

## Zoznam skratiek a značiek (pre technické a prírodné vedy)

t	-	Celziova teplota [°C]
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub>	-	Periódny výkyv
z <sub>1</sub> , z <sub>2</sub>	-	Stála denná a nočná teplota
S	-	Suma zrážok za rok
T	-	Termodynamická teplota [K]
V <sub>c</sub>	-	Spotreba vody z pôdy na výpar a transpiráciu
ČSFR	-	Česká a Slovenská Federatívna Republika
ČR	-	Česká republika
IPCC	-	Medzivládny panel pre klimatickú zmenu
FCCC	-	Rámcový dohovor OSN o klimatickej zmene
GCMs	-	Model všeobecnej cirkulácie atmosféry
GHGs	-	Koncentrácia skleníkových plynov
NKP	-	Národný klimatický program
OSN	-	Organizácia spojených národov
WCP	-	Svetový klimatický program
WMO	-	Svetová meteorologická organizácia
SR	-	Slovenská republika
CH <sub>4</sub>	-	Metán
CO <sub>2</sub>	-	Oxid uhličitý
HFCs	-	Hydrofluórkarbón
H <sub>2</sub> O	-	Voda (resp. vodná para)
N <sub>2</sub> O	-	Oxid dusný
PFCs	-	perfluórokarbón
SF <sub>6</sub>	-	Fluorid sírový
SHMÚ	-	Slovenský hydrometeorologický ústav
SMS	-	Slovenská meteorologická spoločnosť

## ÚVOD

Zamrzanie a rozmrzanie pôdy je dôležitou charakteristikou pôdnej klímy, predovšetkým z hľadiska poľnohospodárskej výroby. Rovnako sa však o tento jav zaujíma i stavebníctvo, doprava a ďalšie vedné odbory a zložky národného hospodárstva.

Zamrzanie, resp. rozmrzanie pôdy vyvoláva ďalšie výrazné zmeny, dôležité predovšetkým z hľadiska prezimujúcich rastlín.

Rozhodujúcim činiteľom pri zamrzaní pôdy je jej vlhkosť, pretože zamrzanie vody v pôde závisí od pevnosti jej väzby, sacieho tlaku a koncentracii solí. Čím vyššia pevnosť väzby vody v pôde, čím vyšší sací tlak pôdy a čím vyššia koncentrácia solí v pôdnej vode, tým je teplota zamrznania pôdy nižšia.

Pri zamrzaní pôdy sa charakterizuje rýchlosť šírenia nízkych teplôt v pôde, hĺbka, intenzita a dĺžka trvania týchto teplôt. Rýchlosť šírenia nízkych teplôt v pôde sa vyjadruje postupom zamrznania od povrchu do hĺbky pôdy v cm za hodinu. Hĺbka premrznania pôdy sa určuje mocnosťou premrznutej pôdy v cm a dĺžka trvania mrazu sa zaznamenáva od nástupu prvého zamrznania v pôde až do jeho ukončenia.

Účinky zamrznania a rozmrznania na pôdu môžu byť pozitívne i negatívne. Pozitívne pôsobí napríklad pri ponechaní ornice na zimu v hrubej brázde, pretože objemovými zmenami podporuje rozpad hrúd a zrelosť pôdy. Veľmi nepriaznivo pôsobí zmena objemu pôdy pri zamrzaní a rozmrzaní na koreňový systém rastlín, najmä ozimín. Pri zamrzaní sa povrch pôdy zdvíha a tento zdvih môže spôsobiť trhanie koreňkov rastlín. Naopak pri rozmrzaní pôda usadá, čo spôsobuje povytáhovanie rastlín.

# 1 SÚČASNÝ STAV RIEŠENEJ PROBLEMATIKY DOMA A V ZAHRANIČÍ

## 1.1 Pôda a jej funkcie v prírode

Pôda je jednou zo základných súčastí životného prostredia človeka a vzhľadom na jej úrodnosť je nevyhnutnou podmienkou pre jeho existenciu. Je produktom dlhodobého biofyzikálneho pretvárania hornín. Vytvárala sa na rozhraní atmosféry, litosféry a hydrosféry.

Je to samostatný, neustále sa vyvíjajúci prírodno-historický útvar, vyznačujúci sa špecifickými znakmi stavby, skladby, vlastnosťami a úrodnosťou (Sotáková, 1981).

Zloženie atmosféry, najmä v prízemnej vrstve, je podstatne ovplyvnené pedosférou. Z pôdy sa dostáva do atmosféry oxid uhličitý, oxidy dusíka, elementárny dusík, amoniak, sulfán, metán a vodné pary. Naopak z atmosféry do pôdy sa dostáva predovšetkým kyslík, ktorý sa uvoľňuje pri fotosyntéze zelených rastlín.

Geosféra, ktorá bezprostredne ovplyvňuje pedosféru je litosféra - zemská kôra. Táto predstavuje vonkajší zemský obal vytvorený pevnými horninovými útvarmi. Povrchové horniny podliehajú zvetrávaniu, pri ktorom nastávajú zmeny v ich zložení, ako dôsledok pôsobenia vody, ľadu, vzduchu, kolísania teplôt a činnosti organizmov.

### 1.1.1 Fyzikálne vlastnosti pôdy

Rozvoj výskumu v oblasti fyziky pôdy podmienil nutnosť rozčlenenia fyzikálnych vlastností na:

1. základné (merná a objemová hmotnosť, priestorové usporiadanie pôdnej hmoty – pórovitosť a štruktúrnosť)
2. vlastnosti charakterizujúce vzťah pôdy k vode, vzduchu a teplu
3. fyzikálno-mechanické (technologické) vlastnosti, akými sú súdržnosť, lipnivosť, konzistencia a pod.

*Merná hmotnosť* – vyjadruje pomer hmotnosti pevnej fázy pôdy k rovnakému objemu vody pri 4 °C. Môžeme ju charakterizovať aj ako hmotnosť jedného cm<sup>3</sup> neporéznej hmoty v gramoch (g.cm<sup>-3</sup>). Hodnoty mernej hmotnosti pôd môžu byť do určitej miery ukazovateľom mineralogického zloženia pôd a obsahu humusu. Sú nevyhnutné pre výpočet pórovitosti pôdy.

*Objemová hmotnosť* – hmotnosť objemovej jednotky pôdy v prirodzenom uložení ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ). Výrazné zmeny v objemovej hmotnosti nastávajú pôsobením prirodzených činiteľov a agrotechnických zásahov. Prirodzené zmeny nastávajú pri zvyšovaní obsahu vody a taktiež pri vysychaní, kedy sa pôda scvrkáva. Výrazné zmeny v objemovej hmotnosti pôd nastávajú pri ich zamrznutí a rozmrznutí.

*Pórovitosť* – charakterizuje ju celkový objem pórov, tvar, veľkosť, rozmiestnenie a priestorová menlivosť. V póroch sa uskutočňujú všetky fyzikálne, fyzikálnochemické, chemické a biologické deje. Sú pre pôdu nesmierne dôležité (Sotáková, 1981).

### **1.1.2 Zrornosť pôdy**

Zrornosť pôdy do značnej miery ovplyvňuje priebeh pôdotvorných procesov a stupeň vývoja pôd. Ovplyvňuje zvetrateľnosť minerálnej zložky, tvorbu ílu, od ktorej závisí formovanie aktívnej koloidnej frakcie, fyzikálno-chemické a chemické deje. Zrornosť podmieňuje vývoj morfológických znakov a hĺbku profilu pôd. So zrornosťou úzko súvisí dynamika pôdnej vody a vodnofyzikálne vlastnosti. Od zrornosti závisí pórovitosť kapilárnych a nekapilárnych pórov.

Zrornosť pôdy prostredníctvom vplyvu na vodný a vzdušný režim pôsobí i na tepelný režim, prejavujúci sa záhrevnosťou. Piesočnaté pôdy sa rýchlo zahrievajú, no i rýchlo ochladnú. Aktívne reagujú na všetky výkyvy teploty ovzdušia, čo môže priaznivo vplývať na vegetáciu. Ílovité pôdy s veľkou vododržnosťou sa zahrievajú veľmi pomaly, i počas vegetácie sú veľmi chladné, ale nereagujú rýchlo na zmeny teploty ovzdušia, v zime často vôbec nepremrzajú. Vplyv zrornosti na tepelný režim pôd sa premieta nie len do ich biologickej aktivity, ale i do všetkých reakcií (Sotáková, 1981).

### **1.1.3 Voda v pôde**

Voda patrí medzi základné zložky povrchu planéty Zem. Z celkovej rozlohy 510 mil.km<sup>2</sup> zemského povrchu zaberá vodná plocha 361 mil. km<sup>2</sup> (71%). Súhrn vody v oceánoch, moriach, jazerách, riekach, ľadovcoch, v pôde a v ovzduší je približne 1 400 mil.km<sup>3</sup> (Antal, Špánik, et al., 2004).

S pedosférou úzko súvisí i vodný obal Zeme – hydrosféra. Poroznosť a priepustnosť pôdy pre vodu umožňuje pôde prijímať atmosférické zrážky a usmerňovať ich ďalší pohyb, spotrebu a chemické pôsobenie. Časť zrážok sa cez vodný výpar a transpiráciu rastlín vracia späť do atmosféry. Pri dostatočnom množstve môže časť

atmosférických zrážok prejsť (infiltrovať) pôdotvornou vrstvou až do podzemných vôd. Povrchový a podzemný odtok zrážkových vôd je výdatným zdrojom vody pre vodné toky, ktoré odtekajú z pevniny do morí a oceánov. Chemizmus hydrosféry je odrazom chemizmu pôdy a jej pôdotvorného procesu. Vo vode rozpustné látky sa dostávajú do hydrosféry prevažne vylúhovaním a eluviovaním a pevné častice povrchovým transportom – eróziou.

Voda sa vyskytuje v pôde v trojakej podobe.

**Adsorpčná pôdna voda** pevne lipne na povrchu pôdných zŕn, viazaná ich elektrostatickými silami. Je neoddeliteľnou súčasťou pôdných zŕn a rastliny ani živočíchy je nemôžu využívať.

**Kapilárna voda** sa vyskytuje v bezštruktúrnej pôde, kde medzi veľmi nepatrnými zrnkami nie sú nijaké pôdne póry, ale iba veľmi jemné kapilárne štrbiny. Voda tu prúdi ľubovoľným smerom, jej tok vždy smeruje od vlhkých miest k suchým miestam. Za dažďa je povrch pôdy mokrá a v hĺbke je pôda suchá, preto voda prúdi do pôdy. Ak zasvieti slnko, povrch pôdy vyschne, potenciál vlhkosti sa obráti a voda prúdi z vlhkých miest v pôde nahor k suchým miestam na povrchu. Pôda rýchle vysychá a zbavená vlhky podlieha erózii. V štruktúrnej pôde s pórami väčšími ako 0,1 mm voda prúdi z povrchu nadol, podriaďuje sa zákonom zemskej príťažlivosti. Preto ju nazývame **gravitačná voda**.

Podľa vzťahu k vode rozlišujeme tri základné vrstvy pôdy. Najvrchnejšia je *prierodná vrstva*. Voda ňou zvolna presakuje, pôdne póry ako filtre zachytia tuhé nečistoty a na povrchu pôdných zŕn zostanú koloidné i mnohé rozpustné látky, ktoré voda unáša so sebou z povrchu. Tým sa voda čistí. Súčasne rozpúšťa v sebe prvky a látky obsiahnuté v pôde, obohacuje sa nimi a celkom mení svoje pôvodné vlastnosti. Časť pôdných pórov zapĺňa vzduch, ktorý dodáva kyslík na rozklad organických i anorganických znečistenín, zanesených vodou do pôdy.

Za prierodnou vrstvou nasleduje *vododarná vrstva*. Voda sa tu hromadí, vyplňa všetky pôdne póry a keďže ďalšia vrstva jej zabraňuje prenikať hlbšie, rozlieva sa do strán. Najhlbšie je *vodonosná vrstva*. Tvorí ju nerozrušená materská hornina, pre vodu nepriepustná (Havlíček, 1986).

## 1.2 Teplota

Teplota je termodynamická veličina, ktorá udáva stav termodynamickej rovnováhy objektu. Môže existovať stav rovnovážny a nerovnovážny: v prvom prípade sa teleso nachádza v termodynamickej rovnováhe vtedy, keď je tepelne izolované od okolitého prostredia, alebo je bilancia tepla na povrchu telesa rovnovážna v prípade, že sa výdaj a príjem tepla rovnajú, teplota sa potom nemení.

V druhom prípade sa teleso nachádza v tepelne vodivom prostredí alebo v spojení s ním, takže potom prechod energie prebieha od telesa s vyššou teplotou k telesu s nižšou teplotou (Havlíček, 1986).

### 1.2.1 Jednotky a stupnice na meranie teploty

Teplota je merateľná preto, že takmer všetky telesá menia pri zahrievaní svoje fyzikálne vlastnosti, napríklad sa pri ohrievaní roztápajú. Teplota látok sa dá určiť podľa zmeny objemu resp. dĺžky. Popri tom sa dá k meraniu využiť elektrický odpor kovov, alebo vznik termoelektrického napätia v spojení dvoch rôznych kovov. Teplotu je taktiež možné určiť podľa vyžarovania telesa. Vyjadruje sa ako termodynamická teplota, jednotkou je *kelvin* (K), ktorý je  $\frac{1}{273,16}$  časťou termodynamickej teploty trojného bodu vody. Najbežnejšie sa teplota vyjadruje v stupňoch *Celzia* (°C), v anglosaskej literatúre v stupňoch *Fahrenheitových* (°F). Termodynamická teplota sa značí T, Celziova t. Vzťah medzi nimi je nasledujúci:

$$t = T - T_0 \quad (1)$$

kde

$$T_0 = 273,16 \text{ K}$$

Pre prevod Fahrenheitových stupňov (°F) platí prevodový vzťah:

$$t \text{ } ^\circ\text{C} = (t \text{ } ^\circ\text{F} - 32) \cdot 0,555 \quad (2)$$

(Havlíček, 1986).

### 1.2.2 Metódy a prístroje na meranie teploty pôdy

Teplota pôdy sa v bežných prevádzkových podmienkach meteorologických staníc najčastejšie meria sklenými teplomermi, vhodne upravenými pre rôzne hĺbky pôdy. Ojedinele sa meria aj manometrickými, odporovými, kovovými, alebo termistorovými teplomermi.

Pre meranie teploty pôdy boli medzinárodne stanovené 4 hĺbky: 0,10; 0,20; 0,50 a 1,00 m. U nás sa v sieti meteorologických staníc merajú teploty pôdy v hĺbkach 0,02; 0,05; 0,10; 0,20; 0,30; 0,50 a 1,00 m. Sada pôdných teplomerov sa umiestňuje v smere východ-západ na trávniku, alebo ornici. Miesto má byť rovné, bez povrchovej alebo spodnej vody, pôda má byť čo najmenej porušovaná. Priestor pred teplomermi sa má chrániť pred ušľapaním mriežkami, alebo inou vhodnou konštrukciou.

#### 1. Pôdne teplomery pre menšie hĺbky

Do hĺbky 0,20 - 0,30 m sa používajú **lomené pôdne teplomery** ortuťové s predĺženými stopkami, ktoré sú nad pôdou zahnuté pod 45° uhlom. To umožňuje pohodlnejšie odčítavanie teplôt. Stopky sa zasúvajú priamo do pôdy, do otvorov vyhlbených špeciálnym vrtákom, nadzemné časti sa podopierajú odpruženými stojanmi.

#### 2. Pôdne teplomery pre väčšie hĺbky

Pre meranie teploty pôdy v hĺbkach väčších ako 0,30 cm sa využívajú **vyt'ahovacie pôdne teplomery**. Majú veľkú teplomernú nádobku s veľkou tepelnou kapacitou, takže veľmi pomaly reagujú na zmeny teploty. Vkladajú sa do rúrok z umelej hmoty na spodnom konci uzavretých čiapočkou s funkciou stabilizovať teplotu počas odčítavania. Takto upravené teplomery sa zasúvajú do rúrok z PVC zakopaných priamo v pôde do príslušnej hĺbky. Týmito teplomermi sa meria teplota pôdy obyčajne v hĺbkach 0,30; 0,50 a 1,00 m (Střelcová, Škvarenina, 2005).

### 1.2.3 Teplota povrchu pôdy

Denný chod teploty povrchu pôdy sa vyznačuje jedným maximom a jedným minimom. Je podmienený zmenami zložiek energetickej bilancie pôdy. Môže však dochádzať k nepravidelnostiam v dôsledku poveternostných zmien. Čím väčšia je tepelná kapacita a tepelná vodivosť pôdy, tým menšia je amplitúda. Tá závisí rovnako na farbe pôdy (tmavé pôdy majú amplitúdu väčšiu než svetlé) a na pokrývke pôdy (porast, sneh), ktorá amplitúdu väčšinou znižuje. Uplatňuje sa taktiež expozícia svahu. Najvýraznejšie

teplotné amplitúdy sú na východných svahoch, ktoré sa ohrievajú v rannej dobe ešte pri nízkej teplote vzduchu, zatiaľ čo ohrievanie povrchu pôdy (rastlín) na ostatných svahoch prebieha už pri vyšších teplotách vzduchu.

Čím väčšia je zemepisná šírka, tým väčšia je ročná amplitúda teploty pôdy. V rovníkových oblastiach je amplitúda pôdných teplôt malá. Výnimku tvorí kontinentálny typ klímy i v nižších šírkach, ako sú stepi, alebo púšte: tu je amplitúda veľká v lete, menšia v zime (Havlíček, 1986).

#### 1.2.4 Teplota hrubších vrstiev pôdy

Vertikálny transport tepla v pôde je závislý predovšetkým na tepelných charakteristikách pôdy. Čiastočne sa pri tom uplatňuje presakujúca voda a obsah pary, ich pohyb aj kondenzácia v niektorej z pôdných vrstiev. Pre teplotné zmeny v pôde sú uvádzané tieto pravidlá:

1. Perióda výkyvov teploty (denná, ročná) je vo všetkých hĺbkach rovnaká.
2. Amplitúda teplotných výkyvov sa s hĺbkou znižuje. Keď sa zväčšuje hĺbka pôdy aritmetickým radom, znižuje sa amplitúda geometrickým radom. Hĺbka, v ktorej zaniká denná amplitúda teploty, je stále hĺbka dennej teploty. Hĺbka, v ktorej zanikajú ročné výkyvy teploty, je hĺbkou stálych ročných teplôt.
3. Hĺbky stálej dennej ( $z_1$ ) a ročnej ( $z_2$ ) teploty pôdy sú v pomere druhých odmocnín períod výkyvu ( $t_1, t_2$ ):

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{\sqrt{t_1}}{\sqrt{t_2}} \quad (3)$$

4. Čas nástupu maxim a minim teploty pôdy sa s hĺbkou oneskoruje. Časové oneskorenie je rôzne podľa tepelnej vodivosti pôdy. V priemere sa denné maximum a minimum oneskorí na každých 10 cm hĺbky o 2,5 až 3,5 hodiny, v ročnom chode sa oneskoruje na 1 m hĺbky o 20 až 30 dní.

