Rožnovský, J., Litschmann, T., Středová, H., Středa, T. (eds): Voda, půda a rostliny
Křtiny, 29. – 30.5. 2013, ISBN 978-80-87577-17-2

---

# Porovnání exponenciálních modelů distribuce kořenů v půdním profilu a jejich použití pro simulaci pšenice

## The comparison of exponential models of root distribution in soil profile and their use for simulation of wheat

***Jan Haberle, Pavel Svoboda***

*Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha - Ruzyně*

**Abstrakt**

Byly porovnány dva regresní exponenciální modely pro popis distribuce délky kořenů ozimé pšenice a brambor v půdním profilu. Shoda mezi pozorovanou a fitovanou distribucí kořenů byla uspokojivá, ve všech případech bylo $R^2 > 0,8$, u čtyř pětin údajů bylo $R^2 > 0,9$. Byl studován dopad použití pozorované a fitované distribuce kořenů jako vstupních údajů pro simulaci ozimé pšenice plodinovým modelem CERES-Wheat. Použití fitované distribuce s nejhorší mírou shody s pozorovanými hodnotami ($R^2 < 0,82$) se projevilo v některých letech na simulovaném růstu kořenů, snížené dostupnosti vody a nižším výnosu. V průměru dvaceti let se výnos snížil o 50-300 kg/ha.

**Klíčová slova:** hustota kořenů, exponenciální funkce, vstupní parametry, CERES-Wheat

**Abstract**

Two exponential models of distribution of winter wheat and potato root length in a soil profile were compared. The fit between observed and predicted root distribution was satisfactory, in all cases, $R^2 > 0,8$, at about four fifth of data sets the fit was good, $R^2 > 0,9$. The impact of use of observed and fitted root distributions as input parameters for simulation of wheat with crop model CERES-Wheat was analysed. The use of fitted distribution showing worse agreement with observed data ($R^2 < 0,82$) resulted in modified simulated root growth, reduced water availability and lower yield only in some years. On average of twenty years wheat yield decreased by 50-300 kg/ha.

**Keywords:** root density, exponential function, input parameters, CERES-Wheat

## Úvod

Rozdělení kořenů v půdě je základem pro výpočet příjmu živin a vody z jednotlivých vrstev půdy. Nejčastěji je vyjadřováno jako délka kořenů v objemu půdy, hustota kořenů ($cm/cm^3$). Požadavek rostliny na vodu a živiny je při výpočtu příjmu rozdělován podle distribuce daného znaku kořenů. Z hlediska využití vody a živin z hlubších vrstev podorničí je důležitá největší

hloubka kořenů, které jednoleté plodiny dosahují obvykle po kvetení. Hustota kořenů jednoletých druhů v půdě většinou přibližně exponenciálně nebo lineárně klesá s hloubkou (např. Novák 1994, Himmelbauer, Novák 2008). V případě vyčerpání dostupné vody a živin v povrchových vrstvách představuje zásoba v podorničí významnou rezervu pro překonání období nedostatku.

V modelech příjmu vody z vrstev půdy se používá relativní distribuce kořenů, která slouží pro rozdělení transpiračního požadavku porostu. Absolutní hodnoty hustoty kořenů jsou významné pro detailní simulaci příjmu živin, zvláště v případě nižší vlhkosti půdy. Exponenciální a jiné funkce rozdělení kořenů v půdě představují zobecnění pozorované distribuce kořenů v polních podmínkách, kde působí různé fyzikálně-chemické a biologické faktory, které můžou růst kořenů v některých vrstvách modifikovat.

Cílem práce bylo porovnat vhodnost vybraných distribučních funkcí a určit dopad použití pozorované a fitované distribuce kořenů na simulaci pšenice plodinovým modelem.

## Materiál a metody

Sledování distribuce kořenů

Byly využity údaje o distribuci kořenů pšenice a brambor získaných na odboru výživy rostlin, Výzkumného ústavu rostlinné výroby. Pokus s ozimou pšenicí probíhal v Ruzyni u Prahy (degradovaná černozem na spraši), v pokusu byl sledován porost hnojený nízkou a vysokou dávkou N, zavlažovaný a stresovaný nedostatkem vody v průběhu růstu zrna (Haberle, Svoboda 2007, Haberle et al. 2008 ). Kořeny pšenice byly odebírány na počátku kvetení (před indukcí stresu) a ve fázi nalévání zrna. U brambor, v pokusu v Ruzyni (hnědozem modální na spraši) a ve Valečově (kambizem dystrická) byly kořeny odebírány v období růstu hlíz. Vzorky půdy byly odebírány po vrstvách 10 cm, kořeny byly separovány na sadě sít, po dočištění byla u vzorků určena délka (Tennant 1974) a suchá hmotnost kořenů. Distribuce kořenů (RLD) byla počítána z průměrné hustoty kořenů v jednotlivých vrstvách.

Distribuční funkce pro popis rozdělení kořenů v půdním profilu.

Byly použity exponenciální funkce použité v publikacích zabývajících se distribuci kořenů plodin (Dwyer et al. 1996, Gerwitz, Page 1974, Rowse 1974, Rowse, Barnes 1979). Předběžné hodnocení ukázalo, že další distribuční modely (např. Hoffman, van Genuchten

1983, Li et al. 2006) byly pro daný soubor údajů o rozdělení kořenů v profilu nevhodné. Pozorované a fitované hodnoty distribuce délky kořenů byly vyjádřeny relativně.

Použité funkce:

Rowse (1974), Rowse, Barnes (1979)

$C = (R/b^2)^{1/2} * \exp(-Z/b*R^{1/2})$,

kde C je hodnota hustoty kořenů ($cm/cm^3$) v hloubce Z (cm) a b je koeficient určující tvar exponenciálního poklesu.

