



UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Miha ANŽIČ

**UMETNO ZASNEŽEVANJE SMUČIŠČ IN POSLEDICE V
KMETIJSTVU**

DIPLOMSKI PROJEKT

Univerzitetni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2010

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Miha ANŽIČ

**UMETNO ZASNEŽEVANJE SMUČIŠČ IN POSLEDICE V
KMETIJSTVU**

DIPLOMSKI PROJEKT
Univerzitetni študij – 1. stopnja

**ARTIFICIAL SNOWING OF SKI RESORTS AND EFFECTS ON
AGRICULTURE**

B. SC. THESIS
Academic Study Programmes

Ljubljana, 2010

Diplomski projekt je zaključek Univerzitetnega študija Kmetijstvo – agronomija – 1. stopnja. Delo je bilo opravljeno na Katedri za agrometeorologijo, urejanje kmetijskega prostora ter ekonomiko in razvoj podeželja.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Lučko Kajfež Bogataj.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Borut Bohanec
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Lučka Kajfež Bogataj
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Marina Pintar
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo

Datum zagovora: 24. 9. 2010

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

Miha Anžič

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Du1
- DK UDK 551.57: 504.61 (043.2)
- KG umetni sneg/ naravni sneg/ kmetijstvo/ teptanje
- AV ANŽIČ, Miha
- SA KAJFEŽ BOGATAJ, Lučka (mentor)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
- LI 2010
- IN UMETNO ZASNEŽEVANJE SMUČIŠČ IN POSLEDICE V KMETIJSTVU
- TD Diplomski projekt (Univerzitetni študij – 1.stopnja)
- OP VI, 15 str., 1 pregl., 9 sl., 8 vir.
- IJ sl
- JI sl/en
- AI Umetni sneg so že pred 50 leti uporabljali kot zaščitno sredstvo pred pozebo, danes pa ga smučarski centri uporabljajo za zasneževanje smučišč. Uporaba umetnega zasneževanja se je zelo povečala v zadnjih letih. Z njim smučarski centri lažje zagotovijo dobro urejenost smučarskih prog, vendar uporaba umetnega zasneževanja nosi določene posledice tudi v kmetijstvu. Že pri pripravi sistema za umetno zasneževanje gre za velik poseg v naravo, saj je treba napeljati vodovodne, zračne in električne napeljave. Poleg tega je z gradnjo naprav za umetno zasneževanje pogosto povezano tudi strojno izravnavanje smučarskih prog, saj je tako v zimskem času lažje zasneževati in urejati proge. Posledično se zmanjšuje število rastlinskih vrst na smučiščih. V zimskem času ima na rastline negativen vpliv teptanje smučišča. S teptanjem smučišča se poveča gostota snega in ustvarjajo se ledene plasti, zaradi česar rastline trpijo zaradi pomanjkanja kisika, kar vodi do nastanka poškodb. Tudi teptalniki snega in robovi smučk ob prenizki snežni odeji povzročajo mehanske poškodbe na rastlinah. Umetni sneg vsebuje nukleacijska sredstva, ki imajo lahko negativen vpliv na rastline. V spomladanskem času so rastline zaradi zakasnelega kopnenja snega tudi do štiri tedne dlje pod snegom, posledično se začnejo kasneje razvijati. Sistem umetnega zasneževanja je tudi velik porabnik vode, ki jo rabi takrat, ko je vodostaj najnižji, vendar je nizek vodostoj pozimi precej manj kritičen kot poleti. Glede na podnebne spremembe, ki smo jim priča, se bodo smučišča vedno bolj posluževala umetnega zasneževanja za zagotovitev boljše smučarske sezone, kar prinaša večje posledice tudi v kmetijstvu.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- ND Du1
- DC UDC 551.57: 504.61 (043.2)
- CX artificial snow/ natural snow/ agriculture/ snow grooming
- AU ANŽIČ, Miha
- AA KAJFEŽ BOGATAJ, Lučka (supervisor)
- PP SI-1000, Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy
- PY 2010
- TI ARTIFICIAL SNOWING OF SKI RESORTS AND EFFECTS ON
AGRICULTURE
- DT B. Sc. Thesis (Academic Study Programmes)
- NO VI, 15 p., 1 tab., 9 fig., 8 ref.
- LA sl
- Al sl/en
- AB Artificial snow has been using 50 years ago as a protective resource against frost, but now is used by ski centers for artificial snowing on ski slopes. The use of artificial snow has risen in recent years. By using artificial snow, ski centers help to ensure good conditions on ski slopes, but also the use of artificial snow bear some consequences in agriculture. At fist, preparing artificial snowmaking system has a major impact in nature, because it is necessary to install water, air and electrical conduct. In addition, the construction of artificial snowmaking system is often linked with planing the ski slopes, because it is easier to make snow and to prepare ski slopes in winter. As a result, the number of plant species on ski pistes is reduced. Snow grooming has a negative impact on plants in winter. Because of snow grooming snow density is increased and ice layers are being created, that is resulting in lack of oxygen for plants. Snow-grooming vehicles and ski edges are causing mechanical damages to plants if snow cover is to low. Artificial snow also contains ice nucleating additives, which may have a negative impact on plants. In the spring time plants start to develop later because of delayed snowmelting. The system of artificial snow is also a major consumer of water, which uses it when water level is the lowest, but low water level is less critical in winter than in summer. Because of the climate changes more ski resorts will use artificial snow to guarantee a better ski season and this also brings a greater impact on agriculture.

KAZALO VSEBINE

	Str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	II
KEY WORDS DOCUMENTATION.....	III
KAZALO VSEBINE.....	IV
KAZALO PREGLEDIC.....	V
KAZALO SLIK.....	V
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI.....	VI
1 UVOD.....	1
2 NARAVNI IN UMETNI SNEG.....	2
2.1 NARAVNI SNEG.....	2
2.2 UMETNI SNEG	3
2.3 RAZLIKE MED NARAVNIM IN UMETNIM SNEGOM	5
3 VPLIV NA KMETIJSTVO.....	7
3.1 TEMPERATURNE RAZMERE TAL.....	8
3.2 LEDENE PLASTI	9
3.3 TALJENJE SNEGA	9
3.4 MEHANSKE POŠKODBE	10
3.5 VNOS VODE IN IONOV	12
3.6 VNOS NUKLEACIJSKIH DODATKOV.....	12
4 SKLEPI.....	14
5 VIRI.....	16

KAZALO PREGLEDNIC

	Str.
Preglednica 1: Površine smučišč, ki se je lahko zasnežuje v % in hektarjih po državah, ter celotne površine smučišč (Cipra International, 2010)	4