Skutočné zmeny teploty pôdy s hĺbkou sú zložitejšie. Tepelná vodivosť pôdy závisí na jej vlhkosti a spôsobe obrábania, ktorý rozhoduje o obsahu vzduchu aj vody. Teplota pôdy v hĺbke, kde klesá ročná teplotná amplitúda na nulu, sa približne rovná priemernej ročnej teplote vzduchu v danom mieste (Havlíček, 1986).



## 1.2.5 Režimy pôd

### 1.2.5.1 Typy vodného režimu

Podľa Rodeho (1956) vychádzajú predovšetkým z hodnotenia koeficientu zavlaženia, vypočítaného zo sumy zrážok za rok  $S$  a zo spotreby vody z pôdy na výpar a transpiráciu  $V_c$ .

1. Režim s večným pôdnym ľadom, s hodnotou  $S/V_c > 1$ , u nás však neprichádza do úvahy
2. Premyvňý typ vodného režimu (perkolačný, permacídny) s hodnotou koeficientu zavlažovania väčšou než 1, z čoho vyplýva, že množstvo zrážok prichádzajúce do pôdy je väčšie než je spotreba vody z pôdy na výpar a transpiráciu.
3. Periodicky premyvňý typ vodného režimu má hodnotu  $S/V_c = 1$ , striedajú sa v ňom obdobia prebytočného a nedostatočného zavlaženia atmosférickými zrážkami.
4. Nepremyvňý typ vodného režimu (inperkolačný, impermacídny) s  $S/V_c = 0,9 - 0,5$ . Príjem vody pôdou sa uskutočňuje iba prostredníctvom atmosférických zrážok, pričom každoročný kolobeh vody sa obmedzuje len na časť pôdneho profilu. Spravidla do horninovej vrstvy nezasahuje, takže sa v nej udržuje veľmi nízka vlhkosť, zodpovedajúca najmenej vodnej kapacite.
5. Výparný typ vodného režimu (respiračný, exudačný) s hodnotou  $S/V_c \leq 0,5$  je charakteristický pre oblasti s intenzívnym výparom a nedostatočným množstvom atmosférických zrážok.
6. Močiarový typ vodného režimu (stagnantný) súvisí s trvalým pôsobením vysokej hladiny podzemnej vody v profile pôdy, pričom povrch pôdy tvorí kapilárne pásmo, alebo i samotná hladina podzemnej vody.
7. Irigačný typ vodného režimu (závlahový) vzniká zásahom človeka do vlhkosti pôd prostredníctvom závlahových vôd.

### 1.2.5.2 Typy tepelného režimu

Na základe bilancie pohlcovania, akumulácie, prenášania a vyžarovania tepla pôdou a východiskových prác Dimova uvádza Bedrna (1973, 1977) nasledujúce typy tepelného režimu pôd:

1. Sústavne mrazový, charakterizuje pôdy so zápornou priemernou ročnou teplotou a s trvalou vrstvou ľadu v profile, nadväzujúcou na stále zamrznuté podložné horniny
2. dlhodobý mrazový, v pôdach chladných oblastí, kde je pôda zamrznutá viac než 5 mesiacov v roku

3. sezónne premrzajúci, charakteristický pre pôdy nachádzajúce sa v oblastiach s dlhším obdobím kladných teplôt, pôda premrzá na 1-5 mesiacov v roku i to iba do malej hĺbky
4. tepelný (nepremrzajúci), vyskytujúci sa v pôdach oblastí, kde sa záporné teploty v priebehu roka v pôdach vôbec nevyskytujú, alebo ak sa vyskytujú, iba niekoľko dní
5. výhrevný (trvalej biologickej aktivity) charakteristický pre pôdy v tropických a subtropických oblastiach, kde priemerná mesačná teplota neklesne počas celého roka pod +10 °C, často i pod +20 °C
6. pareniskový, usmerňovaný vedome človekom, v izolovanom prostredí (Šotáková, 1981).

#### 1.2.5.3 Typy vzdušného režimu

Bedrna (1974, 1977) vyčlenil nasledovné typy vzdušného režimu pôd:

1. nepriedušný – vyskytujúci sa v pôdach s minimálnou vnútropôdnou i mimopôdnou cirkuláciou pôdneho vzduchu,
2. tlmený (priškrtený) – s nepatrnou výmenou vzduchu medzi pôdou a atmosférou v priebehu roka, uskutočňuje sa iba v krátkom období niekoľkých mesiacov,
3. sezónne tlmený – charakteristický pre pôdy v oblastiach s niekoľkomesačnou zimou so snehom. V priebehu vegetácie je cirkulácia vzduchu medzi pôdou a atmosférou intenzívna, však počas zimného obdobia sa pod súvislou, hlbokou snehovou pokrývkou úplne zastavuje,
4. krátkodobý sezónne tlmený – majú všetky pôdy, v ktorých je normálne prúdenie vzduchu medzi pôdou a atmosférou a vo vnútri pôdy každoročne prerušené iba na niekoľko dní alebo týždňov,
5. priedušný – vyskytuje sa v podmienkach trvalej a intenzívnej aerácie pôdy.

### 1.3 Premrzanie pôdy

Ako uvádza V. Pevný (1972), premrzanie a rozmrzanie pôdy je dôležitou charakteristikou pôdnej klímy, predovšetkým z hľadiska poľnohospodárskej výroby. Rovnako sa však o tento jav zaujíma i stavebníctvo, doprava a ďalšie vedné odbory a zložky národného hospodárstva.

Bod tuhnutia vody je závislý na koncentrácii látok v nej rozpustených. Iba prevzdušnená, chemicky čistá (destilovaná) voda tuhne pri 0 °C. Látky rozpustené vo vode

znižujú tuhnutie vody. Ich koncentrácia je v pôdnej vode rôzna a závisí predovšetkým od množstva vody v pôde.

Premrzanie, resp. rozmrzanie pôdy vyvoláva ďalšie výrazné zmeny, dôležité predovšetkým z hľadiska prezimujúcich rastlín.

a) Zmeny objemu pôdy. Vznikajúci ľad zväčšuje svoj objem o 1/11. Pôda sa zdvíha, natáhuje, alebo pretrháva korene rastlín. Striedanie mrazov má za následok i striedanie zmien objemu pôdy v dôsledku čoho dochádza k vyťahovaniu rastlín z pôdy. Je to škodlivý jav hlavne u obilnín. K vyťahovaniu rastlín dochádza niekedy i pri slabých mrazoch, kedy sa na povrchu pôdy vytvorí tenká vrstva ľadu, ktorá primrzá k nadzemným časticiam rastlín. Táto vrstva narastá zospodu, dvíha sa a vyťahuje rastliny. Na suchších pôdach, pri drobnohrudkovej štruktúre a pod snehovou prikrývkou je nebezpečie vyťahovania rastlín menšie.

b) Zmeny stavu pôdy. Premrzanie pôdy sa neoznačuje ako osobitný prvok pôdnej klímy, môžeme ho teda označovať ako stav pôdy v zimnom období. V našich klimatických podmienkach sa vyskytuje iba sezónne premrzanie pôdy, ktorého priebeh rozdelil Koloskov na štyri etapy:

1. etapa ochladzovania pôdnej vody k bodu jej tuhnutia. Trvá od poklesu teploty na 0 °C do začiatku tvorby ľadu,
2. etapa začína v okamžiku vzniku ľadových kryštálov a končí začiatkom zväčšenia objemu pôdy. V tejto etape pôda stuhe,
3. etapa začína v okamžiku zväčšenia celého objemu pôdy a končí úplným zamrznutím všetkej voľnej vody. Pôda dosahuje maximálny objem.
4. pri ďalšom znižovaní teploty začína pôda znižovať svoj objem a deliť sa mrazovými trhlinami na vertikálne prizmy.

c) Hromadenie zásob zimnej vlahy v premrzlej vrstve pôdy na úkor hlbších vrstiev. K postupnému zvlhčovaniu pôdy a narastaniu ľadu na spodnej hladine premrznutej vrstvy pôdy dochádza difúziou vodnej pary z hlbších vrstiev v dôsledku potenciálneho spádu pri rôznej tenzii nasýtených vodných pár nad ľadom a vodou.

Špeciálne sa otázkami vplyvu záporných teplôt na pôdu zaoberá osobitné odvetvie pôdozvedectva – kryopedológia. Celá oblasť zemskeho povrchu, kde dochádza k premrzaniu pôdy sa nazýva kryolitozóna (Tolstichin, 1941). Delí sa na oblasti s premrzaním:

1. krátkodobým – v rozsahu hodín až dní

2. sezónnym – kde pôda mrzne iba v zimnom období, resp. pretrváva najviac jedno teplé obdobie
3. viacročným – kde premrznutie zotrúva 2 a viac rokov
4. dlhodobým – trvajúcim 100 a viac rokov

Na Slovensku pôda v priemere premrúza pod snehom do hĺbky 30 – 40 cm, pri slabej vrstve snehu, alebo bez nej až do hĺbky 80 – 120 cm. Snehová pokrývka má dobré tepelno – izolačné vlastnosti. Chráni pôdu aj rastliny pred extrémnymi mrazmi a pred vysušovaním.

Hĺbka premrúzania pôdy závisí na rôznych činiteľoch, ako sú vlhkosť pôdy, snehová a rastlinná pokrývka, štruktúra pôdy a reliéf terénu. Rozlišujeme teda tieto stavy premrúzania:

- a) polo premrznutá pôda je vtedy, keď nastáva rovnovážny stav heterogénneho systému – voda – ľad – pôda.
- b) Tvrdo zamrznutá pôda je vtedy, keď dôjde k zväčšeniu objemu pôdy (Pevný, 1972).

Pri zamrúzaní a rozmrúzaní pôdy sa charakterizuje rýchlosť šírenia nízkych teplôt v pôde, hĺbka, intenzita a dĺžka trvania týchto nízkych teplôt. Rýchlosť šírenia mrazu sa vyjadruje postupom zamrúzania od povrchu do hĺbky pôdy v cm za hodinu. Hĺbka premrúzania pôdy sa určuje mocnosťou premrznutej pôdy v cm a dĺžka trvania mrazu sa zaznamenáva od nástupu prvého zamrúzania v pôde až do jeho ukončenia.

Rozhodujúcim činiteľom pri zamrúzaní pôdy je jej vlhkosť. Zamrúzanie vody v pôde závisí od pevnosti jej väzby, sacieho tlaku a koncentracii solí. Čím vyššia pevnosť väzby vody v pôde, čím vyšší sací tlak pôdy a čím vyššia koncentrácia solí v pôdnej vode, tým je teplota zamrúzania pôdy nižšia.

Rozmrúzanie pôdy sa uskutočňuje odlišným spôsobom ako zamrúzanie. Pri zamrúzaní pôdy sa uskutočňuje tuhnutie jedným smerom, t.j. od povrchu do spodu. Rozmrúzanie sa však uskutočňuje súčasne v dvoch smeroch – od povrchu do spodu a naopak. Toto dvojsmerné rozmrúzanie je spôsobované zvýšeným otepľovaním povrchu pôdy na jar, postupujúcim do hĺbky a teplotou, ktorá prúdi z nezamrznutej spodiny nahor, k zamrznutej vrstve.

Účinky zamrzania a rozmrzania na pôdu môžu byť pozitívne i negatívne. Pozitívne pôsobí napríklad pri ponechaní ornice na zimu v hrubej brázde, pretože objemovými zmenami podporuje rozpad hrúd a zrelosť pôdy. Veľmi nepriaznivo pôsobí zmena objemu pôdy pri zamrzaní a rozmrzaní na koreňový systém rastlín, najmä ozimín. Pri zamrzaní sa povrch pôdy zdvíha a tento zdvih môže zapríčiniť trhanie koreňov. Naopak pri rozmrzaní pôda usadá, a to spôsobuje povytáhovanie rastlín (Sotáková, 1981).

### 1.3.1 Jarné a jesenné mrazy

Na jar a v jeseni, keď už nie sú celodenné mrazy, prichádzajú mrazy v noci, väčšinou nad ránom, a veľmi ohrozujú skorú vegetáciu, alebo na jeseň nezozbieranú úrodu. Tieto nočné mrazy sa vo vegetačnej dobe nazývajú mrazíky. Sú zvlášť nebezpečné na jar po teplých dňoch, v ktorých vývoj skorých kultúr silne pokročil. Tieto mrazíky sú spôsobené predovšetkým silným efektívnym vyžarovaním, taktiež pri advekcii vzduchu, ktorého teplota ani počas dňa nie je príliš vysoko nad nulou. Pretože rozhoduje vyžarovanie tepla z pôdy, mrazíky sú najsilnejšie pri jasnej, bezoblačnej noci, bez vetra. Vzduch v prízemnej vrstve po celú noc odovzdáva teplo chladnúcemu povrchu pôdy a zostáva naďalej pri zemi, alebo je ochladený, a preto ťažší. Stáva sa, že na povrchu pôdy je teplota o 2 až 6 °C nižšia, ako vo výške 2 m nad povrchom.

Najviac ohrozené sú údolia, lebo do nich tento ochladený vzduch pri zemi ešte priteká zo svahov, zaplňuje údolie a uzavreté polohy, z ktorých je zlý odtok, a tvorí „jazera“ studeného vzduchu s veľmi vysokou hladinou. Také miesta nazývame „mrazové kotliny“. Polohy na kopcoch sú menej ohrozené, lebo odtekajúci studený vzduch je nahrádzaný teplejším z vyšších vrstiev.

V tomto prípade sa uplatňujú vlastnosti pôdy, ako malá tepelná vodivosť pôdy a taktiež malé objemové špecifické teplo, ktoré mrazíky zväčšujú (Uhlíř, 1961).

Podľa príčin vzniku sa rozlišujú tri druhy jarných a jesenných mrazov (mrazíkov):

1. **mrazy radiačné** – vznikajú radiačným ochladzovaním, pričom poklesne teplota povrchu pôdy a príľahlej vrstvy vzduchu pod 0,0 °C. Vznik týchto mrazov podporuje jasný obloha a bezvetrie, analogicky, ako u radiačnej inverzie. Vtedy sú straty tepla efektívnym vyžarovaním väčšie ako príjem, turbulentná výmena tepla je veľmi malá. Takéto podmienky bývajú v oblastiach vysokého tlaku – anticyklónach. Vzniku

radiačných mrazov bránia veľká oblačnosť, vyššia vlhkosť vzduchu i pôdy, vietor, hmla a dážď.

2. **mrazy advektívne** – vznikajú prenikaním studených vzduchových hmôt z arktických oblastí nad určité záujmové územia. Sú obyčajne silnejšie ako mrazy radiačné, niekedy spôsobujú katastrofické škody v ovocinárstve a vo vinohradníctve.
3. **mrazy advektívno – radiačné** – vznikajú kombináciou oboch týchto fyzikálnych dejov.

Podľa stupňa záporných teplôt sa mrazy delia na:

- **slabé** (s teplotou pri zemi do  $-2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- **silné** (do  $-4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- **veľmi silné** (do  $-6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

(Špánik, 2004).

### 1.3.2 Prístroje na meranie premrznania pôdy

Na určenie hĺbky premrznutia môžeme využiť tieto metódy:

#### 1. Meranie premrznutej pôdy v sonde

Ide o veľmi prácnu, ale najpresnejšiu metódu. Hĺbka premrznutia je priamo meraná v cm. Pre prácnosť výkopu väčších sond sa niekedy používajú rôzne typy sondážnych tyčí.

#### 2. Pôdny mrazomer (kryometer podľa Danilina)

Tento prístroj je súčasťou merania na klimatologických staniciach. Mrazomer sa skladá z gumovej hadice s priemerom asi 8 mm. Označenie stupnice je po cm. V hadici je pruh penovej gummy a je naplnená destilovanou vodou. Zasúva sa do trvale zapustenej novodurovej trúbky, ktorá hadicu chráni pred poškodením. Nad povrchom je krytá záklopkou. Hĺbka zapustenia hadice je označená ryskou. Umiestnenie mrazomeru by malo byť v blízkosti pôdnych teplomerov, na mieste nezatienenom, s trávnatým povrchom.

Meranie sa uskutočňuje každý deň, a to po prečítaní údajov na pôdnych teplomeroch. Vlastnú hĺbku premrznutia zisťujeme hmatom. V hĺbkach, kde nie je pôda premrznutá, je hadica mäkká. Vzhľadom k inverzii teplôt pôdy počas dňa môže dôjsť k situácii, keď sa ľadové kryštáliky vyskytujú vo väčších hĺbkach. Tu plní funkciu penová guma v hadici, vďaka ktorej nemôžu kúsky ľadu stúpať hore, ako by zodpovedalo ich hustote. Hĺbku premrznutia zisťujeme s presnosťou na cm.

Je treba zdôrazniť, že meranie hĺbky premrzania pôdnym mrazomerom je menej presné, ako meranie v sonde. Je to dané využitím vody ako meracieho média. Jej bod tuhnutia sa líši od bodu tuhnutia pôdneho roztoku.

### *3. Pôdny monolit*

Pri tomto postupe ide o meranie hĺbky na pripravenom pôdnom monolite. Tento monolit je uložený v nosnom puzdre, ktoré umožňuje spojenie monolitu s pôdou. Dosahujeme toho tým, že dno a steny sú dierované, alebo je použité pevnejšie sito a pod. Jedna stena, určená k meraniu, je prístupná vďaka odklopiteľnosti krytu. Monolit zasúvame do pôdy. Steny výkopu v pôde sú chránené krytom, ktorý spĺňa podmienky pre voľný pohyb vody v pôde. Pri starostlivej príprave je medzera medzi monolitom a pôdnym otvorom asi 1 mm. Je chránená pred vonkajšími vplyvmi krytom. Pomocou pôdneho monolitu môžeme určovať rôzne fázy premrzania pôdy. Nevýhodou je prácnosť merania.

