

M E T O D I K A P R O P R A X I

**Využití růstových modelů k hodnocení způsobů hospodaření
při pěstování polních plodin a vlivu na půdní procesy**

Petr Hlavinka a kol.

Poděkování:

„Metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum QJ1310123 „Růstové modely jako nástroj pro zvýšení produkčního potenciálu a potravinové bezpečnosti ČR v podmínkách změny klimatu“.

© Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i. , 2017

ISBN 978-80-7509-531-2

PETR HLAVINKA, MIROSLAV TRNKA, JAN BALEK, MARTIN
DUBROVSKÝ, EVA POHANKOVÁ, MARKÉTA WIMMEROVÁ, ZDENĚK
ŽALUD

Využití růstových modelů k hodnocení způsobů hospodaření při pěstování polních plodin a vlivu na půdní procesy

METODIKA PRO PRAXI

Ústav výzkumu globální změny AV ČR v.v.i

2017

Využití růstových modelů k hodnocení způsobů hospodaření při pěstování polních plodin a vlivu na půdní procesy

Metodika popisuje možnosti aplikace růstových modelů k hodnocení různých způsobů hospodaření v rámci pěstování vybraných polních plodin a jejich vlivu na vybrané půdní procesy a podmínky. Tato publikace se zaměřuje na komplexní simulace v interakčním systému půda-rostlina-atmosféra-zemědělec pomocí modelu HERMES. Schopnost simulovat procesy v podmínkách střídání plodin kontinuálně a nepřerušeně (i pro období delší než 100 let) přináší možnost poukázat na dlouhodobé trendy ve vývoji půdních procesů. Dále je možné srovnávat důsledky rozdílných přístupů hospodaření v kombinaci s vybranými stanovištními a půdními podmínkami a také pro vybrané scénáře vývoje klimatu. V rámci této publikace jsou prezentovány výstupy pro podmínky bez předpokládané změny klimatu i podmínky reflektující posun klimatických podmínek v průběhu 21. století na základě 6 vybraných klimatických scénářů. Pro vybrané kombinace podmínek jsou také kvantifikovány předpokládané dopady na růst a výnosy cílové skupiny plodin.

Using growth models to evaluate field crops management practices and influence on soil processes

The publication describes the application of growth model for evaluation of different farming methods in the cultivation of selected field crops and their influence on selected soil processes and conditions. This publication focuses on complex simulations in the soil-plant-atmosphere-farmer interaction system using the HERMES model. The ability to simulate processes in crop rotation scheme continuously and uninterruptedly (e.g. over a period of more than 100 years) gives the opportunity to assess the long-term trends in soil processes, both due to different approaches to farming and combined with selected location and soil conditions. It is possible also for selected scenarios of climate change in future. This material presents both the outputs for weather conditions without any considered climate change and conditions reflecting the shift in climatic conditions during the 21st century based on 6 selected climatic scenarios. The expected impacts on the growth and yields of the target field crops are also quantified for the selected combination of conditions.

Oponenti:

Ing. Pavel Růžek, CSc. - Výzkumný ústav rostlinné výroby v.v.i

Ing. Vladimíra Horáková - Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

Certifikovanou metodika je určena především vědeckým pracovníkům, zemědělským podnikům, zemědělským poradcům a zástupcům veřejné správy.

Certifikovanou metodiku schválil a osvědčení o jejím uznání vydal Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (Hroznová 2, 656 06 Brno) pod č. UKZUZ 124987/2017

OBSAH

I.	Cíl metodiky.....	6
II.	Vlastní metodika.....	7
1.	Úvod	7
2.	Popis metod.....	9
2.1.	Definice způsobů hospodaření a struktury realizovaných výpočtů.....	9
2.2.	Charakteristika růstového modelu HERMES	10
2.3.	Popis modelových lokalit a půdních podmínek.....	12
2.4.	Použité scénáře vývoje klimatických podmínek.....	13
3.	Výsledky a diskuse	15
3.1.	Odhadovaný vývoj obsahu organického uhlíku v půdě.....	15
3.2.	Předpokládané dopady na úroveň minerálního hnojení.....	18
3.3.	Modelovaný vývoj výnosů vybraných plodin	22
	Pšenice ozimá	22
	Ječmen jarní.....	25
	Kukuřice na siláž	28
	Řepka ozimá	31
3.4.	Odhadovaná úroveň mineralizace a vyplavování dusíkatých látek.....	34
3.5.	Diskuse.....	38
4.	Závěry	39
III.	Srovnání novosti postupů.....	40
IV.	Popis uplatnění certifikované metodiky.....	41
V.	Ekonomické aspekty	41
VI.	Seznam použité literatury	42
VII.	Seznam publikací, které předcházely metodice	44

I. CÍL METODIKY

Cílem metodiky je prezentovat možnosti využití růstových modelů na příkladu nástroje HERMES k hodnocení procesů v systému půda-rostlina-atmosféra-zemědělec z různých časových perspektiv od meziročních výkyvů po dlouhodobé trendy popisující možný kontinuální vývoj až do druhé poloviny 21. století. Jedním z dílčích cílů je na vybraných variantách způsobů hospodaření na zemědělských pozemcích (z hlediska nakládání s posklizňovými zbytky, zařazování meziplovin či aplikace statkových hnojiv) poukázat na rozdílné důsledky těchto postupů. Cílem je rovněž ověřit důsledky vlivu vybraných hospodářských postupů v kombinaci s probíhající změnou klimatu a kvantifikovat jejich pravděpodobný adaptační či stabilizační potenciál a případné zlepšující vlivy. Cílem je na základě výsledků moderních modelovacích postupů doplnit informace, které by měly přispět ke kvalifikovanějším rozhodovacím procesům z dlouhodobého hlediska na úrovni pozemků, farem, regionů atd.

II. VLASTNÍ METODIKA

1. Úvod

Růstové modely (RM) nabízí jedinečnou platformu pro hledání odpovědí na otázky, jaké důsledky můžeme očekávat, budou-li se podmínky hospodaření měnit určitým definovatelným způsobem. Zatímco při využívání vědeckých postupů na základě experimentů, ať již *in vitro* či *in situ*, je nutné čekat na výsledky testovaných kombinací podmínek vždy do dokončení dané fáze růstu a vývoje, vědecká práce využívající přístup *in silico*, tedy různě komplexní modelové nástroje, umožňuje po úspěšné parametrizaci daného výpočetního postupu významně zkrátit čas mezi zahájením experimentu a získáním odpovídajících výsledků. Díky tomu je možné testovat velký počet kombinací vstupních podmínek a při vyhodnocení se věnovat jak dynamice procesů v krátkodobém (např. na úrovni dnů) až dlouhodobém měřítku (v řádu let či desetiletí). To v případě růstových modelů umožňuje testovat dlouhodobý (myšleno na úrovni desetiletí) vliv možných způsobů hospodaření v systému půda-rostlina-atmosféra-zemědělec. Toto je pro vysokou pracovní, finanční a prostorovou náročnost (ale i další omezení) u klasických polních maloparcelových experimentů poměrně komplikované a proto se tyto postupy omezují jen na menší počet kombinací podmínek. Mezi další omezení klasického provádění experimentů patří i velmi dlouhá doba (od původního založení pokusu) k dosažení výsledků v oblasti dlouhodobých efektů uvažovaných variant. Stejný postup za využití RM může trvat v řádech minut, hodin či dnů dle výpočetní náročnosti a technického výkonu.

Na druhou stranu růstové modely i přes nesporný pokrok, který prodělaly od svých počátků v 60. letech minulého století, využití nových poznatků i výkonnější výpočetní techniky stále pracují s řadou omezení a nedokáží bezesbýtku a s určitou mírou chybovosti vysvětlit a popsat veškeré fungování modelovaného systému (Rotter et al., 2011). Nejen díky tomu je neustále vhodně RM propojovat s metodami *in vitro* a *in situ*, ať již formou kalibrací, validací či dalšího vývoje na základě nových poznatků např. na základě manipulačních experimentů.

Velké uplatnění nacházejí RM kromě podpory rozhodovacích procesů (Jones et al., 2003) zejména v oblasti simulací vlivu změny podmínek životního prostředí a vývoje klimatických podmínek. Právě změnu klimatu lze bezesporu chápat jako velkou výzvu pro zemědělský sektor (Porter et al., 2014), přičemž tento fenomén se již v řadě regionů projevil a dle aktuální úrovně vědeckého poznání lze předpokládat, že klima se bude měnit i nadále v průběhu tohoto století.

Pomocí RM mohou být realizovány případové studie popisující reakce plodin a půdních procesů na uvažovanou měnící se koncentraci oxidu uhličitého, teploty a srážkové úhrny. Vekou předností RM v této oblasti je pak možnost realizace simulací pro celou škálu tzv. klimatických scénářů a časové horizonty ve vzdálenější budoucnosti. Touto problematikou se v oblasti střední Evropy vč. České republiky zabývala řada studií a řadu z nich shrnula např. monografie Žalud et al. (2009). Mimo tradiční postupy hodnocení dopadů izolovaně pro jednotlivé plodiny (Trnka et al., 2004a,b), kdy jsou procesy často modelovány pouze za období od setí do zralosti či sklizně, se začínají uplatňovat i postupy simulující nepřerušované celoroční víceleté cykly zohledňující např. vliv předplodiny, způsob nakládání s posklizňovými zbytky (Hlavinka et al., 2015), vliv zpracování půdy apod. V tomto případě jde o jednu z oblastí, v rámci které má předkládaná metodika ambice nabídnout čtenářům popis nových postupů a výsledků. Modelování osevních postupů se obecně vyznačuje možností dosáhnout

přesnějších výsledků (Kollas et al., 2015), ale nabízí i možnost modelovat půdní procesy způsobem, který více reflektuje možné reálné změny v budoucnosti.

Kromě působení měnících se klimatických podmínek bude rovněž nutné se vypořádat s probíhající degradací životního prostředí (včetně složek zemědělské krajiny a půdy), jako je pokles úrodnosti půdy (např. vlivem eroze, utužení, úbytek a snižování kvality organické hmoty), udržení biodiverzity a celkově s výzvou hospodařit trvale udržitelným způsobem a zajištěním potravinové bezpečnosti. Růstové modely mohou přispět do odborné a vědecké diskuse k tomuto tématu jak v oblasti množství a stability produkce, environmentálních dopadů způsobů hospodaření a potenciál mají v oblasti hodnocení kvalitativních ukazatelů produkce. Z hlediska změny klimatu se nejedná pouze o tzv. průměrné oteplení, či změnu vodní bilance, ale také o posun ve variabilitě podmínek a výskytu tzv. extrémních událostí jako jsou povodně, epizody sucha, vlny veder, apod. Pro kvantifikaci dopadů se jedná o mimořádně komplexní zadání, kdy je celý systém ovlivňován sítí propojených negativních i pozitivních zpětných vazeb, jejichž význam není a nebude v čase a prostoru konstantní. Očekává se, že některé regiony a plodiny budou díky teplejším a sušším podmínkám zvýhodněny (obecně chladnější regiony s dostatkem srážek a teplomilnější a k suchu tolerantní plodiny a odrůdy). V případě zemědělství v podmínkách střední Evropy (vč. České republiky), pak mezi výrazná budoucí rizika patří epizody zemědělského sucha a výskyt vysokých teplot vzduchu, které ať již společně se sníženou dostupností vody v půdě nebo samostatně mohou způsobovat dramatické propady produkce (např. Trnka et al., 2014).

2. Popis metod

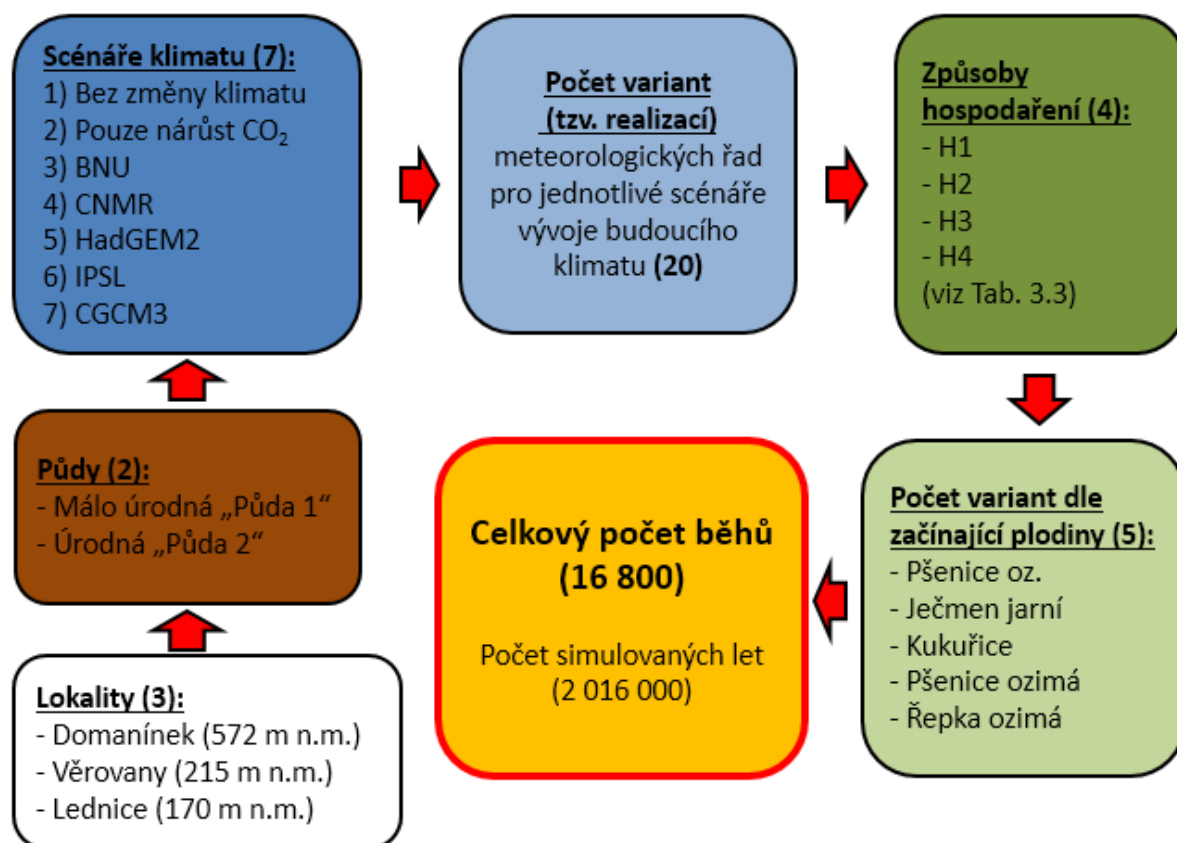
2.1. Definice způsobů hospodaření a struktury realizovaných výpočtů

V rámci předkládané metodiky jsou prezentovány zejména výsledky simulací 4 různých způsobů hospodaření při pěstování polních plodin. Vždy se jedná o postupné střídání plodin pšenice ozimá – ječmen jarní – kukuřice na siláž – pšenice ozimá – řepka ozimá a jednotlivé způsoby hospodaření (označováno jako H1 až H4) se od sebe liší nakládáním s posklizňovými zbytky, zařazením meziplodin a aplikací organických hnojiv (viz Obr. 2.1.). Každá sekvence plodin pak byla počítána v 5-ti různých variantách, které se lišily začínající plodinou, kdy se postupně opět jednalo o pšenici ozimou, ječmen jarní, kukuřici na siláž, řepku ozimou a pšenici ozimou (všechny s termínem setí tak, aby 1. rokem sklizně byl rok 1962). Vzorové simulace byly prováděny pomocí růstového modelu HERMES (popis v kapitole 2.2.) v rámci 3 různých lokalit, kdy na každé z nich byly výpočty paralelně počítány pro dva různé půdní profily reprezentující méně vhodné (Půda 1) a velmi vhodné (Půda 2) půdní podmínky (viz kapitola 2.3.). Výpočty modelem HERMES byly prováděny pro období 1961-2080 jako tzv. nepřerušené simulace. První 30-ti leté období bylo vždy počítáno pro způsob hospodaření H4 (jako tzv. iniciační období) a na něj pak od roku 1991 do 2080 navazovalo nastavení H1 až H4. Pro období 1961-2010 byly výpočty založeny na měřených meteorologických datech z uvedených 3 lokalit a po roce 2010 pak na základě tzv. syntetických řad meteorologických prvků. Tyto syntetické řady představovaly 7 možných scénářů vývoje klimatických podmínek (podrobnější popis viz kapitola 2.4.), přičemž pro každý scénář bylo k dispozici 20 realizací, což znamená 20 různých řad meteorologických prvků, jejichž statistické charakteristiky odpovídaly danému konkrétnímu scénáři změny klimatu. Uvedený počet realizací byl zvolen tak, aby bylo možné vyhodnotit dostatečně velký počet variant a kombinací podmínek daného scénáře. Zjednodušený schématický přehled počítaných simulací včetně počtu simulovaných let je uveden v rámci Obr. 2.2, přičemž veškeré výpočty jsou nastaveny bez možnosti aplikace stabilizačních závlah.



Označení způsobu hospodaření	Popis
H1	Bez meziplodin a organického hnojení, posklizňové zbytky po obilninách odváženy z pole
H2	H1 + posklizňové zbytky zapravovány do půdy
H3	H2 + po předplodině jařin pěstována meziplodina
H4	H3 + po obilninách a kukuřici na siláž dodáván chlévský hnůj

Obr. 2.1. Schéma střídání plodin a popis modelovaných způsobů hospodaření (H1 až H4).



Obr. 2.2. Zjednodušený schématický přehled počítaných simulací včetně počtu simulovaných let.

2.2. Charakteristika růstového modelu HERMES

Použitý software HERMES byl vyvinut v Německu a patří mezi tzv. procesně orientované růstové modely (např. Kersebaum, 2007), umožňující simulovat růst a vývoj řady polních plodin, vodní bilanci a dostupnost vody pro rostliny, dále půdní procesy, dostupnost živin a další. Jedná se o komplexní nástroj, který je však schopen pracovat i s omezeným rozsahem vstupních dat, přičemž byl součástí řady tzv. ensemblových mezinárodních studií (např. Kollas et al., 2015; Palosuo et al., 2011; Pirttioja et al., 2015; Rötter et al., 2012). Pro významné polní plodiny a podmínky České republiky byl kalibrován a validován Hlavinkou et al. (2014) a následně testován pro predikce dopadů změny klimatu na vzorových třech lokalitách (Hlavinka et al., 2015). Na počátku vývoje modelu HERMES byla ambice vytvoření praktického počítačového programu k využití zemědělci a poradci v zemědělství a vodním hospodářství, který by byl schopen simulovat dynamiku a pohyb dusíku v půdě. Prvotní koncept, který měl ulehčit práci zemědělcům, byl postupně rozšiřován o výpočet vodní bilance a dynamiku růstu nejvíce pěstovaných plodin. Modul růstu plodin byl upraven pomocí generického přístupu, který provázal různé plodiny pomocí předdefinovaných externích plodinových parametrů (Kersebaum, 2007). Model reprezentuje detailní fotosynteticko–respirační přístup. Vodní bilance půdy je řešena prostřednictvím jednoduchého kapacitního přístupu. Dále využívá stanovení tzv. referenční evapotranspirace ET_0 dle Penman-Monteithe (např. Allen et al. 1998) ve spojení s plodinovými koeficienty (K_c) specifických hodnot pro jednotlivé fenologické fáze plodin. Tímto způsobem je odvozena tzv. plodinově specifická evapotranspirace (ET_c) a tato je rozdělena na evaporační a transpirační složku na základě indexu listové plochy (LAI). Transpirace je následně

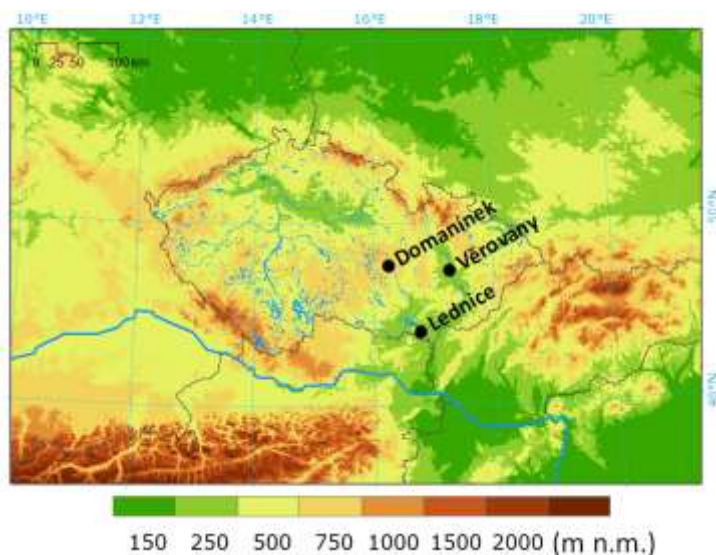
redukována dle obsahu vody v půdě. Vodní deficit v horní vrstvě může být kompenzován dostupnou vodou v hlubších vrstvách a takto je odvozena tzv. aktuální transpirace. Podíl mezi aktuální a potenciální transpirací je následně využíván jako ukazatel stresu suchem, přičemž nastavení prahových hodnot je specifické jak pro plodiny, tak pro vývojové fáze. Růst plodin je modelován na bázi modelu SUCROS (van Keulen et al. 1982), kdy produkce suché hmoty odpovídá zachycené radiaci a teplotním poměrům a tyto hodnoty mohou být snižovány v důsledku stresu suchem a nedostatkem minerálního dusíku v půdě.