KAZALO SLIK

	Str.
Slika 1: Primeri oblik snežnih kristalov (Gore in ljudje, 2010)	2
Slika 2: Vrste snežink v odvisnosti od zračne vlažnosti in temperature (Snowcrystals ..., 2010)	3
Slika 3: Visoko tlačni snežni top (Lagoon ..., 2010).....	4
Slika 4: Nizkotlačni snežni top (Dnevnik, 2010).....	4
Slika 5: Snežinka naravnega snega (Wikimedia Commons, 2010)	5
Slika 6: Snežinka umetnega snega (Rixen in sod., 2003)	5
Slika 7: Nihanje temperature tal preko celotnega leta izven smučišča in na smučišču (Keller in sod., 2004)	8
Slika 8: Pozno taljenje snega na smučišču Davos v Švici (Rixen in sod., 2003).....	10
Slika 9: Na levi je z goseničarjem obdelana smučarska proga, na desni pa neobdelana smučarska proga (College ..., 2010)	11

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ATP	adenozin trifosfat
NPK	mineralno gnojila
SNOMAX	nukleacijsko sredstvo
in sod.	in sodelavci

1 UVOD

Smučarski turizem je ena izmed glavnih zimskih turističnih panog v Sloveniji, prav tako kot v ostalih alpskih državah. Zime postajajo vedno bolj zelene, kar zimskemu turizmu ni najbolj naklonjeno. Zaradi podnebnih sprememb se je na smučiščih po svetu posledično zelo povečala uporaba umetnega snega. Scenariji podnebnih sprememb napovedujejo, da se bodo zime začele pozneje in končale prej, kot smo bili vajeni do sedaj. V evropskih Alpah se bo nadmorska višina za zimsko turistična središča dvignila iz 1200 m na 1500 m v naslednjih 30 letih. Odgovor na manjšo količino naravno zapadlega snega je, da zimsko turistična središča investirajo v sisteme umetnega zasneževanja (Wipf in sod., 2005).

Umetni sneg se je sprva uporabljal pred 50 leti kot zaščitno sredstvo pred pozebo na plantažah v Združenih državah Amerike. Idejo o uporabi umetnega snega za smučišča se je najprej prenesla na ameriška smučišča. V Evropi je umetno zasneževanje doživelo razmah v zadnjem desetletju (Kajfež Bogataj, 1995).

Za izdelavo umetnega snega potrebujemo obsežen sistem, ki vsebuje vodno zajetje, črpališče za vodo, cevovodni sistem, priključke, oskrbovalni objekt, visokotlačni kompresor, naprave za preskrbo z energijo in podzemne kable, krmilni sistem, meteorološke merilne postajo in stroje za izdelovanje umetnega snega (Cipra International, 2010).

Umetni sneg, priprava zasneževalnega sistema, smučarskih prog in planiranje smučišč pred smučarsko sezono imajo negativen vpliv na okolje. Začenja se s pripravo sistema za izdelovanje umetnega snega, saj je to delo mogoče opraviti le s težkimi gradbenimi stroji. Da umetno zasneževanje v zimskem času poteka nemoteno, se smučišča pred zimsko sezono strojno izravnavajo, ker je smučišče lažje zasneževati in urejati. Da se lahko zimska sezona hitreje začne, se umetnemu snegu dodajajo nukleacijska sredstva, ki omogočajo nastanek snega pri višjih temperaturah. Znano je, da ima sneg pozitivne učinke na rastline, ker blaži vplive nizkih temperatur in mehanskih poškodb, vendar pa s teptanjem smučišč postaja snežna odeja gostejša. To tudi povzroči, da se smučišča, ki so umetno zasnežena, pomladi začnejo kasneje taliti (Rixen in sod., 2003).

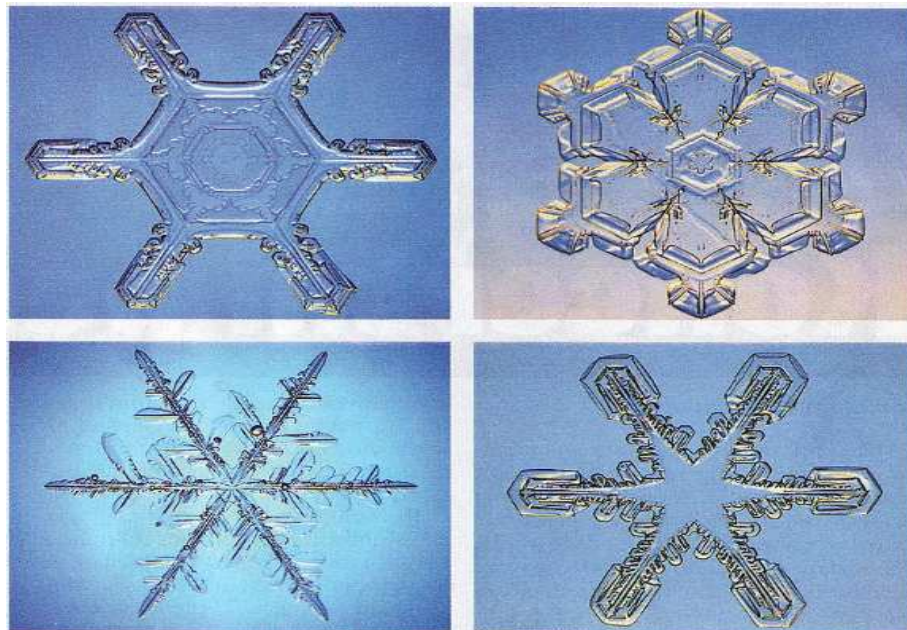
Vsi naštetih dejavniki imajo velik vpliv na rastline, ki so na območju smučišča. Rastline na smučiščih preprečujejo erozijo, omogočajo zadrževanje vode in hrane, vplivajo na nastanek tal, prav tako pa ustvarjajo življenjski prostor organizmom. Z umetnim snegom postane snežna plast veliko bolj gosta, poveča se termalna prevodnost in zmanjša se prepustnost za pline. Posledično rastline lahko trpijo zaradi zmrzali, manjše količine zraka, infekcij patogenov, mehanskih poškodb in zakasnjene razvoja (Rixen in sod., 2003).