Dwyer et al. (1996), Gerwitz, Page (1974)

$Y = Y_0*\exp^{(-BX)} + C$,

kde Y je hodnota hustoty kořenů v hloubce X (cm), B je parametr určující tvar distribuční funkce, $Y_o$ je hustota kořenů v hloubce 0, C je hustota v největší hloubce

**Simulace využití vody ozimou pšenicí**

Pro simulaci porostu pšenice byl použit model CERES-Wheat (Hoogenboom et al. 2010), který jsme již dříve kalibrovali a využili pro simulaci dopadu odlišné zásoby vody na ozimou pšenici (Haberle 2010, 2011). Vstupní parametr, který má rozhodující vliv na rozdělení kořenů v profilu, SRGF (soil.dat), byl upraven podle pozorované a fitované distribuce kořenů. Pro simulace byly použity technické řady denních údajů teploty, srážek a dalších údajů vytvořené pracovníky pobočky ČHMÚ v Brně v rámci řešení projektu MŽP (Pretel et al. 2011).

Byly porovnány simulované hodnoty distribuce kořenů v profilu (ve zralosti a ve fázi nalévání zrna) a největší hloubky kořenů, výnosu, obsahu dostupné vody v kořenové zóně, ukazatele vyjadřujícího poměr dostupné zásoby a požadavku porostu na vodu a ukazatele vlivu nedostatku vody na růst. Výstupem modelu je distribuce hmoty a délky (hustoty) kořenů po vrstvách o nestejné velikosti (5 cm, 10 cm, 15 cm a 30 cm), které nelze měnit. To neumožňuje dobře porovnat výstupy modelu s hodnotami distribuce kořenů určované v našich pokusech po vrstvách 10 cm. Jsou prezentovány průměrné hodnoty simulovaných údajů za dvacet let pro lokalitu Ruzyně, s použitím vstupních hodnot pro jílovito-hlinitou a písčito-hlinitou půdu. Agrotechnické vstupní údaje a výchozí podmínky (distribuce vlhkosti půdy a obsahu minerálního N) byly pro všechny ročníky totožné. Model zahrnuje další parametry, které do určité míry mohou ovlivňovat simulované hodnoty hustoty kořenů, ale ty nebyly modifikovány.

Simulace byly provedeny pro dva vybrané případy, kdy byla zaznamenána nejmenší shoda pozorované a fitované distribuce kořenů, 13.7.2005 (varianta S) a 12.7.2006 (varianta V) (tab.1, obr.1). Při použití hodnot fitované distribuce kořenů s dobrou shodou s pozorováním (přibližně pro $R^2$>0,9) byly rozdíly oproti použití skutečné distribuce nevýznamné a tyto výsledky nejsou v příspěvku prezentovány.

**Výsledky a diskuse**

Shoda mezi pozorovanou a fitovanou distribucí kořenů pšenice byla uspokojivá, ve všech případech bylo $R^2$ > 0,8, u čtyř pětin údajů bylo $R^2$ > 0,9 (tab.1), u brambor byla shoda podobná, $R^2$ > 0,84. Rozdíly mezi použitými funkcemi byly malé, rovnice s absolutním členem (podle Dwyera) nadhodnocovala v některých případech růst kořenů v nejhlubších vrstvách (obr.1). Horší shodu jsme zaznamenali v případech, kdy v zóně okolo 40(50) až 70 cm došlo k zlepšenému růstu kořenů, takže délka kořenů se zde s hloubkou nesnižovala. Důvodem je zřejmě horší fyzikální stav půdy v zóně 20-40 cm v porovnání s hlubší vrstvou podorničí, kam nezasahuje vliv zhutnění půdy zemědělskou mechanizací. V této zóně je dostatečná zásoba vody a zvýšený obsah nitrátového dusíku vyplaveného v průběhu zimy z orniční vrstvy, což vytváří dobré podmínky pro růst kořenů.

Určitý problém představuje distribuce kořenů v hlubokých vrstvách, protože exponenciální model naznačuje, že kořeny pronikají hlouběji než byly skutečně pozorovány. Proto byly použity pouze fitované hodnoty do hloubky skutečného výskytu kořenů.

---

Tab.1 Shoda ($R^2$) mezi pozorovanou a fitovanou distribucí kořenů ozimé pšenice pro zkoumané exponenciální funkce. S - stres, V - závlaha, N1 - nízká dávka dusíku, N2 - vysoká dávka N. U variant S a V byly použity údaje z hnojení N2.

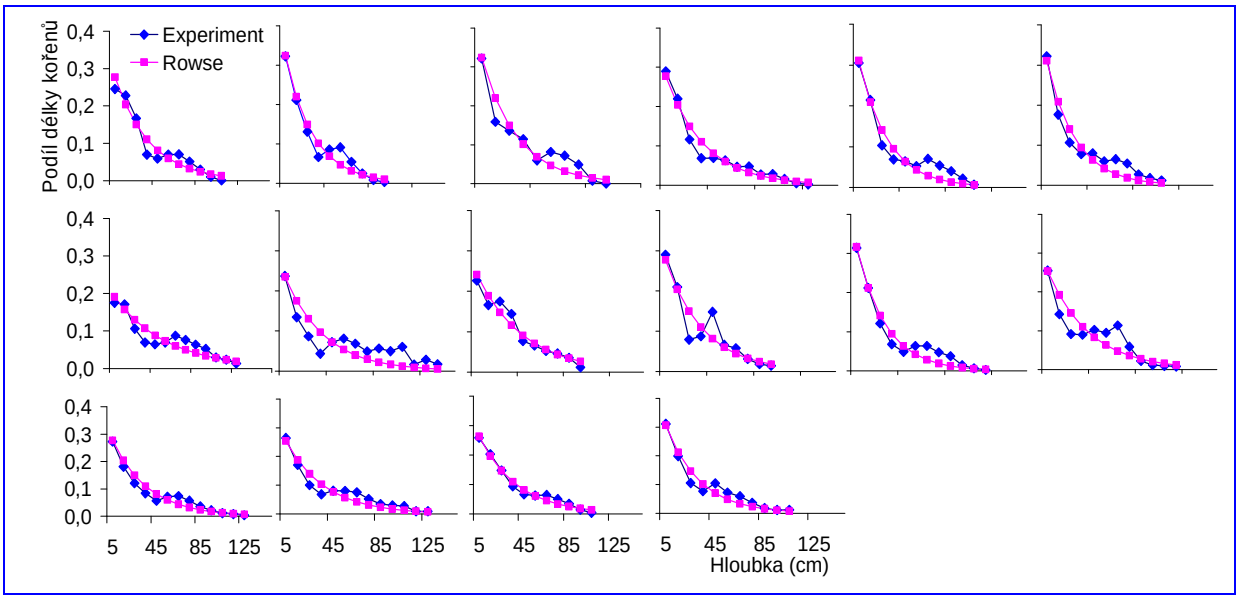
| Termín | 28.5.2004 | | 7.7.2004 | | 19.5.2005 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Varianta | N1 | N2 | V | S | N1 | N2 |
| Rowse | 0,927 | 0,953 | 0,921 | 0,955 | 0,938 | 0,937 |
| Dwyer | 0,929 | 0,955 | 0,925 | 0,971 | 0,961 | 0,967 |

