mogoče objektivno in pregledno presojati o možnih vplivih GS dreves na okolje. Metodologija pa je seveda uporabna tudi za vrednotenje vplivov na okolje pri gensko spremenjenih poljščinah in sicer ne le v Sloveniji, ampak tudi drugje v svetu. Rezultati naloge bodo hkrati tudi uporabna podlaga, s pomočjo katere bodo lahko ustrezni organi oblikovali strategijo ohranjanja integritete genofonda gozdnih drevesnih vrst ob morebitni uporabi GS dreves ali obravnavali in presojali morebitne vloge za gojenje gensko spremenjenih dreves v prihodnosti.

8. Povzetek

Uporaba gensko spremenjenih (GS) organizmov v svetu narašča in rezultat novih tehnologij so tudi uspešne genske transformacije drevesnih vrst. Število poskusov in obseg sproščanja GS dreves narašča in v svetu so znani že prvi komercialni nasadi. V raziskovalnem projektu so povzeti dosednji uspehi in prihodnje možnosti na področju genskega spreminjanja drevesnih vrst. Pripravljen je pregled možnih koristi in zadnji dosežki pri spreminjanju lastnosti, kot so odpornost proti škodljivcem, herbicidom in boleznim, lastnosti lesa, modifikacije cvetenja, fitoremediacija, proizvodnja biogoriv in odpornost proti abiotičnim stresom. Izdelan je globalni pregled obsega aktivnosti v zvezi z GS drevesi in poljskih poskusov in predstavljeno je tveganje za okolje, povezano z morebitno uporabo GS dreves.

Pregledana in analizirana je evropska in slovenska zakonodaja, pomembna za raziskovanje in obravnavo potencialnega sproščanja GS dreves, in izpostavljenih je več specifičnih vprašanj, povezanih s stanjem v Sloveniji. V Sloveniji dosedaj še ni bila vložena nobena zahteva za odobritev gojenja kakršnega koli GS organizma, toda ker je Slovenija članica EU, je vnos gensko spremenjenih rastlin, vključno z gensko spremenjenimi drevesi v prihodnosti vsaj formalno mogoč. Za presojanje morebitnih prihodnjih vlog za sproščanje GS dreves ustrezni državni organi zato potrebujejo trdne okvirje za oceno potencialnega tveganja, ki bi ga lahko povzročilo sproščanje. Na osnovi trenutnih trendov in stanja raziskav v svetu in na osnovi naravnih in ekonomskih razmer v Sloveniji smo ocenili, kakšna je v prihodnosti verjetnost za sproščanje GS dreves in za katere drevesne vrste bi bila verjetnost sproščanja največja; to so topoli, smreke in divja češnja.

V Sloveniji z gozdovi gospodarimo po načelih sonaravnosti, pri čemer je vse pomembnejše tudi ohranjanje in trajnostno gospodarjenje z gozdnimi genskimi viri. Če se bo sploh kdaj uveljavila, bo uporaba GS dreves najverjetneje ostala omejena na zunajgozdni, kmetijski prostor, če bo na primer lastniku zemljišča to predstavljalo smiselno alternativo plantažnemu gojenju hitrorastočih topolovih klonov, vzgojenih s tradicionalnimi žlahtniteljskimi metodami. V okviru projekta smo zato s pomočjo simulacije ocenili, kako bi morebitno sproščanje GS topolov lahko vplivalo na genofond naravnih populacij črnega topola, pri čemer smo identificirali najbolj tvegana območja vključno s prometnimi koridorji.