### *4. Interpolácia z údajoch pôdných teplomerov*

Premrzanie pôdy sa zisťuje podľa nameraných teplôt v pôdnom profile. Táto metóda je málo presná, pretože pôdny roztok nezamŕza pri teplote 0 °C, ale pri nižších teplotách, v závislosti od koncentrácie solí v pôdnej vode (Šiška, Špánik, Repa, et al. 2005).

## **1.4 Podnebie**

Podnebie alebo klíma je dlhodobý režim atmosférických dejov (počasí) určitého miesta alebo územia podmienený slnečným žiarením, povrchom, atmosférickou cirkuláciou, energetickou bilanciou systému Zem – atmosféra a ľudskými zásahmi. Tento „režim“ je predovšetkým daný súborom meteorologických prvkov ako teplota vzduchu, zrážky, slnečné žiarenie, vietor, oblačnosť a pod. Štúdiom podnebia sa zaoberá klimatológia (Špánik, Šiška, 2006).

### **1.4.1 Podnebie Zeme**

Rozmanitosť klimatogenetických faktorov zúčastňujúcich sa na tvorbe klímy Zeme spôsobila, že sa na zemskom povrchu vytvorili najrozmanitejšie klimatické pomery. Orientáciu v tejto rozmanitosti umožňuje klasifikácia klímy. Doteraz bolo vytvorených mnoho klasifikácií Zeme, podľa rôznych klasifikačných metód a kritérií. L.S. Berg pri

klasifikácii klímy Zeme vychádzal z charakteristických krajinnno-geografických znakov a od nich závislého prevládajúceho rastlinstva, druhu pôdy a pod. B. P. Alisov navrhol klasifikáciu klímy Zeme podľa pomerov všeobecnej cirkulácie atmosféry (Lapin, Tomlain, 2001).

Zvlášť rozšírená je klasifikácia, ktorú navrhol W. Köppen a ktorá doteraz prešla viacerými úpravami. Je založená na schéme A – tropická klíma, B – suchá klíma, C – mierna klíma, D – boreálna (snehová) klíma, E – polárna (studená) klíma a F – snehová klíma (klíma večného snehu a ľadu) (Tomlain, 2001).

#### **1.4.2 Podnebie Európy**

Európa leží prevažne v miernom podnebnom pásme. Prevláda tu západné prúdenie. Na podnebie Európy má výrazný vplyv Atlantický oceán, Gofský prúd, Stredozemné more, vysoké horstvá (Pyreneje, Alpy, Karpaty a i.), ktoré tvoria tzv. klimatické priehradu a brzdia prenikaniu studených vzduchových hmôt na juh. Podnebie Európy sa delí na päť oblastí: stredozemná, atlantická, oblasť prechodného podnebia stredoeurópskeho, oblasť kontinentálneho podnebia východoeurópskeho a oblasť polárneho podnebia severoeurópskeho (Špánik, 2006).

#### **1.4.3 Podnebie Slovenska**

Slovensko leží v oblasti prechodného podnebia stredoeurópskeho. Prevláda tu prechodný typ mierneho pásma klímy. Na západe a severozápade sa uplatňuje vplyv Atlantického oceánu, na juhu a východe vplyv Stredomoria a Euroázie.

Veľmi výrazným klimatogenetickým faktorom je veľká orografická členitosť územia Slovenska. Horské pásma ako Karpaty, Javorníky, Vysoké Tatry, Nízke Tatry a iné, tvoria klimatické priehradu, ktoré výrazne ovplyvňujú charakter počasia a podnebia. Západná časť má približne vyvážený vplyv maritimity a kontinentality. Smerom na východ vplyv kontinentality narastá až na 55%. To sa v konečnom dôsledku prejavuje extrémnejšou klímou – chladnejšími zimami, dlhším a teplejším letom, menšou oblačnosťou, dlhším slnečným svitom a pod. (Tomlain, 2001).



## 1.5 Klimatická zmena

Ako uvádza prof. Lapin (2004), pod pojmom „klimatická zmena“ sa rozumie: „komplex zmien klímy vyvolaných antropogénne podmieneným zosilnením skleníkového efektu atmosféry, nezahrňujeme sem prirodzené zmeny a premenlivosť klímy (pokiaľ ich možno odlíšiť).“

Klimatická zmena je teda termín používaný na popis negatívneho klimatického dopadu globálneho otepľovania na našu planétu.

Prof. Lapin ďalej uvádza tieto definície:

**Zmeny klímy (klimatické zmeny)** – tento termín sa v minulosti používal pre všetky zmeny súvisiace s klímou; v súčasnosti sa podľa IPCC (Medzivládny panel pre klimatickú zmenu) takto nazývajú už len zmeny klímy prirodzeného charakteru, teda najmä zmeny v minulých geologických dobách Zeme (milióny až stovky miliónov rokov), ľadové doby (desaťtisíce až milióny rokov), sekulárne zmeny (stovky rokov), niekedy aj nízko-frekvenčné kolísanie klímy (desiatky rokov).

**Premenlivosť klímy** – klimatické pomery, charakterizujúce stredovými, rozptylovými, trendovými a cyklickými charakteristikami – rozptylové charakteristiky reprezentujú premenlivosť klímy (smerodajná odchýlka, kvantily (ak hovoríme o jednom kvantile, ide o stredovú charakteristiku), intersekvenčná premenlivosť...). Premenlivosť klímy môžeme podobne charakterizovať aj pre dlhšie časové obdobia ako jeden rok, tiež pri použití rôzne dlhých časových období pre hodnoty vstupných údajov spracovania (10 minút, hodina, deň, dekáda, sezóna, rok, 5 rokov, 10 rokov, 30 rokov, a iné...). Za určitú zvláštnosť sú považované náhle veľké zmeny klímy.

**Kolísanie klímy** – prirodzené kolísanie klimatických charakteristík je dané predovšetkým solárnou klímou (ročný chod, 11-ročný cyklus...), iné cykly súvisia s cykličnosťou niektorých klimatotvorných procesov napr. el Niño (relatívne teplý a úzky prúd v Tichom oceáne, objavujúci sa okolo Vianoc. Súčasne dochádza k zmene tlaku vzduchu medzi východnou a západnou časťou v okolí rovníka a zmene smeru vetrov fúkajúcich v tejto oblasti. Mimoriadne silne sa pretvárajúce El Niño javy, vedú ku vzniku tropických cyklónov v juhozápadnom a strednom Pacifiku), okrem ročného chodu sú všetky vyjadrené veľmi slabo, cyklus ľadových dôb má na severnej pologuli periódu okolo 100 000 až 120 000 rokov, za nízko-frekvenčné cykly sa považuje kolísanie s periódou dlhšou ako 11 rokov. Všetky dlhšie cykly sa iba obtiažne dajú identifikovať v súboroch

pozorovaných alebo meraných údajov. Trend je niekedy iba časťou nejakého cyklu (Lapin, Tomalin, 2001).

### 1.5.1 Príčiny klimatických zmien

Názory na príčiny klimatických zmien sa líšia. Je predložených viacero hypotéz, z ktorých ani jedna nie je ako jediná správna.

#### - *hypotézy založené na postulovaných faktoroch*

Sú to faktory, ktorých pôsobenie sa predpokladá, ale nedokazuje (kolísanie zmeny solárnej konštanty, kolísanie slnečnej aktivity, terestriálne príčiny).

#### - *hypotézy založené na analýze existujúcich faktorov*

– Astronomická hypotéza – vychádza zo zmien orbitálnych parametrov (zmena sklonu zemskej osi k rovine ekliptiky s periódou 41 000 rokov, zmena dĺžky perihélia s periódou 21 000 rokov, zmena excentricity zemskej orbity s periódou 100 000 rokov). Spoločným pôsobením týchto parametrov môže dôjsť k výskytu zložitých fluktuácií klímy na rôznych častiach Zeme, čím sa dá čiastočne vysvetliť vznik ľadových dôb.

- Orografická hypotéza – zakladá sa najmä na tektonických pohyboch zemskej kôry, ktoré na morskom dne môžu značne ovplyvniť charakter morského prúdenia. To má v klimatickom systéme neprehliadnuteľný význam (hlbokomorské prúdenie značne prispieva k distribúcii energie na Zemi, lebo ovplyvňuje charakter povrchových morských prúdov).

#### - *hypotézy založené a štúdiu reálne prebiehajúcich procesov s uvažovaním spätných väzieb*

Patrí tu teória o samovoľnom raste ľadovcov, ktorá tvrdí, že stačí malé ochladenie vo vysokých zemepisných šírkach a zaľadnenie začne samovoľne narastať. Na vznik zaľadnenia je však potrebné dostatočné množstvo atmosférických zrážok v tuhom skupenstve. Svetový oceán v vysokých zemepisných šírkach výrazne určuje distribúciu tepla od tropických oblastí k vysokým šírkam a to prostredníctvom povrchových a hlbokomorských prúdov. Zmeny CO<sub>2</sub> v atmosfére vedú k zmene jej skleníkového efektu a tým aj zmenám globálneho priemeru teploty vzduchu v prízemnej vrstve atmosféry.

Klimatický systém je pseudotranzitívny. Znamená to asi toľko, že z rovnakých počiatočných podmienok sa môže (ale nemusí) vyvinúť úplne odlišná konečná

poveternostná situácia, ale tiež odlišná klíma. Závisí to zrejme od kombinácie viacerých klimatotvorných procesov náhodného charakteru, ktoré sa nedajú jednoznačne opísať matematickým aparátom. Preto nie je možné v niektorých prípadoch ani jednoznačne určiť príčinu náhlych zmien klímy (Lorenz, 1967).

### 1.5.2 Skleníkový efekt

Emisiu škodlivých prímiesí do atmosféry je možné z klimatologického hľadiska rozdeliť minimálne do troch skupín:

- *prímiesi zabraňujúce prenikaniu priameho slnečného žiarenia na zemský povrch* – aerosóly (sadze, dusičnany, sírany, vulkanický prach, pusté piesky)

- *prímiesi poškodzujúce ozonosféru* – halogénované uhl'ov vodíky (freóny, halóny atď.), ktoré sa v stratosfére rozkladajú na komponenty deštruktujúce ozonosféru, čím dochádza k zosilneniu UV žiarenia aj na zemskom povrchu

- *prímiesi zosilňujúce skleníkový efekt atmosféry* – najmä skleníkové plyny ( $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ,  $O_3$ , freóny, halóny, perfluorkarbóny), teda radiačne aktívne plyny, ktoré absorbujú dlhovlnné vyžarovanie Zeme a spôsobujú zosilňovanie prirodzeného skleníkového efektu atmosféry, čiže globálne otepľovanie prízemnej vrstvy atmosféry (IPCC, 1995; Marečková a kol., 1997).

Rastúci skleníkový efekt spôsobuje zvyšovanie koncentrácie skleníkových plynov (GHGs) v atmosfére. Najviac ho ovplyvňuje nárast koncentrácie  $CO_2$ . Následok je zmena bilancie dlhovlnného žiarenia – atmosféra viac absorbuje a tým sa viac ohreje a tiež aj viac spätne vyžaruje smerom k zemskému povrchu, ktorý sa viac zohreje a aj viac vyžaruje. Konečný dôsledok je vyššia teplota v prízemnej vrstve atmosféry, pričom celkové žiarenie Zeme ostáva nezmenené. Rast teploty v prízemnej vrstve spôsobí aj rast koncentrácie vodnej pary v atmosfére a pravdepodobne aj rast hustoty oblačnosti.

Zvyšovanie koncentrácie skleníkových plynov je možné priradiť dôsledkom ľudskej činnosti. Najvyššie koncentrácie najdôležitejších skleníkových plynov -  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$  a troposférický ozón, vznikli najmä spaľovaním fosílnych palív, intenzívnym poľnohospodárstvom a krajinným zmenám. Extrémny scenár, ktorý môže nastať po nekontrolovanom raste spotreby fosílnych palív, predstavuje až 5,8 °C oteplenie oproti prirodzenému globálnemu priemeru teploty vzduchu v prízemnej vrstve atmosféry.

Podľa výpočtov je zrejmé, že 10% zväčšenie koncentrácie CO<sub>2</sub> v atmosfére spôsobí rast priemernej ročnej teploty vzduchu pri povrchu Zeme o 0,2 až 0,3 °C. Za posledných 100 rokov vzrástla koncentrácia CO<sub>2</sub> o 35% a do roku 2075 sa predpokladá zdvojnásobenie tejto koncentrácie, čo vyvolá rast teploty vzduchu o 1,5 až 3,5 °C. To by znamenalo, že v rovníkových oblastiach sa bude teplota meniť minimálne, no vo vysokých zemepisných šírkach môže nastať na pevnine zvýšenie teploty až o 5 °C. (Antal, Špánik et al, 1999).

Modelové výpočty predpovedajú nárast úhrnu atmosférických zrážok, z dôvodu vyššieho výparu z vodných plôch z oceánov. Naopak, zmenšenie úhrnu atmosférických zrážok sa predpokladá v stredných zemepisných šírkach, v dôsledku zmien všeobecnej cirkulácie atmosféry a polohy polárnej frontálnej zóny.

Predpokladá sa intenzívnejšie oteplenie v polárnych oblastiach a miernejšie v subtrópoch. Z toho vyplýva zmenšenie rozdielov v teplote vzduchu v smere poludníka a tým aj zoslabenie polárnej frontálnej zóny (v súčasnosti sa v chladnom polroku nachádza nad Európou južne od Álp a zapríčiňuje južné frontálne poruchy, ktoré prinášajú výdatné zrážky do strednej Európy).

Zníženie meridionálnych gradientov teploty pravdepodobne povedie k zoslabeniu prenosu vodnej pary z oceánu do vnútrozemia, z čoho vyplýva celkové zmenšenie množstva zrážok v strednej Európe.

### **1.5.3 Dohovory a záväzky SR súvisiace so zmenou klímy**

#### *Svetový klimatický program (WCP)*

- WCP bol prijatý na 8. zasadaní Kongresu Svetovej meteorologickej organizácie (WMO) v roku 1979. V decembri 1988 prijalo Valné zhromaždenie OSN rezolúciu „Ochrana klímy Zeme pre súčasnú a budúcu generáciu ľudstva“, ktorá vyzýva vlády, medzivládne a nevládne inštitúcie k prednostnému venovaniu pozornosti štúdiu zmien klimatického systému Zeme.

#### *Konferencia OSN o životnom prostredí a rozvoji*

- konala sa Rio de Janeiro v júni 1992 a bola vyvrcholením úsilia medzinárodných organizácií a vlád v oblasti globálnych environmentálnych problémov. Problematiku klimatickej zmeny bezprostredne rieši „Rámcový dohovor OSN o klimatickej zmene“ (FCCC) a „Agenda 21. storočie“. Slovenská republika podpísala FCCC dňa 19. mája 1993

v New Yorku a po ratifikácii koncom augusta 1994 sa stala 89. právoplatným členom FCCC. Tým sa Slovenská republika ako aj ostatné štáty zaručili plniť nasledujúce záväzky:

- robiť inventarizáciu emisie a záchytu skleníkových plynov (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O a i.),
- zabraňovať zbytočným únikom skleníkových plynov z rezervárov a kontajnerov,
- redukovať spotrebu skleníkových plynov,
- pripravovať sa na adaptáciu proti dôsledkom očakávanej zmeny klímy,
- v strategických zámeroch prihliadať na možné zmeny klímy v budúcnosti,
- podporovať výskum zameraný na zmiernenie rizika očakávanej zmeny klímy,
- podporovať informovanosť o príčinách možných dôsledkov očakávanej zmeny klímy v najbližších desaťročiach,
- informovať príslušné medzinárodné inštitúcie o realizácii opatrení.

Konečným cieľom FCCC je stabilizácia koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére na úroveň, ktorá by umožnila predísť dôsledkom interakcie ľudstva a klimatického systému. (Špánik, 1997).

V rámci Svetového klimatického programu sa zriadili Národné klimatické programy. V bývalej ČSFR bol takýto program prijatý rozhodnutím Federálneho ministerstva životného prostredia k 1. januáru 1991 a k začiatku roku 1993 sa z neho vyčlenil Národný klimatický program SR. (Antal, Špánik et al 1999).

Obdobie od prijatia Rámcového dohovoru o klimatickej zmene možno charakterizovať ako obdobie zvýšeného úsilia o sformovanie efektívnej stratégie znižovania emisií skleníkových plynov do právne záväznej podoby. Ďalšou dôležitou súčasťou tohto obdobia bola snaha zapojiť do užšej spolupráce pri riešení problematiky globálneho otepľovania aj rozvojové krajiny.

### *Kjótsky protokol*

Úsilie expertných skupín a rokovaní konferencií nakoniec vyústilo do prijatia kvantifikovaných redukčných emisných cieľov pre štáty Prílohy I Dohovoru na Tretej konferencii zmluvných strán v decembri 1997 v japonskom Kjóte.

V máji 2002 SR ratifikovala „Kjótsky protokol“. Podľa znenia záverečného protokolu z Kjóta sa krajiny Prílohy I dohodli na znížení výslednej emisie všetkých šiestich skleníkových plynov (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs a SF<sub>6</sub>) v priemere o 5,2% z úrovne roka 1990 počas cieľového obdobia rokov 2008-2012. Slovenská republika,

rovnako ako EÚ, prijala záväzok na 8% zníženie v porovnaní s úrovňou emisií v základnom roku 1990.

Európska únia v záujme splnenia tohto záväzku prijala v októbri 2003 smernicu 2003/87/ES, ktorou sa ustanovuje schéma obchodovania s emisnými kvótami skleníkových plynov a ktorou sa dopĺňa smernica 96/61/ES o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania. Slovenská republika ako členský štát bola povinná túto smernicu transponovať do národnej legislatívy a následne implementovať. Slovensko transponovalo smernicu zákonom 572/2004 Z.z. o obchodovaní s emisnými kvótami. Jedným z prvkov smernice je potreba prideliť kvóty skleníkových plynov jednotlivým zdrojom emisií prostredníctvom národného alokačného plánu (Národný alokačný plán na roky 2005-2007, 2005).

### *Kodanská dohoda*

Kodanská dohoda je nový klimatický dohovor, ktorý má nahradiť Kjótsky protokol, ktorého platnosť vyprší v roku 2012. Návrh klimatickej dohody bol vypracovaný na summite OSN v Kodani a neobsahuje zmienku o konci roka 2010 ako o konečnom termíne pre dosiahnutie právne záväzného dohovoru.