| Termín | 13.7.2005 | | 25.5.2006 | | 12.7.2006 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Varianta | V | S | N1 | N2 | V | S |
| Rowse | *0,837* | *0,794* | 0,941 | *0,859* | 0,958 | *0,817* |
| Dwyer | *0,842* | *0,840* | 0,957 | *0,873* | 0,968 | *0,818* |

| Termín | Průměr | | Průměr | |
|---|---|---|---|---|
| Varianta | V | S | N1 | N2 |
| Rowse | 0,948 | 0,920 | 0,979 | 0,946 |
| Dwyer | 0,958 | 0,936 | 0,981 | 0,956 |

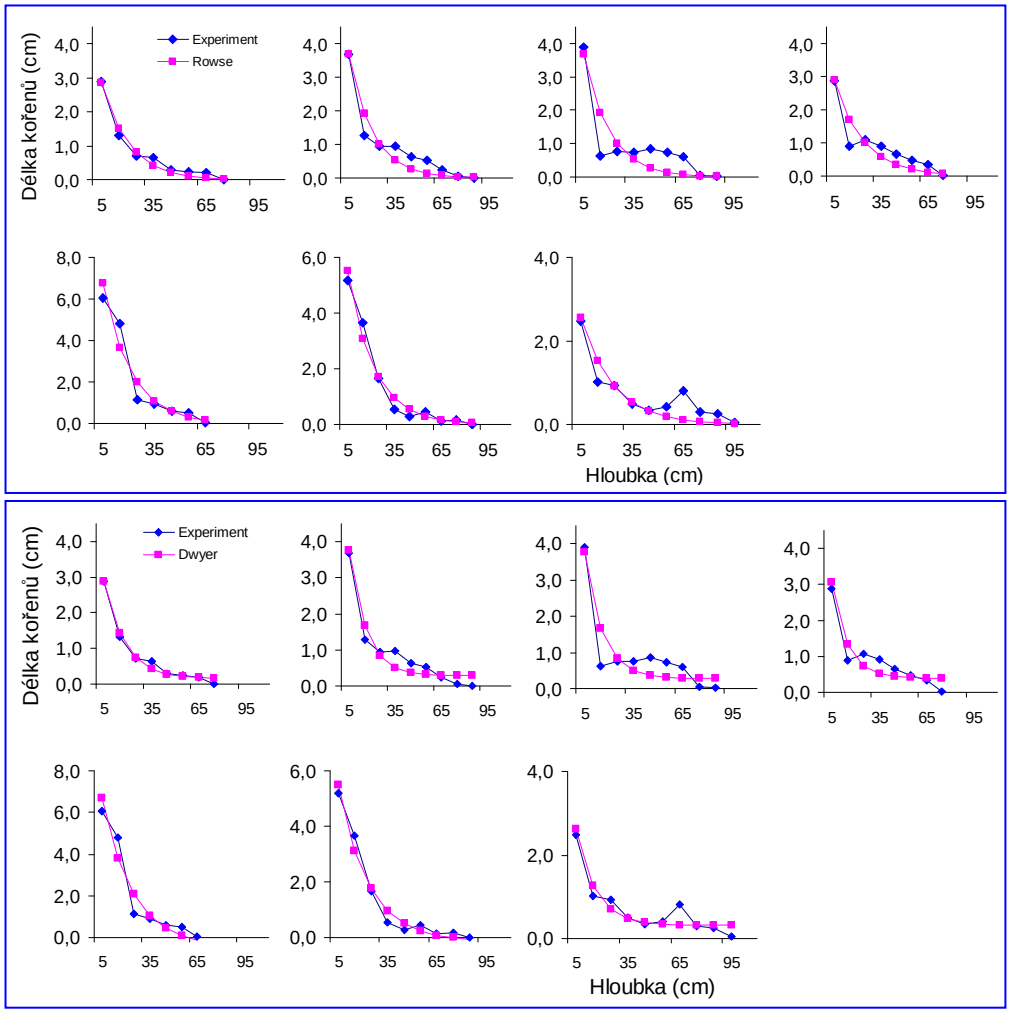
**Tab.2** Shoda mezi pozorovanou a fitovanou distribucí kořenů brambor ($R^2$) v Ruzyni a ve Valečově.

| Stanoviště | **Ruzyně** | | | | **Valečov** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Termín | 20.7.1998 | 19.8.1998 | 3.8.1999 | 19.7.2000 | 31.7.2001 | 31.7.2002 | 29.7.2003 |
| Rowse | 0,980 | 0,925 | *0,843* | *0,855* | 0,923 | 0,974 | *0,856* |
| Dwyer | 0,987 | 0,941 | 0,931 | *0,882* | 0,930 | 0,975 | 0,905 |




Obr. 1 Porovnání pozorované (Experiment) a fitované (podle Rowse) hodnoty relativní distribuce kořenů ozimé pšenice. Pořadí obrázků odpovídá pořadí v tab.1.