2 NARAVNI IN UMETNI SNEG

2.1 NARAVNI SNEG

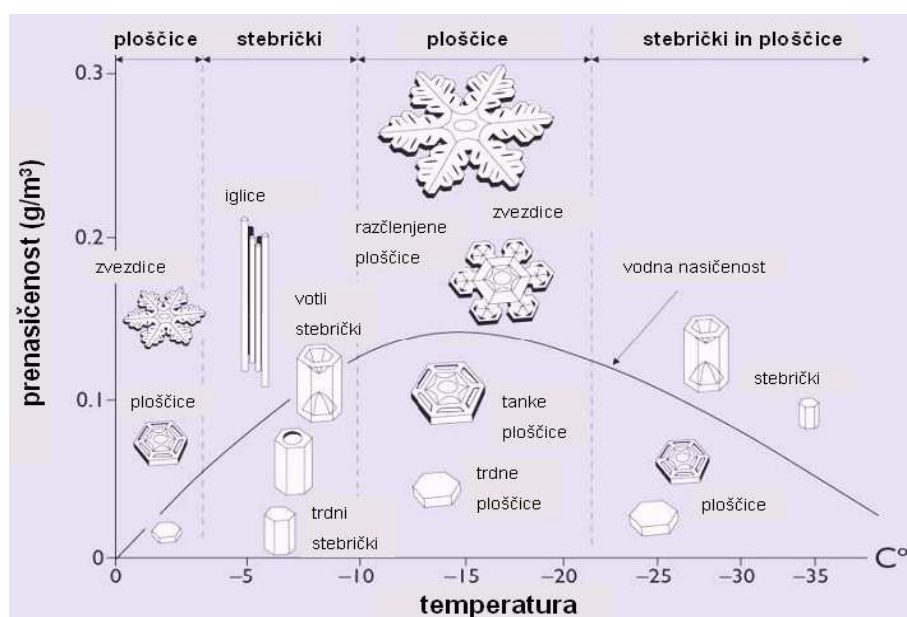
Sneg je padavina v trdnem stanju, ki nastane v oblaku iz ledenih kristalov, kadar je zrak nasičen z vodno paro pod 0°C. Ledeni kristali lahko rastejo tudi na osnovi različnih hitrosti padanja, kajti večji kristal je težji, pada hitreje in pod sabo pobira manjše, počasnejše ledene kristale. Med padanjem lahko trčijo v druge ledene kristale ali pa oblačne kapljice. Pod vplivom trka manjši delci kristala odletijo in ponovno začnejo rasti. S posameznimi trki število ledenih kristalov začne hitro naraščati in nastanejo snežne padavine (Valenčak Likar, 2006).

Snežinke so si po obliki, zaradi različnih atmosferskih razmer, zelo različne, kljub konstantni heksagonalni obliki kristala, tako da si niti dva snežna kristala med seboj nista enaka (Slika 1).



Slika 1: Primeri oblik snežnih kristalov (Gore in ljudje, 2010)

Posamezne snežinke razdelimo na zvezdice, iglice, stebriče in ploščice. Oblika snežinke je najbolj odvisna od temperature in stopnje nasičenosti zraka z vlago na poti od oblakov do tal. Nižja je temperatura, bolj so snežinke enostavne in obratno (Slika 2).



Slika 2: Vrste snežink v odvisnosti od zračne vlažnosti in temperature (Snowcrystals ..., 2010)

2.2 UMETNI SNEG

Za proizvodnjo umetnega snega potrebujemo vodo, električno energijo in temperaturo zraka pod lediščem. Voda za pripravo snega mora biti ohlajena na 2 do 3°C, pod pritiskom od 6 do 30 barov, temperatura zraka mora biti pod 0°C, relativna vlažnost pa pod 95%. Umetni sneg lahko proizvajamo s tem, da posnemamo naravni proces, vendar v praksi vodi dodajajo številne kemične in biološke dodatke, kot so drobni mineralni delci, srebrov jodid ali pa celo beljakovinske bakterijske delce, ki pospešijo nastajanje kristalizacijskih jeder (Kajfež Bogataj, 1995). Najbolj pogosto sredstvo za proizvodnjo snega pri višjih temperaturah je snov SNOMAX, ki vsebuje sterilizirano bakterijo *Pseudomonas syringae* (Rixen in sod., 2003).

Umetni sneg proizvajajo s snežnimi topovi, ki so lahko visokotlačni (Slika 3) ali nizkotlačni (Slika 4). Visokotlačni topovi razpršujejo mešanico vode in zraka skozi eno šobo, pri nizkotlačnih topovih pa je voda razpršena skozi veliko šob. Zračni tok zagotovi močan ventilator. Pri nizkotlačnih topovih mora biti temperatura zraka nižja od -4°C, visokotlačni lahko proizvedejo sneg pri temperaturi okrog 0°C. Smučišča pogosto uporabljajo kombinacijo obeh sistemov snežnih topov, saj obe vrsti topa proizvajata sneg podobne kakovosti. S 400 litri vode in z 2 do 8 kWh električne energije lahko proizvedemo en kubični meter snega. Z uporabo teh, zimsko turistična središča omogočajo smučarjem daljšo smučarsko sezono (Kajfež Bogataj, 1995).



Slika 3: Visoko tlačni snežni top (Lagoon ..., 2010)



Slika 4: Nizkotlačni snežni top (Dnevnik, 2010)

Danes je umetno zasneženih več kot 90 % večjih alpskih smučišč. Več kot dve tretjini vse zasnežene površine alpskih smučišč je v Avstriji in Italiji (Preglednica 1).

Preglednica 1: Površine smučišč, ki se je lahko zasnežuje v % in hektarjih po državah, ter celotne površine smučišč (Cipra International, 2010)

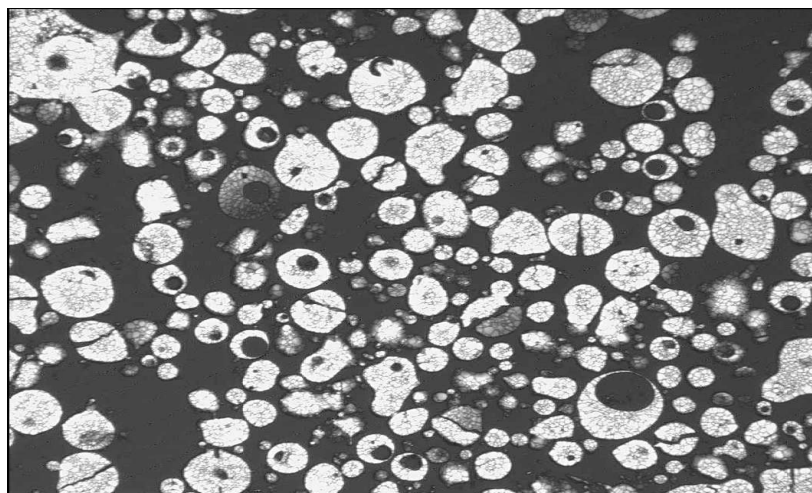
Država	Površina Smučišč, ki se jih lahko zasnežuje (%)	Površine smučišč, ki se jih lahko zasnežuje (ha)	Celotna površina smučišč (ha)
Slovenija	27	320	1200
Avstrija	40	9200	23000
Švica	10	2290	22000
Italija	40	9000	22600
Nemčija	10	380	3700
Francija	13	2650	20800
Skupaj	27	23840	93300

2.3 RAZLIKE MED NARAVNIM IN UMETNIM SNEGOM

Razlika med umetnim in naravnim snegom je že v obliki snežnega kristala. Pri naravnem snegu prevladujejo konstantne heksagonalne oblike kristala, ki so si med seboj zelo različne (Slika 5). Snežinke umetnega snega so v obliki večjih ali manjših zrn, ki nimajo kakšne posebne oblike (Slika 6).