V rámci předkládané metodiky odpovídá základní nastavení modelu HERMES nastavení simulací v rámci práce Hlavinky et al. (2015). Konkrétně byl aktivován algoritmus pro odhad termínu setí na základě povětrnostních podmínek a půdní vlhkosti, modul pro automatické hnojení minerálním dusíkem, který pro definované termíny (tj. specifické fenologické fáze) doplní obsah minerálního dusíku v půdě na požadované hodnoty a modul automatického termínu sklizně, který je definován zralostí, půdní vlhkostí, výskytem deště a nejzazším možným termínem. Pro zapravování posklizňových zbytků je uvažováno zpracování půdy do hloubky 20 cm. Jako meziplodina je pěstován porost se stejnými parametry jako řepka ozimá. Pro hospodaření H4 je pravidelně po obilninách a kukuřici na siláž aplikováno a zapraveno 40 tun chlévského hnoje na hektar. Je zřejmé, že se v tomto případě jedná o mimořádně vysoké dávky, nicméně záměrem bylo vytvořit hypotetický způsob hospodaření, který by byl charakteristický pro velmi vysoké vstupy organické hmoty do půdy.

Jako vstupní data jsou pro model HERMES (obdobně platí i pro další růstové modely) nezbytné údaje o půdních podmínkách a průběhu počasí (tj. meteorologická data). Dále je třeba definovat přítomnou plodinu (odrůdu) či sekvenci plodin (odrůd) a v neposlední řadě je nutné vložit údaje o známých, či definovaných, termínech polních operací, zakládání porostů, hnojení (vč. druhu a množství živin) a sklizně. V případě vstupních meteorologických dat se jedná o údaje v denním kroku: sumy globálního slunečního záření (MJ/m²/den), minimální a maximální teplotu vzduchu za den (°C), úhrn srážek (mm), rychlost větru (m/s) a vlhkost vzduchu (hPa). Jako doplňkovou hodnotu lze zadat i koncentraci CO₂ ve vzduchu. K popisu půdních podmínek pro potřeby simulace je nutné definovat jednotlivé půdní vrstvy (horizonty v libovolném počtu) prostřednictvím jejich mocnosti (cm), polní vodní kapacity, bodu vadnutí a pórovitosti (vše v %), dále obsahu jílovitých, prachových a písčitých částic, obsahu kamenů (vše v %), objemové hmotnosti (g/cm³), obsahu organického uhlíku (%) a poměru C:N. Pro celý profil je třeba dále definovat možnou maximální hloubku kořenění. Z hlediska plodin model HERMES aktuálně nabízí možnost výpočtu pro ječmen jarní i ozimý, pšenici jarní i ozimou, ozimé žito, oves, kukuřici na siláž, řepku, hořčici, brambory, cukrovou řepu, vojtěšku a travní porost. Před samotnou aplikací modelu je však třeba vycházet z aktuálně dostupných (tedy kalibrovaných a validovaných) parametrů konkrétních odrůd daných plodin. Popis významu a provedení procedur kalibrace a validace je popsán např. v metodice Hlavinky et al. (2015). V případě definování odrůd se jedná zejména o nastavení délky fenologických fází (prostřednictvím teplotních sum), distribuce fotosyntetických asimilátů v průběhu růstu, citlivost k stresu suchem a dostupnosti minerálního dusíku v půdě apod. Jako poslední skupinu dat nezbytných pro úspěšnou simulaci je třeba stanovit termíny polních operací, zakládání porostů, hnojení (vč. druhu a množství živin), sklizně a nakládání s posklizňovými zbytky. Tyto údaje je možné definovat individuálně pro jednotlivé ročníky či varianty výpočtu (dle známých či definovaných hodnot) nebo jejich načasování a nastavení ponechat na modelu samotném, který toto provede automaticky na základě definovaných algoritmů."

2.3. Popis modelových lokalit a půdních podmínek

Předkládaná metodika uvádí příklady výsledků pro 3 reprezentativní lokality (viz Obr. 2.3.) a sice Lednici (kukuřičná výrobní oblast), Věrovany (řepařská výrobní oblast) a Domaníněk (bramborářsko-obilnářská výrobní oblast). Zeměpisné souřadnice, nadmořská výška a průměrné roční teploty vzduchu a úhrny srážek jsou uvedeny v Tabulce 2.1. Tyto lokality byly voleny tak, aby reprezentovaly 3 klimaticky různé regiony a v širším kontextu gradient, který popisuje většinu zemědělsky významných regionů v ČR. Na těchto lokalitách byly výpočty modelem HERMES prováděny vždy paralelně na dvou kontrastních půdních profilech. U prvního profilu (Půda 1) se jedná o mělkou půdu s nízkou retenční schopností (odpovídá hlinito-písčitém půdám) reprezentující méně úrodné stanoviště. U této půdy byla hloubka kořenění definována do 80 cm a maximální dostupná vodní kapacita 94 mm. V případě druhého profilu (Půda 2) se jedná o půdu s vyšší retenční schopností (byl použit typický profil pro hluboké hlinité půdy) reprezentující úrodné půdy. Předpokládaná maximální hloubka kořenění byla definována do 150 cm s maximální dostupnou vodní kapacitou 267 mm.



Obr. 2.3. Poloha modelových lokalit.

Tabulka 2.1. Zeměpisná poloha 3 zvolených modelových lokalit a popis současných klimatických podmínek

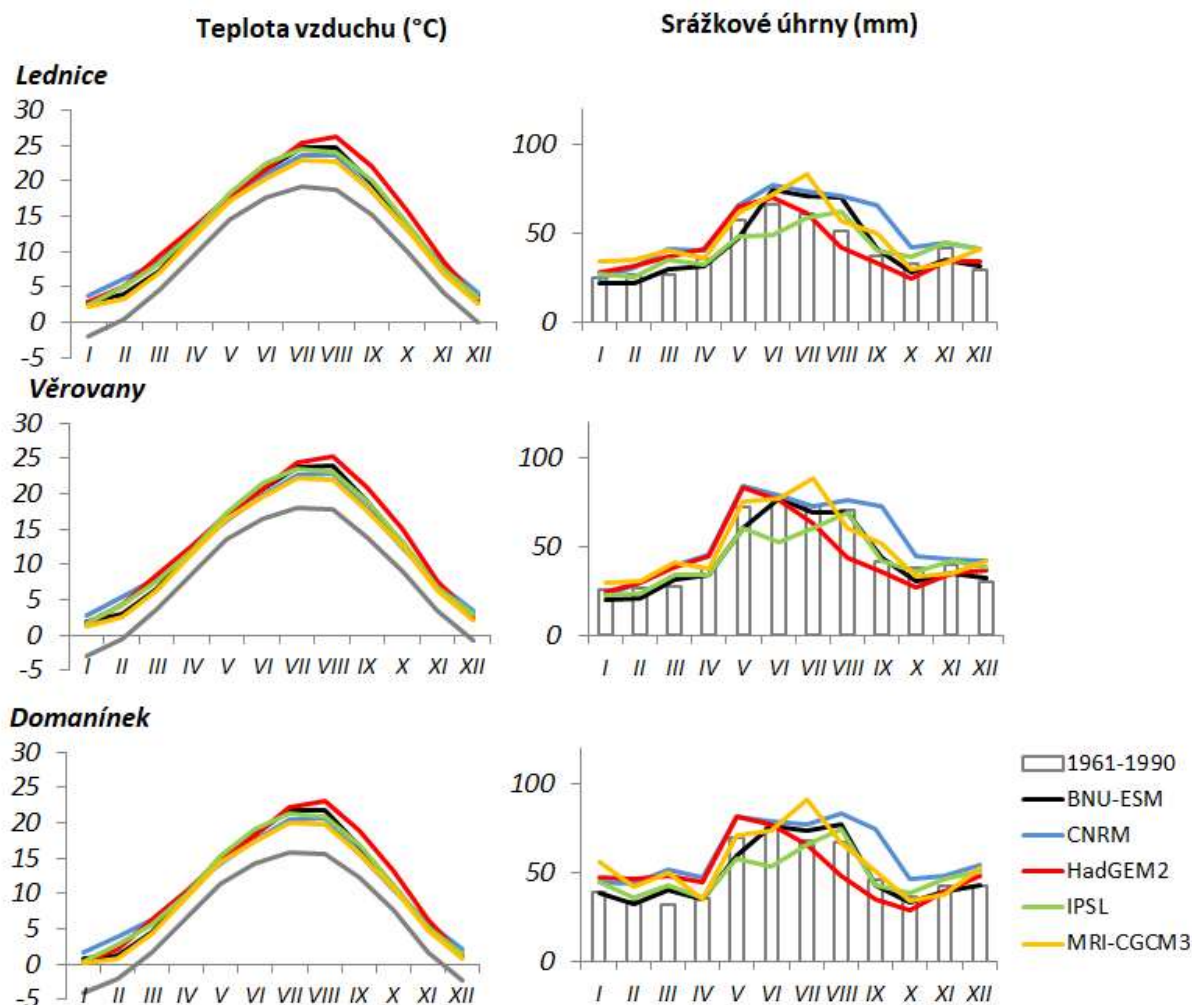
	Poloha			Klimat. podmínky 1981-2010	
	z. délka (°)	z. šířka (°)	nadm. v. (m n.m.)	(°C)	(mm)
Lednice	16°46′	48°48′	170	9.9±0.5	514±74
Věrovany	17°16′	49°28′	215	9.0±0.6	542±68
Domaníněk	16°15′	49°32′	572	7.2±0.5	612±73

2.4. Použité scénáře vývoje klimatických podmínek

Výpočty pro období 1981-2010 byly na jednotlivých stanicích realizovány s využitím naměřených meteorologických dat v denním kroku. Pro následující období 2011-2080 bylo využito uměle vytvořených tzv. syntetických řad meteorologických prvků 7 vybraných scénářů možného vývoje klimatických podmínek. Dva z těchto scénářů nevykazovaly změny statistických ukazatelů oproti současnosti (pro hodnocení vývoje půdních procesů v důsledku hospodaření bez vlivu vývoje klimatu). Tyto dvě řady se liší koncentrací CO₂, která byla při výpočtech modelem HERMES využita: i) řada „bez změny klimatu“ kdy zůstala atmosférická koncentrace CO₂ po 2010 konstantní a ii) „pouze nárůst CO₂“, kdy rovněž nebyly změněny klimatické charakteristiky, ale byl uvažován nárůst atmosférické koncentrace CO₂ i po roce 2010 dle RCP 8.5. Dalších 5 scénářů (na základě vybraných tzv. GCM – Globálních Cirkulačních Modelů) bylo voleno tak, aby reprezentovaly jak pomyslný střed rozsahu změn teplot a úhrnů srážek (model IPSL), tak modely předpokládající spíše mírný nárůst srážek (CNRM a MRI-CGCM3) resp. pokles srážek (HadGEM2, BNU) ve vegetačním období a liší se i mírou nárůstu teplot. Modely HadGEM2 a CNMR zastupují modely s větším nárůstem teploty a modely MRI-CGCM3 a BNU spíše s menším nárůstem teplot. Vývoj meteorologických prvků včetně teplot v rámci těchto 5-ti scénářů byl realizován postupnou formou a jednalo se tedy o tzv. transientní typ scénářů odpovídajících nárůstu koncentrace skleníkových plynů dle emisního scénáře RCP 8.5 (pesimistická varianta rychlejšího nárůstu koncentrací skleníkových plynů). Pro získání dostatečně široké množiny možných kombinací budoucích podmínek bylo po roce 2010 od každého ze 7 scénářů použito vždy 20 realizací (variant). Charakter použitých meteorologických řad z hlediska teploty vzduchu a úhrnů srážek je uveden v Tabulce 2.2. a Obr. 2.4.

Tabulka 2.2. Průměrné měsíční teploty vzduchu a srážkové úhrny ($\pm$ směrodatná odchylka) za normálové období 1961-1990 a přehled posunu podmínek pro období 1981-2010 a pro jednotlivé scénáře v období 2061-2080.

	Teplota vzduchu (°C)						
	1961-1990	1981-2010	2061-2080				
			BNU-ESM	CNRM	HadGEM2	IPSL	MRI-CGCM3
Lednice	9.4±0.6	9.9±0.5	13.4±0.6	13.5±0.6	14.3±0.6	13.6±0.6	12.5±0.6
Věrovany	8.4±0.7	9.0±0.6	12.6±0.7	12.6±0.7	13.4±0.7	12.8±0.7	11.8±0.6
Domanínec	6.6±0.7	7.2±0.5	10.7±0.6	10.8±0.6	11.5±0.7	10.9±0.6	9.9±0.6
	Úhrny srážek (mm)						
	1961-1990	1981-2010	2061-2080				
			BNU-ESM	CNRM	HadGEM2	IPSL	MRI-CGCM3
Lednice	491±81	514±74	503±75	619±89	504±72	503±70	575±83
Věrovany	563±90	542±68	525±66	650±84	538±66	513±63	603±75
Domanínec	591±84	612±73	592±71	734±90	611±72	592±69	662±78



Obr. 2.4. Srovnání vývoje průměrných měsíčních teplot vzduchu a srážkových úhrnů za normálové období 1961-1990 a přehled posunu podmínek pro jednotlivé scénáře a období 2061-2080.

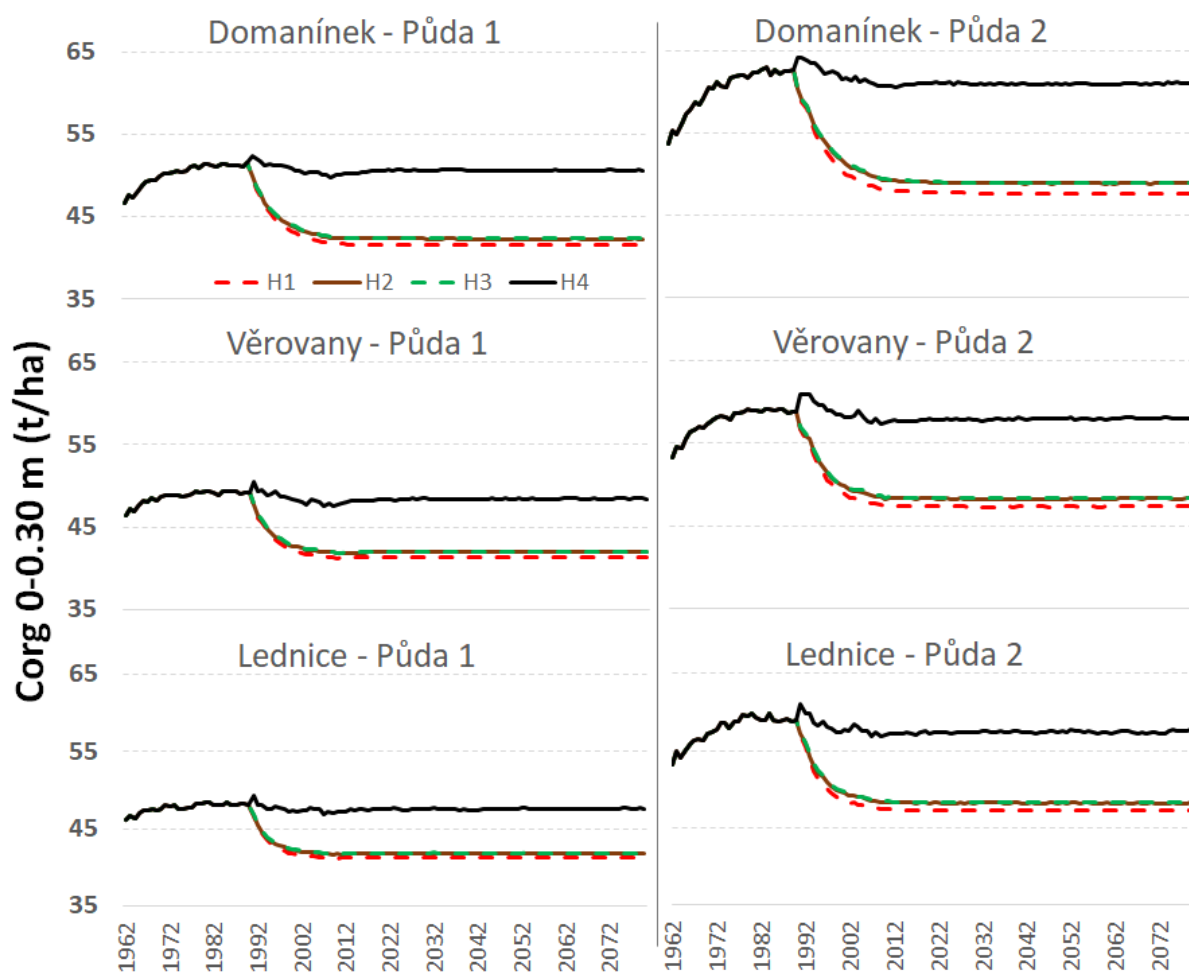
Meteorologické řady reprezentující změněné klima jsou vytvořeny stochastickým meteorologickým generátorem, který byl v prvním kroku kalibrován pomocí pozorovaných řad, a ve druhém kroku byly jeho parametry modifikovány podle scénáře změny klimatu. Při konstrukci syntetických řad reprezentujících změněné klima podle daného scénáře lze použít dvě strategie: v prvním (jednodušším) případě se jednorázově modifikují parametry generátoru pomocí scénáře pro daný emisní scénář (např. RCP8.5) a konkrétní budoucí rok (např. 2050) a pak se s využitím nových modifikovaných parametrů vytvoří libovolně dlouhá časová řada reprezentující klima definované těmito parametry. Výsledné řady pak lze považovat za stacionární (v rámci dané časové řady se klima nemění) klimatické scénáře reprezentující zvolený emisní scénář a budoucí období. V druhém, složitějším případě se parametry generátoru plynule mění (v praxi je to provedeno tak, že se změní vždy k prvnímu lednu každého generovaného roku) v souladu s tím, jak roste globální teplota zemského povrchu pro daný emisní scénář. Tímto způsobem vznikají tzv. transientní scénáře, kdy pro každý jednotlivý rok syntetické řady se v tomto případě parametry generátoru mění pomocí scénáře ZK, který je dán jako součin standardizovaného scénáře a změny globální teploty pro daný rok; této metodě škálování scénářů změny klimatu se říká metoda "pattern scaling".