---

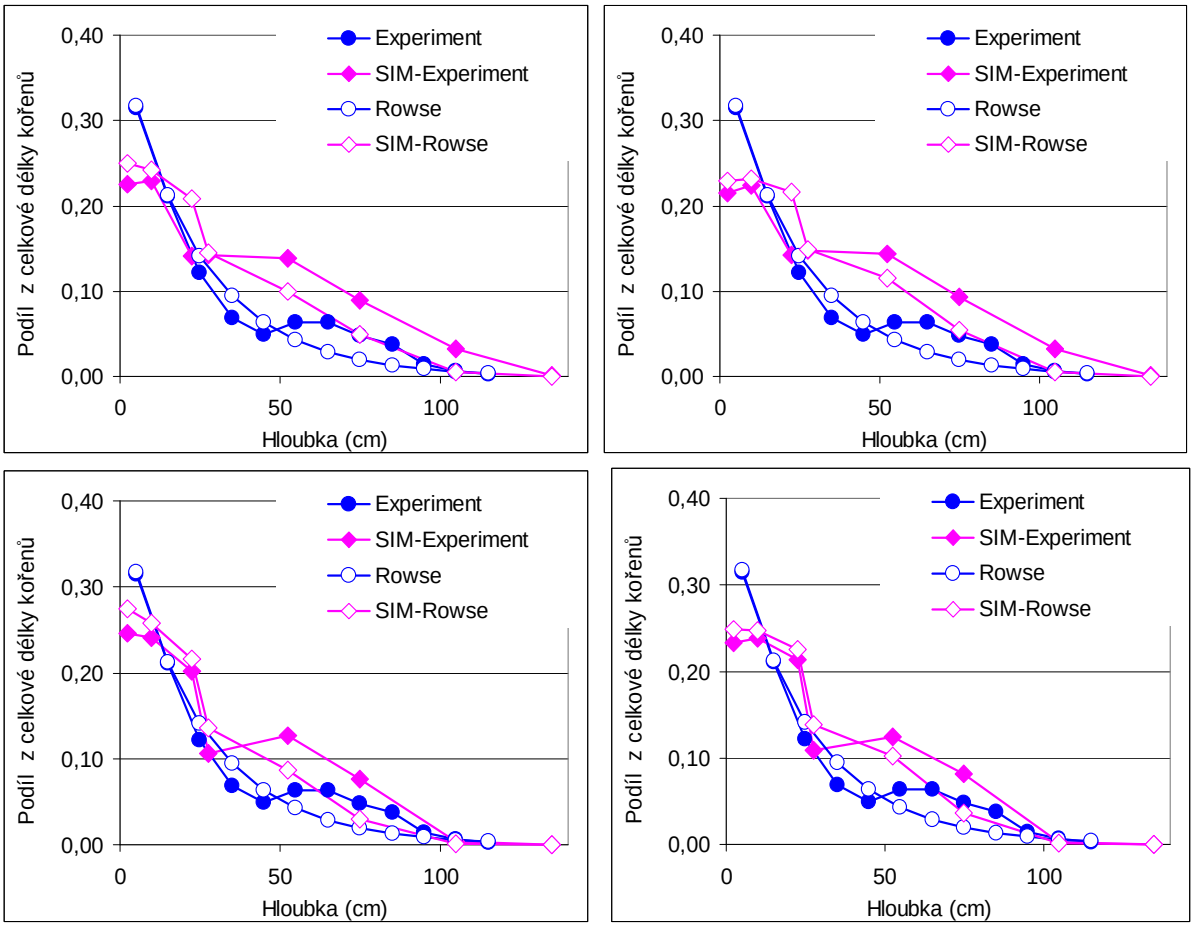



Obr. 2 Porovnání pozorované a fitované (Rowse-nahoře, Dwyer-dole) distribuce délky kořenů brambor (cm/vzorek). Pořadí obrázků odpovídá tab.2.

Simulace vlivu změny distribuce kořenu v modelu CERES-Wheat

Simulovaná distribuce kořenů se lišila při použití pozorované a fitované distribuce (obr.3). Fitovaná distribuce a z ní vycházející simulovaný kořenový systém nepostihovaly zvýšení délky kořenů v mělkém podorničí ve vrstvě 50-70 cm. Při použití pozorované distribuce délky kořenů se simulovaný podíl kořenů v této vrstvě zvýšil. Grafy (obr.3) neumožňují porovnání skutečné a simulované distribuce kořenů (nebylo to ani cílem studie), protože nejde o totožné vrstvy.

Použití fitované distribuce také snižovalo simulovanou hloubku kořenů o 5-20 cm oproti simulaci s použitím pozorovaného rozdělení kořenů. Při použití fitované distribuce v případech s lepší shodou ($R^2$>0,9) byl vliv na výsledky simulace distribuce kořenů a dalších ukazatelů malý (neprezentováno).