Morebitni vnos GS dreves bo moral izpolniti vse zahteve po zavarovanju okolja. Še vedno je veliko odprtih vprašanj o tem, kakšne bi lahko bile interakcije med GS drevesi in naravnim okoljem. V vsaki članici EU mora biti zato pred kakršnim koli sproščanjem GS organizmov v okolje izvedena temeljita ocena tveganja za okolje (OTO), ki mora potekati po načelu od primera do primera in mora upoštevati splošna načela, ki so definirana v Aneksu II Direktive 2001/18/EC. Ob upoštevanju zakonskih usmeritev za OTO smo uporabili multi atributivni model za podporo odločanja in razvili celovito in ekosistemsko usmerjen model ocene tveganja za okolje za GS rastline. V naši raziskavi smo za konkreten primer uporabili GS ženski ligninski topolov klon INRA 717-1-B4. Na temelju različnih nivojev tveganja na ravni podsistemov smo identificirali vsebinska področja, na katerih bi bilo potrebno izvajati temeljit monitoring. Predlagana metodologija OTO omogoča celovito oceno skupnega in parcialnih tveganj za okolje, rezultati pa bodo lahko uporabljeni kot zanesljive smernice za razvoj načrtov monitoringa. Rezultati naloge bodo hkrati tudi uporabna podlaga, s pomočjo katere bodo lahko ustrezni organi oblikovali strategijo ohranjanja integritete genofonda gozdnih drevesnih vrst ob morebitni uporabi GS dreves ali obravnavali in presojali morebitne vloge za gojenje gensko spremenjenih dreves v prihodnosti.

9. Summary

The use of genetically modified (GM) organisms has been increasing and new technologies have also resulted in several successful genetic transformations of trees. The number of experiments and environmental releases of GM trees is increasing and the first commercial releases have taken place. In the research project we review recent achievements and future prospects in engineering tree species. Possible advantages of GM trees and the latest achievements in modification of targeted traits, such as insect, herbicide and pathogen resistance, wood characteristics, flowering modification, phytoremediation, biofuel production and abiotic stress tolerance are included. The current extent of global activities involving GM trees including field trials and commercial releases are surveyed and possible environmental risks associated with GM trees are summarized. The EU and national legislation, important for research and potential release of GM trees in Slovenia was surveyed and analysed and some specific questions regarding situation in Slovenia were raised. In Slovenia, there were no applications for growing any kind of GM organisms so far, but Slovenia is a member of EU and introduction of GM plants including transgenic trees in the future is formally possible. For the consideration of potential applications in the future the authorities need a solid framework for the evaluation of potential risk arising from the deliberate release of GMOs into the environment. With regard to the extent of current global research activities and success as well as natural and economic conditions in Slovenia the probability for future commercial release of GM trees in Slovenia was estimated and several candidate species were identified including poplars, spruces and wild cherry.

In Slovenia close-to-nature forestry is in use and conservation and sustainable management of forest genetic resources is an important issue. If ever adopted at all, GM trees will most probably remain limited to agricultural land offering the land-owner an alternative to traditionally bred, fast growing species such as poplars. Within the project the simulation on how the eventual environmental release of GM poplars in Slovenia could influence the gene-pool of natural black poplar has been performed and the areas of highest risks, including transport corridors were identified.

In this respect, eventual introduction of GM trees will need to fulfill all measures to protect the environment. There are numerous open questions on how GM trees will interact with their natural environment. In any EU member, prior to any deliberate release a case-by-case environmental risk assessment (ERA) should be carried out. Performing the ERA must follow the general principles as defined by Annex II of the Directive 2001/18/EC. Respecting the legislative framework we applied a multi attribute decision support modeling to develop a consistent and ecosystem based ERA model of GM plants. For this research, a GM female lignine poplar clone INRA 717-1-B4 was used to perform a case study of ERA for Slovenia. Based on different levels of the subsystems' risks, different points where monitoring should be focused have been identified. The proposed methodology of the ERA applied on GM female lignine poplar clone enables estimation of overall and partial environmental risks while the outputs from the model can serve as reliable guidelines for developing monitoring plans. The conclusions from the project can serve as a useful foundation for developing a national strategy for assuring the preservation of gene-pool of forest tree species in the case of use of genetically modified trees in Slovenia as well as for the consideration of potential applications.

10. Viri

Obsežen seznam uporabljenih virov je na razpolago pri vodji projekta.