3. Výsledky a diskuse

3.1. Odhadovaný vývoj obsahu organického uhlíku v půdě

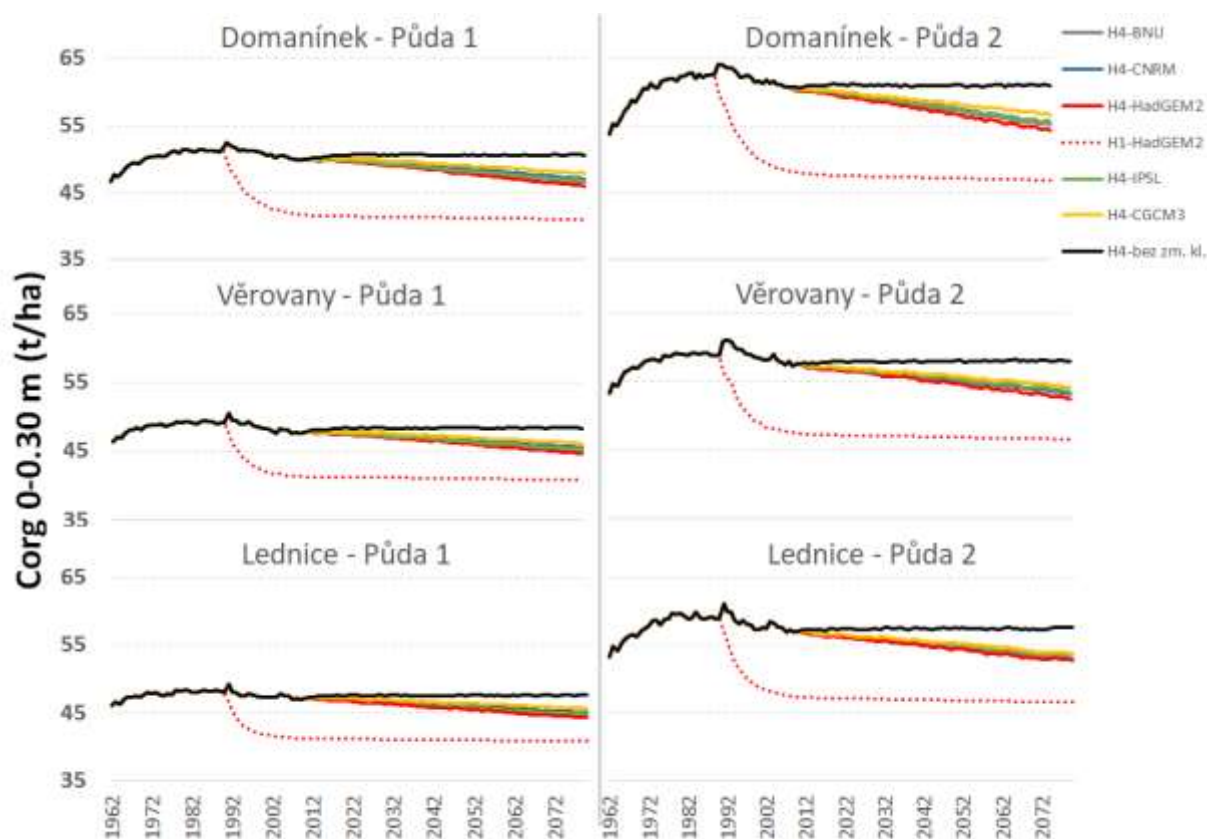
Jednou z klíčových předností použití RM v rámci nepřerušovaných osevních postupů je možnost podrobného hodnocení půdních procesů z dlouhodobého (víceletého) pohledu. Přidanou hodnotu pak lze získat i na základě možnosti srovnání různých přístupů k hospodaření na orné půdě. Z hlediska půdotvorných procesů patří k nejvýznamnějším charakteristikám bilance organické hmoty v půdě, jejíž výslednici lze kvantifikovat prostřednictvím obsahu (hmotnosti) uhlíku v rámci organických látek v dané vrstvě. Množství a kvalita organické hmoty ovlivňuje fyzikální, chemické i biologické vlastnosti půdy a v neposlední řadě i půdní úrodnost. Řešení otázek týkajících se obsahu organické hmoty v půdě je v současné době velmi aktuální z několika důvodů. Jedním z nich je postupující degradace půdního prostředí a potřeba tento negativní trend alespoň zastavit nebo zvrátit (organická hmota se ztrácí jednak v důsledku erozních pochodů, nevhodným hospodařením a změnou podmínek). Úbytku, či změně kvality organické hmoty, je přisuzována zvýšená zranitelnost v důsledku stresu suchem, kdy půdy s menším obsahem organické hmoty mají nižší retenční kapacitu. V neposlední řadě je třeba vnímat půdu jako úložiště uhlíku, který by se v případě oxidace stal tzv. radiačně aktivním plynem a při uvolnění do atmosféry by přispěl k zesílení skleníkového efektu. Z výše uvedených důvodů je zřejmé, proč je velmi žádoucí alespoň udržet obsah organické hmoty na stávajících hodnotách. Zvýšení obsahu by pak mohlo být vnímáno jako tzv. adaptační opatření (vedoucí k vyšší retenční kapacitě půdy, zlepšení sorpčních vlastností i úrodnosti) ale také jako mitigační opatření či proces, neboť by se jednalo o uložení uhlíku (s potenciálem přispívat k zesílení skleníkového efektu jako radiačně aktivní plyn) do půdy. I tato tzv. sekvestrační funkce půdy je často diskutována a proto je velmi žádoucí vyhodnotit vliv různých způsobů hospodaření právě na bilanci organické hmoty v půdě.

V rámci Obr. 3.1. je zachycen předpokládaný vývoj obsahu organického uhlíku v půdní vrstvě 0-0,3 m na základě modelu HERMES od roku 1961 do 2080 pokud by meteorologické podmínky za celé období odpovídaly scénáři „bez změny klimatu“. Konkrétně jsou vykresleny hodnoty pro způsoby hospodaření H1 až H4 v rámci 3 vzorových lokalit v kombinaci se dvěma definovanými půdními profily. Z výsledků je dobře patrné, že i při předpokladu nezměněných klimatických podmínek bude možné výchozí stav zlepšit (chladnější a vlhčí polohy) či spíše udržet na srovnatelné úrovni (teplejší a sušší polohy) pouze za předpokladu hospodaření H4. Na druhou stranu v současné době mnohem častější způsob hospodaření H3 (s meziplodinami a zapravováním posklizňových zbytků) dle modelu HERMES vede k postupnému úbytku organické hmoty (oproti původnímu stavu) a to napříč lokalitami i půdními podmínkami. Jako překvapivý výsledek lze vnímat i to, že způsob hospodaření H3 z tohoto pohledu přináší v podstatě totožné výsledky jako H2 (tj. pouze zapravování posklizňových zbytků bez meziplovin) a jen o něco málo lepší hodnoty než H1 (tj. bez meziplovin a s využitím části posklizňových zbytků mimo pole – např. k energetickým účelům).



Obr.3.1. Modelem HERMES odhadovaný obsah organického uhlíku v půdní vrstvě 0-0,3 m na lokalitách Domaníněk, Věrovany a Lednice v kombinaci s horší (Půda 1) a kvalitnější (Půda 2) půdou. Výsledky zachycují vývoj v průběhu období 1961-2080 za využití meteorologických řad odpovídajících scénářů „bez změny klimatu“ a reflektující pouze dlouhodobý vliv způsobů hospodaření H1 až H4.

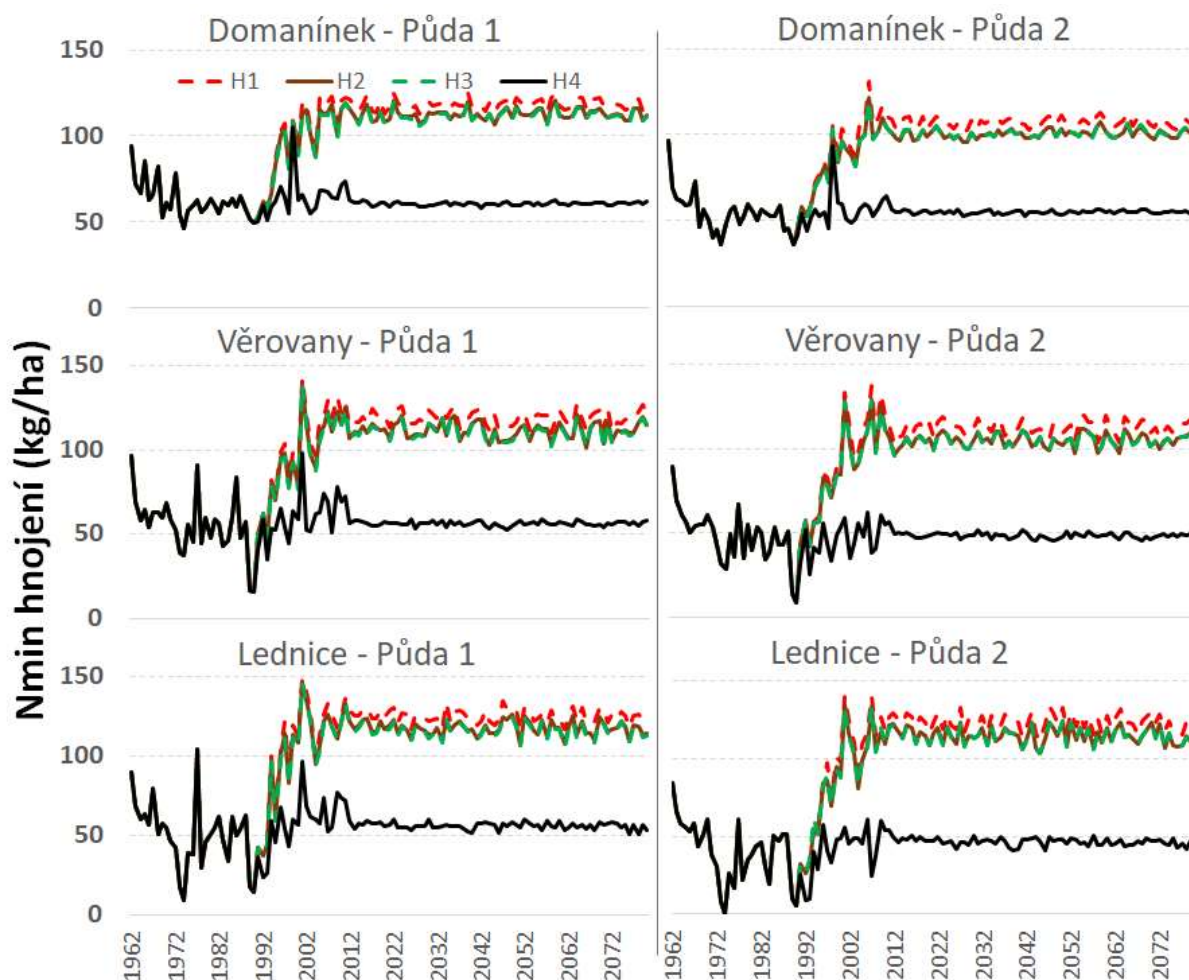
Jako poměrně znepokojivé lze vnímat výsledky modelu HERMES v případě, že připustíme možnou budoucí změnu klimatických podmínek dle některého z pěti vybraných scénářů, kdy je simulován klesající obsah organického uhlíku v průběhu 21. století i pro hospodaření způsobem H4 zahrnující pravidelné vysoké dávky statkových hnojiv (viz Obr. 3.2.) a tento trend je předpokládán napříč lokalitami a půdními podmínkami. Nejrychlejší pokles je předpokládán pro chladnější a vlhčí lokality v kombinaci s kvalitnějšími půdami. Z hlediska možných scénářů změny klimatu pak lze očekávat největší pokles dle GCM HadGEM2, nicméně i neoptimističtější z klimatických scénářů v tomto ohledu (CGCM3) znamená pokles organické hmoty v ornici.



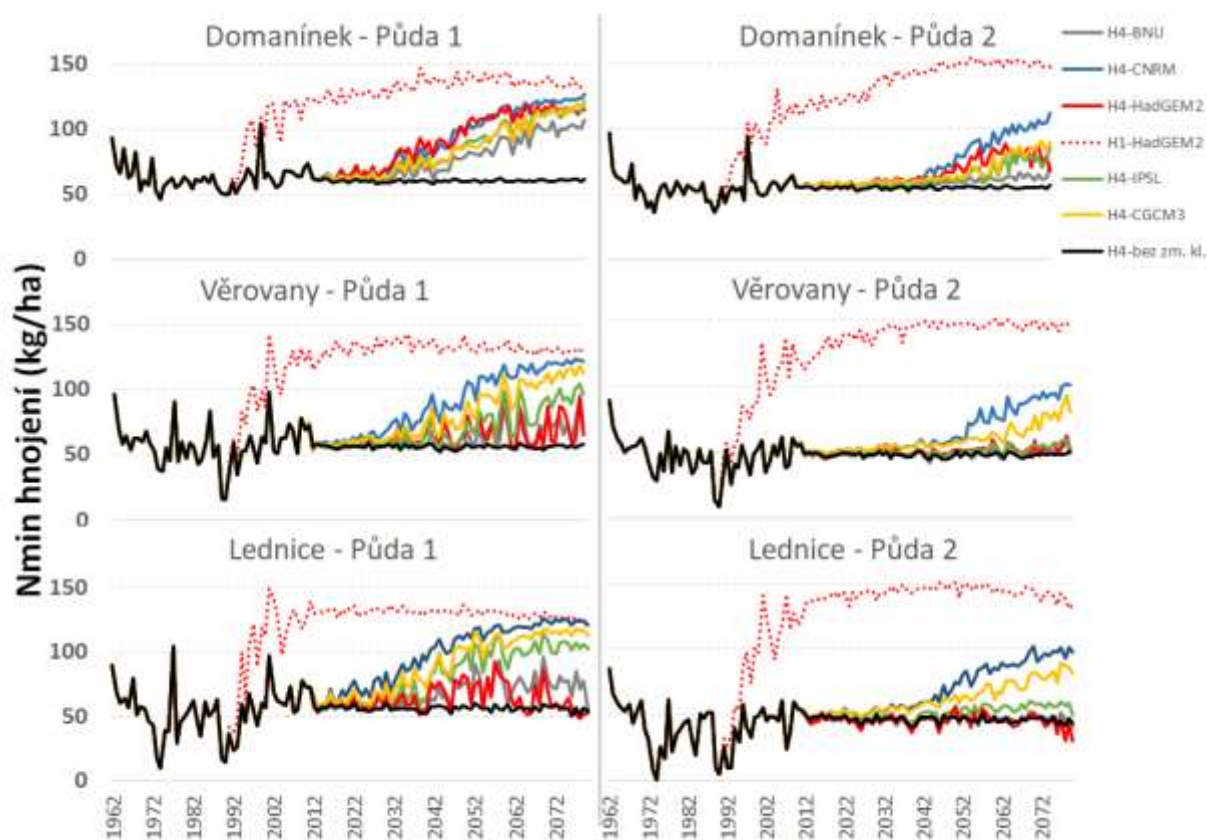
Obr.3.2. Modelem HERMES odhadovaný obsah organického uhlíku v půdní vrstvě 0–0,3 m na lokalitách Domanínek, Věrovany a Lednice v kombinaci s horší (Půda 1) a kvalitnější (Půda 2) půdou. Výsledky zachycují vývoj v průběhu období 1961–2080 za využití meteorologických řad odpovídajících 6 scénářům změny klimatu (5 GCM a „bez změny klimatu“) v kombinaci se způsobem hospodaření H4. Pro srovnání jsou rovněž vykresleny hodnoty odpovídající u GCM HadGEM2 způsobu hospodaření H1.

3.2. Předpokládané dopady na úroveň minerálního hnojení

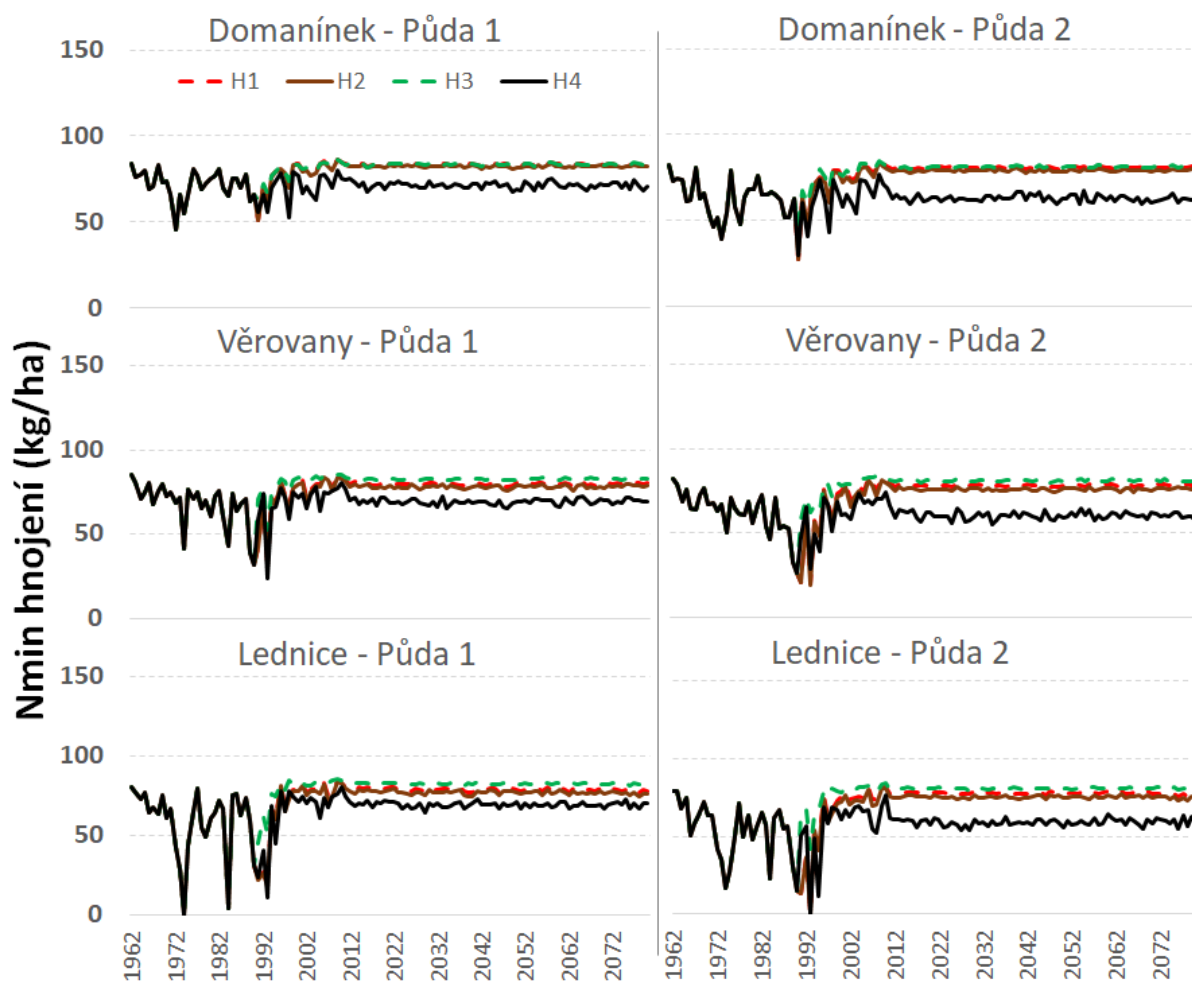
Modelem HERMES odhadovaný vliv způsobů hospodaření H1 až H4 na úroveň průměrné roční úrovně hnojení minerálním dusíkem zachycují Obr. 3.3. až 3.6., kdy jako vzorová plodina byla zvolena pšenice ozimá (Obr. 3.3. a 3.4.) a ječmen jarní (Obr. 3.5. a 3.6.). Obecně platí, že pro dosažení požadované úrovně dostupnosti minerálního dusíku v půdě pro klíčové vývojové fáze růstu, je třeba nejvíce minerálních hnojiv dodávat v případě hospodaření H1, o něco méně při H2 a H3 (u těchto dvou se jedná o srovnatelnou úroveň) a nejméně v případě H4. V případě pšenice ozimé dle modelu HERMES bude potřeba minerálního hnojení dusíkem zvýšena, pokud bude docházet k posunu klimatických podmínek a to zejména dle scénářů CNRM, CGCM3 a IPSL a to i v případě hospodaření H4 (Obr. 3.4.), kdy předpokládaná spotřeba bude vyšší v případě méně kvalitních půd. I v případě ječmene jarního je patrný vliv způsobu hospodaření na předpokládanou úroveň minerálního hnojení dusíkem, nicméně rozdíly mezi H1 až H4 nejsou tak výrazné (Obr. 3.5.) jako v případě pšenice ozimé. Významně se neprojevuje ani potřeba zvýšeného hnojení minerálními hnojivy pro změněné klimatické podmínky (Obr. 3.6.).



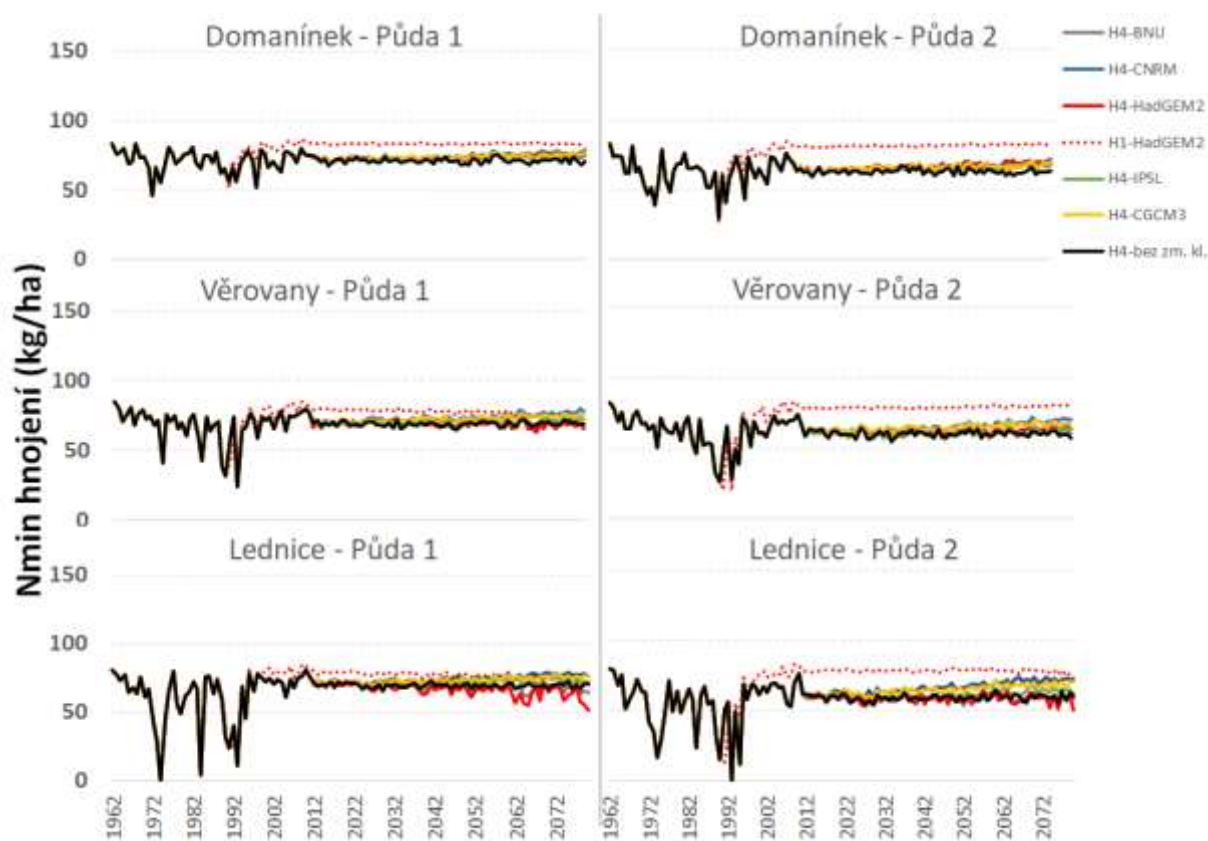
Obr.3.3. Modelem HERMES odhadovaná střední hodnota (medián) roční úrovně hnojení minerálním dusíkem při pěstování pšenice ozimé na lokalitách Domanínek, Věrovany a Lednice v kombinaci s horší (Půda 1) a kvalitnější (Půda 2) půdou. Výsledky zachycují vývoj v průběhu období 1961-2080 za využití meteorologických řad odpovídajících scénáři „bez změny klimatu“ a reflektující pouze dlouhodobý vliv způsobů hospodaření H1 až H4.