Slika 5: Snežinka naravnega snega (Wikimedia Commons, 2010)



Slika 6: Snežinka umetnega snega (Rixen in sod., 2003)

Na smučišču je višina snega zaradi izdelave snega na smučišču višja, kot na obrobju smučišča, kjer leži samo naravni sneg. Umetni sneg skopni skoraj štiri tedne kasneje kot izven smučišča, saj je na začetku sezone gostota snega na smučišču približno 500 kg/m^3 , tekem sezone pa gostota naraste do 700 kg/m^3 zaradi mešanice težkega, uležanega snega in ledu. Snežna odeja izven smučišča ima gostoto okoli 285 kg/m^3 . Zaradi tako velike gostote se umetni sneg pod vplivom obdelave obdrži veliko dalj časa (Keller in sod., 2004), kar povzroči tudi kasnejše pomladansko taljenje, ob tem pa je tudi količina vode za kar tretjino večja kot pri naravnem snegu (Kajfež Bogataj, 1995).

Svež in neobdelan sneg je dober toplotni izolator, ki vsebuje 90 do 95 % ujetega zraka. Temperaturi snega na površju in pri tleh sta si zelo različni. Temperatura na površju je odvisna od temperature zraka, temperatura pri tleh pa je odvisna od toplotne izolacije snega. Temperatura snega pri tleh je zaradi toplotne izolacije višja (Valenčak Likar, 2006).

Kadar so zime brez snega je ponavljajoče zmrzovanje in odtajanje tal nevarno za rastline. Toplotna prevodnost teptanega umetnega in naravnega snega je veliko višja kot pri neteptanem naravnem snegu. To pomeni, da mraz hitreje in globlje prodira v tla pri teptanem snegu kot pri neteptanem snegu. Kljub temu, da se toplota pri teptanem snegu hitreje izgublja, je taka snežna odeja boljša kot tla brez snežne odeje. Zaradi tega, ker se taljenje teptanega snega zavleče pozno v pomlad, se temperature tal dlje časa gibljejo okrog 0°C, kar vpliva na slabšo rast in aktivnost rastlin (Valenčak Likar, 2006).

Snežna odeja omogoča difuzijo in izmenjavo plinov potrebnih za življenje rastlin, živali in mikroorganizmov v tleh. Kadar je snežna odeja zelo zbita, je slabša tudi prepustnost za pline. Plini težje prehaja od snežnega površja do tal (Rixen in sod., 2003).

Aktivni mikroorganizmi v zemlji porabljajo kisik in ustvarjajo ogljikov dioksid. Ker aktivni mikroorganizmi porabijo velik delež kisika pod snežno odejo, se rastline ne morejo normalno razvijati. Ob nižjih temperaturah in pomanjkanju kisika, se zmanjša število predstavnikov rastlinski vrst, ki pa si lahko opomorejo šele v poletnih dneh (Rixen in sod., 2003).

Umetni sneg ima ponavadi večjo vsebnost proste vode kot naravni sneg, zaradi katere se lahko zamašijo zračne pore v snegu. Ta pojav je še posebej pogost, kadar se zasneževanje odvija pri temperaturah nad 0°C. Kadar je snežna odeja zelo nizka in razmočena, se zaradi teptanja voda potisne do površine tal. Posledično nastanejo vlažne in razmočene plasti v snegu, ki pri padcu temperatur zamrznejo in nastanejo ledene plati. Prepustnost za pline se tako zelo zmanjša, kar lahko vodi do zadušitve rastlin. Pod naravnim neobdelanim snegom do takega pojava nikoli ne pride (Valenčak Likar, 2006).

3 VPLIV NA KMETIJSTVO

Kmetijstvo v alpskem svetu ne igra ključne vloge samo v proizvodnji hrane temveč tudi igra pomembno vlogo pri ohranjanju krajine. Čeprav ima v nekaterih regijah kmetijstvo pomembno vlogo v ekonomskem in socialnem smislu, igra v nekaterih regijah zelo majhno vlogo. V švicarskih Alpah se je kmetijstvo zmanjšalo za 30 % med letom 1980 in 1990, ker je delo na kmetiji v gorskih regijah veliko težje in manj dobičkonosno kot v regijah z manjšo nadmorsko višino (Behringer in sod., 2000).

Smučarski turizem in kmetijstvo hodita z roko v roki, saj je to realna priložnost za razvoj podeželja in možnost zaposlitve za prebivalce. Prebivalci se lahko zaposlijo v smučarskem centru, oddajajo sobe turistom, nekateri imajo tudi turistične kmetije. S tem prebivalstvo ostaja na višje ležečih kmetijah in se ne preseljuje v nižje ležeče predele (Behringer in sod., 2000).

Interakcija med smučarsko turističnimi centri in kmetijskim prebivalstvom je pomembna, vseeno pa imata pripravljena sistema za umetno zasneževanje in zimska priprava smučišča vpliv na kmetijstvo. Zaradi del na smučišču, pred in med sezono, raznolikost rastlin pada. Da si rastline opomorejo po takem posegu traja nekaj let. Posledično je na pašnikih in travnikih prisotno manj rastlinskih vrst, ki bi bile ustrezne za prehrano živali (Rixen in sod., 2003).

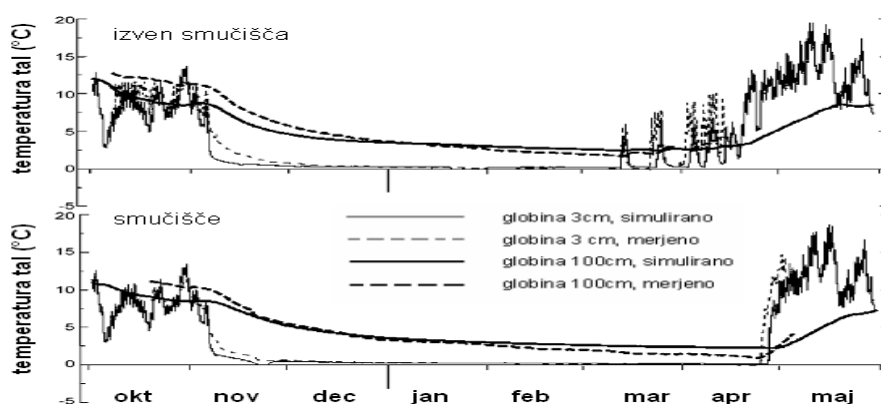
Smučarski turizem je velik porabnik vode. Smučišča črpajo vodo iz rek, potokov ali pa imajo urejena vodna zajetja. Nekatera smučišča črpajo vodo za zasneževanje celo iz zajetij s pitno vodo, podtalnice in izvirov. Novembra in decembra je vodostaj zelo nizek, takrat pa smučišča začnejo z umetnim zasneževanjem. Velik delež vodnega vira smučišča porabijo za zasneževanje. Vendar pa je nizek vodostaj za ekosisteme pozimi precej manj kritičen kot poleti (Cipra International, 2010).