Nový text obsahuje predchádzajúce ciele, ako napríklad: obmedziť zvýšenie teploty na Zemi maximálne o dva stupne Celzia oproti teplote z predpriemyselného obdobia, a tak odvrátiť najhoršie dopady globálneho otepľovania, ako sú záplavy, vlny horúčav, vyhynutie živočíšnych druhov a zdvíhanie hladiny oceánov.

Dohoda nehovorí o emisných cieľoch do roku 2020 a nedefinuje ani dlhodobú víziu pre obdobie do roku 2050. Vychádza z návrhu, ktorý predstavila skupina piatich krajín pod vedením USA (India, Čína, Brazília, Juhoafrická republika, USA).

V rámci rokovaní sa navrhlo vytvorenie Kodanského zeleného klimatického fondu, kde Kodanská dohoda zabezpečila dodatočnú finančnú pomoc na klimatické projekty v období rokov 2010 – 2012. Ide o peniaze na tzv. „rýchlo začínajúce“ projekty, ktoré budú realizované v najchudobnejších krajinách a ich cieľom bude pomoc v prispôbovaní sa zmenenému podnebiu. Druhoradým cieľom bude znižovanie produkcie emisií. Toto financovanie by malo sčasti obmedziť i ťažbu dreva, ktorá je príčinou deforestrácie. Až 15% nárastu koncentrácie CO<sub>2</sub> v atmosfére sa pokladá za priamy dôsledok znižovania rozlohy dažďových pralesov a iných lesov.

USA však trvá na tom, že poskytne klimatickú finančnú pomoc len tým krajinám, ktoré umožnia medzinárodnej komisii overiť, ako sa s nimi nakladá. S týmto nesúhlasí

najmä Čína, ktorá vyhlásila, že takýto mechanizmus by bol hrubým zásahom do jej štátnej suverenity. V záverečnom kodanskom dokumente je stanovené, že overovanie bude vo všeobecnosti vecou domácich opatrení a mechanizmov s výnimkou, ak sa projekt bude realizovať v rámci medzinárodnej finančnej schémy; v takom prípade bude kontrolárom medzinárodná komisia.

Kodanská dohoda ukladá národným delegátom povinnosť do konca januára 2010 predstaviť národné plány na boj s emisiami a predložiť ich OSN. Separátny text hovorí o konci roka 2010 (konferencia COP16) ako o vypracovaní ďalších návrhov, no v dokumente nie je písané, že by to mal byť návrh právne záväznej dohody.

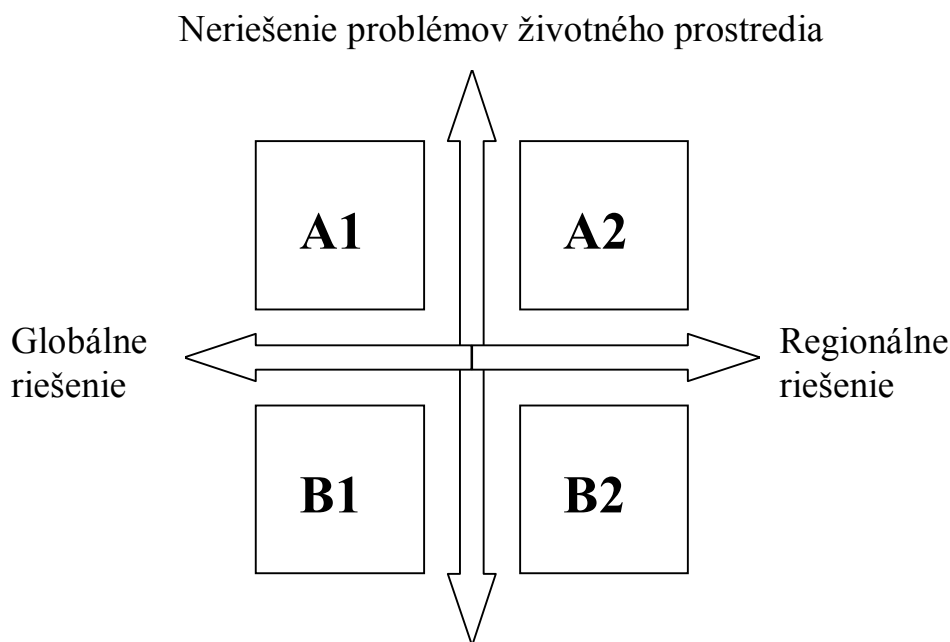
#### **1.5.4 Scenáre klimatickej zmeny**

Klimatický scenár je definovaný podľa Viner, Holme (1994), ako „...vnútorne konzistentný odhad budúcich klimatických zmien, konštruovaný metódami, založenými na zdravých vedeckých princípoch, ktorý môže poskytnúť rozumné odpovede o fungovaní enviromentálnych a sociálnych systémov pri zmene klímy v budúcnosti.“

Alternatívne (krajné hodnoty najpravdepodobnejších prípadov) scenáre sa pripravujú aj preto, lebo nevieme s dostatočnou presnosťou predpovedať ani počet obyvateľov na Zemi a ani budúcu spotrebu fosílnych palív a emisiu skleníkových plynov do atmosféry. Konvenčne pripravované klimatické scenáre nepredpokladajú náhlu (skokovú) zmenu globálnej a ani regionálnej klímy na Zemi do roku 2100 (Lapin, 2002, cit in Horák, 2009).

Pre posúdenie vplyvu človeka na mieru zmeny klímy je treba zohľadniť i predpokladanú mieru nárastu emisií a koncentrácií skleníkových plynov v budúcich rokoch. Pre tieto účely boli v rámci Medzivládneho panelu pre zmenu klímy IPCC stanovené štyri hlavné skupiny emisných scenárov možného vývoja do konca 21. storočia. Emisné scenáre popisujú rôzne stupne socioekonomického vývoja sveta (Lapin, 2004, cit in Horák, 2009).

Najnovšie emisné scenáre, vypracované IPCC, sú označované ako emisné scenáre SRES. Boli použité v Tretej správe IPCC o klimatickej zmene. Štruktúra scenárov SRES má spolu 35 scenárov. Sú rozdelené do štyroch hlavných skupín scenárov (A1, A2, B1, B2) (Obr.1).



**Obr.1 Schéma konštrukcie IPCC scenárov**

Skupine A1 zodpovedá veľmi rýchly ekonomický rast, počet obyvateľov na Zemi dosiahne maximum v polovici 21. storočia a potom začne klesať. Predpokladá sa rýchle zavádzanie nových technológií, rast kultúrnych a sociálnych väzieb a podstatné zníženie rozdielu medzi chudobnými a bohatými krajinami. Podľa technologických zmien v energetike ich rozdeľujeme do ďalších troch skupín, a to A1FI s intenzívnym využívaním fosílnych palív, A1T s energetikou, založenou na iných fosílnych zdrojoch, A1B s energetickým systémom, kde nedominuje výrazný zdroj (IPCC, 2010, cit in Horák, 2009).

Skupina A2 zahŕňa predstavu veľmi heterogénneho sveta. Základná myšlienka je spoliehať sa sám na seba a zachovať miestnu identitu s dodržiavaním miestnych tradícií. Počet obyvateľov v 21. storočí kontinuálne rastie, ekonomický vývoj je výrazne regionálne orientovaný, technologické zmeny a rast hrubého domáceho produktu sú pomalšie ako pri ostatných skupinách scenárov. Skupine B1 zodpovedá predstava konvergentného (stmelujúceho sa) sveta, s rovnakou populáciou ako v A1, patrí tu rýchly vývoj informatiky, služieb, zavádzanie čistej a účinnej technológie, redukcia materiálovej náročnosti. Dôraz sa kladie na globálne riešenie ekonomických a sociálnych problémov a najmä na ochranu životného prostredia. Skupina B2 vychádza z predstavy sveta, v ktorom sa kladie dôraz na lokálne riešenie ekonomickej a sociálnej rovnováhy a



environmentálnej udržateľnosti rozvoja. Populácia kontinuálne rastie v 21. storočí, no pomalšie ako v scenári A2, ekonomický vývoj dosahuje strednú úroveň s menej rýchlou technologickou zmenou ako v B1 a A1. V pozornosti je aj ochrana prírodného prostredia a sociálnej spravodlivosti na miestnej aj regionálnej úrovni.

Scenár A1B vyjadruje vyvážené využívanie všetkých zdrojov energie, kde vyváženosť je definovaná ako nespoliehanie sa príliš na jeden konkrétny energetický zdroj, za predpokladu, že všetky technológie v oblasti energetiky a konečnej spotreby sa budú rozvíjať obdobným tempom.

### **1.5.5 Všeobecný scenár vplyvu klimatickej zmeny na pôdu**

Predpokladá sa, že mierna zóna v porovnaní s ostatnými pásmami Zeme prekoná najmenšie zmeny v pôdach. Podľa dostupných materiálov sa v miernom klimatickom pásme očakáva len malé zvýšenie celkových úhrnov zrážok, najmä v zime a taktiež sa očakáva zvýšenie evapotranspirácie. Zmeny pôdných vlastností, meniacich sa v čase a v dôsledku očakávanej klímy, by mali byť pomerne dlhodobé. Najskôr budú viditeľné v povrchovej vrstve pôdy, pretože táto je najviac citlivá na vlhkosť a teplotu. Pomerne dynamické zmeny by mali nastať v obsahu organického uhlíka, ktoré by mohli mať za následok zmeny v pôdnej štruktúre, pôdnej erodibilitate, kompaktii, infiltračnej rýchlosti, v odnose, salinite a obehu rastlinných živín.

Jednou z príčin, prečo je ťažké predpovedať zmenu pôdných vlastností je, že klimatické scenáre diferencujú niektoré oblasti buď so zvýšenými teplotami a zníženými zrážkami alebo naopak.

Predpokladá sa, že negatívne vplyvy na tvorbu pôdnej organickej hmoty pri vyšších teplotách by mohli byť plne kompenzované väčším množstvom organickej hmoty z vegetácie a plodín, ktorých rast by mal byť intenzívnejší pri silnejšej fotosyntéze, tzv. „fertilizačný efekt CO<sub>2</sub>“. Na druhej strane rast dezertifikačných javov (vysušovanie krajiny, spojené s pôsobením limitujúcich faktorov, ako nedostatok vody v pôde, utlmenie filtračných, transformačných a výmenných procesov), môžu spôsobiť degradáciu pôdy. Budú dominovať salinizačné a alkalizačné procesy, tvorba krusty a kompaktia pôdy s postupnou premenou fyzikálnych, chemických a biologických pôdných vlastností. Tiež výrazná variabilita klimatických parametrov môže spustiť intenzívnejšie eróznokumulatívne procesy, ktoré sa prejavujú v zmene morfológie a celkových vlastnostiach pôdneho profilu (Sobocká, Šurina, Torma, et al., 2005).

### 1.5.6 Prognóza dopadov klimatickej zmeny na pôdy Slovenska

Podľa scenárov klimatickej zmeny je možné predpovedať všeobecný trend k vývoju pôdnych katén. Retrográdne pôdotvorné procesy budú prebiehať postupne, jednotlivé pôdne charakteristiky a vlastnosti sa budú meniť s rôznou časovo-priestorovou variabilitou, avšak samotné taxonomické pôdne jednotky sa budú meniť veľmi pomaly a v žiadnom z uvádzaných časových horizontoch nenastane ich zmena na inú pôdnu jednotku s výnimkou malých extrémnych lokalít.

Niektoré pôdotvorné procesy môžu prebiehať pomerne rýchlo a tým j tvorba nových pôdnych horizontov.

Pedoklimatický scenár pre SR bol vytvorený zo scenárov zmien teplôt, zrážok, hustoty toku globálneho slnečného žiarenia a evapotranspirácie vytvorených podľa modelov platných pre Slovensko:

1. predpokladá sa, že vyššia koncentrácia CO<sub>2</sub> pri celkovej zvýšenej teplote bude mať za následok zvýšené hromadenie pôdnej organickej hmoty. Na základe fotosyntézy pri vyššom obsahu CO<sub>2</sub> umelo vytvorený skleníkový efekt Zeme bude zvyšovať index rastu ako aj účinnosť využitia vody vegetáciou (Brinkman, Sombroek 1996, cit en Sobocká, Šurina, Torma, et al., 2005).

2. Zvýšená evapotranspirácia a hromadenie pôdnej organickej hmoty zosilní mikrobiálnu činnosť.

3. Očakávané postupné zvyšovanie pôdneho profilu (aridita), zvýšené prevzdušnenie a oxidácia pôdneho materiálu spôsobia rýchlejší rozklad pôdnej organickej hmoty – mineralizáciu. Nárast aridity by mal byť pozorovateľný hlavne v južnej polovici celého Slovenska približne 400 m.n.m. Bude záležať na zabezpečení územia vodou, čo predurčí, akým smerom sa budú uberať vlastnosti pôd s nadmerným výparným režimom.

4. Rýchlejší rozklad organickej hmoty bude mať za následok aj zvýšený parciálny tlak CO<sub>2</sub> v pôde a aktivitu CO<sub>2</sub>, čím by mohlo dochádzať k zvýšenému uvoľňovaniu rastlinných živín zo zvetrávajúcich pôdnych minerálov.

5. Celkovo zloženie ílových minerálov a mineralógia hrubších vrstiev frakcií prekoná len nepatrné zmeny postihnuteľné za storočie.

6. Pôdna štruktúra sa bude meniť predovšetkým v povrchovej vrstve pôdy.

7. V poľnohospodárskych oblastiach by mohlo dochádzať k nástupu tzv. rubifikácie súčasných kambizemí, v procese ktorej by sa namiesto súčasného goetitu stabilizoval oxid železa hematitu.

8. V nížinných oblastiach by mal prevládať výparný vodný režim so zápornou vodnou bilanciou. To znamená, že hnedozemná oblasť v plnom rozsahu by prestala mať podmienky premyvneho režimu podobne ako súčasné černoze.

9. Predpokladaný pokles stavov niektorých nížinných riek vo veľkej miere zapríčiní zníženie hladiny podzemných vôd, čo bude mať za následok zmenu oxidačno-redukčných podmienok.

10. Očakáva sa celkový nárast mineralizácie podzemných vôd predovšetkým v nížinných oblastiach Podunajskej nížiny.

11. Pôdna reakcia by sa nemala zásadne meniť, je však možná úvaha k miernemu okysľovaniu pôd pri predpokladanej zvýšenej mineralizácii organickej hmoty.

12. V oblastiach náchylných na vodnú a veternú eróziu by sa mali prejavovať predpokladané účinky náhlych a intenzívnych búrok.

13. Nemožno vylúčiť aj vplyv klimatickej zmeny na spúšťací mechanizmus uvoľnenia toxických populantov akumulovaných v pôde.

14. Zmenou teplotno-vlhkostných pomerov sa môžu akcelerovať procesy tvorby dusičnanov v pôdach, čo sa môže nepriaznivo prejavovať na kvalite rastlinnej produkcie a podzemných vôd.

15. Pôdami najviac odolnými voči klimatickej zmene budú najúrodnejšie pôdy – černoze.

16. Najskôr sa klimatická zmena prejaví u najmenej odolných pôd tj. textúrne ľahkých pôd s nestabilnou pôdnou štruktúrou, nedostatočnou výmenou kationovou kapacitou, slabou infiltračnou rýchlosťou a nekvalitným, plytkým humusovým horizontom (regozeme, litozeme, arenické subtypy pôd a pod.) (Sobocká, Šurina, Torma, et al., 2005).

## **1.6 Simulačné modely a modelovanie**

### **1.6.1 Systémový prístup modelovania**

*Model* môžeme popísať ako zjednodušený pohľad na systém, ktorý ale presne vystihuje jeho vlastnosti. Zväčša má podobu počítačového programu. Modely je možné rozdeliť na:

- mapy
- merítkové modely (scale-modely)
- demonštratívne modely
- analogické modely

- digitálne modely
- dynamické simulačné modely

V agroekosystéme sú pri jeho štúdiu vo väčšine využívané dynamické simulačné modely, a to najmä kvôli zložitosti vzťahov a agrosystéme, kde sa popisujú korelácie na úrovni: - bunky – pletivo – rastlina – porast – región - . Tieto simulačné systémy vychádzajú z predpokladu, že každý systém v každom momente môže byť popísaný matematickými rovnicami, čiže i každá zmena v tomto systéme môže byť vyjadrená matematicky. Preto sa v modeloch delia premenné na stavové (state), riadiace (driving) a pomerové (rate).

**Stavové** veličiny sú merateľné kedykoľvek a pre každý časový okamžik majú jednu hodnotu.

**Riadiace** veličiny charakterizujú interakcie na hraniciach systému, prenikajúce do systému a ovplyvňujúce systém. Typickým príkladom sú meteorologické prvky ako teplota, zrážky, radiácia. Tieto veličiny však môžu mať charakter stavových a to v okamžiku, kedy systém reprezentovaný modelom zahrňuje ako svoju súčasť napr. radiačnú bilanciu, alebo hydrocyklus.

**Pomerové** veličiny udávajú veľkosť zmeny stavovej veličiny v danom intervale ako výsledok špecifických procesov. Ich veľkosť závisí od stavovej aj riadiacej premennej a to podľa pravidiel, založených na znalostiach fyzikálnych, chemických a biologických procesov.

### 1.6.2 Presnosť simulačných modelov

Pri určovaní presnosti modelu treba vždy rátať s určitou mierou nepresnosti najmä kvôli zložitosti celého biologického systému. Ďalšie dôvody miery nepresnosti sú:

#### *1. model je vždy zjednodušenie systému*

Ak je základným atribútom modelovania simplifikácia, je veľmi ťažké stanoviť hranicu medzi ešte zanedbateľným zjednodušením a štruktúrnou chybou modelu.

#### *2. niektoré rastlinné, či pôdne parametre je možné určiť len približne*

Premenlivosť vstupných údajov môže značne ovplyvniť a najmä znížiť presnosť modelu.

#### *3. niektoré environmentálne dáta sú nepredvídateľné a teda nesimulovateľné*

Najpremenlivejšie vstupné údaje sú meteorologické údaje, ktorých nepresnosť môže vzniknúť nekvalitnými meracími metódami, alebo nedostatkom meteorologických meraní.