Obr.3.4. Modelem HERMES odhadovaná střední hodnota (medián) roční úrovně hnojení minerálním dusíkem při pěstování pšenice ozimé na lokalitách Domaníněk, Věrovany a Lednice v kombinaci s horší (Půda 1) a kvalitnější (Půda 2) půdou. Výsledky zachycují vývoj v průběhu období 1961-2080 za využití meteorologických řad odpovídajících 6 scénářům změny klimatu (5 GCM a „bez změny klimatu“) v kombinaci se způsobem hospodaření H4. Pro srovnání jsou rovněž vykresleny hodnoty odpovídající u GCM HadGEM2 způsobu hospodaření H1.



Obr.3.5. Modelem HERMES odhadovaná střední hodnota (medián) roční úrovně hnojení minerálním dusíkem při pěstování ječmene jarního na lokalitách Domaníněk, Věrovany a Lednice v kombinaci s horší (Půda 1) a kvalitnější (Půda 2) půdou. Výsledky zachycují vývoj v průběhu období 1961-2080 za využití meteorologických řad odpovídajících scénáři „bez změny klimatu“ a reflektující pouze dlouhodobý vliv způsobů hospodaření H1 až H4.

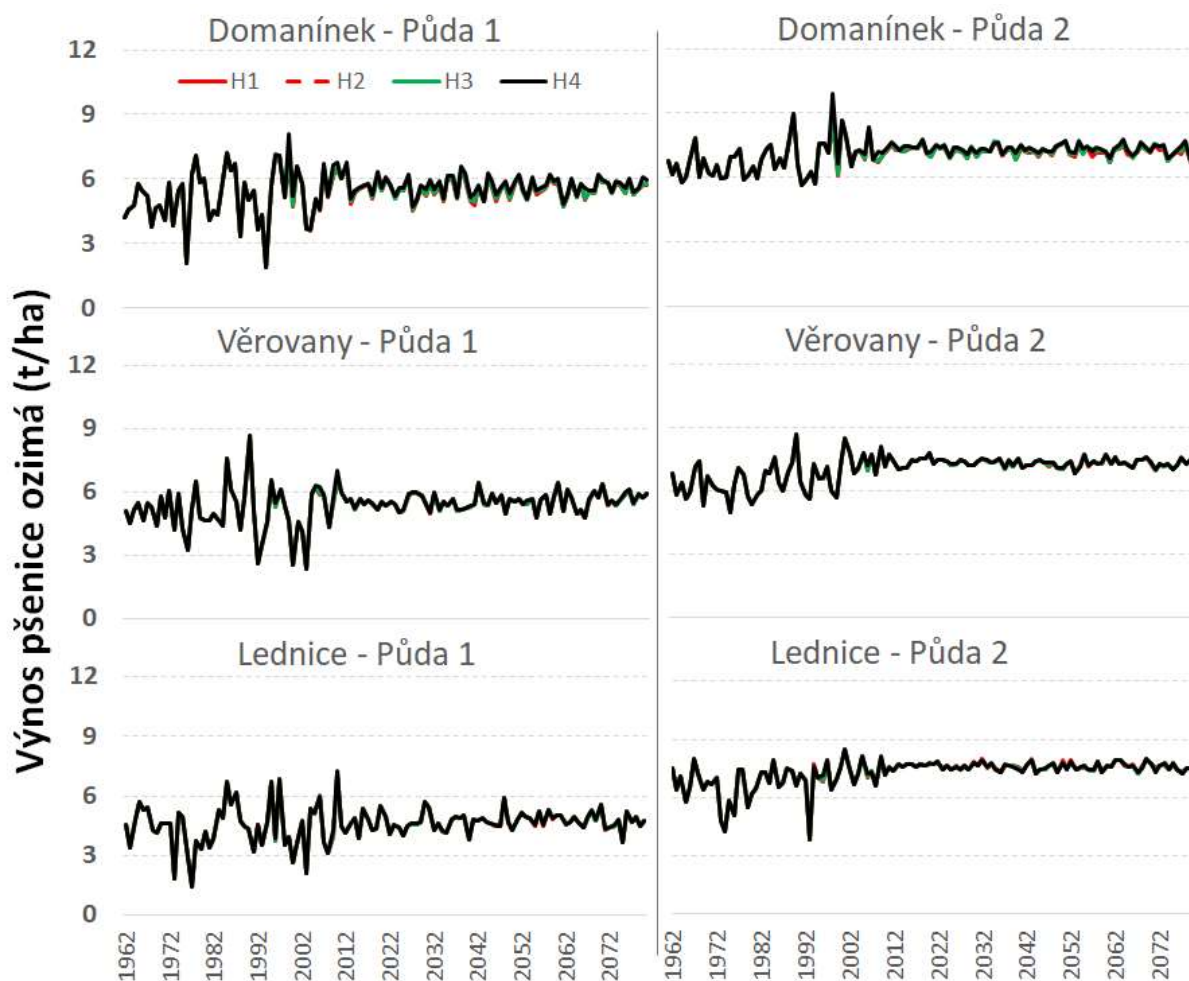


Obr.3.6. Modelem HERMES odhadovaná střední hodnota (medián) roční úrovně hnojení minerálním dusíkem při pěstování ječmene jarního na lokalitách Domanínec, Věrovany a Lednice v kombinaci s horší (Půda 1) a kvalitnější (Půda 2) půdou. Výsledky zachycují vývoj v průběhu období 1961-2080 za využití meteorologických řad odpovídajících 6 scénářům změny klimatu (5 GCM a „bez změny klimatu“) v kombinaci se způsobem hospodaření H4. Pro srovnání jsou rovněž vykresleny hodnoty odpovídající u GCM HadGEM2 způsobu hospodaření H1.

3.3. Modelovaný vývoj výnosů vybraných plodin

Pšenice ozimá

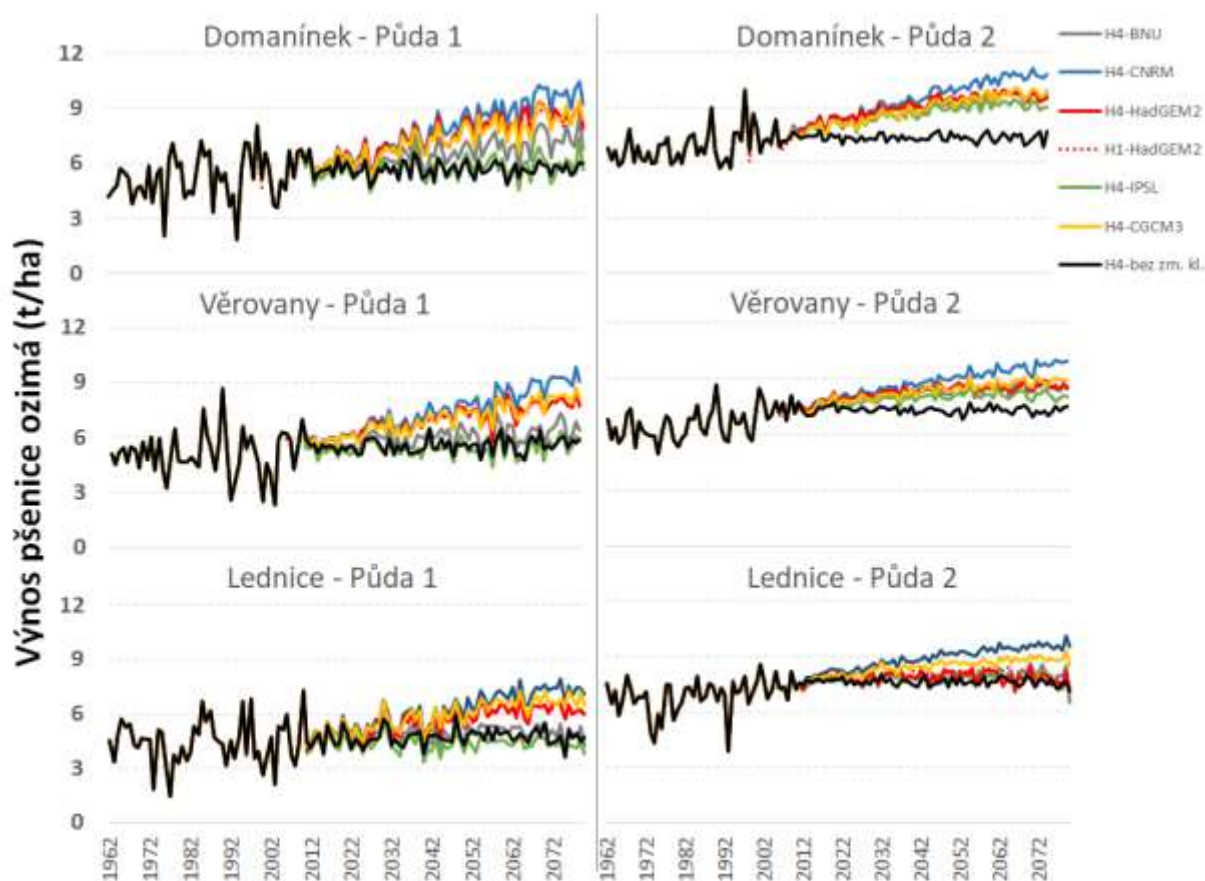
Z hlediska odhadované úrovně výnosů pšenice ozimé modelem HERMES v průběhu období 1962-2080 pro podmínky „bez změny klimatu“ jsou výsledky pro vzorové lokality uvedené prostřednictvím Obr. 3.7., ze kterého není patrný žádný významný rozdíl mezi způsoby hospodaření H1 až H4. Z hlediska výnosů této plodiny je rozdílnost ve způsobech hospodaření možné kompenzovat v rámci procesů simulovaných modelem HERMES vyššími dávkami minerálního dusíku.



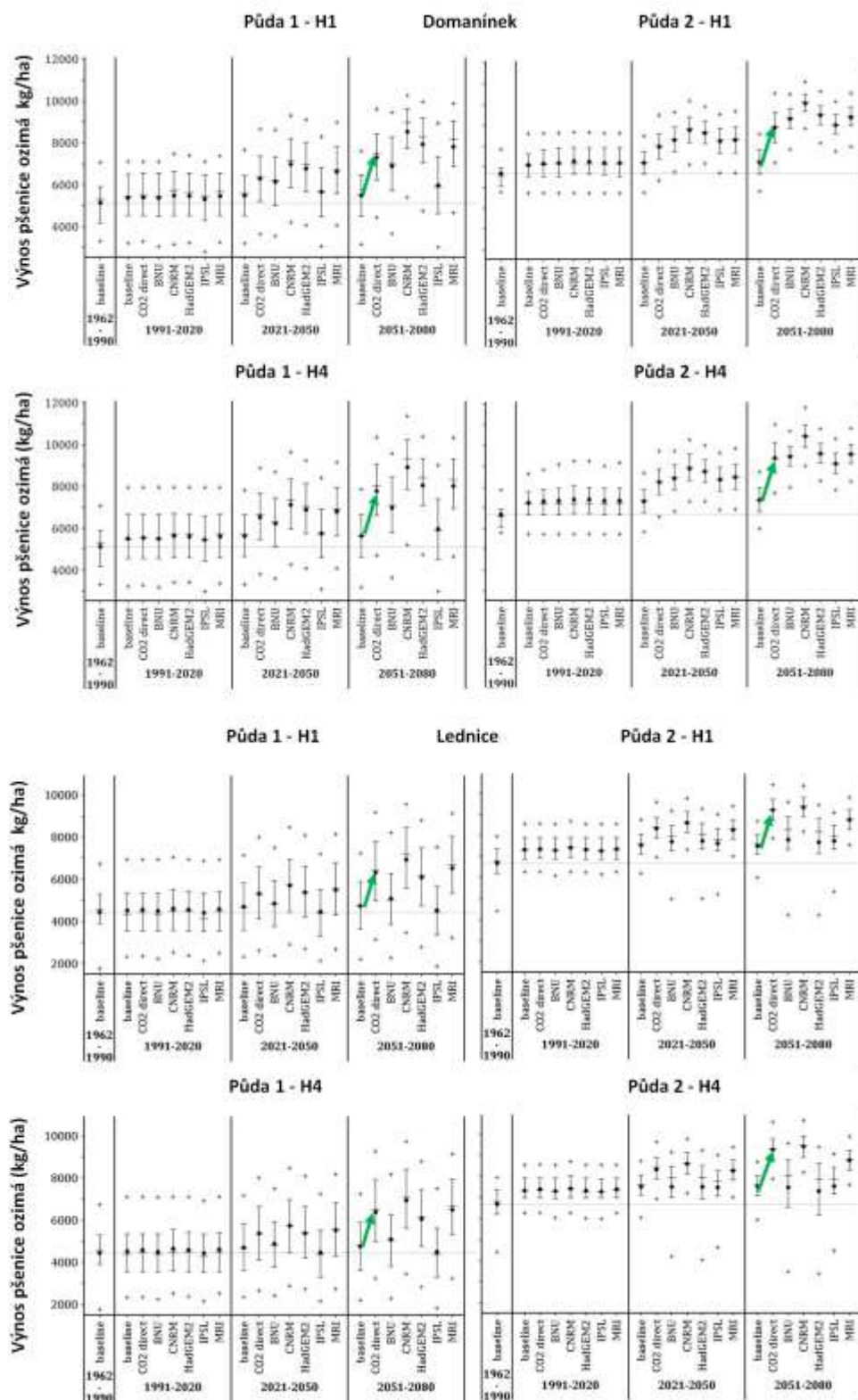
Obr 3.7. Modelem HERMES odhadovaná střední hodnota (medián) výnosu pšenice ozimé na lokalitách Domaníněk, Věrovany a Lednice v kombinaci s horší (Půda 1) a kvalitnější (Půda 2) půdou. Výsledky zachycují vývoj v průběhu období 1962-2080 za využití meteorologických řad odpovídajících scénáři „bez změny klimatu“ a reflektující pouze vliv způsobů hospodaření H1 až H4.

Dopady měnících se klimatických podmínek na výnosy pšenice ozimé jsou prezentovány prostřednictvím Obr. 3.8., kde jsou vykresleny mediány simulovaných hodnot a Obr. 3.9., který mimo středních hodnot zachycuje i očekávanou variabilitu výnosů. Obecně lze dle modelu HERMES očekávat stagnaci výnosů přibližně na současné úrovni (scénáře pro sušší a teplejší oblasti) nebo častěji nárůst průměrných výnosů, který je významnější pro chladnější a vlhčí oblasti (reprezentované

stanicí Domanínek) v kombinaci s lepšími půdními podmínkami. Jedná se o poměrně optimistické odhady. V tomto ohledu je modelem HERMES velký význam přisuzován tzv. přímému vlivu zvýšené koncentrace CO_2 v atmosféře, který je patrný z Obr. 3.9. při srovnání variant „baseline“ a „ CO_2 direct“. U zbývajících 5 variant (dle jednotlivých GCM) je pak vždy uvažován tzv. kombinovaný vliv zvýšené koncentrace CO_2 , tedy jak samotné koncentrace CO_2 ve vzduchu (tj. přímý vliv na fotosyntézu a transpiraci), tak změna klimatických podmínek v důsledku zesilování skleníkového efektu. Nejvyšší výnosy lze obecně očekávat pro scénář CNRM, nicméně v případě teplejších a sušších lokalit jsou výnosy u některých scénářů vývoje klimatu pod úrovní „ CO_2 direct“, což je v důsledku předpokládaného zhoršení průběhu agrometeorologických podmínek oproti současnosti. Zůstává pak otázkou, zda kompenzace vlivem přímého vlivu CO_2 bude mít opravdu tak velký přínos. Dále z výsledků vyplývá (Obr. 3.9.), že dle modelu HERMES lze očekávat nárůst meziroční variability výnosů pšenice ozimé a toto s větším významem u méně kvalitních půd. Současně je indikován stav, kdy se v určitém počtu let ani v budoucnu nevyhneme velmi nízkým výnosům na úrovni 2-3 tun/ha. Naproti tomu pro aktuálně chladnější a vlhčí oblasti i přes horší půdní podmínky můžeme dle modelu HERMES ve druhé polovině 21. století očekávat průměrné výnosy na úrovni 8 t/ha atakující v příznivých letech hranici 10 tun/ha.



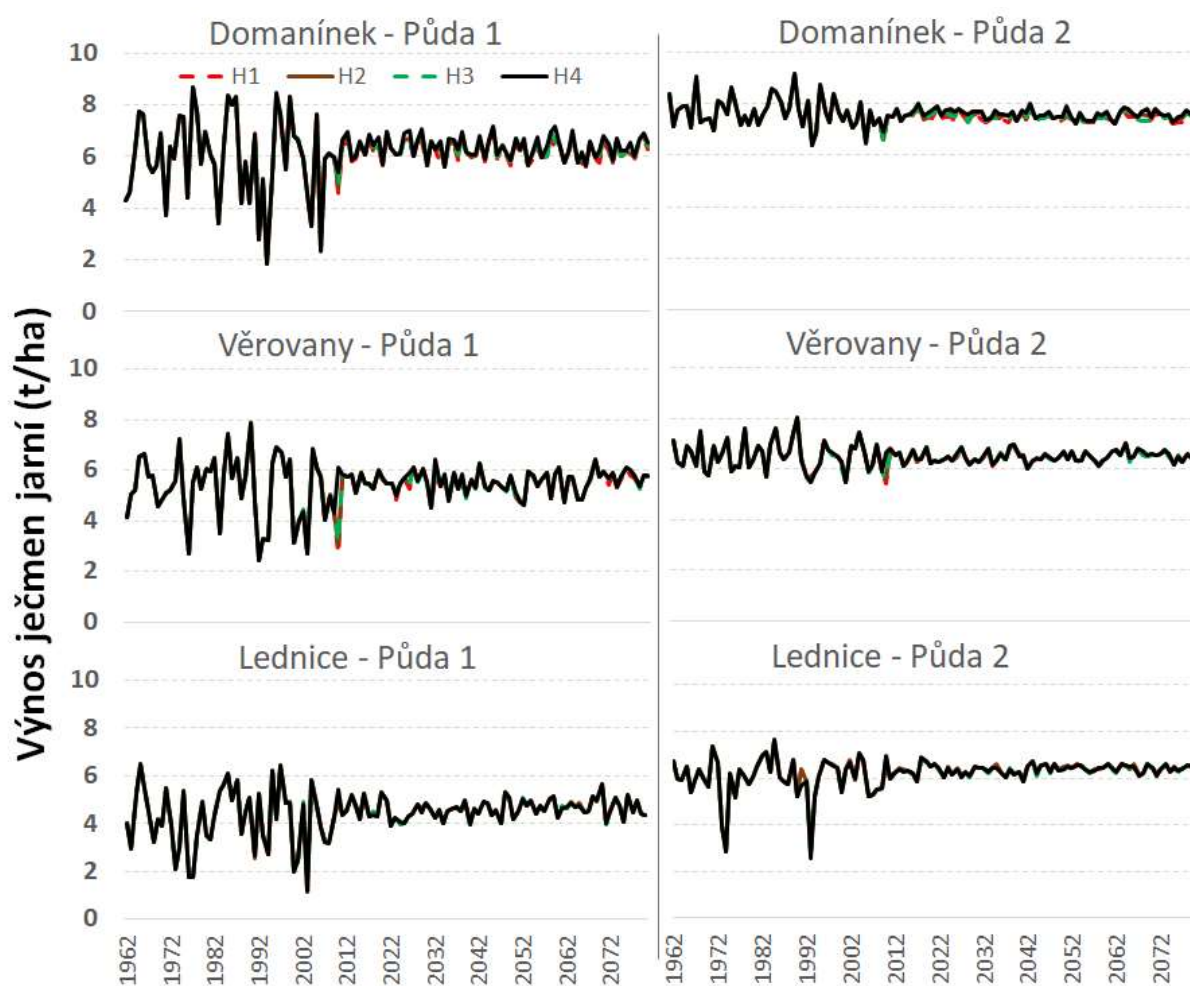
Obr. 3.8. Modelem HERMES odhadovaná střední hodnota (medián) výnosu pšenice ozimé na lokalitách Domanínek, Věrovany a Lednice v kombinaci s horší (Půda 1) a kvalitnější (Půda 2) půdou. Výsledky zachycují vývoj v průběhu období 1962-2080 za využití meteorologických řad odpovídajících 6 scénářům změny klimatu (5 GCM a „bez změny klimatu“) v kombinaci se způsobem hospodaření H4. Pro srovnání jsou rovněž vykresleny hodnoty odpovídající u GCM HadGEM2 způsobu hospodaření H1.