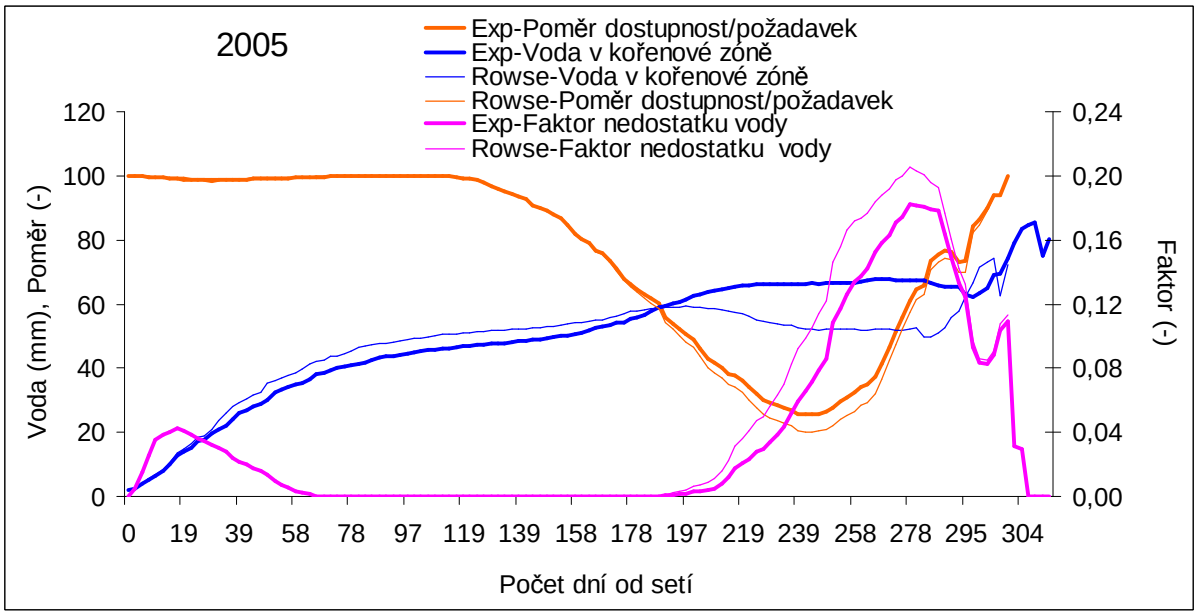


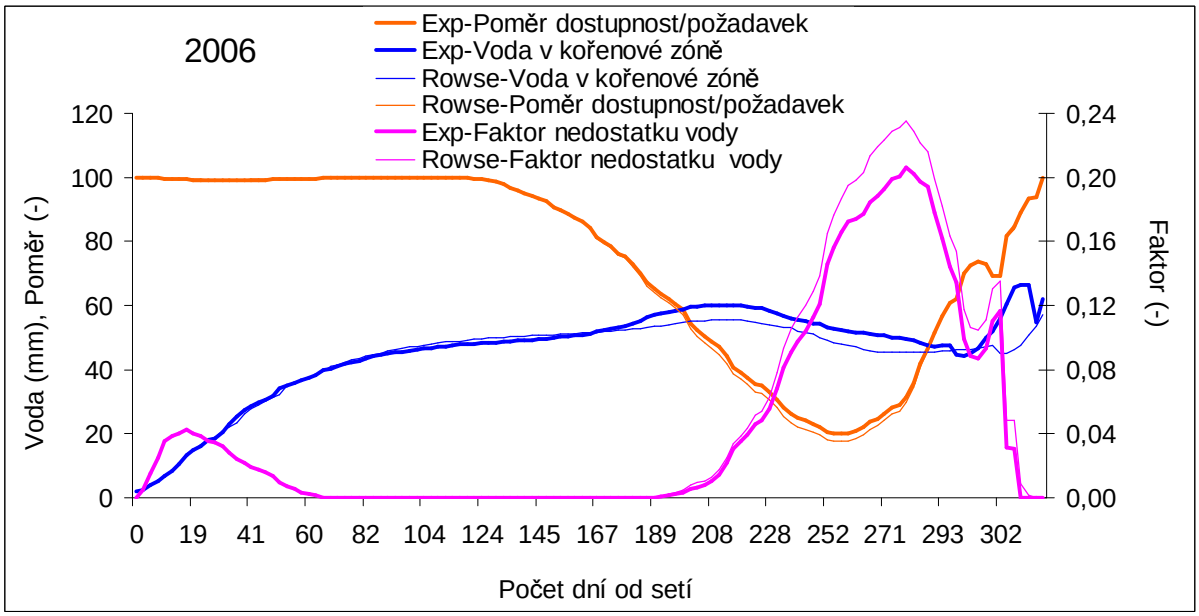

Obr.3 Vliv použití pozorované (Experiment) a fitované distribuce (Rowse) kořenů pšenice na průměrnou distribuci kořenů (SIM) simulovanou modelem CERES-Wheat. Rok 2005 vlevo, 2006 vpravo, písčito-hlinitá půda (nahoře) a jílovito-hlinitá půda (dole).