3. Izkoriščanje dobljenih rezultatov:

3.1. Kakšen je potencialni pomen² rezultatov vašega raziskovalnega projekta za:

- a) odkritje novih znanstvenih spoznanj;
- b) izpopolnitev oziroma razširitev metodološkega instrumentarija;
- c) razvoj svojega temeljnega raziskovanja;
- d) razvoj drugih temeljnih znanosti;
- e) razvoj novih tehnologij in drugih razvojnih raziskav.

3.2. Označite s katerimi družbeno-ekonomskimi cilji (po metodologiji OECD-ja) sovpadajo rezultati vašega raziskovalnega projekta:

- a) razvoj kmetijstva, gozdarstva in ribolova - Vključuje RR, ki je v osnovi namenjen razvoju in podpori teh dejavnosti;
- b) pospeševanje industrijskega razvoja - vključuje RR, ki v osnovi podpira razvoj industrije, vključno s proizvodnjo, gradbeništvo, prodajo na debelo in drobno, restavracijami in hoteli, bančništvom, zavarovalnicami in drugimi gospodarskimi dejavnostmi;
- c) proizvodnja in racionalna izraba energije - vključuje RR-dejavnosti, ki so v funkciji dobave, proizvodnje, hranjenja in distribucije vseh oblik energije. V to skupino je treba vključiti tudi RR vodnih virov in nuklearne energije;
- d) razvoj infrastrukture - Ta skupina vključuje dve podskupini:
 - transport in telekomunikacije - Vključen je RR, ki je usmerjen v izboljšavo in povečanje varnosti prometnih sistemov, vključno z varnostjo v prometu;
 - prostorsko planiranje mest in podeželja - Vključen je RR, ki se nanaša na skupno načrtovanje mest in podeželja, boljše pogoje bivanja in izboljšave v okolju;
- e) nadzor in skrb za okolje - Vključuje RR, ki je usmerjen v ohranjanje fizičnega okolja. Zajema onesnaževanje zraka, voda, zemlje in spodnjih slojev, onesnaženje zaradi hrupa, odlaganja trdnih odpadkov in sevanja. Razdeljen je v dve skupini:
- f) zdravstveno varstvo (z izjemo onesnaževanja) - Vključuje RR - programe, ki so usmerjeni v varstvo in izboljšanje človekovega zdravja;
- g) družbeni razvoj in storitve - Vključuje RR, ki se nanaša na družbene in kulturne probleme;
- h) splošni napredek znanja - Ta skupina zajema RR, ki prispeva k splošnemu napredku znanja in ga ne moremo pripisati določenim ciljem;
- i) obramba - Vključuje RR, ki se v osnovi izvaja v vojaške namene, ne glede na njegovo vsebino, ali na možnost posredne civilne uporabe. Vključuje tudi varstvo (obrambo) pred naravnimi nesrečami.

² Označite lahko več odgovorov.

3.3. Kateri so **neposredni rezultati** vašega raziskovalnega projekta glede na zgoraj označen potencialni pomen in razvojne cilje?

- ocena verjetnosti za sproščanje GS dreves v Sloveniji in celovit pregled stanja v svetu,
- razvoj modela habitata za črni topol (*Populus nigra*) v Sloveniji,
- določitev območij, ki predstavljajo potencialno nevarnost za ohranjanje genofonda naravnih populacij črnega topola, in ocena ogroženosti genofonda te vrste,
- razvoj elementov metodologije za oceno tveganja za okolje ob morebitnem sproščanju gensko spremenjenih drevesnih vrst na konkretnem primeru GS topolov,
- identifikacija temeljnih smernic za aktivno varstvo genofonda črnega topola,

3.4. Kakšni so lahko **dolgoročni rezultati** vašega raziskovalnega projekta glede na zgoraj označen potencialni pomen in razvojne cilje?