Medzi ďalšie príčiny nepresnosti dosiahnutých simulovaných výsledkov patrí:

- simulované procesy sú v skutočnosti zložitejšie, ako sú popisované v modeli, ktorý neskúma všetky prepojenia jednotlivých systémov a spätné väzby,
- časový krok môže byť príliš dlhý, než aby presne vystihol niektoré procesy,
- parametrizácia modelu nie je presná v dôsledku nedostatku informácií o niektorých procesoch v pôde,
- potrebné dáta pre dané stanovište nie sú presne známe a musia byť odhadnuté,
- v meraní pôdnych, klimatických či agrotechnických dát môžu byť obsiahnuté chyby merania.

V konečnom dôsledku môžeme tvrdiť, že akákoľvek analýza s použitím simulačných modelov skrýva určitú mieru nepresnosti skutočne reprezentatívne výsledky musia byť podporené kvalitnou dátovou základňou, ako napr. dlhodobé, viac variantové pokusy podložené štatistickým spracovaním. (Žalud, 2001, cit in Horák, 2009).

## **2 CIEĽ PRÁCE**

Cieľom práce je určiť vplyv klimatickej zmeny na premrznutie pôdy v lokalite Hurbanovo v dvoch konkrétnych skúmaniach:

- porovnať počet dní s premrznutou pôdou
  - porovnať maximálnu hĺbku premrznutia pôdy
- za obdobia rokov 1968 – 2009 a 2021 – 2050; 2071 – 2100.

## 3 METODIKA PRÁCE A METÓDY SKÚMANIA

### 3.1 Vymedzenie záujmového územia

Mesto Hurbanovo sa nachádza na juhu západného Slovenska v Podunajskej nížine, pri sútoku riek Žitavy a Nitry. Hurbanovo leží v nadmorskej výške 115 m nad morom, na najteplejšom mieste Podunajskej nížiny, čo spolu s miestnou klímou a vhodnými pôdnymi podmienkami predurčuje tejto oblasti poľnohospodársky charakter.

#### *Meteorologická stanica Hurbanovo*

Je prvá meteorologická stanica na Slovensku, ktorá vznikla v roku 1871.

Lokalizácia: 47° 52' severnej zemepisnej šírky

18° 11' východnej zemepisnej dĺžky

Meteorologická stanica sa podľa SHMÚ radí medzi profesionálne automatické meteorologické stanice

(SHMÚ, 2001).

#### **Samosprávny kraj:**

Nitriansky

#### **Okres:**

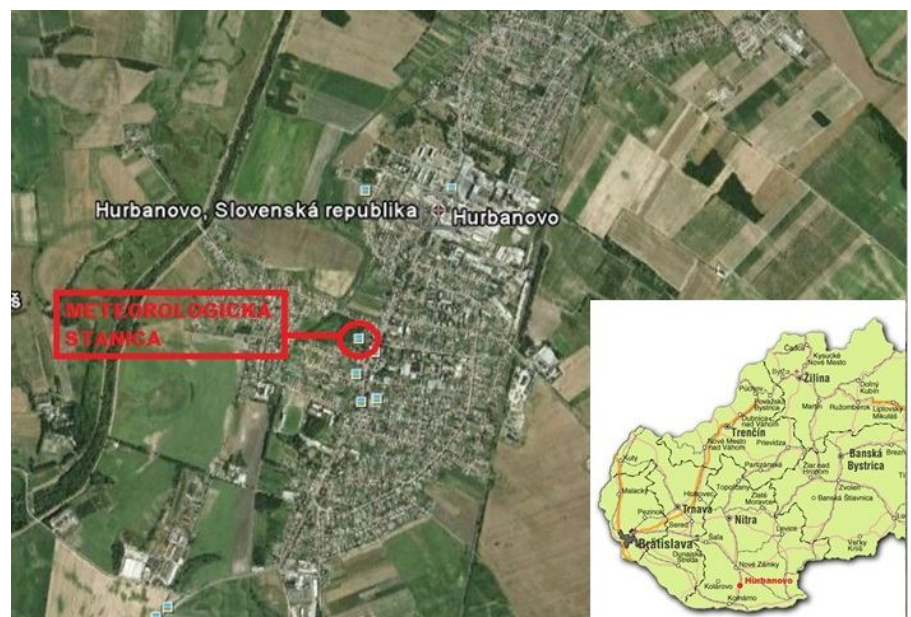
Komárno

#### **Kraj:**

Nitriansky

#### **Mesto:**

Hurbanovo



**Obr.2 Ortofotomapa záujmového územia Hurbanovo**

**(Zdroj: GoogleEarth)**

## **3.2 Metodika práce**

### **3.2.1 Model DNDC**

DNDC model je proces, orientovaný na počítačovú simuláciu pôdneho uhlíka a dusíka. Pozostáva z dvoch zložiek. Prvá obsahuje pôdnu klímu, rast plodiny a dekompozičné sub-modely a predpovedá teplotu pôdy, vlhkosť, pH, redox-potenciál (Eh) a substrátovú koncentráciu profilov, poháňanú ekologickými zložkami (klíma, pôda, vegetácia, antropogénna činnosť). Druhá činnosť pozostáva z nitrifikácie, denitrifikácie a fermentácie sub-modelov, predpovedá NO, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> a NH<sub>3</sub>, toky, založené na namodelovaných environmentálnych faktoroch.

Model je ovládaný štyrmi hlavnými ekologickými zložkami: klíma, pôdne fyzikálne vlastnosti, vegetácia a antropogénna činnosť. Presné vstupné dáta o týchto zložkách zaručia úspech simulácií, bez ohľadu na miestnu a regionálnu mierku.

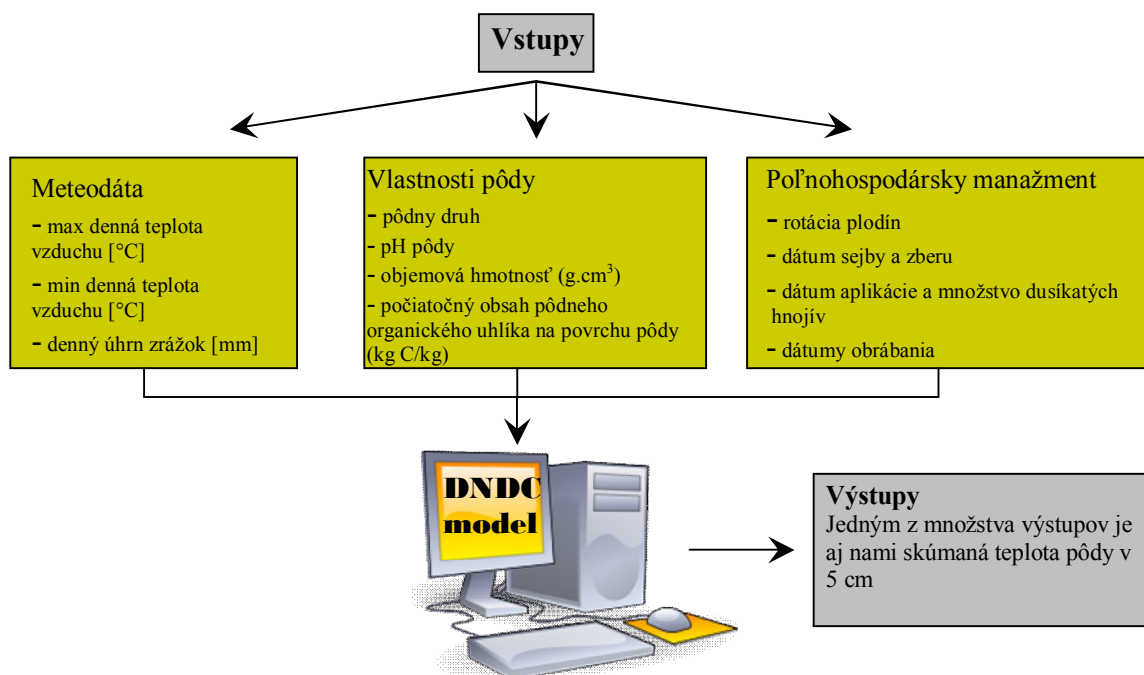
### **3.2.2 Vstupné údaje DNDC modelu**

DNDC model pracuje v dvoch režimoch: miestne a regionálne. Pre miestne výpočty je potrebné vložiť všetky z požadovaných ovládacích parametrov cez miestne prepojenie. Počas regionálnych výpočtov, DNDC číta všetky ovládacie parametre z databázového súboru, ktorý musí byť vopred pripravený.

Pre modelovanie teploty pôdy v Hurbanove je vhodný miestny režim. Na začiatku modelovania je potrebné vstupné spracovanie v troch dialógových oknách: 1. miestne klimatické informácie, 2. pôdne informácie, 3. informácie o poľnohospodárskej činnosti. V bloku poľnohospodárskej činnosti je niekoľko sub-buniek, ktoré umožňujú definovať každú špecifickú činnosť, ako typ plodiny a rotáciu, obrábanie pôdy, hnojenie, doplnkové hnojenie, zavlažovanie, zaplavovanie, odburinenie a pasenie.



## Vstupy do DNDC modelu:



Obr.3 Vstupné údaje modelu DNDC

### 1) Vstupy: Meteorodáta

DNDC poskytuje predvolené hodnoty pre atmosférické pozadie koncentrácií amoniaku a oxidu uhličitého. V prvom kroku určujeme severnú zemepisnú šírku, ktorá je pre lokalitu Hurbanovo 48° a východnú zemepisnú dĺžku, ktorá je 18°; ročný priemer N (rozpustený dusičnan a amónium) koncentrácie v zrážkach = 0,32 mg N/l.

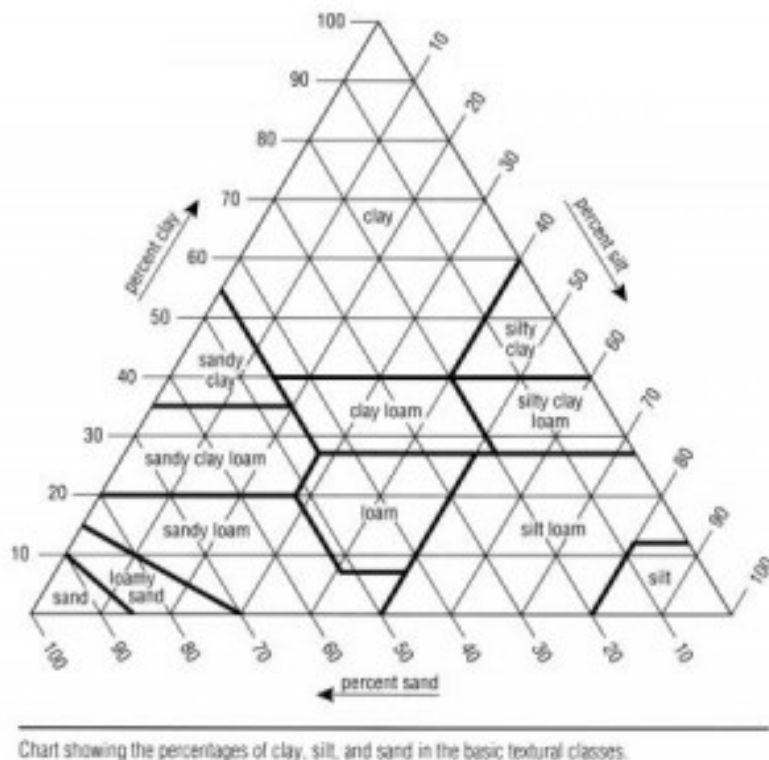
Vstupné súbory obsahujú denné hodnoty priemernej teploty vzduchu v °C a priemerný úhrn zrážok v mm. Pre roky 1968-2009 sú údaje získané zo Slovenského hydrometeorologického ústavu v Bratislave (ďalej SHMÚ). Vstupné údaje pre roky 2021-2050; 2071-2100, čiže dáta budúcej klímy (priemerná teplota vzduchu v °C a úhrn zrážok) boli získané z výstupov modelu ALADIN (SHMÚ), s použitím IPCC emisného scenára A1B.

Model ALADIN je vyvíjaný medzinárodným spoločenstvom niekoľkých európskych a severoafriekých krajín pod vedením Francúzska. Je to baroklinický, plne troj-dimenzionálny regionálny model atmosféry. Regionálny model klímy ALADIN je používaný v rámci projektu Európskej Únie FP6 v projekte CECILIA pre získanie

informácií s vysokou rozlišovacou schopnosťou o podmienkach budúcej klímy v regióne celej Európy (Štěpánek et al, 2008, cit in Horák, 2009).

## 2) Vstupy: Vlastnosti pôdy

Pre meteorologickú stanicu Hurbanovo boli pôdne údaje poskytnuté z pôdnej sondy 4522 (Výskumný ústav pôdoznavectva a ochrany pôdy, ďalej VÚPOP), ktorá okrem iného obsahuje percentuálne zastúpenie troch základných zrnitostných frakcií – piesku, prachu a ílu. Podľa týchto hodnôt je možné pomocou trojuholníka Medzinárodnej klasifikácie pôdných druhov USDA určiť pôdny typ skúmaného územia. (Obr.4)



**Obr.4 Textúrny trojuholník USDA (<http://www.the-compost-gardener.com/images/soil-triangle-usda-sm.jpg>)**

Piesok = 53 %

Prach = 27 %

Íl = 20 %

Na základe Medzinárodnej klasifikácie a textúrneho trojuholníka USDA, je pôdny typ lokality Hurbanovo piesočnato-hlinitá pôda (sandy loam).

Objemová hmotnosť pôdy v povrchovej vrstve je  $1,51 \text{ g/cm}^3$ , pH pôdy v povrchovej vrstve je 6,88.

Obsah celkového pôdneho organického uhlíka sa dá vypočítať podľa vzorca:

$$\text{CO}_x = (\text{humus}\% / 1,724) / 100$$

Zastúpené percento humusu v pôde = 2,84%, z čoho je obsah celkového pôdneho uhlíka 0,0165 kg c/kg.

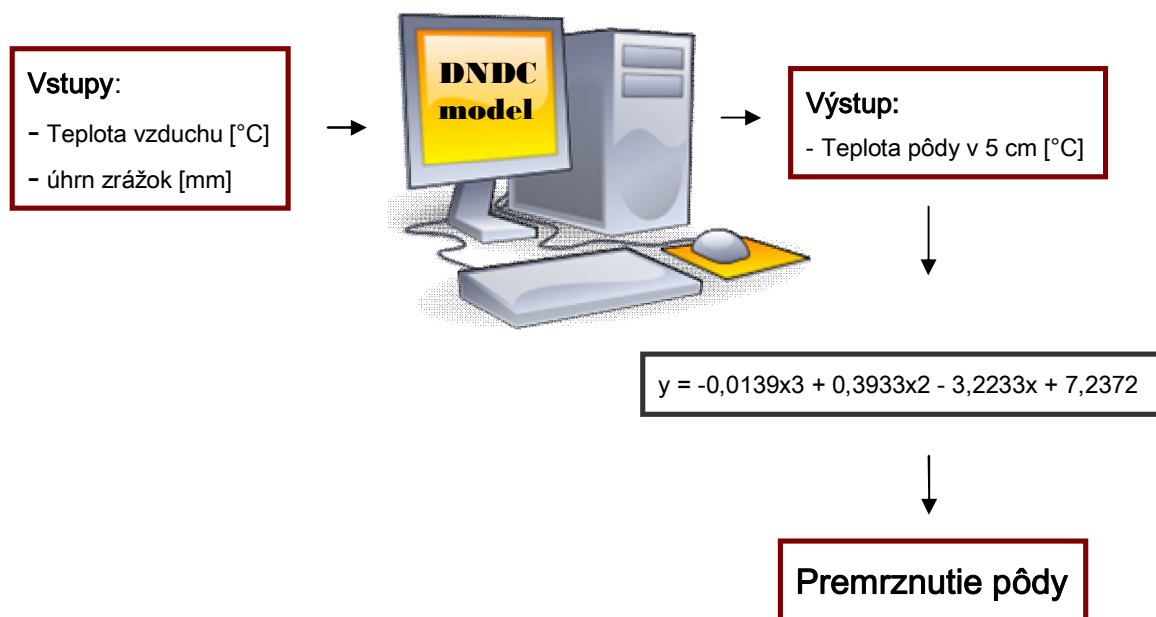
(Linkeš, et al. 1988), (Skalský, Balkovič, 2002).

### 3) Vstupy: Poľnohospodársky manažment

V tomto kroku sa zadáva systém rotácie definovaním rotácií počas celého simulovaného časového rozpätia, počtu rokov trvania každej rotácie a počtu rokov periódy špecifickej rotácie. Keďže v skúmanom území je pôda neobrábaná, počet rotácií je 1 a žiadna iná hodnota sa nemení.

#### 3.2.3 Postup získavania výsledkov

Práca má dve hlavné časti: test modelu a samotné modelovanie. V oboch častiach je postup práce rovnaký. Vstupnými údajmi do modelu DNDC sú priemerná teplota vzduchu v °C a úhrn zrážok v mm a pôdne údaje. Výstupom z modelu DNDC je okrem iného aj teplota pôdy v 5 cm [°C]. Tieto hodnoty sú následne dosadené do regresnej rovnice, konkrétne za premennú x, pomocou ktorej sa vypočíta hodnota y, čiže nami požadovaná hodnota premrznutia pôdy. (Obr.5)



Obr.5 Postup získavania hodnôt premrznutia pôdy

### 3.2.4 Regresná závislosť

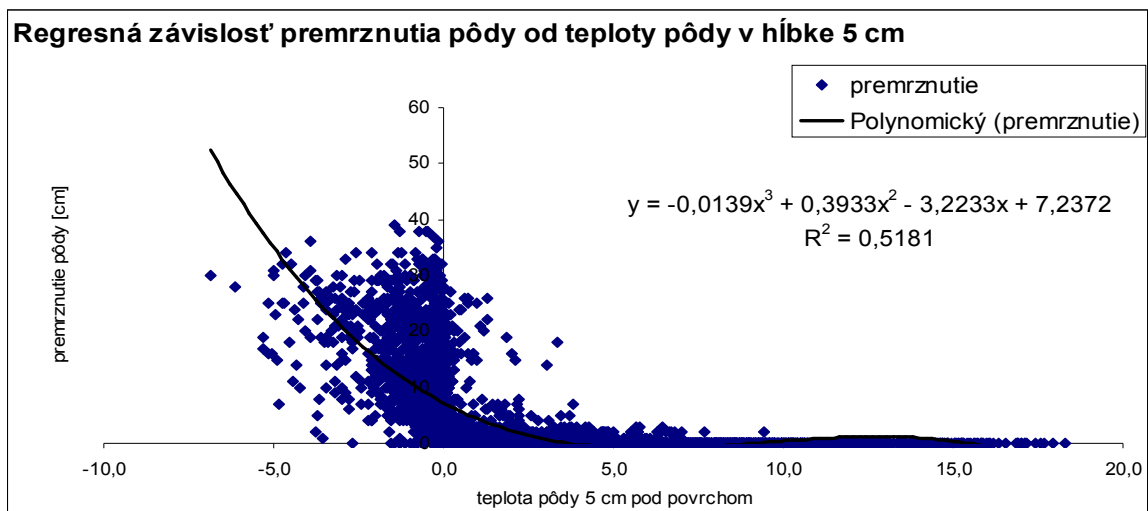
Vzťah medzi premrznutím pôdy a teplotou pôdy sa dá jednoducho vyjadriť pomocou regresnej závislosti. Cieľom regresnej analýzy je vyšetriť vzťah dvoch a viacerých premenných, spoznať pravdepodobnú formu tohto vzťahu a predpovedať hodnotu odpovedajúcu inej hodnote.