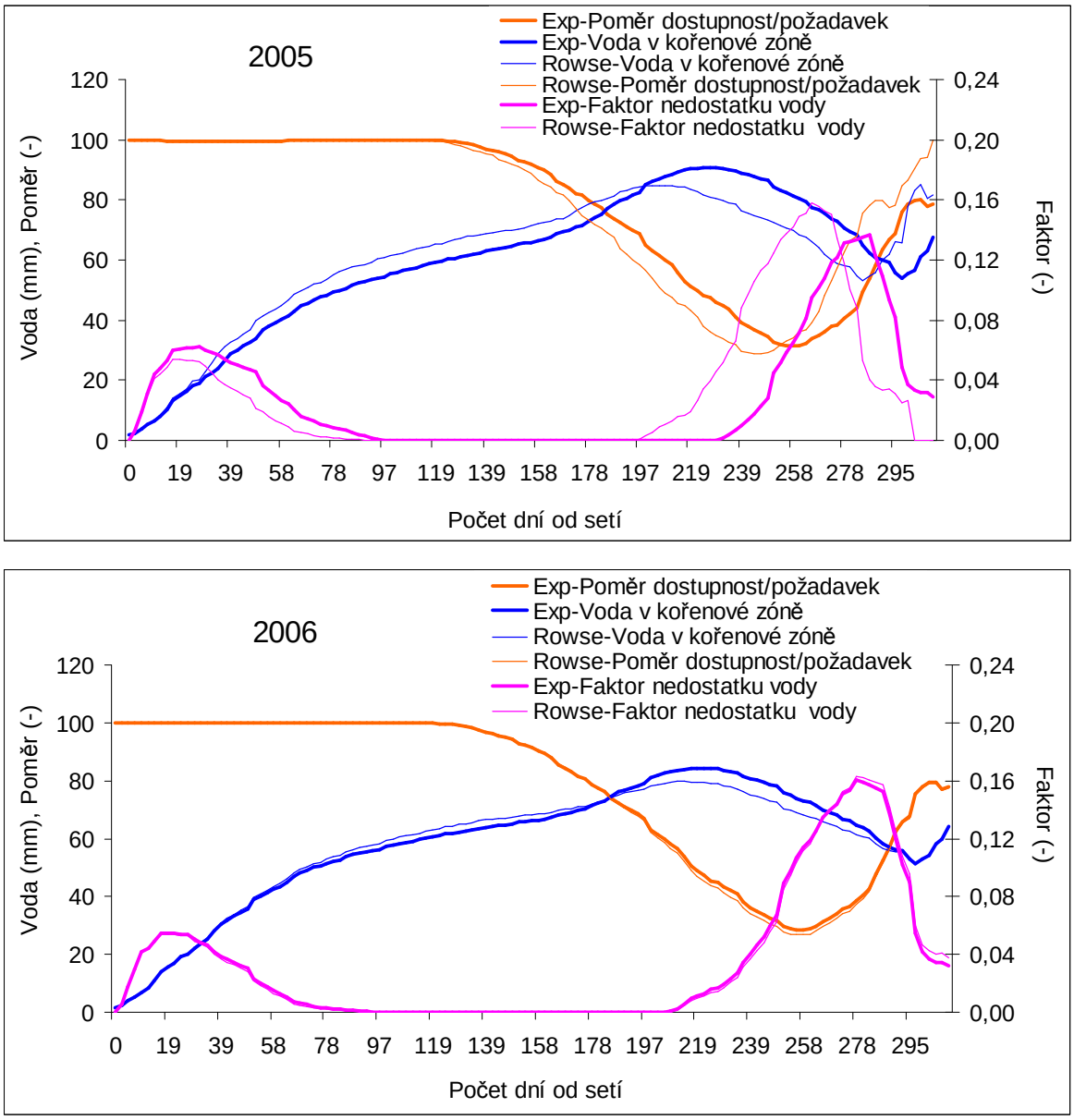
Použití fitované distribuce snižovalo simulovaný obsah dostupné vody v době nejvyšší spotřeby vody porostem, především při použití údajů distribuce z varianty S v roce 2005 (obr.4), který vykazoval nejhorší shodu (R2=0,794). Tomu odpovídaly rozdíly v dalších ukazatelích hospodaření s vodou, které poskytuje model CERES-Wheat, např. poměr dostupné vody a požadavku porostu na vodu. Tento poměr je 100 v případě, že požadavek na vodu je saturován množství dostupné vody v kořenové zóně. Dalším ukazatelem je faktor nedostatku vody pro růst, který má hodnotu 0 při dostatku vody a hodnotu 1 při nedostatku vedoucímu k zastavení růstu.

Himmelbauer et al. (2012) zjistili, že exponenciální funkce nepopisovala dobře pozorovanou distribuci parametrů kořenů kukuřice (délka, povrch, hmota) ve vlhkých letech, na rozdíl od

suché ročníku. Odlišné výsledky fitování a použité modely se projevily ve výsledcích použitého modelu příjmu vody jen v suchém období vegetační sezóny. Změna růstu kořenů může ovlivnit i příjem živin. Při změně parametrů kořenů pšenice (zvýšení růstu do hloubky) jsme zaznamenali lepší využití dusíku z podorničí simulované modelem CERES-Wheat (Haberle 2007) .