- razvoj metodologije za presojo vplivov na genofonde naravnih rastlinskih populacij ob morebitnem sproščanju gensko spremenjenih organizmov,
- razvoj metodologije celovitega ocenjevanja tveganja za okolje, ki bo uporabna ne samo pri morebitnem sproščanju gensko spremenjenih dreves, ampak tudi za oceno tveganja za okolje pri kmetijskih rastlinah in sicer ne le v Sloveniji, ampak tudi drugje v svetu,
- podlaga za postavitev morebitnih ukrepov za ohranjanje genofonda gozdnih drevesnih vrst,
- podlaga za oblikovanje strategije pri obravnavi morebitnih zahtev po gojenju gensko spremenjenih dreves in drugih GSO

3.5. Kje obstaja verjetnost, da bodo vaša znanstvena spoznanja deležna zaznavnega odziva?

- a) v domačih znanstvenih krogih;
- b) v mednarodnih znanstvenih krogih;
- c) pri domačih uporabnikih;
- d) pri mednarodnih uporabnikih.

3.6. Kdo (poleg sofinancerjev) že izraža interes po vaših spoznanjih oziroma rezultatih?

Poleg sofinancerjev so rezultati projekta neposredno uporabni za:

- Ministrstvo za okolje in prostor, npr. za Sektor za biotehnologijo, ki obravnava uporabo genske tehnologije ter sistemske in programske - strateške usmeritve s področja uporabe biotehnologije, priprave strokovnih podlag za izvajanje zakonodaje in podzakonskih aktov s tega področja;
- Zavod za gozdove Slovenije, ki izvaja celotno gozdnogospodarsko načrtovanje za gospodarjenje z gozdovi in katerega pomemben sestavni del je ohranjanje naravnega genofonda gozdnih drevesnih vrst,
- Zavod RS za varstvo narave
- mednarodna znanstvena javnost, npr. predstavniki Evropskih svetovalnih odborov za področje biološke varnosti – sproščanje v okolje in dajanja GSO na trg in visoki predstavniki EFSA (European Food Safety Authority), srečanje v Ljubljani, 2007
- EUFORGEN, predvsem mreža Scattered broadleaves, ob vzpostavljanju evropske mreže GCU

(enot za varovanje genskih virov), med katere je uvrščena tudi populacija črnega topola iz Slovenije

3.7. Število diplomantov, magistrrov in doktorjev, ki so zaključili študij z vključenostjo v raziskovalni projekt?

Diplomske naloge:

VAUPOTIČ, Urška. *Ogroženost genofonda črnega topola (Populus nigra L.) v Sloveniji : diplomsko delo - univerzitetni študij = Threats to genepool of European black poplar (Populus nigra L.) in Slovenia : graduation thesis - university studies*. Ljubljana: [U. Vaupotič], 2006. VII, 90 str., ilustr. http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/dn_vaupotic_urska.pdf. [COBISS.SI-ID 1731238]

MOČNIK, Nejska. *Modeliranje habitata klopa Ixodes ricinus, glavnega prenašalca lymške borelioze, na področju Zgornjega Posočja : diplomsko delo*. Nova Gorica: [N. Močnik], 2007. VI, 53, xiii str., ilustr. <http://www.p-ng.si/~vanesa/diplome/OKOLJE/slv/18Mocnik.pdf>. [COBISS.SI-ID 700411]

Vsebinsko področje diplome: Razvoj metodologije vizualizacije regresijskih klasifikacijskih modelov v GIS okolju.

4. Sodelovanje z tujimi partnerji:

4.1. Navedite število in obliko formalnega raziskovalnega sodelovanja s tujimi raziskovalnimi institucijami.

- Institut voor Natuur- en Bosonderzoek, (INBO), Geraardsbergen, Bruselj, Belgija
- Univerza v Viterbu (Università della Tuscia – Viterbo), Italija
- akcija COST E-42: Growing Valuable Broadleaves

4.2. Kakšni so rezultati tovrstnega sodelovanja?

- enomesečno usposabljanje raziskovalca v molekularnem laboratoriju inštituta INBO, Bruselj (skupna objava v pripravi)
- šesttedensko raziskovalno usposabljanje raziskovalke v molekularnem laboratoriju na Univerzi v Viterbu, Italija (skupna objava v pripravi)
- sodelovanje v akciji COST E-42 (članek poslan v objavo)

5. Bibliografski rezultati³ :

Za vodjo projekta in ostale raziskovalce v projektni skupini priložite bibliografske izpise za obdobje zadnjih treh let iz COBISS-a) oz. za medicinske vede iz Inštituta za biomedicinsko informatiko. Na bibliografskih izpisih označite tista dela, ki so nastala v okviru pričujočega projekta.