Jednoduchý lineárny regresný model obsahuje:

X - nezávislá premenná - jednej hodnote X odpovedá jedna, alebo niekoľko hodnôt Y. Môže to byť akákoľvek veličina, ktorá sa mení nezávisle od výsledku procesu.

Y - závislá premenná - medzi nezávislou premennou a závislou premennou existuje lineárny vzťah, ktorý hovorí, ako sa zmení hodnota závislej premennej pri zmene nezávislej premennej.

Pri daných vstupných údajoch je najvhodnejšia regresia polynomicou funkciou 3. rádu, kde koeficient  $R = 0,7198$ , čo znamená vysoký stupeň lineárnej závislosti.



**R = 0,7191**

**Obr.6 Regresná závislosť premrznutia pôdy od teploty pôdy v hĺbke 5 cm**

**Tab.1 Slovná formulácia hodnoty koeficientu korelácie**

Hodnota R	Vzájomný stupeň lineárnej závislosti je
$0,3 \leq R < 0,5$	Mierny
$0,5 \leq R < 0,7$	Význačný
$0,7 \leq R < 0,9$	Vysoký
$R \geq 0,9$	Veľmi vysoký

## 4 VÝSLEDKY A DISKUSIA

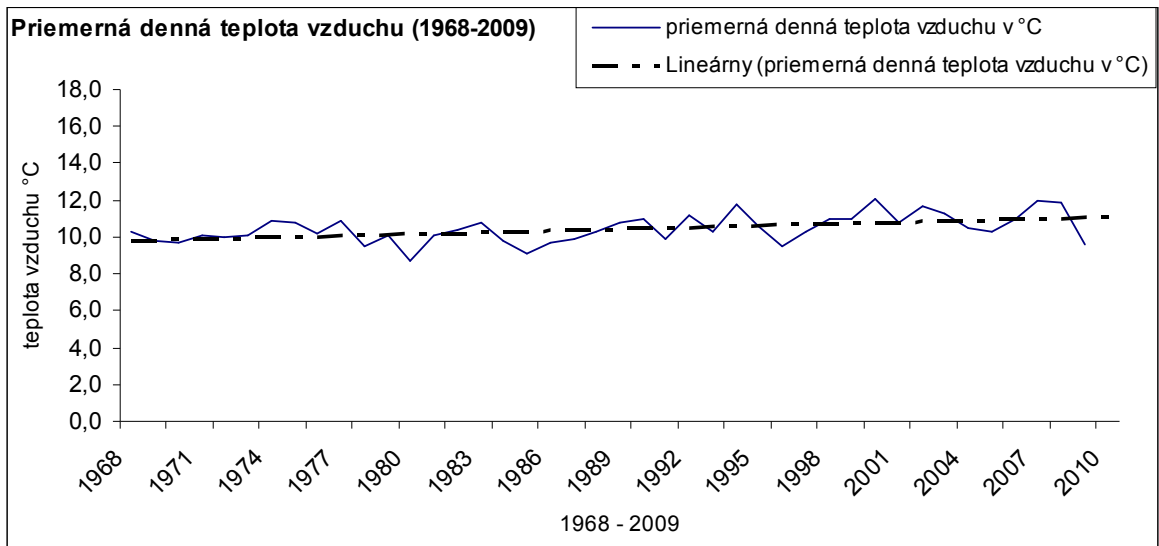
### Stav klímy na Slovensku v rokoch 1968 – 2009 v porovnaní s predpokladaným stavom v rokoch 2021-2050; 2071-2100

#### 4.1.1 Zmeny teploty vzduchu

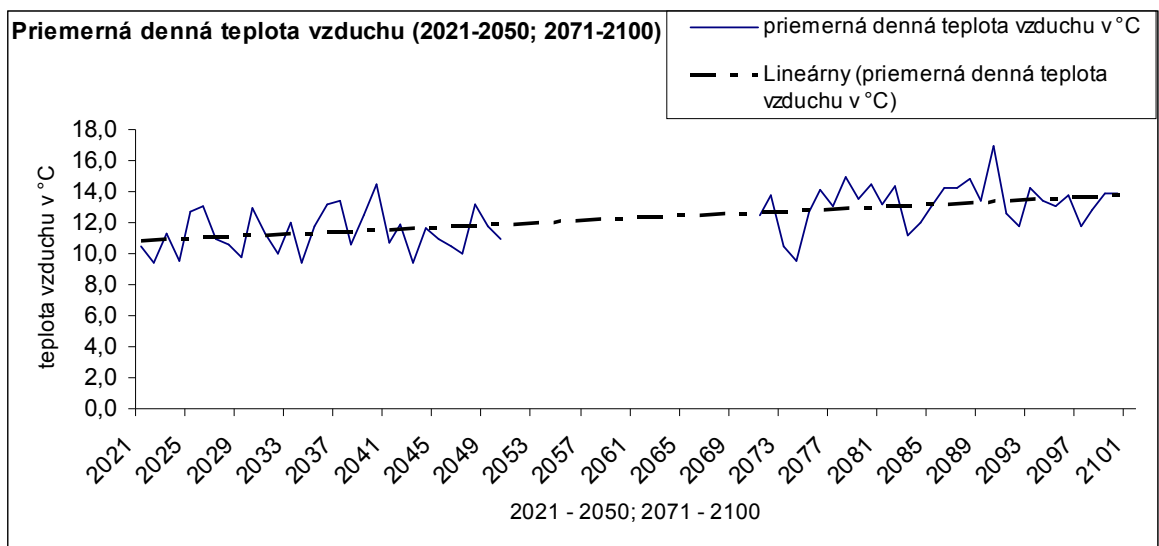
V súčasnosti sú najlepšie preskúmané dôsledky rastu skleníkového efektu atmosféry na rast priemerov teploty vzduchu na celej Zemi (globálne otepľovanie). V závislosti od toho, ako sa bude ľudstvo správať v budúcich 100 rokoch pri emisii skleníkových plynov do atmosféry, môžeme očakávať, že sa celosvetový priemer teploty vzduchu do roku 2100 postupne zvýši oproti priemerom z obdobia 1971 - 2000 o 1,0 až 3,0 °C. Predpokladáme pritom, že v tomto tridsaťročí je globálny priemer teploty vzduchu o 0,5 °C vyšší ako v období 1901-1970. Na jednotlivých miestach Zeme môže byť podľa rôznych scenárov v budúcom storočí zmena ročných priemerov teploty vzduchu od nerovnomerného slabého poklesu (malé pobrežné plochy morí) až po nerovnomerný rast o 10 °C (sever Ázie), u nás pravdepodobne nerovnomerne vzrastie ročný priemer teploty vzduchu o 2 až 4 °C.

Pod pojmom nerovnomerný rast rozumieme skutočnosť, že ani klimatická zmena nemusí dosahovať rovnakú zmenu v každom desaťročí budúceho storočia a môže nastať stav, že v niektorom z nasledujúcich desaťročí bude menší rast ako v predchádzajúcom (Lapin; 1999).

Na grafe (obr.7), ktorý zobrazuje chod priemerných denných teplôt vzduchu v °C za roky 1968 – 2009 v Hurbanove, je pozorovateľný mierny stúpajúci trend, pričom sa hodnoty pohybujú v rozmedzí 10 °C – 12 °C. Graf na obr.8, zobrazuje priebeh priemernej dennej teploty vzduchu počas rokov 2021 – 2050; 2071 – 2100 v Hurbanove. Teploty sa pohybujú v rozmedzí 11 °C – 14 °C. Trend stúpania teplôt je výrazný. Pri porovnaní priemerných teplôt vzduchu môžeme v tomto prípade vidieť zvýšenie teploty vzduchu o 1 – 2 °C.



**Obr.7 Priemerná denná teplota vzduchu (1968-2009)**

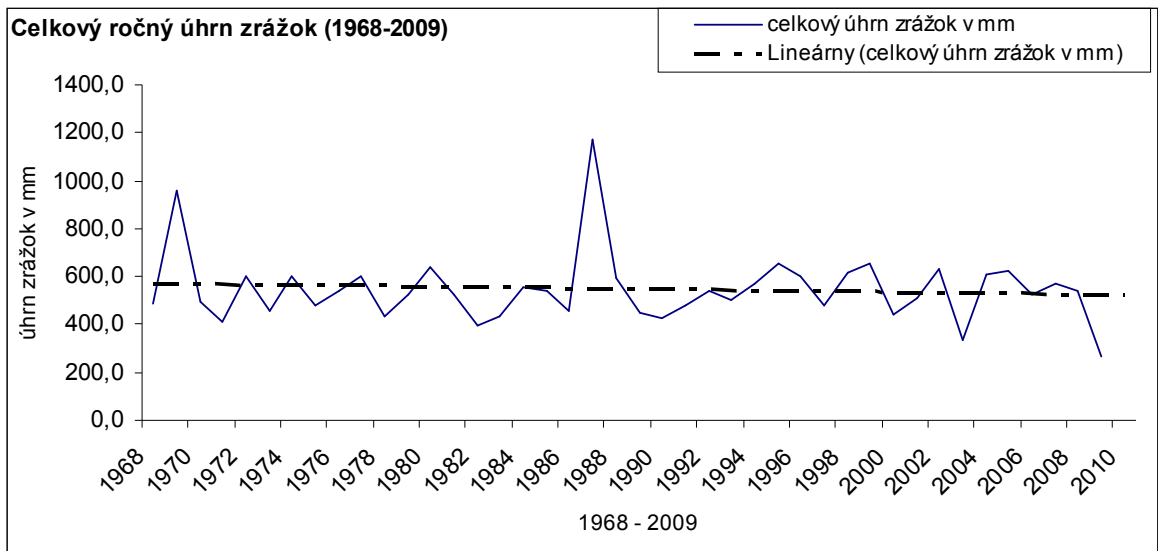


**Obr.8 Priemerná denná teplota vzduchu (2021-2050; 2071-2100)**

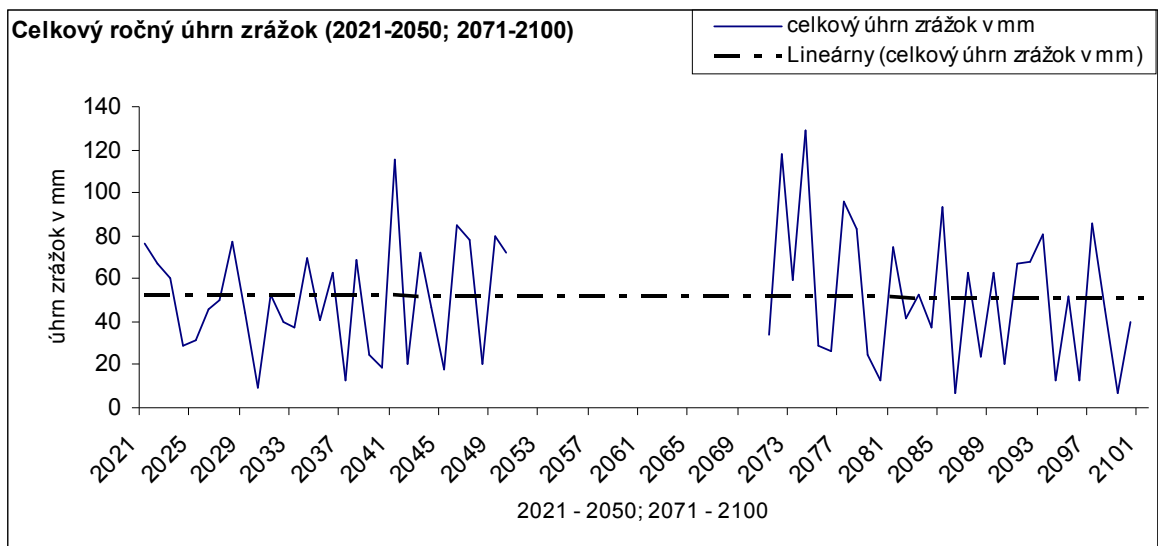
#### 4.1.2 Zmeny úhrnu zrážok

V prípade atmosférických zrážok a iných klimatických prvkov je odhad zložitejší. V teplejšej atmosfére bude viac vodnej pary, no pravdepodobne sa zmení aj atmosférické prúdenie. Tak sa môže stať, že na niektorých miestach Zeme úhrny zrážok významne vzrastú, na iných silne poklesnú. Pri vyššej teplote vzduchu je aj vyšší výpar, preto je na vyrovnanú hydrologickú bilanciu potrebné pri raste teploty vzduchu viac zrážok (u nás asi o 100 mm na 1 °C rastu teploty vzduchu za rok). Dá sa teda predpokladať, že pri raste teploty vzduchu sa jednak zvýši riziko sucha, no zvýši sa aj riziko vysokých jednorazových úhrnov zrážok (krátkodobé úhrny zrážok trvajúce od niekoľkých minút do niekoľkých dní). Atmosférické prúdenie môže zaznamenať aj dočasné výkyvy, čoho dôsledkom môžu byť dlhšie vlhké alebo suché obdobia na tých istých miestach. Pre strednú Európu je dôležité to, či bude atmosférické prúdenie vo výške od 850 do 500 hPa prevažne od západu a južné prúdenie bude výnimočné (podobne to bolo v období 1975-1993), alebo vzrastie početnosť prípadov južného výškového prúdenia. V druhom prípade významne vzrastú úhrny zrážok, pretože Stredozemné more je od mája po november o 5 až 12 °C teplejšie ako mierne šírky Atlantického oceánu, a teda zo Stredomoria prichádza k nám vzduch väčšinou s oveľa vyššou absolútnou vlhkosťou ako od Atlantického oceánu. Ak však aj bude prúdiť do strednej Európy vzduch zo Stredomoria pri stabilnom zvrstvení atmosféry (relatívne teplý vzduch vo výške), tak budú vtedy u nás podobne nízke úhrny zrážok ako v krajinách okolo Stredozemného mora v lete, a to napriek vysokej absolútnej vlhkosti vzduchu (Lapin, 1999).

V Hurbanove sa celkový ročný úhrn zrážok za roky 1968 – 2009 pohybuje okolo 500 – 600 mm/rok. Trendová čiara ukazuje mierny pokles (obr.9). Podľa scenárov úhrnu zrážok pre roky 2021 – 2050; 2071 – 2100, sa ročný úhrn zrážok zníži na hodnotu v priemere okolo 50 mm, čo je veľmi výrazný pokles, no ako môžeme vidieť na nasledujúcom grafe (obr.10), sú predpokladané výrazné výkyvy v úhrne zrážok a s nimi spojené krátkodobé intenzívne úhrny zrážok.