Obr. 3.9. Přehled modelem HERMES odhadovaných výnosů pšenice ozimé na stanicích Domaníněk a Lednice v kombinaci se způsoby hospodaření H1 a H4 a dvěma vzorovými půdními profily. Výsledky jsou sdružovány pro 30-ti letá časová období dle 7 scénářů vývoje klimatu (baseline odpovídá „bez změny klimatu“; „CO2 direct“ odpovídá scénáři „pouze nárůst CO₂“). Krabicové diagramy zachycují postupně 5. a 25. percentil, medián, 75. a 95. percentil. Černý kroužek zachycuje průměr a vodorovná linie napříč grafem odpovídá průměru pro období 1962-1990. Zelená šipka zachycuje přímý vliv zvýšené koncentrace CO₂ v podmínkách „bez změny klimatu“.

Ječmen jarní

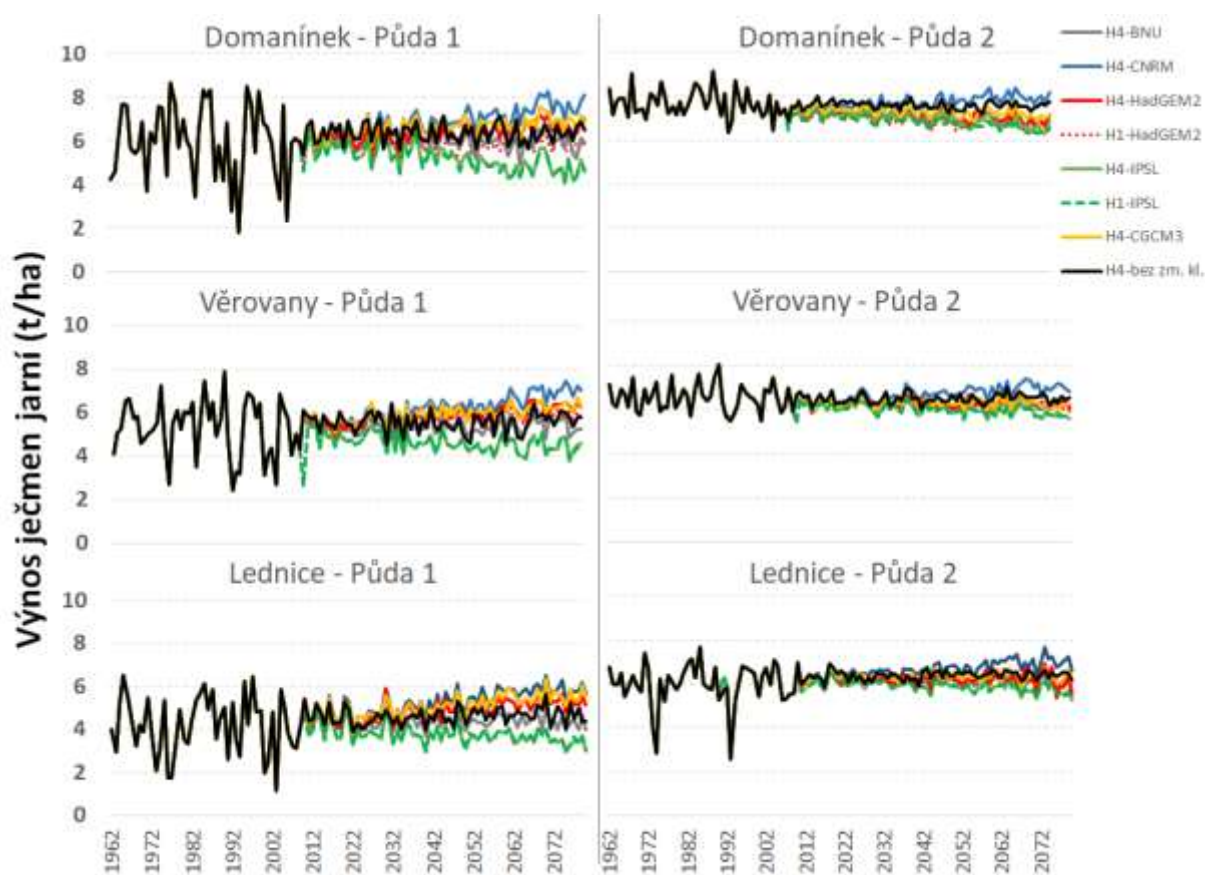
Obr. 3.10. zachycuje odhadovanou úroveň výnosů ječmene jarního modelem HERMES v průběhu období 1962-2080 pro podmínky „bez změny klimatu“, kdy i v případě této plodiny není patrný žádný významný rozdíl mezi způsoby hospodaření H1 až H4. I z hlediska výnosů této plodiny je rozdílnost ve způsobech hospodaření možné kompenzovat v rámci procesů simulovaných modelem HERMES vyššími dávkami minerálního dusíku.



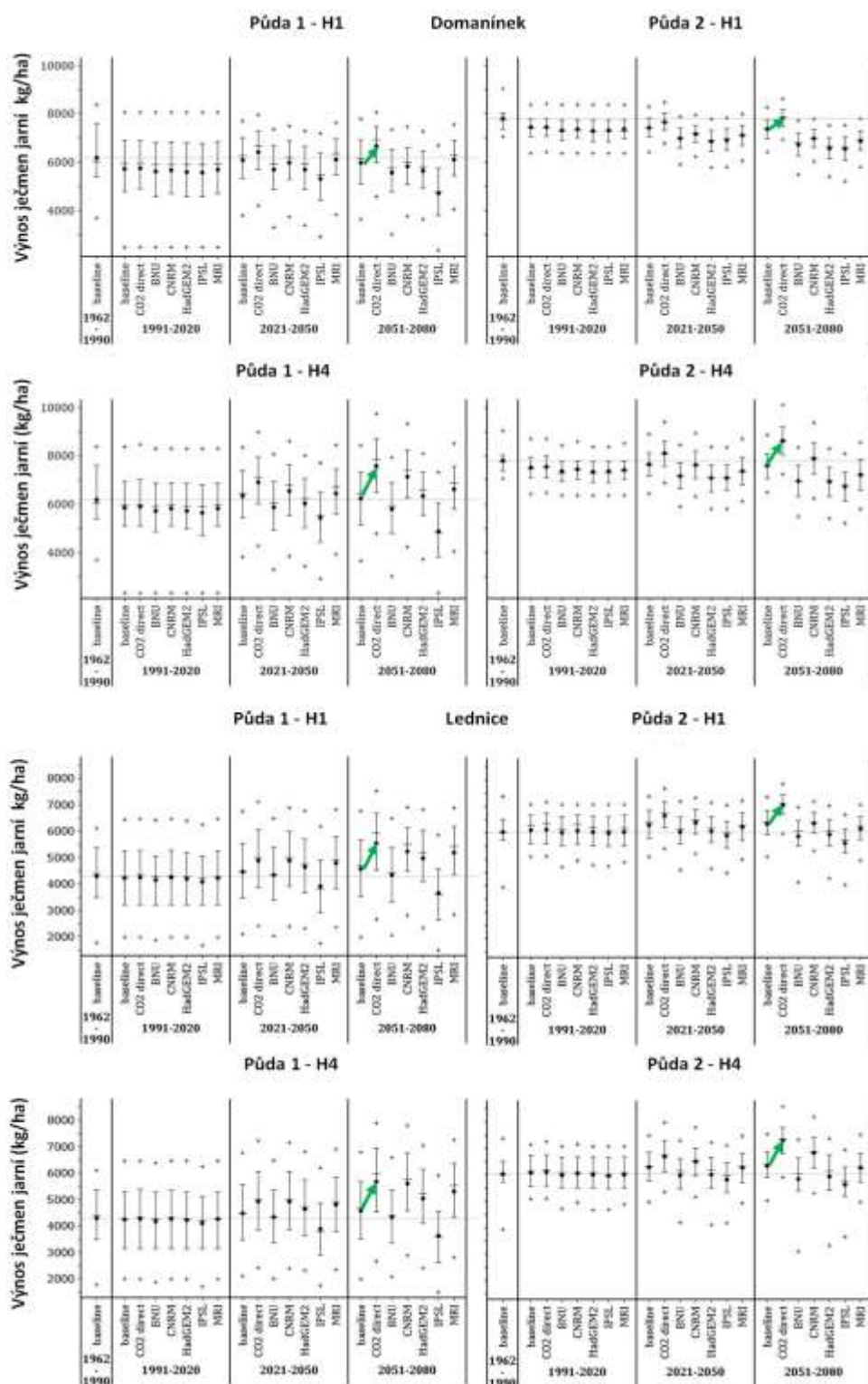
Obr 3.10. Modelem HERMES odhadovaná střední hodnota (medián) výnosu ječmene jarního na lokalitách Domaníněk, Věrovany a Lednice v kombinaci s horší (Půda 1) a kvalitnější (Půda 2) půdou. Výsledky zachycují vývoj v průběhu období 1962-2080 za využití meteorologických řad odpovídajících scénáři „bez změny klimatu“ a reflektující pouze dlouhodobý vliv hospodaření H1 až H4.

V případě dopadů měnících se klimatických podmínek na výnosy ječmene jarního dle modelu HERMES bude velmi záležet, kterým směrem dle vybraných scénářů se budou podmínky vyvíjet (Obr. 3.11 a Obr. 3.12.). Např. v případě naplňování scénáře IPSL lze předpokládat postupný pokles průměrných výnosů ječmene jarního napříč lokalitami i půdními podmínkami. Tento pokles je významnější u méně kvalitních půd a nižší výnosy lze předpokládat pro teplejší a sušší oblasti. Na druhou stranu v případě klimatického scénáře CNRM, lze očekávat zcela opačný trend, a sice nárůst

průměrných výnosů (nejvýrazněji u méně kvalitních půd a chladnějších oblastí). Význam tzv. přímého efektu vyšší koncentrace CO_2 ve vzduchu je opět patrný z Obr. 3.12. při srovnání variant „baseline“ a „ CO_2 direct“. U zbývajících 5 variant (dle jednotlivých GCM) je pak vždy uvažován tzv. kombinovaný vliv zvýšené koncentrace CO_2 , tedy jako samotné koncentrace CO_2 ve vzduchu (tj. přímý vliv na fotosyntézu a transpiraci), tak změna klimatických podmínek v důsledku zesilování skleníkového efektu. Průměrná úroveň odhadovaných výnosů je téměř vždy pod úrovní „ CO_2 direct“, což znamená, že do budoucna lze očekávat zhoršení průběhu meteorologických podmínek v průběhu jednotlivých sezón a to i za uvážení adaptace ve formě časnějšího termínu setí (umožní se částečně vyhnout některým obdobím sucha a zvýšených teplot vzduchu), který je v rámci simulací modelu HERMES zahrnut. I v případě této plodiny lze pro teplejší a sušší podmínky v kombinaci s horšími půdami očekávat nárůst meziroční variability výnosů.



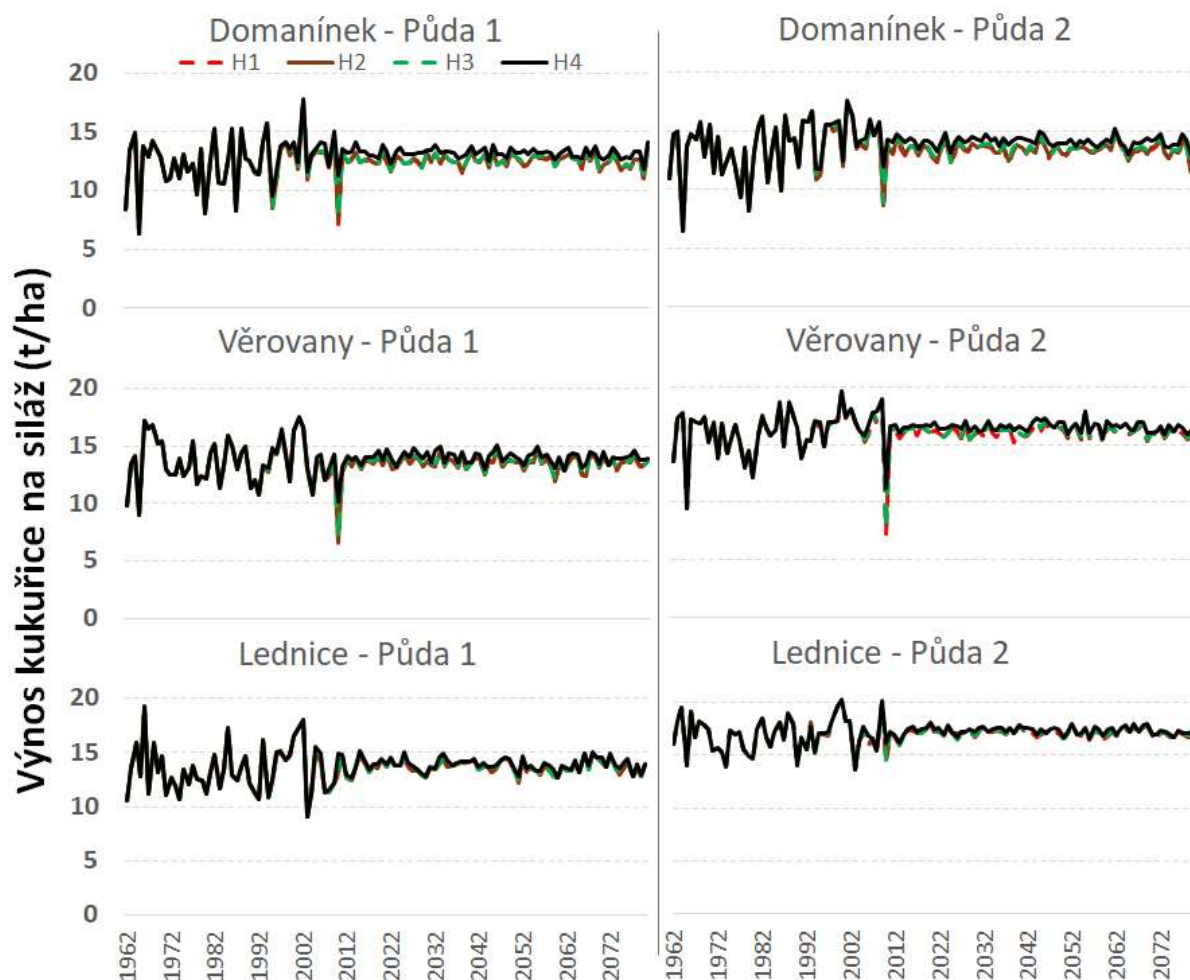
3.11. Modelem HERMES odhadovaná střední hodnota (medián) výnosu ječmene jarního na lokalitách Domaníněk, Věrovany a Lednice v kombinaci s horší (Půda 1) a kvalitnější (Půda 2) půdou. Výsledky zachycují vývoj v průběhu období 1961-2080 za využití meteorologických řad odpovídajících 6 scénářům změny klimatu (5 GCM a „bez změny klimatu“) v kombinaci se způsobem hospodaření H4. Pro srovnání jsou rovněž vykresleny hodnoty odpovídající u GCM HadGEM2 způsobu hospodaření H1.



Obr. 3.12. Přehled modelem HERMES odhadovaných výnosů ječmene jarního na stanicích Domaníněk a Lednice v kombinaci se způsoby hospodaření H1 a H4 a dvěma vzorovými půdními profiley. Výsledky jsou sdružovány pro 30-ti letá časová období dle 7 scénářů vývoje klimatu (baseline odpovídá „bez změny klimatu“; CO₂ direct odpovídá scénáři „pouze nárůst CO₂“). Krabicové diagramy zachycují postupně 5. a 25. percentil, medián, 75. a 95. percentil. Černý kroužek zachycuje průměr a vodorovná linie napříč grafem odpovídá průměru pro období 1962-1990. Zelená šipka zachycuje přímý vliv zvýšené koncentrace CO₂ v podmínkách „bez změny klimatu“.

Kukuřice na siláž

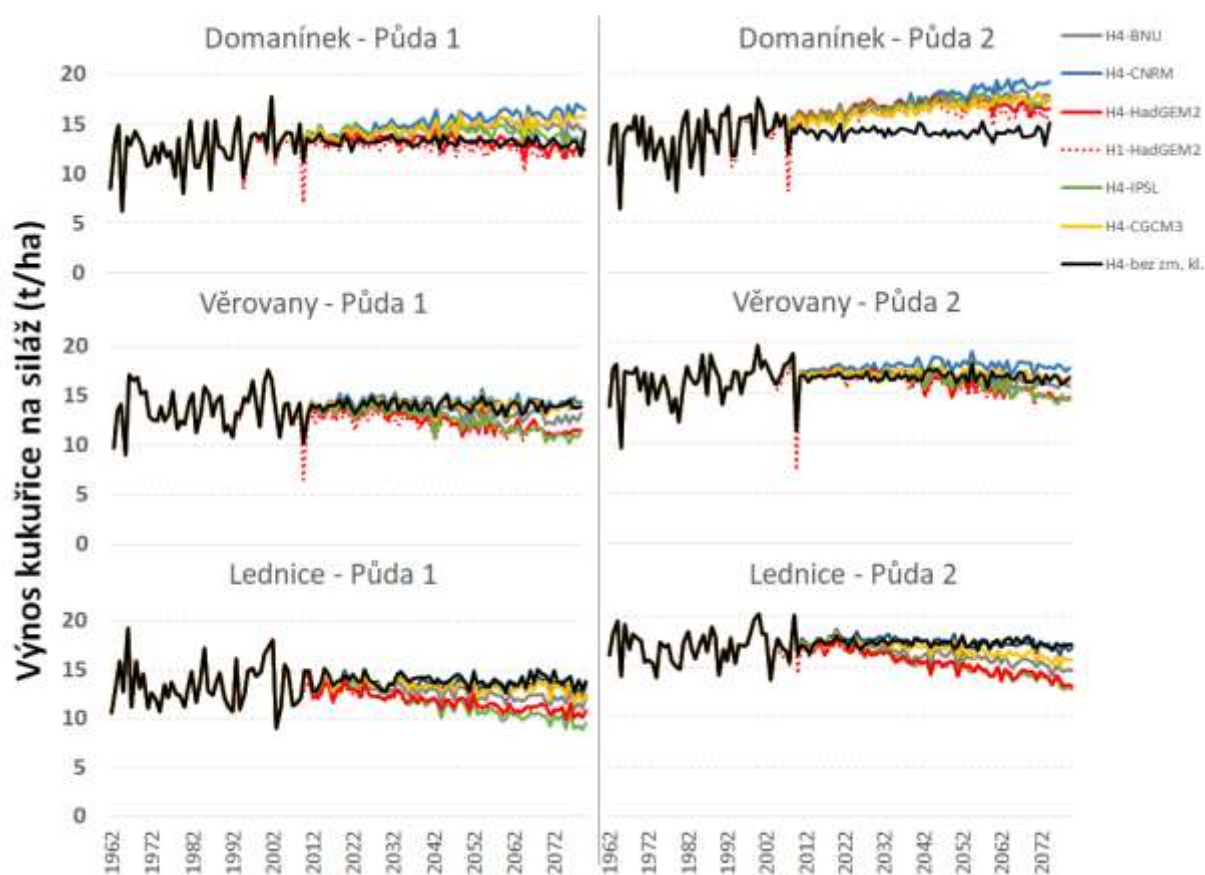
Rovněž v případě pěstování kukuřice na siláž nejsou patrné významnější rozdíly v odhadech modelu HERMES pro různé způsoby hospodaření H1-H4 v průběhu období 1962-2080 pro podmínky „bez změny klimatu“ (Obr. 3.13.), kdy je rozdílnost ve způsobech hospodaření možné kompenzovat v rámci procesů simulovaných modelem HERMES vyššími dávkami minerálního dusíku.