- * Zaradi velikega števila raziskovalcev v projektni skupini in izjemno velikega števila vseh bibliografskih izpisov navajamo samo tiste, ki so nastali v okviru projekta. Več člankov in drugih prispevkov je še v postopku objave ali v pripravi.

BRUS, Robert, DEBELJAK, Marko. Environmental risk assessment of GM trees by using multi-attribute decision support modeling : [invited talk]. V: BATIČ, Martin (ur.). 2nd Meeting of European Advisory Committees on Biosafety in the Field of Deliberate Release of GMOs = 2. srečanje evropskih svetovalnih odborov za področje biološke varnosti - sproščanje v okolje in dajanje GSO na trg, 14-16 May, 2007, Ljubljana, Slovenia. *Abstracts*. Ljubljana: Ministry of the Environment and Spatial Planning, 2007, str. 10. [COBISS.SI-ID [20747047](#)]

BRUS, Robert, JAVORNIK, Branka, DEBELJAK, Marko, ŽIGO JONOZOVIČ, Aleksandra, JARNI, Kristijan, GALIEN, Urška, KOLAR, Uroš. *Ocena tveganja za okolje in upravljanje s tveganjem pri potencialnem sproščanju gensko spremenjenih dreves v Sloveniji*. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 2006. 176 str., ilustr. [COBISS.SI-ID [2123174](#)]

GALIEN, Urška. *Morphological study of two european black poplar (Populus nigra L.) populations in Slovenia : probation work = Morfološka analiza dveh populacij črnega topola (Populus nigra L.) v Sloveniji : pripravniško delo*. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 2007. VII, 16 f., ilustr. [COBISS.SI-ID [2122662](#)]

RUDOLF, Sebastian, BRUS, Robert. Razširjenost in invazivnost robinije (*Robinia pseudoacacia* L.) v severovzhodni Sloveniji = Distribution and invasiveness of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in northeast Slovenia. *Gozd. vestn.*, 2006, letn. 64, št. 3, str. 134-140, 157-159, ilustr. [COBISS.SI-ID [1675942](#)]

BRUS, Robert. Rastlina leta - jelše. *Proteus*, maj-jun. 2007, letn. 69, št. 9/10, str. 445-452, ilustr. [COBISS.SI-ID [26765613](#)]

BALLIAN, Dalibor, BOGUNIĆ, Franjo, IDŽOJTIĆ, Marilena, BRUS, Robert, MIKIĆ, T. Varijabilnost oskоруše (*Sorbus domestica* L.) iz balkanskog dijela areala, na osnovi morfometrijske analize lišća = Variability of service tree (*Sorbus domestica* L.) from the Balkan area based on the morphometric leaf analysis. V: BESENDORFER, Višnja (ur.). Deveti hrvatski biološki kongres s međunarodnim sudjelovanjem, Rovinj, 23.-29. rujna 2006. *Zbornik sažetaka*. Zagreb: Hrvatsko biološko društvo 1885, 2006, str. 154-155. [COBISS.SI-ID [2122918](#)]

BATIČ, Franc, ELER, Klemen, BELEC, Zoran. Biodiversity of plants and their communities in relation to land use in Slovenia: impact of agriculture and forestry. V: PLAVAC, Ivana (ur.), ČUŽE, Maja (ur.). *Konferencija o izvornim pasminama i sortama kao dijelu prirodne i kulturne baštine - pod pokroviteljstvom Vlade Republike Hrvatske - : knjiga sažetaka / radna verzija : Šibenik, 13. -16. studenog 2007 : book of abstracts / draft : Šibenik, November 13th - 16th, 2007*. Zagreb: Državni zavod za zaštitu prirode, 2007, str. 14-16, tabela. [COBISS.SI-ID [5254009](#)]