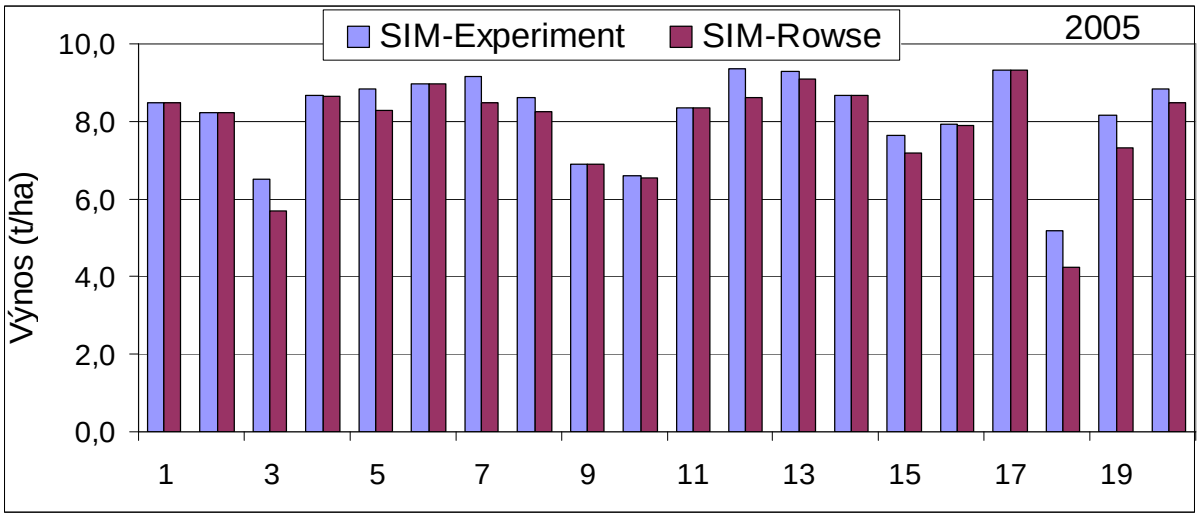



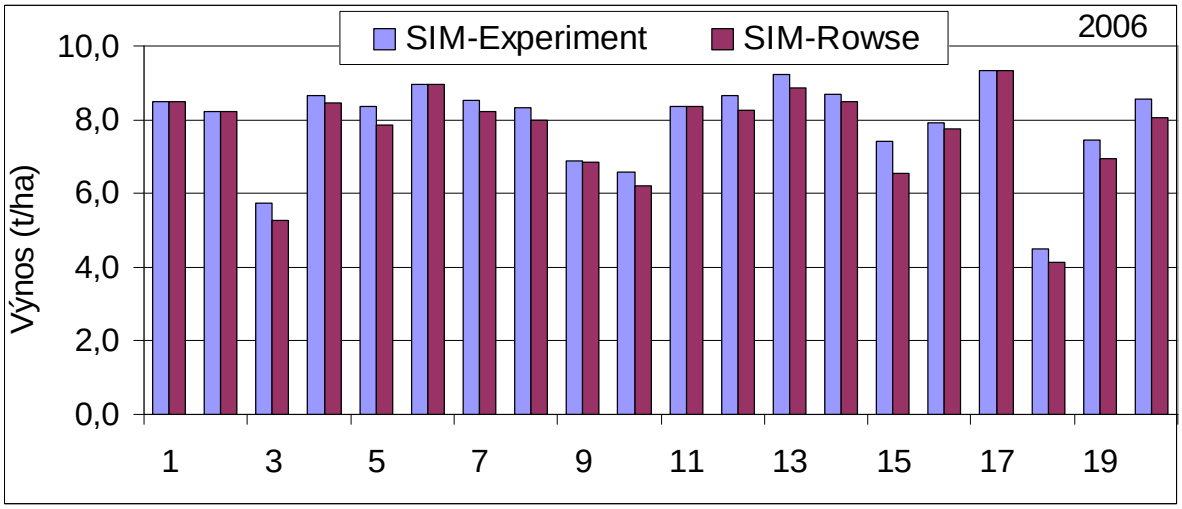


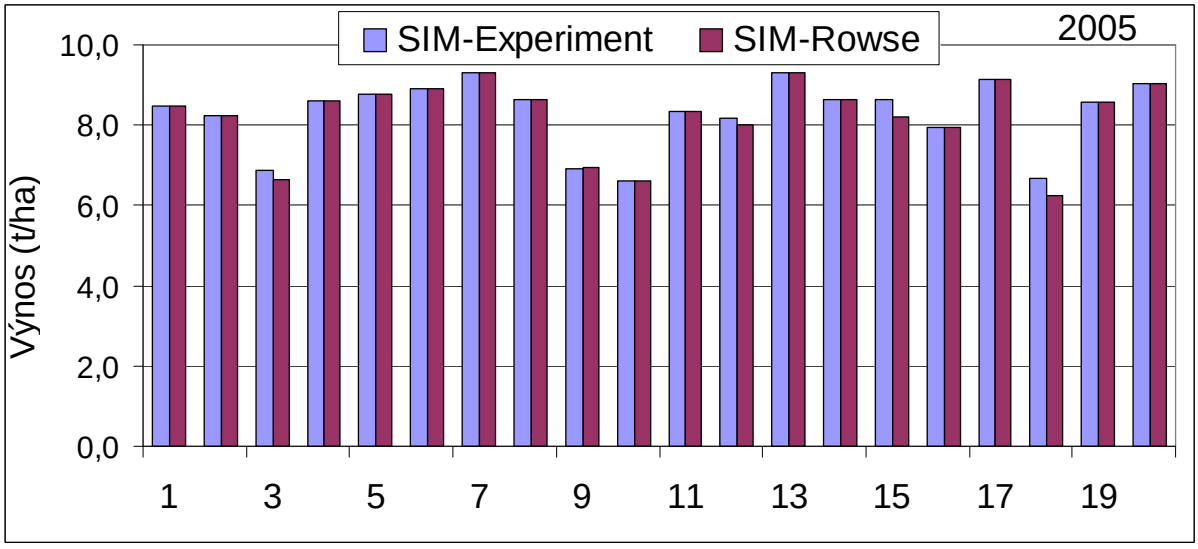

Obr.4 Vliv použití pozorované (Exp) a fitované distribuce (Rowse) kořenů pšenice na simulované množství dostupné vody a ukazatele hospodaření vody porostem (SIM). Písčito-hlinitá půda (horní dva grafy) a jílovito-hlinitá půda (spodní dva grafy). Rok 2005 a 2006 označuje použité údaje o distribuci (tab.1).

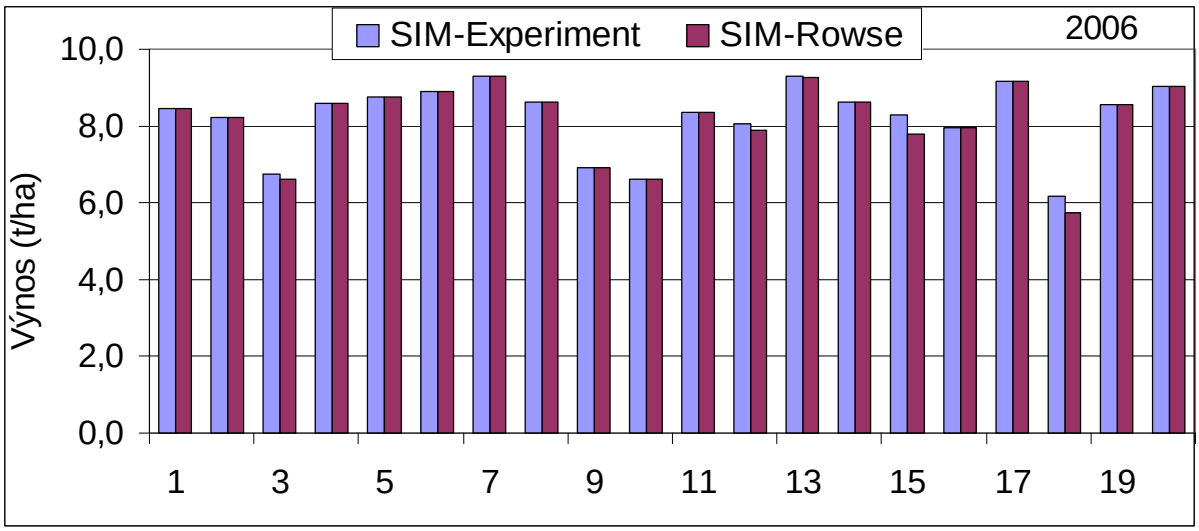
Použití fitované distribuce kořenů snižovalo v některých letech výnos pšenice (obr.4), v průměru 20 let snížení dosáhlo na jílovito-hlinité půdě pouze 60 kg/ha, na písčito-hlinité půdě to bylo 281 a 304 kg/ha. Důvod rozdílů mezi půdními druhy je nutné dále analyzovat. Model simuloval ročníkou variabilit u výnosů mezi 11% a 17%, použití fitované distribuce zvýšilo variabilitu o 1-2%