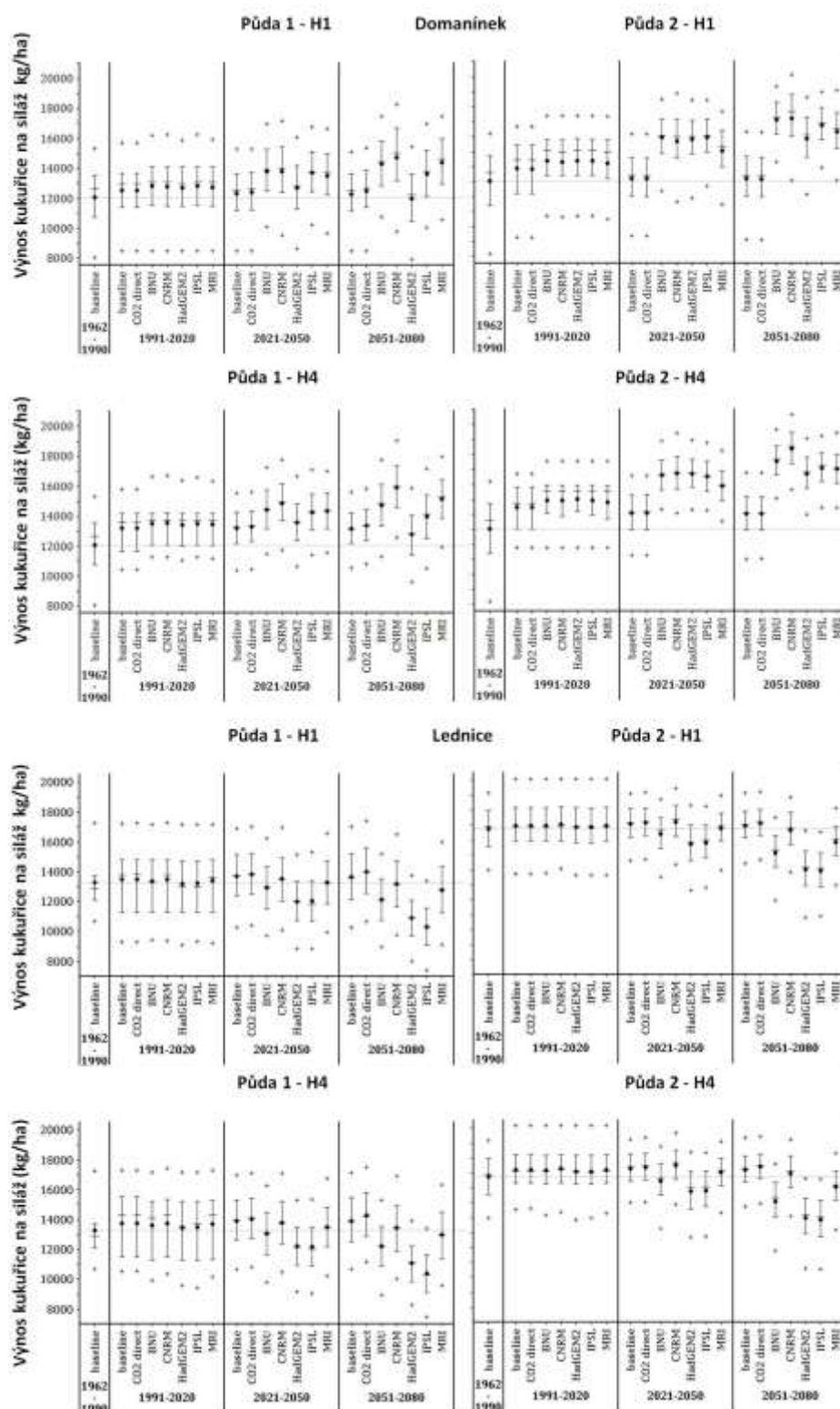
Obr. 3.13. Modelem HERMES odhadovaná střední hodnota (medián) výnosu kukuřice na siláž na lokalitách Domanínec, Věrovany a Lednice v kombinaci s horší (Půda 1) a kvalitnější (Půda 2) půdou. Výsledky zachycují vývoj v průběhu období 1961-2080 za využití meteorologických řad odpovídajících scénáři „bez změny klimatu“ a reflektující pouze dlouhodobý vliv způsobů hospodaření H1 až H4.

V případě dopadů měnících se klimatických podmínek na výnosy kukuřice na siláž (tedy celkové nadzemní biomasy) dle modelu HERMES budou nejvíce profitovat aktuálně chladnější a vlhčí oblasti s kvalitnějšími půdami, kde bude možné předpokládat postupný nárůst průměrných hodnot blížící se 20 tun/ha. V aktuálně již teplých a suchých oblastech (reprezentovány stanicí Lednice) lze pro kukuřici na siláž očekávat spíše pokles výnosů (Obr. 3.14.). Bohužel se v těchto případech projevuje velmi málo tzv. přímý efekt zvýšené koncentrace CO₂ (malý pozitivní efekt), jako důsledek fotosyntézy typu C₄. U většiny scénářů změny klimatu nebude ke kompenzaci méně příznivých

podmínek pro růst (více sucha a vyšší teploty vzduchu) stačit ani možnost dřívějšího termínu setí, který je v rámci výpočtů modelu HERMES zohledňován. Současně je nutné zmínit, že uvedené simulace modelu HERMES nepředpokládají změnu z hlediska odrůd či hybridů a proto je možné, že alespoň část poklesu průměrných výnosů v rámci teplých a suchých oblastí bude možné kompenzovat právě výběrem vhodnějších odrůd/hybridů do nových podmínek (podobně platí i pro ostatní z modelovaných plodin v rámci předkládané metodiky). Rovněž u kukuřice na siláž je možné dle výsledků modelu HERMES do budoucna očekávat ve spojení s méně kvalitními půdami nárůst meziroční variability výnosů. Očekávaný pozitivní trend v chladnější a vlhčích oblastech bude pravděpodobně limitován i skutečností, že se jedná o výše položené (vyšší srážkové úhrny) regiony s větší členitostí terénu, což v kombinaci znamená i vyšší erozní rizika. Proto je třeba vnímat, že rozšíření ploch kukuřice v těchto regionech není bez otazníků.



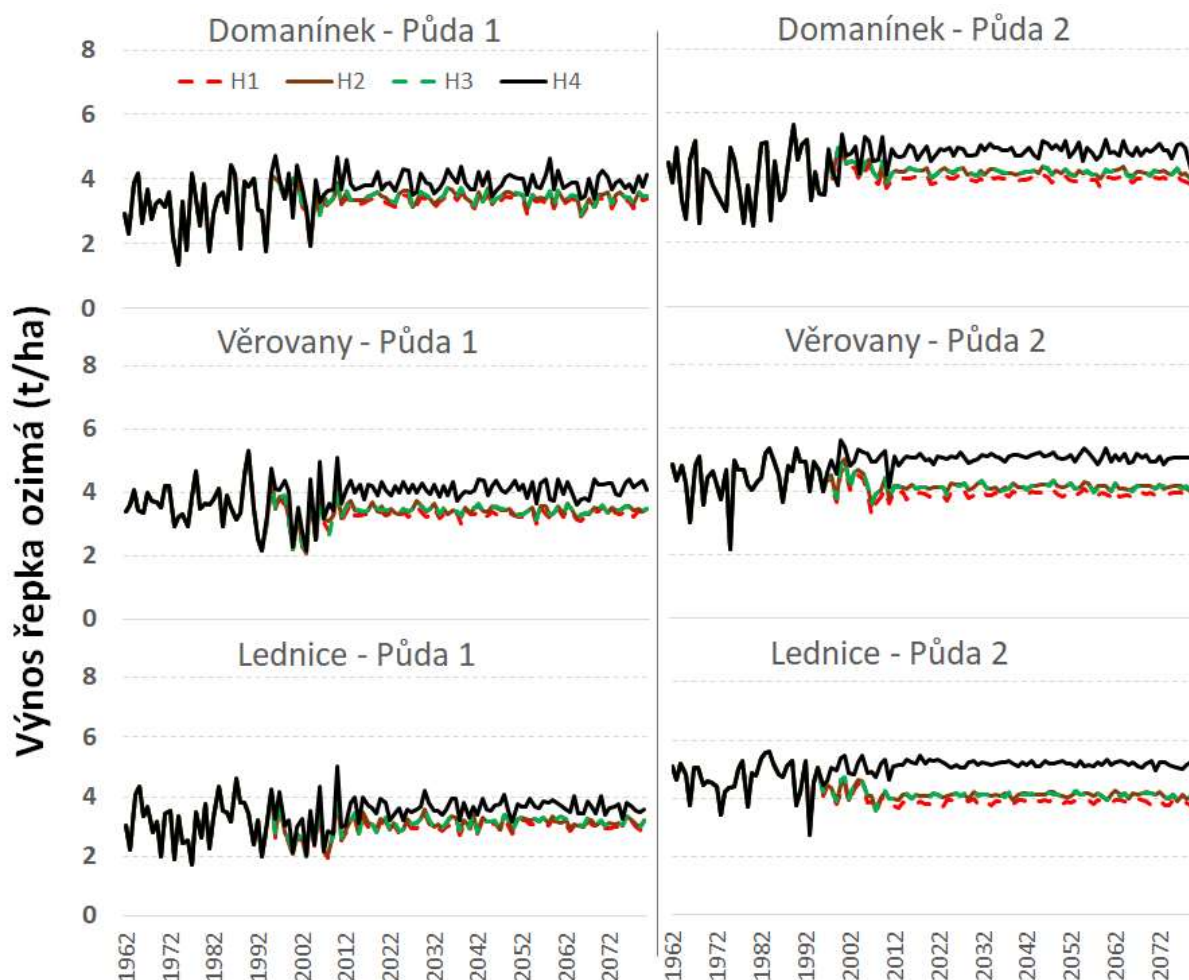
Obr. 3.14. Modelem HERMES odhadovaná střední hodnota (medián) výnosu kukuřice na siláž na lokalitách Domanínec, Věrovany a Lednice v kombinaci s horší (Půda 1) a kvalitnější (Půda 2) půdou. Výsledky zachycují vývoj v průběhu období 1961-2080 za využití meteorologických řad odpovídajících 6 scénářům změny klimatu (5 GCM a „bez změny klimatu“) v kombinaci se způsobem hospodaření H4. Pro srovnání jsou rovněž vykresleny hodnoty odpovídající u GCM HadGEM2 způsobu hospodaření H1.



Obr. 3.15. Přehled modelem HERMES odhadovaných výnosů kukuřice na siláž na stanicích Domaníněk a Lednice v kombinaci se způsoby hospodaření H1 a H4 a dvěma vzorovými půdními profily. Výsledky jsou sdružovány pro 30-ti letá časová období dle 7 scénářů vývoje klimatu (baseline odpovídá „bez změny klimatu“; CO₂ direct odpovídá scénáři „pouze nárůst CO₂“). Krabicové diagramy zachycují postupně 5. a 25. percentil, medián, 75. a 95. percentil. Černý kroužek zachycuje průměr a vodorovná linie napříč grafem odpovídá průměru pro období 1962-1990. Zelená šipka zachycuje přímý vliv zvýšené koncentrace CO₂ v podmínkách „bez změny klimatu“.

Řepka ozimá

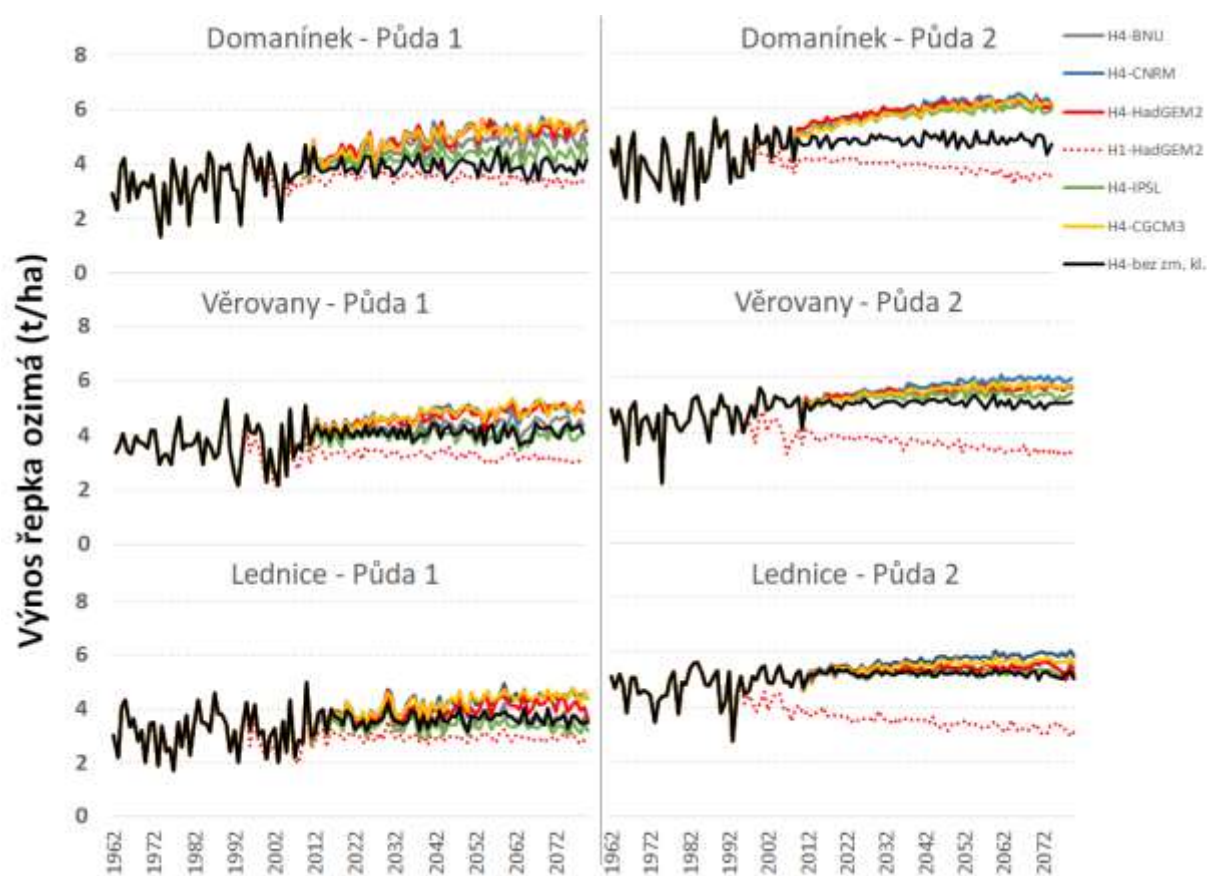
Ze simulací modelu HERMES vyplývá, že řepka ozimá je schopna profitovat z lepší dostupnosti minerálního dusíku v půdě při hospodaření H4, oproti hospodaření H1 až H3, které se projevují srovnatelnou úrovní výnosů v průběhu období 1962-2080 pro podmínky „bez změny klimatu“ (Obr. 3.16.). Pozitivní vliv hospodaření H4 je více patrný v kombinaci s lepšími půdními podmínkami a to navýšení na úrovni kolem 1 t/ha.



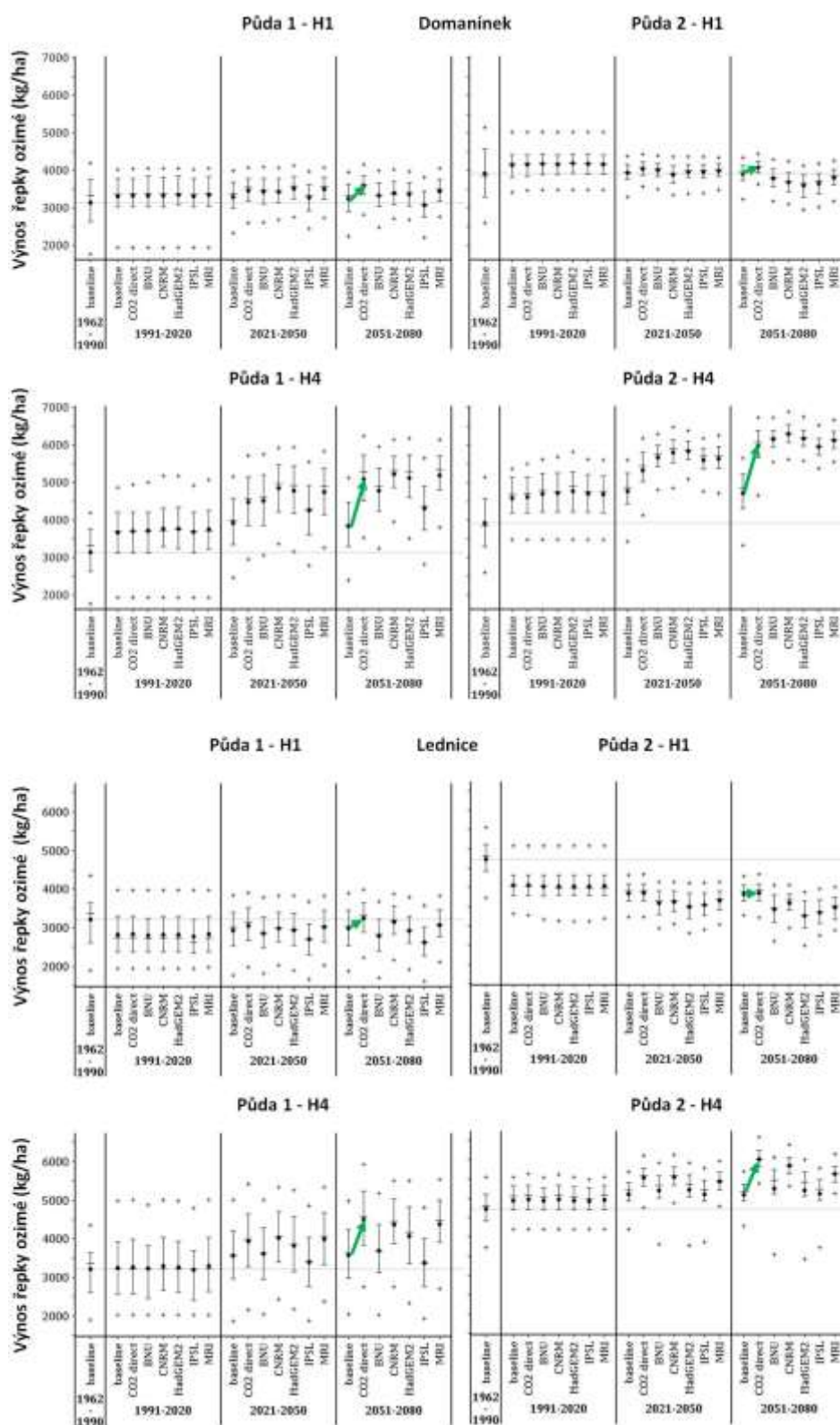
Obr. 3.16. Modelem HERMES odhadovaná střední hodnota (medián) výnosu řepky ozimé na lokalitách Domaníněk, Věrovany a Lednice v kombinaci s horší (Půda 1) a kvalitnější (Půda 2) půdou. Výsledky zachycují vývoj v průběhu období 1961-2080 za využití meteorologických řad odpovídajících scénáři „bez změny klimatu“ a reflektující pouze dlouhodobý vliv způsobů hospodaření H1 až H4.

V případě dopadů měnících se klimatických podmínek na výnosy řepky ozimé dle modelu HERMES budou (Obr. 3.17. a 3.18.) patrné značné rozdíly mezi způsoby hospodaření a jednotlivými lokalitami. U této plodiny jsou také patrné velké rozdíly v konečném významu přímého vlivu zvýšené koncentrace CO_2 na výnosy, který je u hospodaření typu H1 poměrně malý a naopak u H4 nárůst přesahuje 1 t/ha. Pro aktuálně chladnější a vlhčí oblasti lze do budoucna dle modelu HERMES při hospodaření H4 očekávat zvýšení průměrných výnosů k 6 t/ha, kdy bude tato plodina reagovat jednak na vyšší koncentrace CO_2 v ovzduší, ale v některých případech i na vhodnější klimatické podmínky. V aktuálně suchých a teplých regionech pak do budoucna můžeme očekávat spíše méně příznivý průběh povětrnostních podmínek, který může být v případě hospodaření H4 částečně kompenzován přímým vlivem vyšší koncentrace CO_2 v atmosféře. Také pro tuto plodinu lze očekávat

v průběhu 21. století spíše nárůst meziroční variability ve výnosech a to opět zejména u méně kvalitních půd a hospodaření H4.