DEBELJAK, Marko, CORTET, Jérôme, DEMŠAR, Damjan, KROGH, Paul Henning, DEMŠAR, Damjan, DŽEROSKI, Sašo. Hierarchical classification on environmental factors and agricultural

³ Bibliografijo raziskovalcev si lahko natisnete sami iz spletne strani: <http://www.izum.si/>

practices affecting soil fauna under cropping systems using By maize. *Pedobiologia*, 2007, vol. 51, no. 3, str. 229-238. [COBISS.SI-ID [20964903](#)]

BOHANEC, Marko, CORTET, Jérôme, GRIFFITHS, Bryan, ŽNIDARŠIČ, Martin, DEBELJAK, Marko, CAUL, Sandra, THOMPSON, Jacqueline, KROGH, Paul Henning. A qualitative multi-attribute model for assessing the impact of cropping systems on soil quality. *Pedobiologia*, 2007, vol. 51, no. 3, str. 239-250. [COBISS.SI-ID [20965159](#)]

IVANOVSKA, Aneta, VENS, Celine, COLBACH, Nathalie, DEBELJAK, Marko, DŽEROSKI, Sašo. The feasibility of co-existence between conventional and genetically modified crops : using machine learning to analyse the output of simulation models. *Ecol. model.* [Print ed.], 2008, issues 1-3, vol. 215, str. 262-271. [COBISS.SI-ID [21667367](#)]
tipologija 1.08 -> 1.01

DŽEROSKI, Sašo, IVANOVSKA, Aneta, COLBACH, Nathalie, DEBELJAK, Marko. Studying the feasibility of co-existence of GM/non-GM crops by analysing the output of simulation models with machine learning. V: International Conference on Ecological Modelling, 28 August - 1 September 2006, Yamaguchi University, Japan. *Management of sustainability and ecological modelling : proceedings*. [S. l.]: ISEM, 2006, str. 260-261. [COBISS.SI-ID [20092967](#)]

IVANOVSKA, Aneta, PANOVA, Panče, COLBACH, Nathalie, DEBELJAK, Marko, DŽEROSKI, Sašo, MESSEAN, Antoine. Using simulation models and data mining to study co-existence of Gm/Non-GM crops at regional level. V: TOCHTERMANN, Klaus (ur.), SCHARL, Arno (ur.). *Managing environmental knowledge : EnviroInfo 2006 : proceedings of the 20th International Conference on Informatics for Environmental Protection, September 6-8, 2006, Graz, Austria*. Aachen: Shaker Verlag, 2006, str. 493-500. [COBISS.SI-ID [20111143](#)]

SQUIRE, Geoff, DEBELJAK, Marko. Should the ecosystem or the GMO be the focus for risk assessment and monitoring? : [invited talk]. V: BATIČ, Martin (ur.). 2nd Meeting of European Advisory Committees on Biosafety in the Field of Deliberate Release of GMOs = 2. srečanje evropskih svetovalnih odborov za področje biološke varnosti - sproščanje v okolje in dajanje GSO na trg, 14-16 May, 2007, Ljubljana, Slovenia. *Abstracts*. Ljubljana: Ministry of the Environment and Spatial Planning, 2007, str. 11. [COBISS.SI-ID [20747303](#)]

ARSENIJEVIĆ, Mojca, DEBELJAK, Marko. Applications of a qualitative multi attribute modelling in Greenway planning and design : successes and challenges. V: The 6th European conference on Ecological Modelling, ECEM '07, Trieste, November 27-30, 2007. *Challenges for ecological modelling in a changing world: global changes, sustainability and ecosystem based management : conference proceedings*. [S. l.: s. n.], 2007, str. 38-39. [COBISS.SI-ID [21272359](#)]