**Obr.9 Celkový ročný úhrn zrážok (1968-2009)**



**Obr.10: Celkový ročný úhrn zrážok (2021-2050; 2071-2100)**

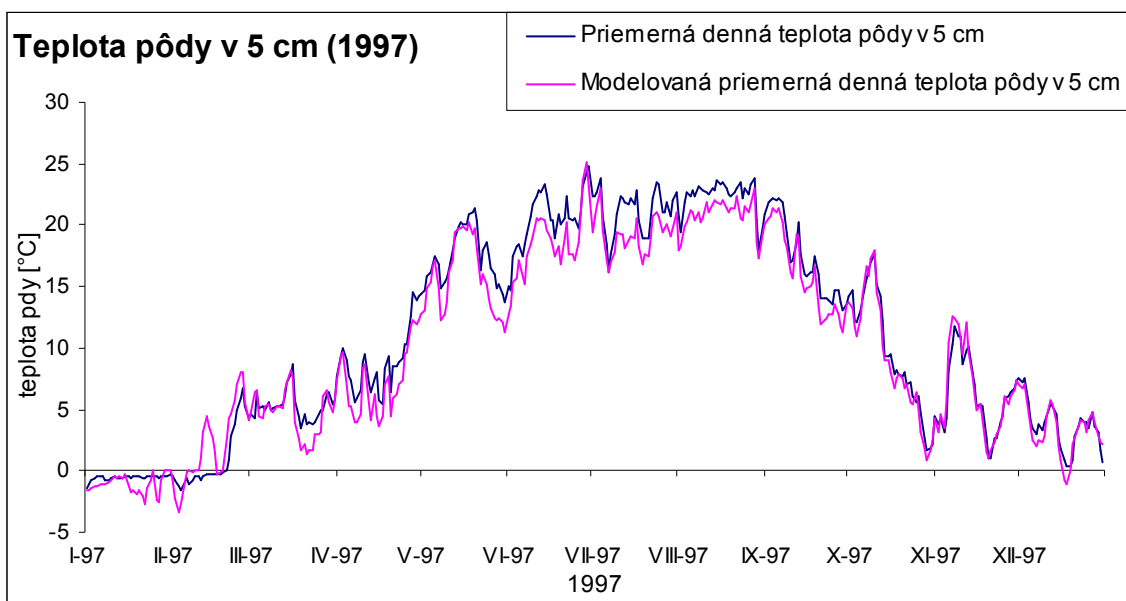


## 4.2 Výsledky práce

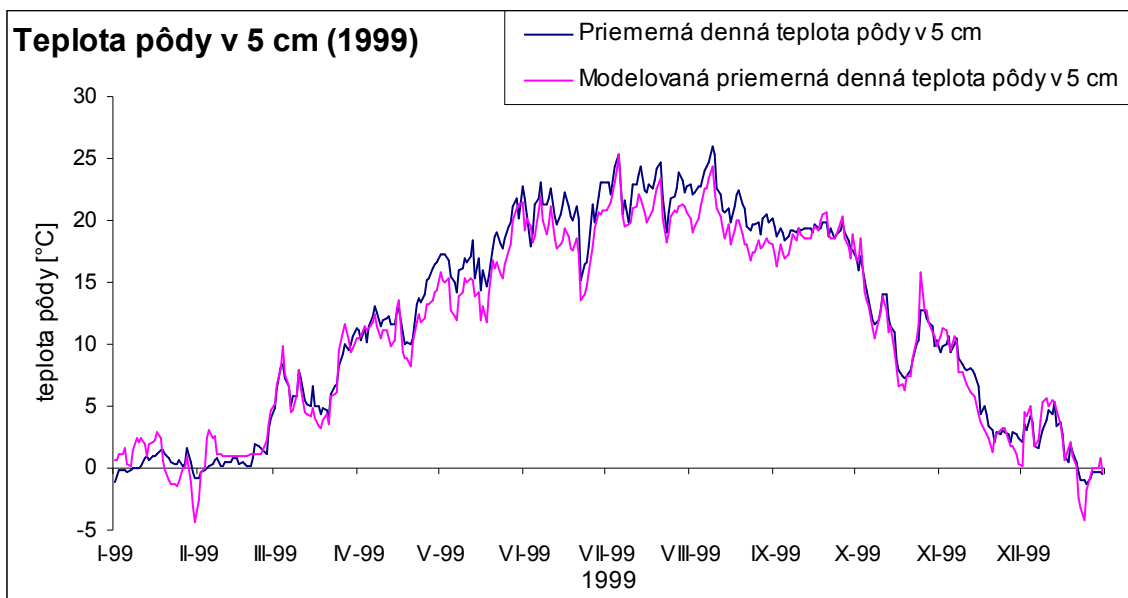
### 4.2.1 Test modelu DNDC

#### 4.2.1.1 Porovnanie nameranej a simulovanej teploty pôdy v 5 cm

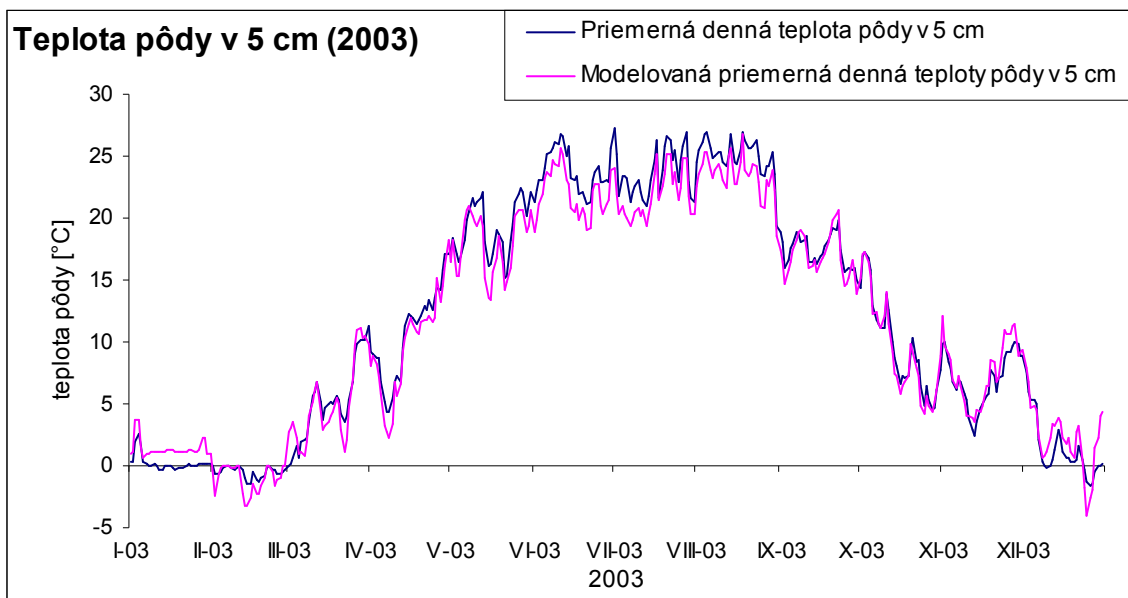
Pre overenie presnosti modelu je potrebné testovanie vo forme porovnania nameraných údajov so simulovanými údajmi. Testované boli náhodne vybrané roky z obdobia 1968 – 2009. Vstupnými údajmi do modelu DNDC sú teplota vzduchu v °C a úhrn zrážok v mm pre roky vybrané roky (1997, 1999, 2003, 2006). Potrebným výstupom z modelu DNDC je teplota pôdy v 5 cm, ktorá je následne na grafe porovnaná s nameranou teplotou pôdy v 5 cm. Hodnoty sa líšia minimálne, čo znamená veľmi dobrú presnosť modelu DNDC. (Obr.11,12,13,14).



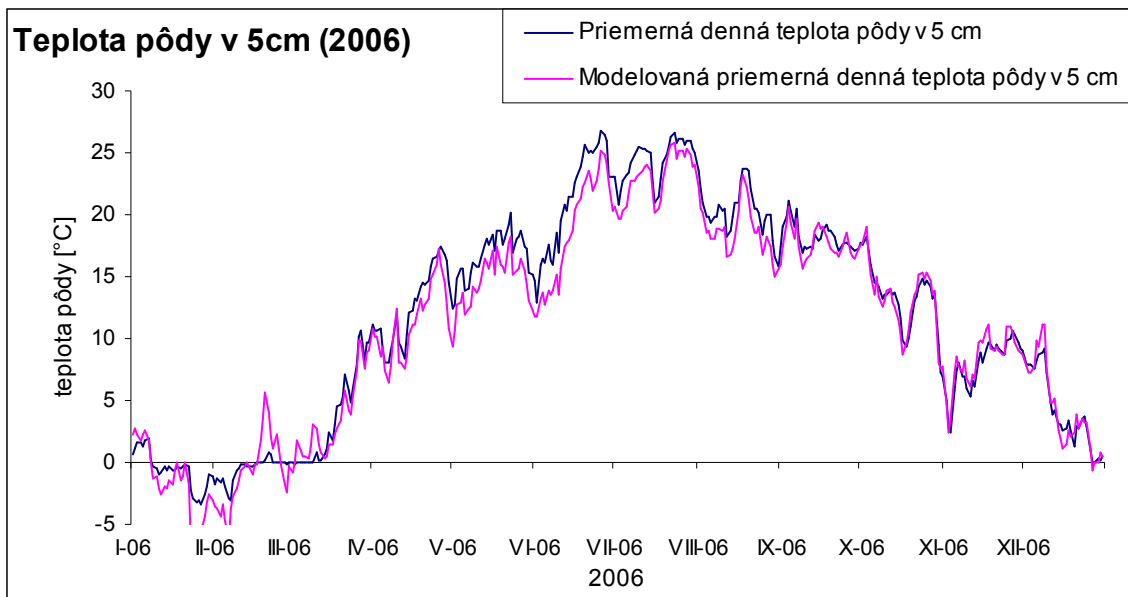
**Obr.11 Porovnanie nameranej a modelovanej teploty pôdy v 5 cm (1997)**



**Obr.12 Porovnanie nameranej a modelovanej teploty pôdy v 5 cm (1999)**



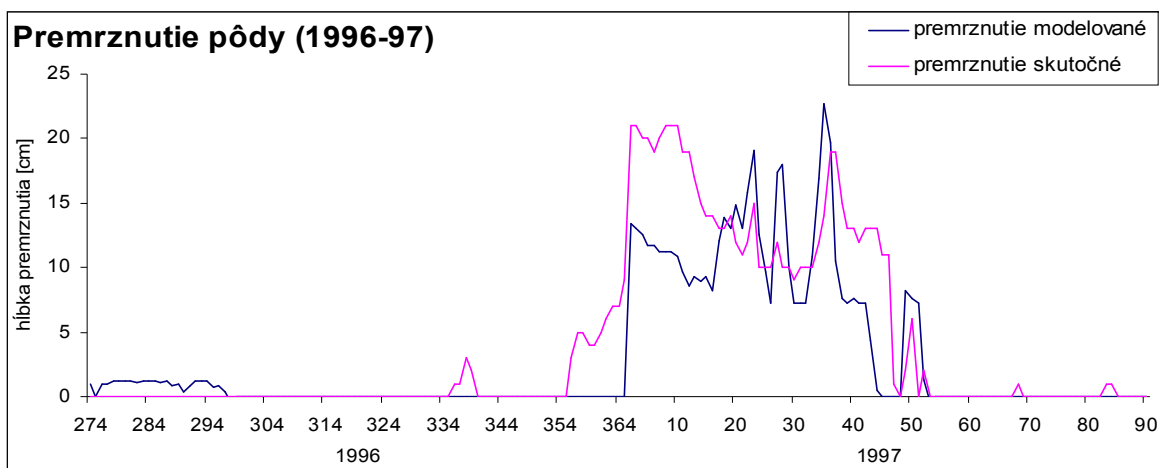
**Obr.13 Porovnanie nameranej a modelovanej teploty pôdy v 5 cm (2003)**



**Obr.14 Porovnanie nameranej a modelovanej teploty pôdy v 5 cm (2006)**

*4.2.1.2 Porovnanie nameraného a vypočítaného premrznutia pôdy*

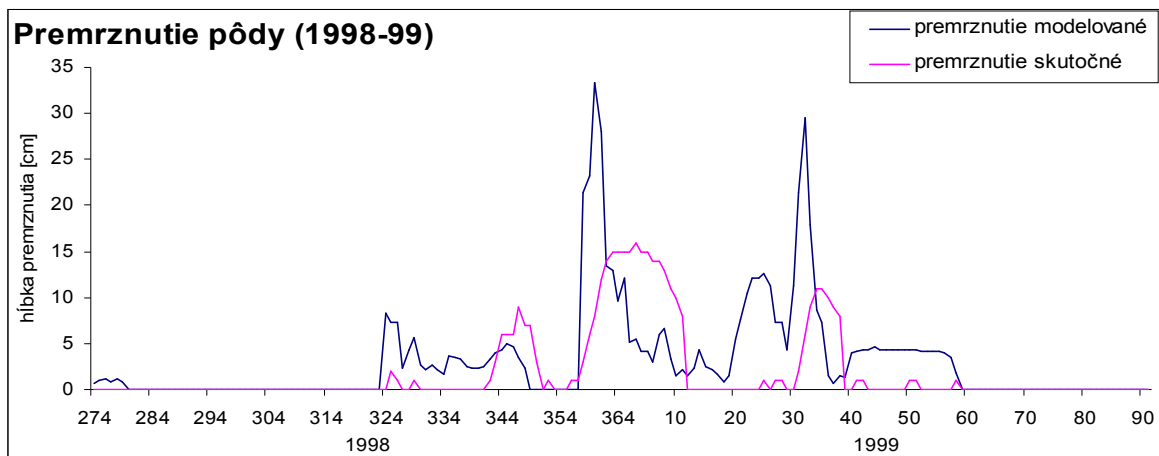
Porovnanie nameraných hodnôt premrznutia pôdy s vypočítanými hodnotami. Na základe simulovanej teploty pôdy v 5 cm vrstve, získame, dosadením týchto hodnôt do regresnej rovnice, premrznutie pôdy pre požadované roky. Testované sú zimné obdobia rokov (1996 - 1997, 1998 - 1999, 2002 - 2003, 2005 - 2006). Vzniknuté odchýlky sú pomerne nízke, preto je test modelu úspešný a metóda určovania premrznutia pôdy v budúcom období je správna. (Obr.15,16,17,18).



**Regresná štatistika**

Násobné R	0,84
Hodnota spoľahlivosti R	0,70
Nastavená hodnota spoľahlivosti R	0,70
Chyba str. hodnoty	2,82
Pozorovanie	182,00
<b>Priemerná odchýlka (rezídua)</b>	<b>1,55</b>

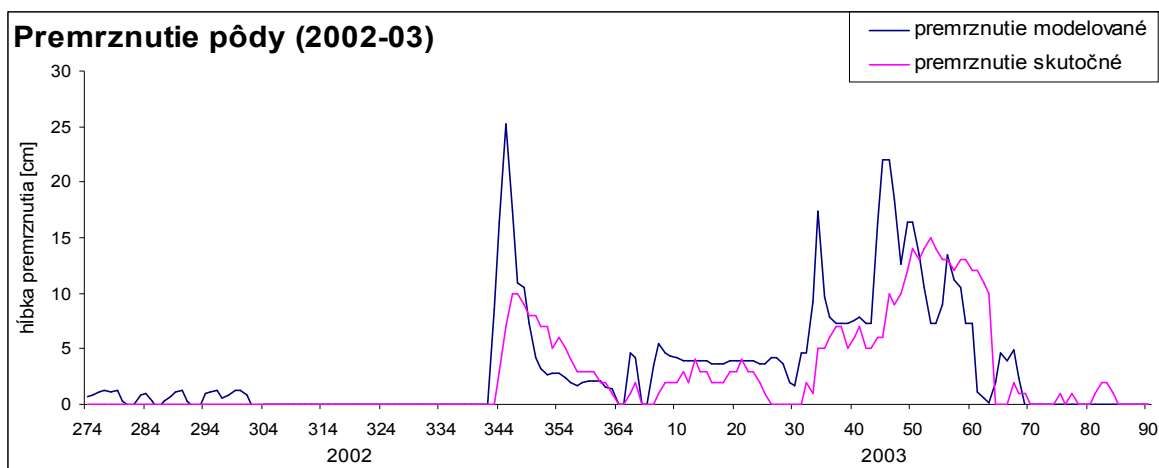
**Obr.15 Porovnanie nameraného a vypočítaného premrznutia pôdy a štatistická tabuľka (1996-1997)**



**Regresná štatistika**

Násobné R	0,43
Hodnota spoľahlivosti R	0,18
Nastavená hodnota spoľahlivosti R	0,18
Chyba str. hodnoty	4,96
Pozorovanie	182,00
<b>Priemerná odchýlka (rezídua)</b>	<b>3,12</b>

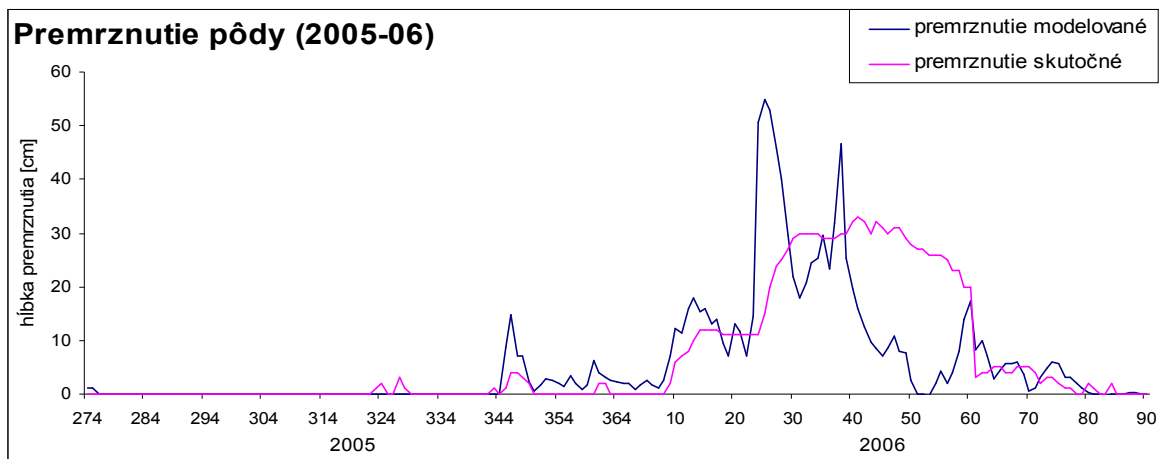
**Obr.16 Porovnanie nameraného a vypočítaného premrznutia pôdy a štatistická tabuľka (1998-1999)**



**Regresná štatistika**

Násobné R	0,70
Hodnota spoľahlivosti R	0,49
Nastavená hodnota spoľahlivosti R	0,49
Chyba str. hodnoty	3,54
Pozorovanie	182,00
<b>Priemerná odchýlka (rezídua)</b>	<b>2,10</b>

**Obr.17 Porovnanie nameraného a vypočítaného premrznutia pôdy a štatistická tabuľka (2002-2003)**



**Regresná štatistika**

Násobné R	0,62
Hodnota spoľahlivosti R	0,39
Nastavená hodnota spoľahlivosti R	0,39
Chyba str. hodnoty	8,20
Pozorovanie	182,00
<b>Priemerná odchýlka (rezídua)</b>	<b>4,42</b>

**Obr.18 Porovnanie nameraného a vypočítaného premrznutia pôdy a štatistická tabuľka (2005-2006)**

#### 4.2.2 Modelovanie

Vstupnými údajmi pre samotné modelovanie sú priemerná teplota vzduchu v °C a úhrn zrážok v mm, získané z klimatického modelu ALADIN, pre roky 2021 – 2050 a 2071 – 2100. (SHMÚ vs. klimatický model ALADIN\_emisné scenáre SRES A1B) a pôdne údaje (viď. kap 3.2.2).

Klimatický scenár je definovaný ako vnútorne konzistentný odhad budúcich klimatických zmien, konštruovaný metódami, založenými na zdravých vedeckých princípoch, ktorý môže poskytnúť rozumné odpovede o fungovaní environmentálnych a sociálnych systémoch pri zmene klímy v budúcnosti (Viner, Hulme, 1994 cit en Horák, 2009).