Za rastline je v zimskem času posebej nevarno če niso pokrite s snežno odejo, ki bi jih ščitil pred nizkimi temperaturami. Rastline, ki niso pokrite s snežno odejo lahko zaradi suše odmrejo že v treh dneh. Snežno odejo lahko odstranijo plazovi, močni vetrovi, živali in pa smučanje (Rixen in sod., 2003).

V zgodnjih pomladanskih mesecih so rastline aktivne že pod snegom. Zaradi povečane koncentracije CO₂, nizke intenzitete svetlobe in nizkih temperatur pod snegom rastline ne morejo začeti s fotosintezo. Močno zbit sneg težje prepušča pline, kar lahko povzroči anoksijo. Take razmere napočijo ob taljenju snega, ko je sneg prepojen z vodo (Valenčak Likar, 2006).

3.1 TEMPERATURNE RAZMERE TAL

Sneg na smučišču je globlji in gostejši kot izven smučišča. Pri teptanem umetnem snegu, ki ima manjše število por kot naravni sneg, je toplotna prevodnost skoraj trikrat večja kot pri naravnem snegu. Toplotna prevodnost pri zbitem naravnem snegu je dvakrat večja kot pri nezbitem naravnem snegu. Dobra toplotna prevodnost povzroči, da mrzel zrak prodre globoko skozi snežno odejo do tal, in vpliva na rastline. Vendar umetni sneg bolje ščiti rastline pred zmrzaljo, kot pa če snežne odeje ne bi bilo, saj so toplotna merjenja pokazala višje temperature pod zasneženim kot pod nezasneženim površjem. Temperaturni režim na talnem površju pod umetnim snegom je zelo podoben režimu pod naravnim snegom, kjer se temperature gibljejo okrog ledišča (Slika 7). Vendar je za temperature razmere tal višina snega veliko bolj pomembna kot gostota snega (Rixen in sod., 2003).



Slika 7: Nihanje temperature tal preko celotnega leta izven smučišča in na smučišču (Keller in sod., 2004)

Nižje temperature in posledično zamrznjena zemlja pod smučarsko progo ima negativen vpliv na kmetijstvo, saj so tla zaradi tega bolj izpostavljena eroziji, s tem se izgubljajo kmetijska zemljišča. Zimski temperaturni talni režim vpliva na travniške rastline, kot je npr. plazeča detelja (*Trifolium repens*), katero zmrzal zelo prizadene. Zaradi zmrzali so poškodovane koreninice rastlin. Pri nižjih temperaturah prihaja zaradi podhladitve rastlin do denaturacije proteinov, porušitve metabolnega sistema in do zmrzovanja vode v ratlinah. Poleg zmrzali rastlinam škodujejo tudi mikrobi, kajti nekateri so lahko aktivni tudi pod 0°C in imajo vpliv na dušikov krog v tleh in dostopnost dušika rastlinam pozimi (Valenčak Likar, 2006).

Ko se temperatura tal spusti pod 0°C, se začne v rastlinskih tkivih tvoriti led na mestih z najnižjim osmotskim potencialom in sicer v ksilemskih žilah listov in stebel, v intercelularnih prostorih in substomatalnih prostorih. Formiran led se najprej širi po žili v ekstracelularne prostore v drugih tkivi. Ledeni kristali ne morejo prodreti skozi membrano v citoplazmo, s pomočjo vode iz celične stene pa ledeni kristal raste. Ekstracelularna tekočina, zaradi nastajanja ledu, postaja vedno bolj koncentrirana, zaradi česar nastane gradient v kemičnem potencialu med intracelularno in ekstracelularno raztopino. Dokler se ne vzpostavi razmerje voda izteka iz celice. V takih razmerah celična citoplazma dehidrira, to pa je največkrat vzrok za poškodbe na rastlinah. Poleg dehidracije celične citoplazme, povzročajo poškodbe na rastlinah velike mase ledu (Valenčak Likar, 2006).

Za rastlinsko odejo je pomembno, kako globoko seže pozimi zmrzovanje. Globina do katere seže zmrzal, je odvisna od snega in pa od pedoloških značilnosti tal. Tla, ki vsebujejo gramoz, drobljenec imajo veliko majhnih prostorčkov, ki ne skladiščijo vode, taka tla pa kažejo na nižje temperaturne poteke. Pomladi prihaja zaradi odtajanja in zmrzovanja do raztezanja vode. Zaradi tega nastanejo premiki v tleh, ki rahljajo tla, vendar pa zaradi močnega mehanskega pritiska poškodujejo koreninice travniških rastlin, to vodi v povečano erozijo tal (Valenčak Likar, 2006).