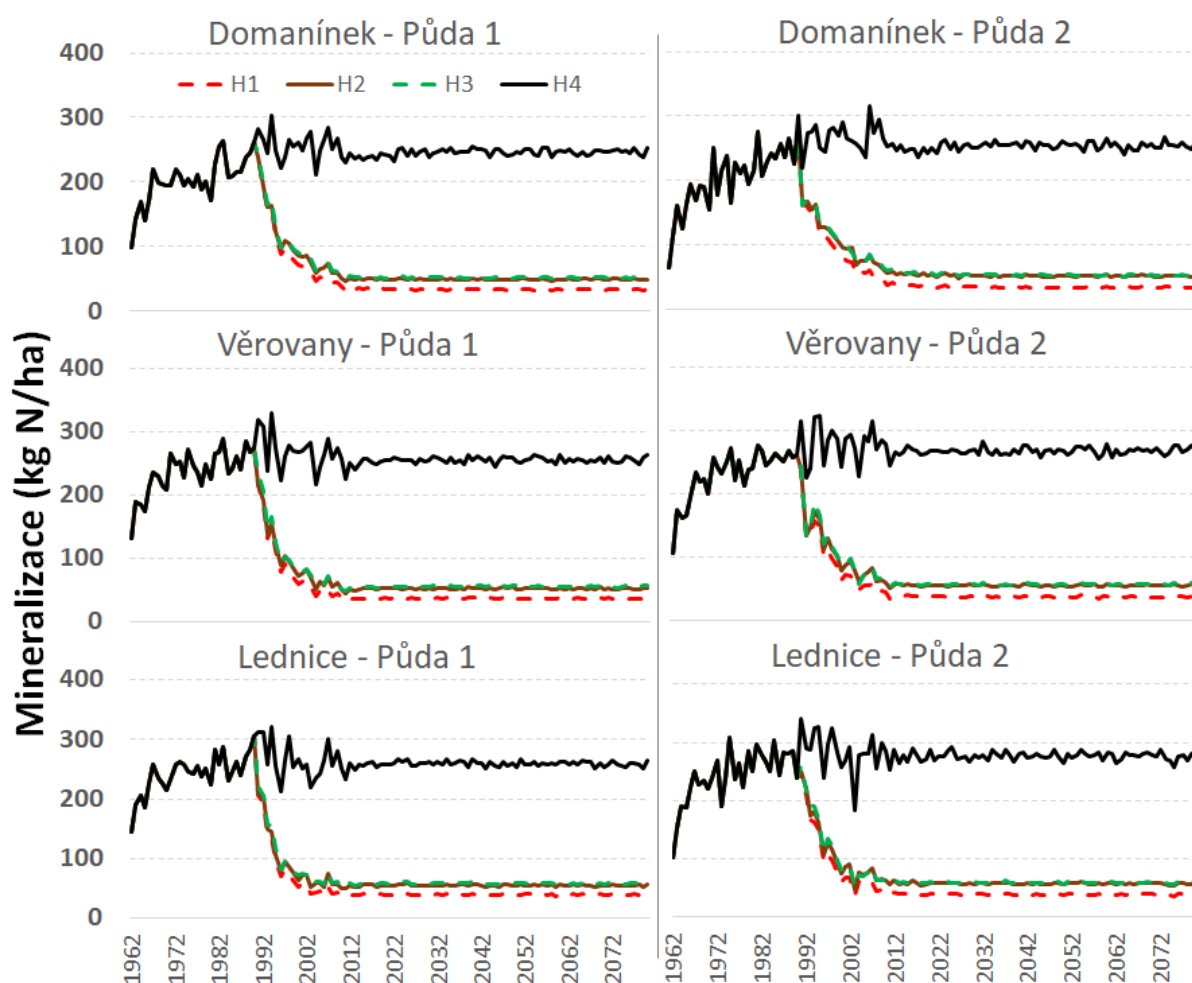
Obr. 3.17. Modelem HERMES odhadovaná střední hodnota (medián) výnosu řepky ozimé na lokalitách Domaníněk, Věrovany a Lednice v kombinaci s horší (Půda 1) a kvalitnější (Půda 2) půdou. Výsledky zachycují vývoj v průběhu období 1961-2080 za využití meteorologických řad odpovídajících 6 scénářům změny klimatu (5 GCM a „bez změny klimatu“) v kombinaci se způsobem hospodaření H4. Pro srovnání jsou rovněž vykresleny hodnoty odpovídající u GCM HadGEM2 způsobu hospodaření H1.



Obr. 3.18. Přehled modelem HERMES odhadovaných výnosů řepky ozimé na stanicích Domaníněk a Lednice v kombinaci se způsoby hospodaření H1 a H4 a dvěma vzorovými půdními profiley. Výsledky jsou sdružovány pro 30-ti letá časová období dle 7 scénářů vývoje klimatu (baseline odpovídá „bez změny klimatu“; CO₂ direct odpovídá scénáři „pouze nárůst CO₂“). Krabicové diagramy zachycují postupně 5. a 25. percentil, medián, 75. a 95. percentil. Černý kroužek zachycuje průměr a vodorovná linie napříč grafem odpovídá průměru pro období 1962-1990. Zelená šipka zachycuje přímý vliv zvýšené koncentrace CO₂ v podmínkách „bez změny klimatu“.

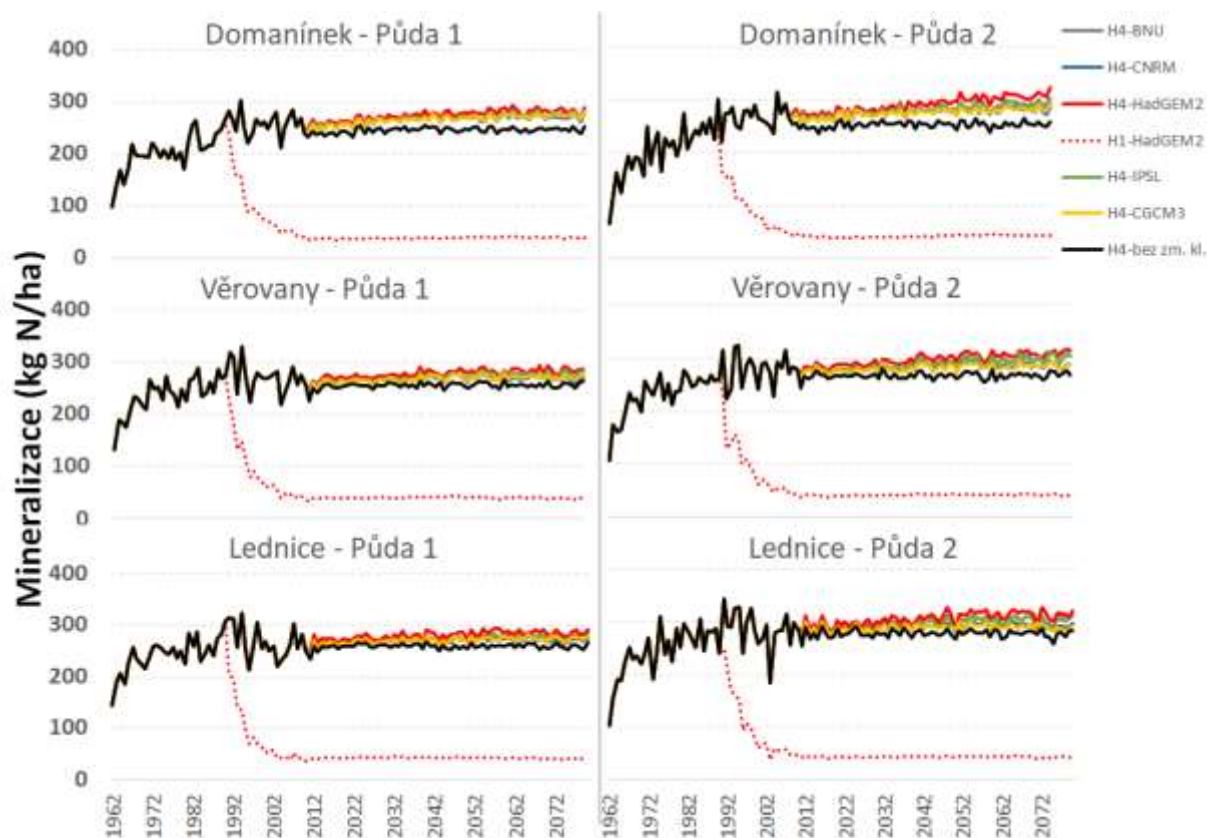
3.4. Odhadovaná úroveň mineralizace a vyplavování dusíkatých látek

Z hlediska posuzování půdotvorných procesů a bilance organické hmoty v půdě je velmi významnou charakteristikou i úroveň mineralizace. Roční hodnoty odhadované mineralizace modelem HERMES (jako medián z výsledků realizací kombinace plodin a počasí) pro podmínky bez uvažované změny klimatu zachycuje Obr. 3.19., ze kterého je patrný rozdíl zejména mezi způsobem hospodaření H4 a postupy H1 až H3 v průběhu modelovaného období do roku 2080. Tento rozdíl je brzy po ukončení tzv. iniciačního období (konec roku 1990) poměrně významný. Nejnížší hodnoty roční úrovně mineralizace jsou odhadovány v případě H1, následují o něco vyšší hodnoty v případě H2 a nepatrně vyšší hodnoty v případě H3. Z výsledků rovněž vyplývá, že z dlouhodobého hlediska není patrný významný rozdíl mezi modelovanými půdními podmínkami. Pro hospodaření H4 jsou vyšší hodnoty mineralizace odhadovány pro sušší a teplejší podmínky (viz Lednice).



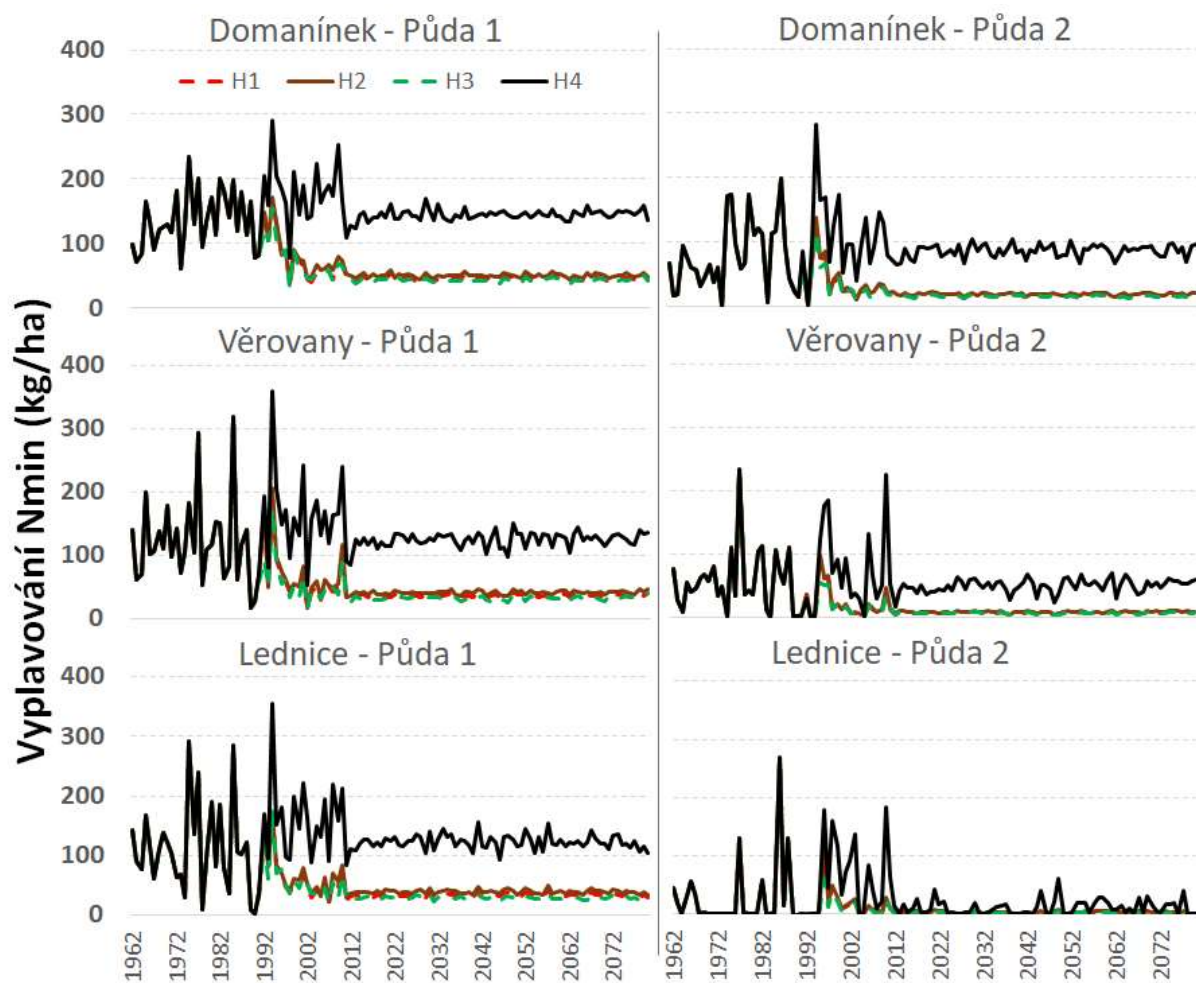
Obr. 3.19. Modelem HERMES odhadovaná střední hodnota (medián) úrovně mineralizovaného dusíku na lokalitách Domanínec, Věrovany a Lednice v kombinaci s horší (Půda 1) a kvalitnější (Půda 2) půdou. Výsledky zachycují vývoj v průběhu období 1961-2080 za využití meteorologických řad odpovídajících scénáři „bez změny klimatu“ a reflektující pouze dlouhodobý vliv způsobů hospodaření H1 až H4.

Na základě dosažených výsledků lze předpokládat, že zohlednění měnících se klimatických podmínek bude mít větší vliv v rámci hospodaření H4 (viz Obr. 3.20.). Nejvyšší hodnoty roční mineralizace org. hmoty v půdě lze z vybraných scénářů změny klimatu očekávat pro HadGEM2 v kombinaci s kvalitními půdami, přičemž pro tento způsob hospodaření lze předpokládat nárůst hodnot pro všech 5 uvedených scénářů vývoje klimatu.



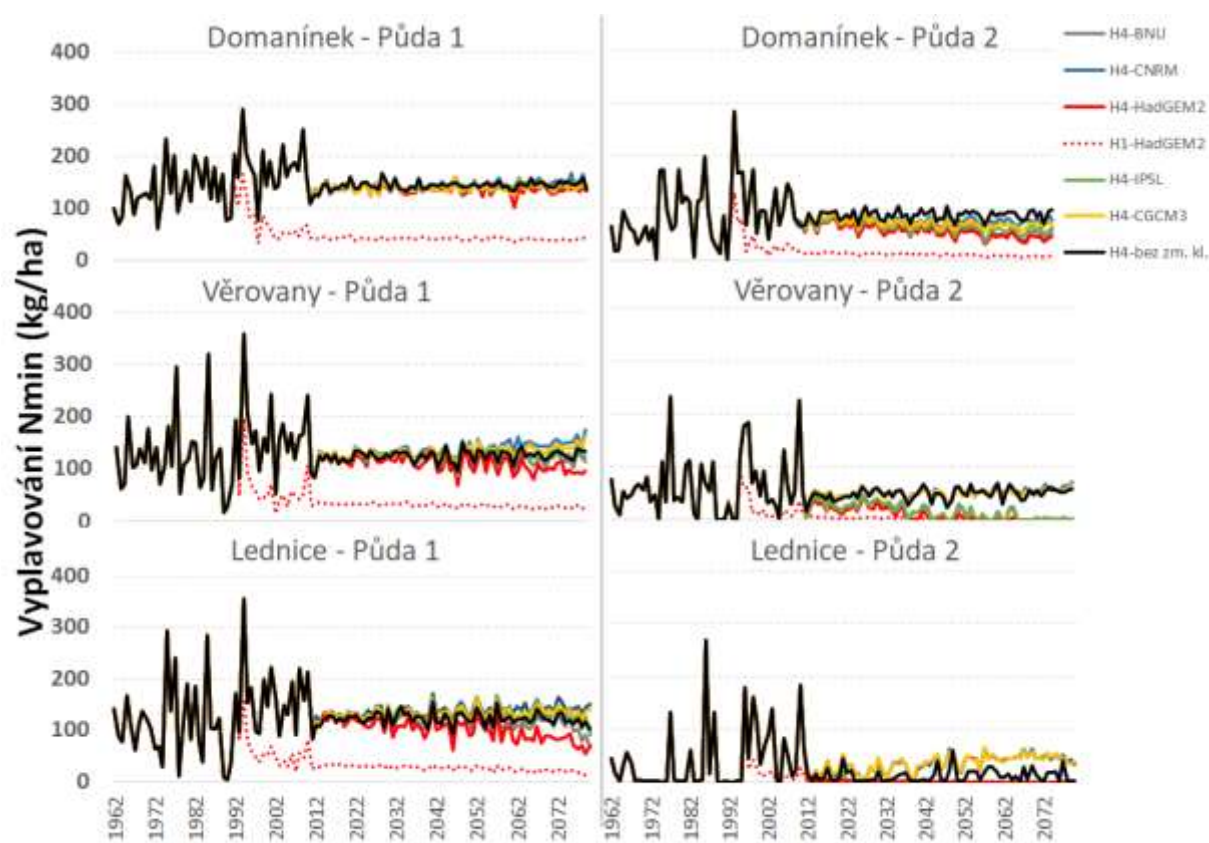
Obr. 3.20. Modelem HERMES odhadovaná střední hodnota (medián) úrovně mineralizace dusíku na lokalitách Domaníněk, Věrovany a Lednice v kombinaci s horší (Půda 1) a kvalitnější (Půda 2) půdou. Výsledky zachycují vývoj v průběhu období 1961-2080 za využití meteorologických řad odpovídajících 6 scénářům změny klimatu (5 GCM a „bez změny klimatu“) v kombinaci se způsobem hospodaření H4. Pro srovnání jsou rovněž vykresleny hodnoty odpovídající u GCM HadGEM2 způsobu hospodaření H1.

Velmi významnou charakteristikou z hlediska efektivity i nepříznivých environmentálních dopadů jsou hodnoty vyplavovaného minerálního dusíku mimo půdní profil. Odhadované roční úhrny modelem HERMES jsou pro podmínky bez uvažované změny klimatu vykresleny v rámci Obr. 3.21. Z tohoto pohledu jsou nejméně příznivé hodnoty (nejvyšší úroveň vyplavování) pro hospodaření H4, dále pro méně kvalitní půdy a následně pro aktuálně vlhčí a chladnější oblasti. Mezi způsoby hospodaření H1 až H3 nebyly simulovány významné rozdíly a obecně nejnížší hodnoty jsou simulovány pro suché a teplé oblasti v kombinaci s kvalitními půdními podmínkami.



Obr. 3.21. Modelem HERMES odhadovaná střední hodnota (medián) úrovně vyplavovaného dusíku z půdního profilu (pod hloubku 150 cm) na lokalitách Domaníněk, Věrovany a Lednice v kombinaci s horší (Půda 1) a kvalitnější (Půda 2) půdou. Výsledky zachycují vývoj v průběhu období 1961-2080 za využití meteorologických řad odpovídajících scénáři „bez změny klimatu“ a reflektující pouze dlouhodobý vliv způsobů hospodaření H1 až H4.

Při zohlednění možné změny klimatických podmínek (viz. Obr. 3.22.) lze ve výše položených polohách (obecně chladnější a vlhčí regiony v kombinaci s horšími půdami) očekávat v podstatě nezměněné hodnoty vyplavování dusíku, které jsou v případě hospodaření H4 poměrně vysoké. Pokud by se v takových regionech nacházely kvalitnější půdy i u hospodaření H4 by bylo možné předpokládat určitý pokles v hodnotách vyplavování. U oblastí reprezentovaných podmínkami stanic Lednice a Věrovany lze dle konkrétních scénářů klimatu a podmínek hospodaření očekávat variabilnější reakce od mírného nárůstu, přes víceméně setrvalý stav až po snižování vyplavování. Zejména pro méně kvalitní půdy však platí zvýšené riziko vyplavování.



Obr. 3.22. Modelem HERMES odhadovaná střední hodnota (medián) úrovně vyplavování dusíku z půdního profilu (pod 150 cm) na lokalitách Domaníněk, Věrovany a Lednice v kombinaci s horší (Půda 1) a kvalitnější (Půda 2) půdou. Výsledky zachycují vývoj v průběhu období 1961-2080 za využití meteorologických řad odpovídajících 6 scénářům změny klimatu (5 GCM a „bez změny klimatu“) v kombinaci se způsobem hospodaření H4. Pro srovnání jsou rovněž vykresleny hodnoty odpovídající u GCM HadGEM2 způsobu hospodaření H1.