---


SIM-Experiment
SIM-Rowse
2005
Výnos (t/ha)
10,0
8,0
6,0
4,0
2,0
0,0
1
3
5
7
9
11
13
15
17
19


SIM-Experiment
SIM-Rowse
2006
Výnos (t/ha)
10,0
8,0
6,0
4,0
2,0
0,0
1
3
5
7
9
11
13
15
17
19


SIM-Experiment
SIM-Rowse
2005
Výnos (t/ha)
10,0
8,0
6,0
4,0
2,0
0,0
1
3
5
7
9
11
13
15
17
19




Obr.5 Vliv použití pozorované (Experiment) a fitované distribuce (Rowse) kořenů pšenice na průměrný simulovaný výnos ve dvaceti letech (SIM). Rok 2005 a 2006 označují použité údaje o distribuci (tab.1), písčito-hlinitá půda (nahoře) a jílovito-hlinitá půda (dole).

**Závěr**

1. Oba použité exponenciální modely byly vhodné pro popis distribuce kořenů pšenice a brambor v půdním profilu. V malém počtu případu nebyla shoda uspokojivá ($R^2$<0,9) z důvodu lepšího růstu kořenů v podoorničí.
2. Při použití fitované distribuce kořenů jako vstupního údaje pro plodinový model CERES-Wheat se projevily rozdíly oproti použití pozorované distribuce v případech, kdy byla zaznamenána horší shoda ($R^2$<0,9).
3. Model simuloval rozdíly v distribuci kořenů a obsahu dostupné vody v kořenové zóně s dopady na zásobení rostlin vodou.
4. Vliv použití pozorované a fitované distribuce se na simulovaných výnosech projevil pouze v některých letech, výrazněji na písčito-hlinité půdě ve srovnání s jílovito-hlinitou půdou.

**Literatura**

Dwyer L.M., Ma B.L., Stewart D.W., Hayhoe H.N., Balchin D., Culley J.L.B., McGovem M. (1996): Root mass distribution under conventional and conservation tillage. Can. J. Soil Sci. *76*, 23-28.

Gerwitz A., Page E.R. (1974): An empirical mathematical model to describe plant root systems. J. Appl. Ecol. *11*, 773–781.

Haberle J. (2007): The effect of simulated distribution of soil mineral nitrogen and root traits on wheat yield and grain nitrogen concentration. In: Fourcaud T., Zhang, X. P. (Eds). Proc. of 2nd Int. Symposium on Plant Growth Modeling, PMA06, 13-17.11.2006, Beijing, 2007, 149-152.

Haberle J. (2010): Simulace vlivu predikovaného klimatu na ozimou pšenici modelem CERES-Wheat. In: Rostliny v podmínkách měnícího se klimatu, mezinárodní konference, Lednice 20-21.10.2011, Úroda *59*, 7 s. (příloha CD).

Haberle J. (2011): Simulace vlivu diferencované zásoby vody po kvetení na výnos zrna ozimé pšenic. In: „Bioklima 2010, Bioklíma 2010“, Praha 7. až 9. 9. 2010, 85-90 (CD).

Haberle J., Svoboda P. (2007): The effect of water supply during grain growth on the utilization of soil mineral nitrogen by winter wheat Sci. Agric. Bohem. *38*, 105-110.

Haberle J., Svoboda P., Raimanova I. (2008): The effect of post-anthesis water supply on grain nitrogen yield and concentration in winter wheat. Plant Soil Environ. *54* (7), 304-312.

Himmelbauer M. L., Novák V., Rodný M., Loiskandl W. (2012): Analysis of root distribution function representations and soil water transport simulation. In: 20th International poster day, 15.11.2012, Bratislava.

Himmelbauer M.L., Novák V. (2008): Root distribution functions of spring barley, winter rye and maize. Die Bodenkultur *59*, 165-172.

Hoffman G.J., van Genuchten M.Th. (1983): Soil properties and efficient water use: Water management for salinity control. In: H.M. Taylor et al. (eds.) Limitations to efficient water use in crop production. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI., 73-85.

Hoogenboom G., J.W. Jones, P.W. Wilkens, C.H. Porter, K.J. Boote, L.A. Hunt U. et al. (2010): Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.5 [CD-ROM]. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.

Li K.Y., de Jong R., Coe M.T., Ramankutty N. (2006): Root-water-uptake based upon a new water stress reduction and asymptotic root distribution function.Earth Interactions *10*, 1-22.

Novak V. (1994): Water uptake of maize roots under conditions of non – limiting soil water content. Soil Technology *7*, 37–45.

---

Pretel et al. (2011): Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření. Závěrečná zpráva o řešení projektu MŽP, VaV – SP/1a6/108/07, 2011.

Rowse H.R. (1974): The effect of irrigation on the length, weight and diameter of lettuce roots. Pl. Soil *40*, 381-391.

Rowse H.R., Barnes A. (1979): Weather, rooting depth and water relations of broad beans - a theoretical analysis. Agric. Meteorology *20*, 381–391.

Tennant D. (1975): A test of a modified line intersect method of estimating root length. J.Ecol. *63*, 995-1001.

**Poděkování**

Sledování kořenového systému bylo podpořeno v rámci řešení projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum QI111C080 a Výzkumného záměru MZE0002700604.

**Kontakt:**

Ing. Jan Haberle, CSc.

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

Drnovská 507, 16106 Praha

233022254, haberle@vurv.cz