3.2 LEDENE PLASTI

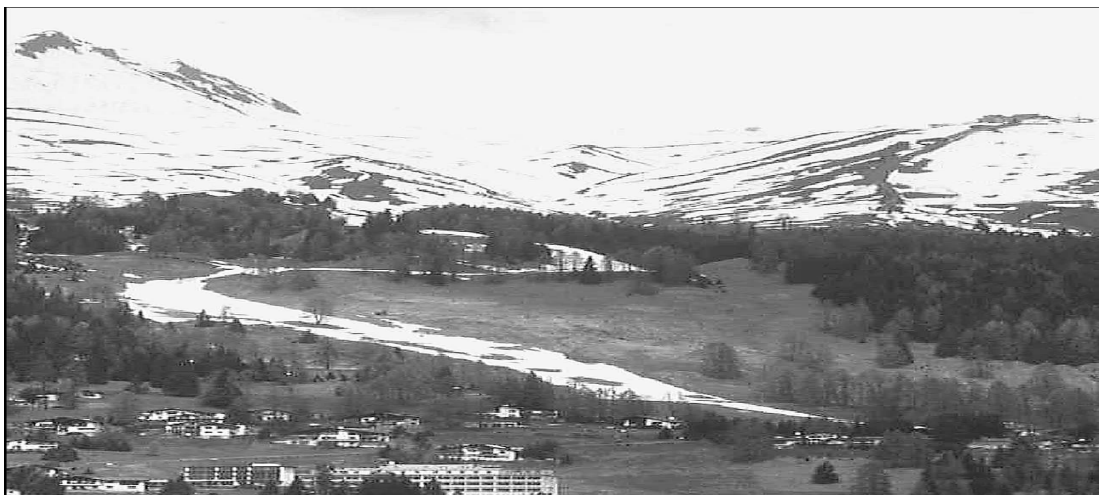
Ledene plasti se lahko razvijejo v snežni odeji takrat ko teptalci snega skupaj zbijejo snežno odejo. Ledene plasti se lažje razvijejo na površini, ki ni prekrita s snežno odejo, kot pa na površini, ki je prekrita z umetnim snegom. Vendar ledene plasti, ki se razvijejo pod umetnim snegom ostanejo dlje. Ledene plasti nastanejo takrat, ko teptalci snega planirajo smučišče pri višjih temperaturah, ko umetni sneg še ni popolnoma zmrznjen (Rixen in sod., 2003).

Ledene plasti vplivajo na prevodnost plinov snežne odeje. Pretok plinov je zaradi nastanka ledenih plasti v snežni odeji oviran. Ker je pretok plinov oviran, pride do rastlin manj kisika. V takih razmerah pa velik delež kisika porabijo aktivni mikroorganizmi v tleh, ki proizvajajo ogljikov dioksid. Rastline se začnejo dušiti. Pozimi pomanjkanje kisika in pa zmrzal poškodujeta poganjke in koreninice rastlin, travniške rastline pa si šele v poletnem času lahko opomorejo s pomočjo klitja semen (Rixen in sod., 2003).

Pri ledenih plasteh se pojavlja proces anoksija. Anoksija se dogaja, kadar je rastlina popolnoma obdana z ledom, takrat pa se v tleh tvorijo bolj reducirajoče in fitotoksične oblike mineralov. Rastlina lahko razvije toleranco na anoksijo ali pa se anoksiji izogne. Pri toleranci na anoksijo gre za metabolno adaptacijo, ki se zelo razlikuje od rastline do rastline. Pri metodi izogibanja anoksiji gre za oblikovanje transporta za prenos kisika do korenin preko internih plinskih kanalov, ki se imenujejo aerenhimi. Aerenhimi omogočajo prenos kisika iz aerobnih vršičkov v anaerobne korenine (Valenčak Likar, 2006).

3.3 TALJENJE SNEGA

Spomladi temperature začnejo naraščati, kar povzroči hitro taljenje snežne odeje na smučiščih. Zaradi zasneževanja z umetnim snegom, se taljenje smučišč zavleče pozno v pomlad (Slika 8). Na tak način se v kratkem času sprosti velika količina vode, na dan lahko tudi od 50 do 128 l/m². Sneg na smučiščih, ki imajo umetni sneg, se tali kar štiri tedne dlje, kot na smučiščih, ki so pokrita samo z naravnim snegom. To se ne dogaja, ker bi bil umetni sneg drugačen od naravnega, ampak zaradi večjih količin snega (Valenčak Likar, 2006).



Slika 8: Pozno taljenje snega na smučišču Davos v Švici (Rixen in sod., 2003)

Posledično se fenološki razvoj rastline začne pozneje. Pri nekaterih mladih rastlinah je produkcija listov očitno zmanjšana, to pomeni, da ima taka rastlina manjše možnosti, da preživi zimo. Najbolj so prizadete tiste rastline, ki začnejo zgodaj s svojo vegetacijo, saj imajo premalo časa da bi zrasla in oblikovala semenski nastavek do prve košnje (Rixen in sod., 2003).

Kasnejše taljenje snega povzroča proces, ki se imenuje hipoksija. Hipoksija je kratkotrajno nasičenje z vodo, takrat so rastlinske korenine pod vodo, medtem ko pa je poganjek nad vodo. Pri tleh nasičenih z vodo je onemogočena izmenjava plinov med atmosfero in tlemi. Voda vsebuje tudi kisik, ki ga zmanjka že po nekaj urah, kar je tudi odvisno od stopnje respiracije in temperature. Rastlina se na pomanjkanje kisika odzove na več načinov. Zaradi upada kisika pride do sinteze etilena, ki je iniciator in regulator adaptacijskih procesov, ki v anaerobnih razmerah omogočajo preživetje rastlin. Drugi učinek se pojavi, ker pri mitohondrijskem transportu elektronov kisik služi kot končni sprejemnik elektronov. Pomanjkanje kisika blokira aerobno respiracijo in sintezo ATP-ja v mitohondriju. Oksidacija NADH je blokirana v odsotnosti sprejemnika elektronov. Če se mitohondrijska respiracija zaustavi, začne adenilatni vir energije posledično upadati. Rastlina lahko dodaten vir ATP energije dobi preko simulacije glikolize, vendar pa je v primerjavo z mitohondrijsko sintezo energije ta neučinkovita. Dodatna nevarnost za rastline so tudi končni produkti glikolize, kot so etanol, mlečna kislina in ogljikov dioksid, saj so v visokih koncentracijah lahko fitotoksični. Po hipoksiji sledi še anoksija (Valenčak Likar, 2006).

3.4 MEHANSKE POŠKODBE

Pod vplivom zasneževanja z umetnim snegom se višina snega na smučišču poveča. To je velika prednost za rastline, ker so na ta način bolj zaščitene pred poškodbami, ki jih povzročajo teptalci snega in smučarji. Visokogorska smučišča, ki ne potrebujejo umetnega zasneževanja, ker imajo zadosti naravnega snega, imajo smučarsko sezono odprto toliko časa, dokler je smučišče še primerno za normalno smuko. Smučišča z nizko nadmorsko

višino, z umetnim zasneževanjem poizkušajo podaljšati sezono, saj so stroški zaradi umetnega zasneževanja večji. Ker je plast snega na smučarski progi pomladi že tako nizka, nastanejo poškodbe na rastlinah in tleh pod snegom, zaradi teptalcev snega in robov smučk (Rixen in sod., 2003).

Če je snežna odeja premalo globoka in pride do mehanskih poškodb na rastlinah, zmanjša se pokrovnost z rastlinami. To vpliva na povečanje možnosti erozije (Wipf in sod. 2005).

Na smučiščih z umetnim snegom pogosteje rastejo lesnate rastline, saj jih umetni sneg ščiti pred poškodbami, kajti snežna odeja je zaradi umetnega snega debelejša in tako ščiti rastline pred teptalci snega in smučkami (Rixen in sod., 2003).