#### 4.2.3 Výpočet hodnôt premrznania pôdy pre roky 2021 – 2050 a 2071 - 2100

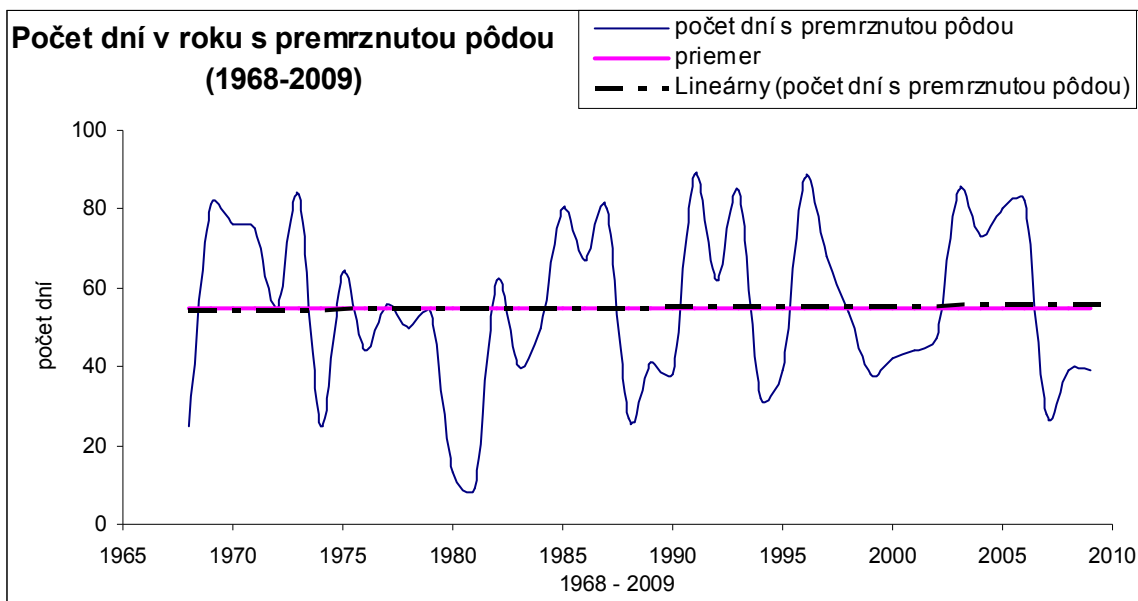
Výstupom z modelu DNDC je teplota pôdy v 5 cm vrstve. Dosadením hodnôt do regresnej rovnice, za hodnotu X, vypočítame hodnotu Y, ktorá predstavuje hodnotu premrznutia pôdy v danom dni.

##### 4.2.3.1 Počet dní s premrznutou pôdou

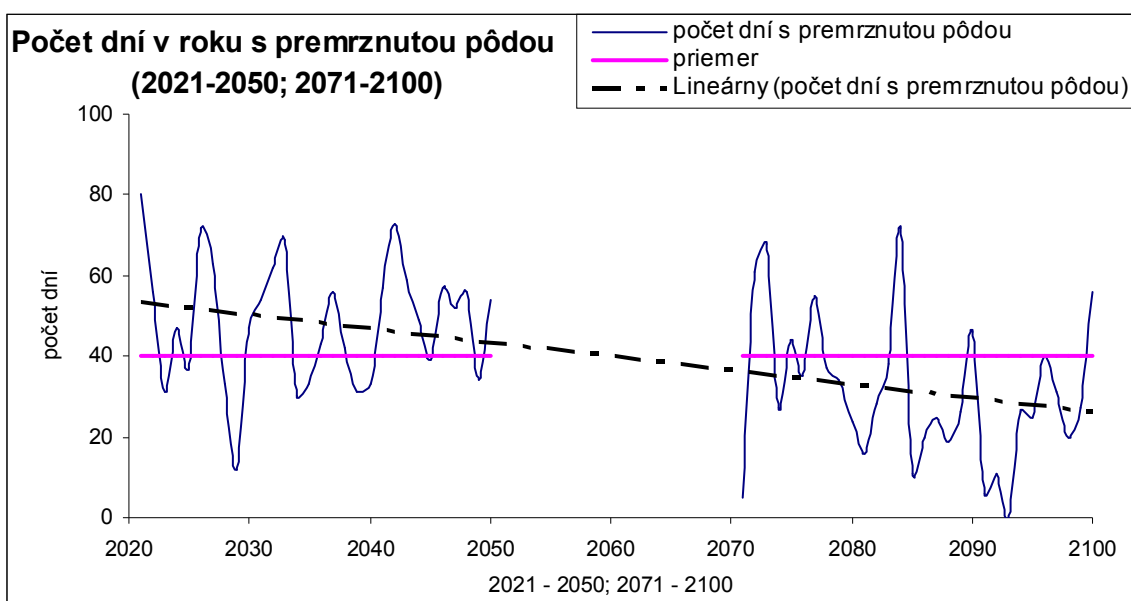
Počet dní s premrznutou pôdou charakterizuje dĺžku trvania nízkych teplôt v pôde a tak aj nástup a ukončenie zimného obdobia.

Pri vyhodnotení počtu dní s premrznutou pôdou, bol v rokoch 1968 – 2009 priemerný počet dní s premrznutou pôdou 55. Zaujímavosťou je, že grafické zobrazenie trendovej čiary ukazuje pomerne ustálený priebeh (obr.19). Na základe modelu a regresnej rovnice je pre roky 2021 – 2050 a 2071 – 2100 priemerný počet dní s premrznutou pôdou 44. Priebeh trendovej čiary v tomto období výrazne klesá (obr.20).

Pre dobré prezimovanie rastlín je dôležitý agrotechnický termín sejby. Skoršia sejba je spravidla priaznivejšia, umožňuje silnejšiu rast a odnožovanie ešte pred zamrznutím pôdy (Pevný, 1969). To znamená, že keď pôda začne premrzáť neskôr, rastliny budú odolnejšie a premrznutie ich nebude poškodzovať.



**Obr.19 Počet dní v roku s premrznutou pôdou (1968-2009)**

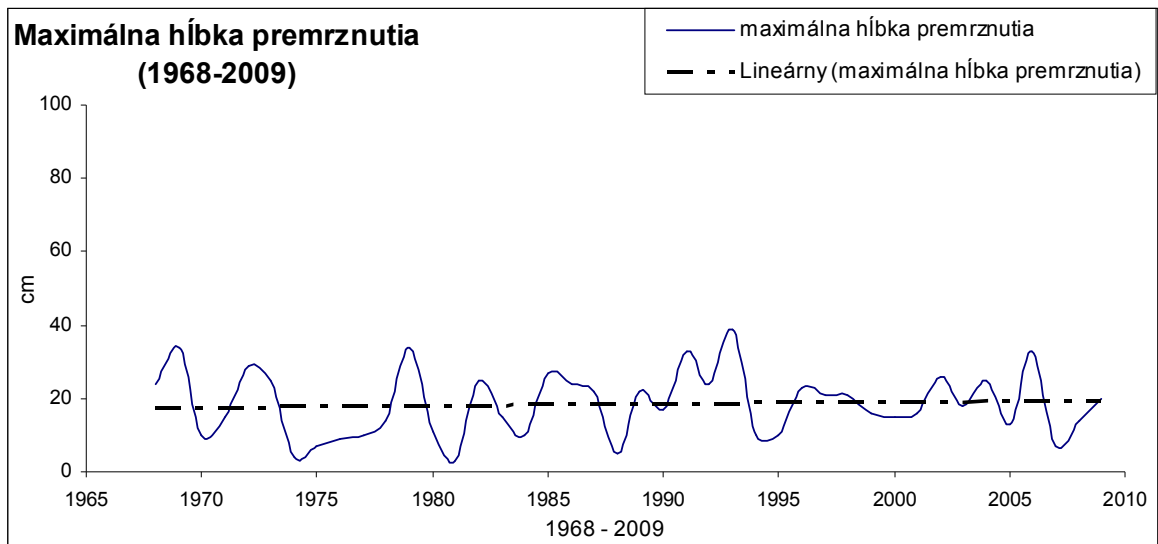


**Obr.20 Počet dní v roku s premrznutou pôdou (2021-2050; 2071-2100)**

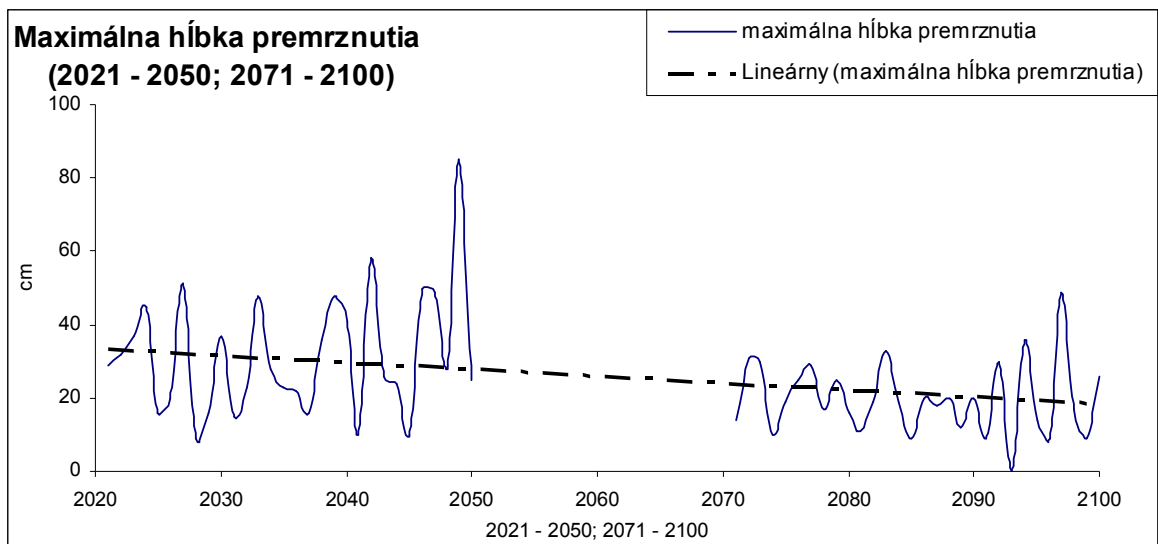
#### 4.2.3.2 Maximálna hĺbka premrznutia

Premrznutie pôdy je charakterizované okrem iného aj maximálnou hĺbkou premrznutia. Táto hĺbka premrznutia pôdy sa určuje mocnosťou premrznutej pôdy v cm. Maximálna hĺbka premrznutia je podľa nameraných hodnôt nižšia v rokoch 1986 – 2009

(obr.4.15), čo môžeme byť spôsobené možnými odchýlkam vo výpočtoch. Klimatická zmena má podľa názorov odborníkov priniesť okrem zvyšovania teploty vzduchu aj možné tepelné extrémny, čo je evidentné aj na grafe (obr.21), kde je maximálna hĺbka premrznutia za obdobie rokov 2021 – 2050; 2071 – 2100 vyššia, ako za obdobie rokov 1968 – 2009. Trendová čiara však znázorňuje výrazné klesanie maximálnej hĺbky premrznutia.



**Obr.21 Trend maximálnej hĺbky premrznutia (1968-2009)**



**Obr.22: Trend maximálnej hĺbky premrznutia (2021-2050; 2071-2100)**

Maximálna priemerná hĺbka premrznutia v rokoch 1968 – 2009 = 19 cm

Maximálna priemerná hĺbka premrznutia v rokoch 2021 – 2050; 2071 – 2100 = 26 cm



## 5 ZÁVER

Vzhľadom na skutočnosť, že v súčasnosti je riešenie problémov globálneho otepľovania a teda aj problematiky týkajúcej sa premrzania pôdy dôležitou súčasťou každodenného života je potrebné poukázať na túto skutočnosť.

Teplota pôdy je významným ekologickým činiteľom. Rozhoduje o prijímaní vody a živín rastlín. Pri teplotách pod bodom mrazu prijímanie vody a živín prestáva, nastáva fyziologické sucho, i keď je pôda ešte dostatočne vlhká. Poškodenie rastlín mrazom sa vysvetľuje jednak mechanickým účinkom ľadových kryštálikov vznikajúcich v medzibunkových priestoroch a v bunkách, alebo tiež dehydratáciou bunkovej plazmy a jej odumretím. Pre odumretie rastlinných pletív vplyvom mrazu je typická koagulácia protoplazmy, strata farbiva chloroplastov a granulovitá štruktúra bunkového jadra. Poškodenie rastlín mrazom závisí od jeho sily a trvania a od odolnosti rastlín proti mrazu.

Z uvedených meraní a výpočtov vyplýva, že klimatická zmena a s ňou spojený skleníkový efekt atmosféry spôsobujú nárast teploty vzduchu a pôdy a výrazne ovplyvňuje premrznutie pôdy. Podľa modelovaných výpočtov premrznutia pôdy sa zimné obdobie skrúti a hĺbka premrznutia pôdy klesá. To môže mať pozitívny vplyv na prezimovanie rastlín, pre ktorých dobré prezimovanie je dôležitý agrotechnický termín sejby. Skoršia sejba je spravidla priaznivejšia, umožňuje silnejší rast a odnožovanie rastlín ešte pred zamrznutím pôdy. Ak sa počet dní s premrznutou pôdou zníži, skrúti sa zimné obdobie nástup nízkyh teplôt v pôde by sa mal oneskoriť. To znamená, že keď pôda začne premrzáť neskôr, rastliny budú odolnejšie a premrznutie ich bude poškodzovať v nižšej miere.

Zvyšovanie teplôt vedie k faktu, že na území Slovenska sa postupne premiestnia teplotné pomery z Podunajskej nížiny pravdepodobne niekde do priestoru od Banskej Bystrice po Oravu, čo ovplyvní druh pestovanej plodiny na danom území. Vo vyšších nadmorských výškach bude možné pestovať aj teplomilné rastliny.

## ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- ANTAL, J., ŠPÁNIK, F. a kol. 1999. Hydrológia poľnohospodárskej krajiny. 1. vyd. Nitra: SPU, 1999. 250 s. ISBN 80-7137-640-X
- BIOKLIMATICKÝ SLOVNÍK TERMINOLOGICKÝ A EXPLIKATIVNÍ, 1980. Praha. 1.vyd. Brno: Tisk, 244 s.
- HAVLÍČEK, V., a kol. 1986. Agrometeorologie. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1986. 264 s..
- HORÁK, J., 2009. Modelové hodnotenie emisií oxidu dusného z poľnohospodársky využívaných pôd SR z pohľadu ochrany ŽP v Európskom priestore: dizertačná práca. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2009. 144 s.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 1996. Climate change 1996. The science of climate change
- LAPIN, M. RÔZNE POHĽADY NA KLIMATICKÚ ZMENU. [online] 1999. Bulletin SMS pri SAV, 1999, č.2 [cit. 2010-03-15]. Dostupné na internete: <[http://www.shmu.sk/File/sms/lapin\\_rozne\\_pohlady.pdf](http://www.shmu.sk/File/sms/lapin_rozne_pohlady.pdf)>
- LORENZ, E. 1967: The Nature and Theory of the General Circulation of the Atmosphere. WMO Publ. 218. Geneva, 161 pp.
- NÁRODNÝ ALOKAČNÝ PLÁN NA ROKY 2005-2007, 2005. Bratislava : MŽP SR, 2005. 20 s.
- NOVÝ KLIMATICKÝ PROGRAM BY MAL DOSTAŤ NÁZOV KODANSKÁ DOHODA. [online] (18.12.2009). Dnes. [cit. 20.3.2010]. Dostupné na internete: <<http://dnes.atlas.sk/svet/614910/novy-klimaticky-dohovor-by-mal-dostat-nazov-kodanska-dohoda>>
- PEVNÝ, V. 1972. Základy poľnohospodárskej bioklimatológie. 2. neprepracované vyd. Nitra: Vysoká škola poľnohospodárska, 1972. 108 s.
- PEVNÝ, V. Príspevok k štúdiu klimatických podmienok na dĺžku fenofázových intervalov a veľkosť úrody ozimnej pšenice (*Triticum Sativum* L.): habilitačná práca. Nitra: Vysoká škola poľnohospodárska, 1969. 200 s.
- PODNEBIE. [online](2008, máj 4). Wikipédia, Slobodná encyklopédia. [cit. 2008-05-11]. Dostupné na internete: <<http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Podnebie&oldid=1540367>>
- PÔDA A JEJ FUNKCIE V PRÍRODE. [online] 2007. [cit. 2008-02-21]. Dostupné na internete <<http://www.fpv.umb.sk/~vzdchem/KEGA/TUR/PODA/Poda01.htm>>

- SKALSKÝ, R., BALKOVIČ, J., 2002. Digital Database of Selected Soil Profiles of Complex Soil Survey of Slovakia (KPP-DB). In Jambor, P., (ed.) Vedecké práce č.25, Bratislava : Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, s. 129 - 140, ISBN 80-89128-07-6
- SOBOCKÁ, S., ŠURINA, B., TORMA, S., DODOK, L. 2005. Klimatická zmena a jej možné dopady na pôdny fond Slovenska. Bratislava: Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy. 2005. 48 s. ISBN 80-89128-15-7
- SOTÁKOVÁ, S. 1981. Pôdoznanectvo (pre poslucháčov Agronomickej fakulty). 2.vyd. Bratislava: Príroda, 1981. 403 s.
- STRATÉGIA SR PLNENIA ZÁVÄZKOV KJÓTSKEHO PROTOKOLU, 2001. Bratislava: MŽP SR, 2001. 12 s.
- STŘELCOVÁ, K., ŠKVARENINA, J. 2005. Bioklimatológia a meteorológia, Návody na cvičenia. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2005, 139 s., ISBN 80-228-1504-7
- ŠIŠKA, B., ŠPÁNIK, F., REPA, Š., GÁLIK, M. 2005. Praktická biometeorológia. VES SPU, Nitra, 2005, 190 s. ISBN 80-8069-486-9
- ŠPÁNIK, F. 1997. Klimatické zmeny a ich dopad na poľnohospodárstvo. Nitra : SPU v Nitre, 1997. 154 s. ISBN 80-7134-345-1
- ŠPÁNIK, F., ŠIŠKA, B. a kol. 2006. Biometeorológia, SPU, Nitra, 2006, 228 s. ISBN 80-8069-315-3
- ŠTVRTÁ NÁRODNÁ SPRÁVA O ZMENE KLÍMY A SPRÁVA O DOSIAHNUTOM POKROKU PRI PLNENÍ KJÓTSKEHO PROTOKOLU, 2005. Bratislava: MŽP SR a SHMÚ, 2005. 114 s.
- THE DNDC MODEL. [online]. 2006.[cit. 2010-20-03]. Dostupné na internete: <<http://www.dndc.sr.unh.edu/Models.html>>
- TRETIA NÁRODNÁ SPRÁVA O ZMENE KLÍMY, 2001. Bratislava: MŽP SR, 2001. 109 s. ISBN 80-89005-03-9.
- UHLÍŘ, P. 1961. Meteorologie a klimatologie v zemědělství. 1.vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1961. 402 s.
- ZAUJEC, A., CHLPÍK, J., TOBIÁŠOVÁ, E., SZOMBATHOVÁ, N. 2003. Pedológia. Nitra: SPU, 2003. 98 s. ISBN 80-8069-261-0.
- ZMENA KLÍMY. [online] 2004. Životné prostredie. [cit. 2008-02-05]. Dostupné na internete: <<http://www.seps.sk/zp/fond/klima02/12.htm>>