3.5. Diskuse

K dosaženým výsledkům v rámci výše definovaných simulací pomocí růstového modelu HERMES je třeba uvést několik skutečností, které by měly napomoci s jejich následnou interpretací. I přesto, že nástroj HERMES patří mezi velmi komplexní modely systému půda-rostlina-atmosféra v interakci s hospodářskými postupy a s jeho pomocí byla realizována řada studií v ČR i ve světě, stále se jedná o určité zjednodušení reálného fungování a mechanismů v rámci modelovaného prostoru. Mezi jistá omezení lze zahrnout například fakt, že pro odhady růstu a vývoje plodin (např. včetně jejich reakce na stresové podmínky) nebylo možné zohlednit vlastnosti budoucích odrůd, které by mohly být v budoucnu dostupné díky šlechtitelské činnosti. Současně je ale možné konstatovat, že i přes využití konstantních odrůdových vlastností napříč studovaným obdobím (1961-2080) vznikly velmi přínosné výsledky, které popisují vývoj podmínek s velkým důrazem na faktory pro růst a vývoj plodin. Dále ve výpočtech nebyl zohledněn vliv obsahu půdní organické hmoty na související půdní vlastnosti (např. retenční kapacitu) či různé odchylky v možnostech a provedení zpracování půdy např. z hlediska hloubky či ponechání části posklizňových zbytků na povrchu apod. Dále nebylo možné zohlednit vliv možných degradačních procesů, jako je eroze či utužení podorničí. V rámci simulací rovněž nebylo možné zohlednit vliv chorob a škůdců.

Z hlediska přijetí možných adaptačních opatření je na druhou stranu zohledněna změna termínu zakládání porostů v důsledku nových klimatických podmínek, která umožní lépe využívat teplotní a srážkové poměry v budoucnu. Zejména v případě jarního ječmene můžeme v budoucnu očekávat dřívější nástup termínu setí díky urychlení nástupu optimálních teplot a půdní vlhkosti a toto urychlení bude více patrné v rámci chladnějších lokalit a na půdách s menší retenční kapacitou. Posun může znamenat přibližně o 2 týdny dřívější setí ječmene jarního v případě Domanínku (např. Hlavinka et al., 2015). Tento posun částečně umožní plodinám vyhnout se obdobím s vysokou teplotou vzduchu a eliminovat i dopady sucha. Pokud by k tomuto posunu nemohlo dojít, vyšší teploty a sucho by znamenaly nižší výnosy, díky zkrácení období růstu plodin a kratší době pro tvorbu a akumulaci biomasy. Dle dříve provedených odhadů modelem HERMES v rámci uvedené studie vliv tohoto posunu termínu setí bude v období 2061-2080 na úrovni 0,5 t/ha výnosu ječmene jarního (u půdy horší kvality) a srovnatelné hodnoty lze očekávat i u kukuřice na siláž (u nejkvalitnějších půd) v Domanínku.

4. Závěry

Hlavní přínosy předkládané metodiky je možné spatřovat zejména ve dvou oblastech. Jedná se na prvním místě o podrobný popis využití růstového modelu pro simulace nepřerušovaných osevních postupů ve spojení se sadou tzv. transientních (s postupnou změnou) scénářů změny klimatu a dále pro posuzování vlivu různých způsobů hospodaření na vybrané půdní vlastnosti, očekávané změny ve vodní bilanci, úrovni výnosů apod. Jedná se o velmi perspektivní trend, který díky výkonnější výpočetní technice ve spojení s pokrokem v oblasti modelování kontinuálních simulací do budoucna nabízí možnost provádět široké spektrum navazujících či obdobných analýz na výše popsanych metodických základech s ambicí hledat co nejpřesnější odhady možných dopadů změny klimatu na agrosystémy či posuzovat kapacitu adaptačních a mitigačních opatření. Takové analýzy budou v budoucnu bezesporu prováděny ať již v rámci vědeckého pracoviště předkládajícího tuto metodiku, tak i mimo něj, protože je patrný narůstající význam podobného typu studií v důsledku potřeb kvalitního strategického plánování v rámci zemědělského sektoru.

Druhý významný přínos této metodiky spočívá v prezentaci konkrétního příkladu komplexních výsledků dopadů změny klimatu s využitím růstového modelu HERMES, který je využíván k analýzám nejen v ČR, ale také v Německu a dalších zemích Evropy a světa. Díky tomuto přístupu bylo možné kvantifikovat vliv různých způsobů hospodaření na obsah organické hmoty v půdě, přičemž jako velmi kontrastní se v tomto ohledu jeví postupy bez aplikace statkových hnojiv vzhledem k postupu s pravidelným přísunem chlévského hnoje, kdy jedině při tomto postupu bylo možné při aktuálních klimatických podmínkách udržet stabilní obsah organické hmoty v půdě. Způsoby hospodaření bez chlévského hnoje v simulacích bez měnicích se klimatických podmínek vyústily v pokles organické hmoty v půdě, a to i v případě zapravování všech posklizňových zbytků a pravidelném pěstování meziplodin. Při zahrnutí možného vlivu měnicích se klimatických podmínek v důsledku globálního oteplování však lze předpokládat pokles Corg i při aplikaci organického hnojení, protože bude ovlivněna úroveň mineralizace. Pokud by mělo být adaptačním opatřením zvýšení obsahu organické hmoty v půdě, bude se jednat o velmi komplikovanou proceduru, uvědomíme-li si ve srovnání s uvedenými výpočty, jaká množství hnoje by měla být pravidelně aplikována. Současně je třeba počítat s doprovodným negativním důsledkem takového snažení v podobě zvýšených hodnot vyplavování minerálního dusíku z půdního profilu a to zejména na méně kvalitních půdách. Zde se nabízí úvaha, zda si pro budoucí podmínky a nutnost hospodařit udržitelným způsobem vystačíme se standardními postupy nebo bude nutné hledat zcela nové metody hospodaření na půdě včetně cest jak zvýšit obsah stabilních organických látek v půdě. I zde, pro vyhodnocení pravděpodobných konsekvencí, mohou sehrát růstové modely a testování formou *in silico* velmi významnou úlohu.

III. SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ

Novost postupů prezentovaných touto metodikou spočívá v kombinaci simulace nepřerušených osevních postupů (v současné době jeden z nejperspektivnějších trendů v oblasti modelování růstu a vývoje polních plodin) v kombinaci s tzv. transientními scénáři změny klimatu (postupný vývoj podmínek) a také v kombinaci se čtyřmi různými způsoby hospodaření, které se snaží co nejlépe reprezentovat rozsah reálných aktuálně používaných způsobů hospodaření na orné půdě. Metodika je doplněna o popis příkladu výsledků s využitím modelu HERMES. Konkrétně je hodnocen vývoj dopadů různého způsobu hospodaření nejen na výnosy, ale také na vybrané ukazatele průběhu půdních procesů. Pomocí popsaných postupů je pak možné srovnávat např. význam využití/nevyužití pěstování meziplovin, zapravování posklizňových zbytků, aplikace organických hnojiv. Díky délce modelového období je možné získat informace jak pro blízkou (pravděpodobné trendy pro následujících 10 let) tak vzdálenou budoucnost (tj. konec tohoto století).

IV. POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY

Vzhledem k zaměření předkládané metodiky lze předpokládat její uplatnění v oblasti strategického plánování na úrovni podniků, ale i na úrovni sektoru rostlinné a živočišné výroby jako celku. Dále může posloužit jako vhodný materiál pro výuku na středních školách nebo univerzitách se zemědělským zaměřením nebo jako podklad pro zemědělské poradce. Popis metod a dosažené výsledky budou bezesporu dále rozvíjeny v oblasti výzkumu dopadů změny klimatu na agrosystémy, přičemž se jedná o podklad, s jehož pomocí budou vznikat (nebo poslouží jako inspirace) navazující vědecké studie v ČR i zahraničí. Může se jednat např. o obdobné studie s využitím dalších růstových modelů ať už samostatně nebo formou sady modelů. V případě sady modelů se jedná o aktuální trend využití tzv. ansámbly, který umožňuje například hodnotit nejistotu v odhadovaných hodnotách pro budoucí klimatické podmínky. Další navazující oblastí pak bezesporu bude testování dopadů většího spektra možných způsobů hospodaření (zahrnutí dalších plodin, varianty střídání plodin, zpracování půdy a další adaptační opatření).

V. EKONOMICKÉ ASPEKTY

Ekonomické zhodnocení metodiky vyplývá např. z možnosti získat informace o dopadech sady scénářů změny klimatu na budoucí úroveň výnosů hlavních plodin. Ekonomicky využitelné informace lze spatřovat i v odhadech potřeby minerálního hnojení, úrovně ztráty dusíku vyplavováním apod. Opět se jedná o významné informace jak z hlediska podniků, pro udržení stabilní rentability, tak z hlediska celého sektoru, kdy patří mezi základní priority zachování potravinové bezpečnosti či smysluplné nastavení dotačních opatření.

Vedle ekonomických souvislostí je však třeba vnímat srovnatelný význam dopadů i v oblasti environmentální, neboť zemědělství je v oboustranné interakci s klimatickým systémem a významně ovlivňuje i další složky životního prostředí. V rámci metodiky je v tomto ohledu nastíněna problematika ukládání/uvolňování půdního organického uhlíku či znečišťování vod v důsledku vyplavování dusíkatých látek.

VI. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome.
- Hlavinka, P., Kersebaum, K.C., Dubrovský, M., Fischer, M., Pohanková, E., Balek, J., Žalud, Z., Trnka, M., 2015. Water balance, drought stress and yields for field crop rotations under present and future conditions in the Czech Republic. *Clim. Res.* 65, 175–192. doi:10.3354/cr01339
- Hlavinka, P., Trnka, M., Kersebaum, K.C., Čermák, P., Pohanková, E., Orság, M., Pokorný, E., Fischer, M., Brtnický, M., Žalud, Z., 2014. Modelling of yields and soil nitrogen dynamics for crop rotations by HERMES under different climate and soil conditions in the Czech Republic. *J. Agric. Sci.* 152, 188–204. doi:10.1017/S0021859612001001
- Hlavinka, P., Trnka, M., Balek, J., Dubrovský, M., Pohanková, E., Žalud, Z., „Aplikace růstových modelů pro lokální hodnocení dopadů změny klimatu na vybrané plodiny“ Mendelu v Brně, 2015, 39 s. číslo osvědčení UKZUZ 126993/2015
- Jones, J., Hoogenboom, G., Porter, C., Boote, K., Batchelor, W., Hunt, L., Wilkens, P., Singh, U., Gijsman, A., Ritchie, J., 2003. The DSSAT cropping system model. *Eur. J. Agron.* 18, 235–265. doi:10.1016/S1161-0301(02)00107-7
- Kersebaum, K.C., 2007. Modelling nitrogen dynamics in soil–crop systems with HERMES. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 77, 39–52. doi:10.1007/s10705-006-9044-8
- Kollas, C., Kersebaum, K.C., Nendel, C., Manevski, K., Müller, C., Palosuo, T., Armas-Herrera, C.M., Beaudoin, N., Bindi, M., Charfeddine, M., Conradt, T., Constantin, J., Eitzinger, J., Ewert, F., Ferrise, R., Gaiser, T., Cortazar-Atauri, I.G. De, Giglio, L., Hlavinka, P., Hoffmann, H., Hoffmann, M.P., Launay, M., Manderscheid, R., Mary, B., Mirschel, W., Moriondo, M., Olesen, J.E., Öztürk, I., Pacholski, A., Ripoche-Wachter, D., Roggero, P.P., Roncossek, S., Rötter, R.P., Ruget, F., Sharif, B., Trnka, M., Ventrella, D., Waha, K., Wegehenkel, M., Weigel, H.-J., Wu, L., 2015. Crop rotation modelling—A European model intercomparison. *Eur. J. Agron.* 70, 98–111. doi:10.1016/j.eja.2015.06.007
- Palosuo, T., Kersebaum, K.C., Angulo, C., Hlavinka, P., Moriondo, M., Olesen, J.E., Patil, R.H., Ruget, F., Rumbaer, C., Takáč, J., Trnka, M., Bindi, M., Čaldač, B., Ewert, F., Ferrise, R., Mirschel, W., Şaylan, L., Šiška, B., Rötter, R., 2011. Simulation of winter wheat yield and its variability in different climates of Europe: A comparison of eight crop growth models. *Eur. J. Agron.* 35, 103–114. doi:10.1016/j.eja.2011.05.001
- Pirttioja, N., Carter, T.R., Fronzek, S., Bindi, M., Hoffmann, H., Palosuo, T., Ruiz-Ramos, M., Tao, F., Trnka, M., Acutis, M., Asseng, S., Baranowski, P., Basso, B., Bodin, P., Buis, S., Cammarano, D., Deligios, P., Destain, M.-F., Dumont, B., Ewert, F., Ferrise, R., Francois, L., Gaiser, T., Hlavinka, P., Jacquemin, I., Kersebaum, K.C., Kollas, C., Krzyszczak, J., Lorite, I.J., Minet, J., Minguez, M.I., Montesino, M., Moriondo, M., Muller, C., Nendel, C., Öztürk, I., Perego, A., Rodríguez, A., Ruane, A.C., Ruget, F., Sanna, M., Semenov, M. a., Slawinski, C., Stratonovitch, P., Supit, I., Waha, K., Wang, E., Wu, L., Zhao, Z., Rötter, R.P., 2015. A crop model ensemble analysis of temperature and precipitation effects on wheat yield across a European transect using impact response surfaces. *Clim. Res.* 65, 87–105. doi:10.3354/cr01322
- Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A.J., Cochrane, K., Howden, M.S., Iqbal, M.M., Lobell, D.B., Travasso, M.I., 2014. Food security and food production systems, in: Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., White, L.L. (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 485–533.
- Rötter, R.P., Palosuo, T., Kersebaum, K.C., Angulo, C., Bindi, M., Ewert, F., Ferrise, R., Hlavinka, P., Moriondo, M., Nendel, C., Olesen, J.E., Patil, R.H., Ruget, F., Takáč, J., Trnka, M., 2012. Simulation of spring barley yield in different climatic zones of Northern and Central Europe: A comparison of nine crop models. *F. Crop. Res.* 133, 23–36. doi:10.1016/j.fcr.2012.03.016
- Rötter, R.P., Carter, T.R., Olesen, J.E., Porter, J.R., 2011. Crop-climate models need an overhaul. *Nat. Clim. Chang.* 1, 175–177.
- Trnka, M., Dubrovský, M., Semerádová, D., Žalud, Z., 2004a. Projections of uncertainties in climate change scenarios into expected winter wheat yields. *Theor. Appl. Climatol.* 77, 229–249. doi:10.1007/s00704-004-0035-x
- Trnka, M., Dubrovský, M., Žalud, Z., 2004b. Climate change impacts and adaptation strategies in spring barley production in the Czech Republic. *Clim. Change* 64, 227–255.

- Trnka, M., Rötter, R.P., Ruiz-Ramos, M., Kersebaum, K.C., Olesen, J.E., Žalud, Z., Semenov, M.A., 2014. Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change. *Nat. Clim. Chang.* 4, 637–643. doi:10.1038/NCLIMATE2242
- van Keulen, H., Penning De Vries, F.W.T., Drees, E.M., 1982. A summary model for crop growth. In: Penning de Vries FWT, van Laar HH (eds) *Simulation of plant growth and crop production*. Pudoc, Wageningen, p 87–97
- Žalud, Z. (Ed.), 2009. *Změna klimatu a české zemědělství – dopady a adaptace*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, ISBN 978-80-7375-369-0, 154 s.

VII. SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE

Publikace JImp

- Angulo, C., Gaiser, t., Rötter, R.P., Børgesen, Ch, D., Hlavinka, P., Trnka, M., Ewert, F. 'Fingerprints' of four crop models as affected by soil input data aggregation *Europ. J. Agronomy* 61 (2014) 35–48
- Eitzinger, J., Trnka, M., Semerádová, D., Thaler, S., Svobodová, E., Hlavinka, P., Šiška, B., Takáč, J., Malatinská, L., Nováková, M., Dubrovský, M., Žalud, Z., 2013. Regional climate change impacts on agricultural crop production in Central and Eastern Europe – hotspots, regional differences and common trends. *J. Agric. Sci.* 151, 787–812. doi:10.1017/S0021859612000767
- Hlavinka, P., Kersebaum, K.C., Dubrovský, M., Fischer, M., Pohanková, E., Balek, J., Žalud, Z., Trnka, M., 2015. Water balance, drought stress and yields for field crop rotations under present and future conditions in the Czech Republic. *Clim. Res.* 65, 175–192. doi:10.3354/cr01339
- Hlavinka, P., Trnka, M., Kersebaum, K.C., Čermák, P., Pohanková, E., Orság, M., Pokorný, E., Fischer, M., Brtnický, M., Žalud, Z., 2014. Modelling of yields and soil nitrogen dynamics for crop rotations by HERMES under different climate and soil conditions in the Czech Republic. *J. Agric. Sci.* 152, 188–204. doi:10.1017/S0021859612001001
- Kolář, P., Trnka, M., Brázdil, R., Hlavinka, P., influence of climatic factors on the low yields of spring barley and winter wheat in Southern Moravia (Czech Republic) during the 1961-2007 period *Theoretical and Applied Climatology*. 2014, Volume 117, Issue 3-4, pp 707-721
- Rötter, R., Palosuo, T., Kersebaum, K. C., Angulo, C., Bindi, M., Ewert, F., Ferrise, R., Hlavinka, P., Moriondo, M., Nendel, C., Olsen, J. E., Patil, R. H., Ruger, F., Takáč, J., Trnka, M. 2012. Simulation of spring barley yield in different climatic zones of Northern and Central Europe: A comparison of nine crop models. *Field Crops Research*, 133: 23–36.
- Thaler, S., Eitzinger, J., Trnka, M., Dubrovsky, M. 2012. Impacts of climate change and alternative adaptation options on winter wheat yield and water productivity in a dry climate in Central Europe. *Journal of Agricultural Science*, 150: 537–555.
- Trnka, M., Rötter, R.P., Ruiz-Ramos, M., Kersebaum, K, CH., Olesen, J.E., Žalud, Z., Semenov, M.A. Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change *Nature Climate Change* 4, 637–643, 2014, doi:10.1038/nclimate2242

Publikace Jneimp

- Pohanková, E., Hlavinka, P., Takáč, J., Žalud, Z., Trnka, M., Calibration and Validation of the Crop Growth Model DAISY for Spring Barley in the Czech Republic. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2015. sv. 2015, č. 4, s. 1177–1186. ISSN 1211-8516.

Článek ve sborníku (D)

- Pohanková, E., Trnka, M., Hlavinka, P., Takáč, J., Kersebaum, KCH., Žalud, Z., Comparison of DAISY and HERMES crop growth models for winter wheat and spring barley in Czech-Moravian Highlands In Sborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference Bioklima Skalica 09/2013 (in print), příspěvek bude publikován na WOK
- Pohanková, E., Hlavinka, P., Trnka, M., Calibration and validation of the crop growth model WOFOST for spring barley in conditions of the Czech republic. In TOWARDS CLIMATIC SERVICES, Nitra 2015. 1. vyd. Nitra: Slovak University of Agriculture in Nitra, 2015, s. 51. ISBN 978-80-552-1389-7.
- Pohanková, E., Trnka, M., Hlavinka, P., Takáč, J., Kersebaum, K. Ch., Žalud, Z., 2013: Calibration of the selected crop growth models for winter wheat and spring barley. In Global Change and Resilience. 1. vyd. Brno: Akademie Věd, 2013
- Pohanková E., Trnka M., Hlavinka P., Takáč J., Žalud Z., 2013: Calibrations of the crop growth models for winter wheat. Mendelnet 2013, Proceedings of International Ph.D. Students Conference, Brno, Czech Republic: Mendel University in Brno, Faculty of Agronomy, p. 130-135, ISBN 978-80-7375-908-7
- Pohanková, E., Orság, M., Hlavinka, P., The influence of reduced precipitation supply on spring barley yields and the ability of crop growth models to simulate drought stress. In URBAN, O., ŠPRTOVÁ, M., KLEM, K., Global Change: A Complex Challenge Conference Proceedings. 1. vyd. Brno: Global Change Research Centre AS CR, v.v.i., 2015, s. 113--117. ISBN 978-80-87902-10-3.
- Trnka, M., Hlavinka, P., Semerádová, D., Balek, J., Možný, M., Štěpánek, P., Zahradníček, P., Hayes, M., Eitzinger, J., Žalud, Z Drought monitor for the Czech Republic - www.intersucho.cz Rožnovský, J., Litschmann, T., (eds): Mendel a bioklimatologie. Brno, 3. – 5. 9. 2014, ISBN 978-80-210-6983-1

Autoři:

Doc. Ing. Petr Hlavinka, Ph.D. (55 %)

Prof. Mgr. Ing. Miroslav Trnka, Ph.D. (15 %)

Bc. Jan Balek (5 %)

RNDr. Martin Dubrovský, Ph.D. (5 %)

Ing. Eva Pohanková, Ph.D. (5 %)

Ing. Markéta Wimmerová (5 %)

Prof. Ing. Zdeněk Žalud, Ph.D. (10 %)

**Název: Využití růstových modelů k hodnocení způsobů hospodaření při pěstování polních plodin
a vlivu na půdní procesy**

Vydal: Ústav výzkumu globální změny AV ČR v.v.i.

Zemědělská 1, 613 00 BRNO

Tisk:

Náklad: 70 ks

1, vydání 2017

Vydáno bez jazykové úpravy

Metodika je poskytována bezplatně

Kontakt na autora: phlavinka@centrum.cz

Ústav výzkumu globální změny AV ČR v.v.i., 2015

ISBN 978-80-7509-531-2

2017