Vpliv snežne odeje na biomaso rastlin ni odvisen od namembnosti smučišča in pa zasneževanja, ampak predvsem od klimatskih razmer. Produktivnost rastlin znižuje povečana količina snega v bolj vlažnih klimatskih razmerah, v bolj suhih področjih pa produktivnost rastlin bolj znižuje pomanjkanje vode, kot pa večja količina snega in s tem zakasneni vegetacijski razvoj. Produktivnost rastlin je velikokrat povišana zaradi večje količine snega, izjema pa so tiste smučarske proge, ki so bile v poletnem času strojno izravnane (Valenčak Likar, 2006).

Poleti se opravljajo gradbena dela na smučišču, kot je planiranje smučišča z goseničarji. Z delom goseničarjev je odstranjen vrhnji sloj vegetacije in tal, če pa že niso odstranjena so zelo poškodovana (Slika 9). Na območjih, ki so strojno izravnana, se lahko spremeni število tudi za šest rastlinskih vrst. Posege se poizkuša popraviti s ponovnim sejanjem trave, vendar, da si vegetacija opomore, traja dolgo časa, poleg tega uspeh zasaditve z višjo nadmorsko višino pada (Wipf in sod., 2005).



Slika 9: Na levi je z goseničarjem obdelana smučarska proga, na desni pa neobdelana smučarska proga (College ..., 2010)

Zaradi dela goseničarjev poleti se spremeni struktura tal. Tla, ki so jih planirali goseničarji, zadržijo veliko manj vode od tal, ki niso bila planirana. Vegetacija se bolje obnavlja na tistih delih, ki so bila manj strojno obdelana, saj taka tla zadržijo več vode, ki je dostopna rastlinam (Pintar in sod., 2009).

3.5 VNOS VODE IN IONOV

Posledica produkcije umetnega snega je povečana količina vode in ionov na smučiščih. Na smučiščih z umetnim snegom je lahko tudi do dvakrat ali celo do petkrat več kot na smučiščih, ki so prekriti samo z naravnim snegom. Vode, ki prihaja iz smučišč z umetnim snegom, je do 500 l/m² več kot pri naravnem snegom, ki ni bil steptan. To zelo vpliva na hidrološki sistem in s tem na erozijske procese. Voda, ki se uporablja za izdelavo umetnega snega, se ponavadi črpa iz rek, izvirov, akumulacijskih jezer in je zelo obogatena z minerali in ioni Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺ in NO₃⁻, ki so pomembni za rast in razvoj rastlin (Rixen in sod., 2003).

Glede na vnos vode in ionov se sestava vegetacije spremeni. Umetni sneg lahko vodi do sprememb v mezotrofnem habitatu, posebno na travnikih, ki imajo kratko oprашitev. Rastline, ki so bile prilagojene na suhe razmere z manj dostopnimi hranili, so zamenjale tiste, ki so bolj prilagojene na mokre razmere in imajo večjo potrebo po hranilih (Rixen in sod., 2003).

Na gojenih travnikih ne prihaja do velikih sprememb zaradi večjega vnosa hranil v tla, saj jih že tako gnojijo kmetje. Spremembe pa se vidijo na suhih pašnikih, saj se je vrstna raznolikost zmanjšala za 30%, to pa povzroča predvsem poznejša okopnitev. Vegetacija pašnikov postaja vedno bolj podobna gojenim travnikom (Valenčak Likar, 2006).

3.6 VNOS NUKLEACIJSKIH DODATKOV

Dodatki za nukleacijo snega omogočajo pripravo umetnega snega pri nižjih temperaturah kot sicer, tako se lahko umetni sneg proizvaja že pri -3°C namesto pri -7°C. Že dolgo je znano, da obstajajo jedra, ki omogočajo nastanek ledu. Izredno učinkovita kristalizacijska jedra so prvič odkrili leta 1972 v razgrajenem listju. Sedaj se največkrat uporabljajo neinfektivne fitopatogene bakterije *Pseudomonas syringae*, *Erwinia herbicola* in pa *Xanthomonas campestris* (Rixen in sod., 2003).

Nukleacijske dodatke uporablja več kot polovica smučišč v Severni Ameriki. Smučišča najbolj pogosto uporabljajo nukleacijski dodatek, pod tržnim imenom SNOMAX. Uporaba dodatka SNOMAX se v Alpah od države do države razlikuje. V Nemčiji in Italiji je uporaba nukleacijskih dodatkov popolnoma prepovedana. V Švici in Avstriji je uporaba različna od regije do regije, medtem ko v Franciji glede nukleacijskih dodatkov ni nobenih predpisov. SNOMAX je eden izmed najbolj znanih dodatkov za izdelavo umetnega snega. Učinkovina SNOMAX je bakterija *Pseudomonas syringae*. To bakterijo gojijo v posebnih rezervoarjih, nato zamrzovalno sušijo in s sterilizacijo bakterijo v celoti uničijo. Bakterija deluje kot ledeno jedro, ki povzroča hitrejšo kristalizacijo. Kljub temu, da SNOMAX

uporablja veliko smučišč, še niso raziskani možni dolgoročni škodljivi učinki na živali in rastlinstvo (Cipra International, 2010).

Za utrditev smučarskih prog se uporabljajo razne soli in mineralna kmetijska gnojila. Soli se uporabljajo za utrditev smučišč, zlasti v času smučarskih tekem, da se izboljša kakovost snega na smučarskih progah. Podoben učinek kot ga ima sol v zimskem času na cestah, ga ima tudi na smučarski progi, saj stopi zgornjo plast snega na progi, ki se nato utrdi, in tako spremeni kakovost smučarske proge. Glede na vreme se uporabljajo različne vrste soli. Soli, ki se najbolj pogosto uporablja je amonijev nitrat (NH_4NO_3), amonijev sulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), kalijev klorid (KCl), natrijev klorid (NaCl). Za utrjevanje smučarske proge se uporabljajo tudi urea in pa gnojilo NPK. Redna uporaba NPK lahko poveča skupno biomaso tudi do sedemkrat (Rixen in sod., 2003).

Nukleacijski dodatki lahko vplivajo na ekosistem na različne načine. Uporaba bakterijskih produktov v alpskem okolju je najbolj sporna zaradi patogenih učinkov na rastline od preživelih bakterij ali pa toksinov, ki so v mrtvih bakterijah in pa zaradi povečanega zmrzovanja tkiva rastlin. Zaradi uporabe soli in mineralnih gnojil se taljenje snega zavleče pozno v pomlad, zato rastline kasneje začnejo z svojim razvojem (Rixen in sod., 2003).