IVANOVSKA, Aneta, COLBACH, Nathalie, DEBELJAK, Marko, DŽEROSKI, Sašo. Using data mining and simulation models to study the feasibility of co-existence of GM/non-GM crops. V: *SIGMEA workshop 2007 : 16-19 April, NIAB, Cambridge, UK*. [S. l.: s. n.], 2007. [COBISS.SI-ID [20735783](#)]

ŠUŠTAR VOZLIČ, Jelka, DEBELJAK, Marko, KOZJAK, Petra, ROSTOHAR, Katja, VRŠČAJ, Borut, IVANOVSKA, Aneta, ČERGAN, Zoran, MEGLIČ, Vladimir. Sampling for GMO analysis at the field level. V: VAN DEN ENDE, Guy (ur.). *1st Global Conference on GMO Analysis : Villa Erba, Como, Italy, 24-27 June 2008 : [book of abstracts]*. [Ispra]: European Commission, Joint Research Centre, 2008, str. 35. [COBISS.SI-ID [2721896](#)]

DEBELJAK, Marko. Ko naravni viri ugasnejo, ugasne kultura. *Mag (Ljubl.)*, 26.03.2008, letn. 14, št. 12, str. 48-50. [COBISS.SI-ID [21612071](#)]

DEBELJAK, Marko, COLBACH, Nathalie, IVANOVSKA, Aneta, PANOVA, Panče, DŽEROSKI, Sašo. *Modeling co-existence of growing conventional and GM crops by up-scaling process* :

presented at 2nd Workshop on Ecological Indicators "Methods and instruments for the scientifically sound use of landscape and socio-ecological indicators", 16-19 May, 2006, Menaggio, Como, Italy. 2006. [COBISS.SI-ID 19877671]

PUČKO, Marjana, BOŽIČ, Gregor, KRAIGHER, Hojka. Razvoj smernic za dinamično varstvo gozdnih genskih virov v spreminjajočih se razmerah v okolju = Development of the guidelines for dynamic conservation of forest genetic resources in the changing environment. V: JURC, Maja (ur.). *Podnebne spremembe : vpliv na gozd in gozdarstvo : impact on forest and forestry*, (Studia forestalia Slovenica, št. 130). Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: = Biotechnical Faculty, Department of Forestry and Renewable Forest Resources Slovenia, 2007, str. 487-488. [COBISS.SI-ID 1867942]

6. Druge reference⁴ vodje projekta in ostalih raziskovalcev, ki izhajajo iz raziskovalnega projekta:

- vključenost spoznanj in rezultatov projekta ter prenos znanja v vsebine, obravnavane na dodiplomskem študiju gozdarstva in na podiplomskem študiju bioloških in biotehniških znanosti na Biotehniški fakulteti v Ljubljani v okviru predmetov Dendrologija, Žlahtnjenje gozdnega drevja in Gozdna genetika in v dodiplomskem in na podiplomskem programu Okolja in Znanosti o okolju Fakultete o okolju Univerze Nova Gorica.

- javna predstavitev za naročnike in druge uporabnike:

Brus, R., B., Debeljak, M., Žigo Jonozovič, A., Jarni, K., Vaupotič, U.,: Predstavitev naloge Ocena tveganja za okolje in upravljanje s tveganjem pri potencialnem sproščanju gensko spremenjenih dreves v Sloveniji in predstavitev trenutnega poteka projekta CRP V4-0351 Priprava podlag za izdelavo nacionalne strategije za zagotavljanje ohranjanja genofonda gozdnih drevesnih vrst ob uporabi gensko spremenjenih dreves v kmetijstvu naročnikom MOP in MKGP. 19. 12. 2006, MOP, Dunajska 48, Ljubljana, pisotni predstavniki naročnikov (MKGP) in drugih interesentov (MOP).

⁴ Navedite tudi druge raziskovalne rezultate iz obdobja financiranja vašega projekta, ki niso zajeti v bibliografske izpise, zlasti pa tiste, ki se nanašajo na prenos znanja in tehnologije.

Navedite tudi podatke o vseh javnih in drugih predstavitvah projekta in njegovih rezultatih vključno s predstavitvami, ki so bile organizirane izključno za naročnika/naročnike projekta.