4 SKLEPI

Umetni sneg se na smučiščih uporablja že desetletja. V začetku se je uporabljal predvsem zato, da bi v zimah z manjšo količino naravno zapadlega snega omogočili boljšo pripravo smučarske proge. Zime brez snega so se pojavljale že dolgo pred našim časom, vendar pa je popularizacija zimskih športov prinašala vedno večji dobiček, zato so smučišča poskušala smučarsko sezono s pomočjo umetnega snega začeti čimbolj zgodaj in končati kasneje. Vendar ima vsak tak poseg vpliv na naravo in s tem tudi na kmetijstvo. Za umetni sneg in pripravo smučarske proge pozimi je čim boljše, da je zemljišče urejeno in poravnano z težko mehanizacijo. Pripraviti je treba tudi sistem za umetni sneg v zimskem času. S temi posegi se odstrani vegetacija in pa vrhnja plast tal. Da si po takem posegu narava opomore, traja vrsto let. Tla so zaradi tega tudi bolj izpostavljena eroziji. Ker se s pripravo umetnega snega poveča višina snega na progi, se ta pomladi začne pozno taliti na smučišču, kjer se zaradi umetnega snega travniške rastline začnejo z svojim razvojem tudi štiri tedne kasneje. Z večjo količino snega se poveča tudi količina vode, ki se pomladi tali. Pojavljajo se ledene ploskve v snegu, ki zmanjšajo prevodnost snega za pline. Uporaba nukleacijskih sredstev za pripravo snega pri višjih temperaturah, je v nekaterih državah prepovedana zaradi patogenih učinkov preživelih bakterij in toksičnih učinkov mrtvih bakterij. Navsezadnje ima umetni sneg tudi dobre lastnosti na smučišču. Sneg je že od nekdaj znan kot dobro zaščitno sredstvo, ki rastline brani pred nizkimi temperaturami v zimskem času. Zaradi umetnega snega se višina snežne odeje poveča, ta preprečuje mehanske poškodbe na rastlinah. Vendar smučke in teptalci snega lahko povzročijo poškodbe na rastlinah in tleh, če smučarski centri sezono vlečejo pozno v pomlad, saj je takrat snežna odeja že prenizka za obratovanje smučišča. Voda, ki se pomladi tali iz smučišča, vsebuje večjo količino hranil, zaradi raznih dodatkov za utrjevanje smučišč, zato kmetom ni potrebno toliko gnojiti kmetijskih površin.

Pri pregledu literature in glede na rezultate naloge smo prišli do naslednjih sklepov:

- Umetni sneg ima negativen vpliv na travništvo in pašništvo, saj se zaradi kasnejšega taljenja snega, mehanskih poškodb strojev manjša število in pestrost rastlinskih vrst, namenjenih prehrani živali.
- Umetno zasneževanje potrebuje veliko vode. Največ smučišča črpajo vodo iz vodotokov, naravnih in umetnih jezer, vse prevečkrat pa iz zajetji za oskrbo s pitno vodo, izvirov in podtalnice.
- Zaradi velikega pomladanskega odtoka vode iz smučišč prihaja do nevarnosti lokalne erozije in s tem do poškodb kmetijskih zemljišč, ki so tako ali tako preslabo izkoriščena na območju smučišč.
- Gradnjo sistema umetnega zasneževanja je možno opraviti le s težko gradbeno mehanizacijo, ki pusti za sabo dolgotrajne poškodbe v rastlinskem in živalskem svetu, tleh in podobi krajine.
- Nukleacijski dodatki imajo lahko tudi škodljiv učinek na zdravje, kar še ni popolnoma raziskano.
- Čvrsto pritrjene naprave za zasneževanje, ter žičnice in vlečnice tudi v poletnem času kazijo krajino na slovenskih smučiščih kot npr. na Krvavcu, Pohorju, Kranjski Gori, Cerknem, Starem vrhu ter tudi na drugih manjših smučiščih.

- Z vse večjim razmahom zimskih športov in pa spreminjanjem klimatskih razmer se bo umetno zasneževanje na slovenskih in tujih smučiščih povečevalo.
- Na področju vpliva umetnega zasneževanja na živalstvo, rastlinstvo, vodni krog in kmetijstvo so potrebne dolgoročne raziskave po svetu in pri nas.

5 VIRI

- Behringer J., Buerki R., Fuhrer J. 2000. Participatory integrated assessment of adaptation to climate change in Alpine tourism and mountain agriculture. *Integrated Assessment*, 1, 4: 331-338
- Cipra International.
www.cipra.org/pdfs/454_sl/at_download/file (5. avg. 2010)
- College of agriculture and environmental sciences.
<http://www.aes.ucdavis.edu/NewsEvents/web-news/2009/12/ski-runs-are-not-created-equal> (15. avg. 2010)
- Dnevnik.
http://www.dnevnik.si/tiskane_izdaje/dnevnik/227857 (15. avg. 2010)
- Gore in ljudje.
<http://www.gore-ljudje.net/novosti/33013/> (12. avg. 2010)
- Kajfež Bogataj L. 1995. Umetni sneg. *Gea*, 5, 11: 8
- Keller T., Pielmeier C., Rixen C., Gadiant F., Gustafsson D., Stahli M. 2004. Impact of artificial snow and ski-slope grooming on snowpack properties and soil thermal regime in a sub-alpine ski area. *Annals of Glaciology*, 38: 314-318
- Lagoon Systems in Maine. Chick Hill Pollution Control Facility.
<http://www.lagoononline.com/rangeley.htm> (12. avg. 2010)
- Pintar M., Mali B., Kraigher H. 2009. The impact of ski slopes management on Krvavec ski resort (Slovenia) on hydrological functions of soils. *Biologia*, 64, 3: 639-642
- Rixen Ch., Stöckli V., Ammann W. 2003. Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes? A review. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 5: 219-230
- Snowcrystals.com. A Snowflake Primer.
<http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/primer/primer.htm> (12. avg. 2010)
- Valenčak Likar A. 2006. Aktivnost in razvoj rastlin na območju umetno zasneženega smučišča. Magistrsko delo, BF, Oddelek za agronomijo: 114 str.
- Wikimedia Commons.
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Snowflake__Microphotograph_by_artgeek.jpg (15. avg. 2010)
- Wipf S., Rixen Ch., Fischer M., Schmid B., Stöckli V. 2005. Effects of ski piste preparation on alpine vegetation. *Journal of Applied Ecology*, 42: 306-316

ZAHVALA

Za strokovne nasvete, pomoč in razumevanje se zahvaljujem mentorici prof. dr. Lučki Kajfež Bogataj in recenzetki prof. dr. Marini Pintar.

Za vsestransko pomoč in oporo tekom študija se zahvaljujem svoji družini, sošolcem in prijateljem.