

Česká republika - Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
organizační složka státu, se sídlem v Brně
Sekce zemědělských vstupů



**Měření zhutnění půdy na vybraných variantách
dlouhodobých výživářských polních pokusů**

Zpracoval: Ing. Michaela Smatanová, Ph.D.

Ing. Pavel Němec

Schválil: Ing. Miroslav Florián, Ph.D.

ředitel Sekce zemědělských vstupů

Brno

srpen 2017

Obsah

strana

1. Úvod	2
2. Stanoviště měření	2
3. Termín měření	3
4. Postup měření	3
5. Popis přístroje	3
6. Zhodnocení výsledků	3
6.1 Zhodnocení penetračního odporu v pokusu AZP stacionár	5
6.1.1 Statistické zhodnocení vlivu variant hnojení - hromadně všechna stanoviště	8
6.1.2 Statistické zhodnocení vlivu variant hnojení a stanoviště individuálně	9
6.2 Zhodnocení penetračního odporu v pokusu AZP stacionár se závlahou - Lednice	10
6.3 Zhodnocení penetračního odporu v pokusu SOH	12
6.4 Zhodnocení penetračního odporu pokusu Digestáty	19
6.4.1 Statistické zhodnocení vlivu variant hnojení - hromadně všechna stanoviště	21
6.4.2 Statistické zhodnocení vlivu variant hnojení a stanoviště individuálně	22
7. Závěr	23
8. Literatura	23



1. Úvod

Zhutnění, utužení půdy neboli pedokompakce je poměrně rozšířený fenomén fyzikálního poškození zemědělské půdy, zejména orné půdy nebo trvalých travních porostů, v důsledku používání těžké mechanizace s vysokým měrným tlakem na půdu nebo intenzivní pastvy. Velkou roli při tomto procesu hraje vlhkost a druh půdy, hnojení, vápnění či struktura osevního postupu na daném pozemku, objevuje se i možnost vazby na klimatické změny. Utužení půdy může být i přírodního charakteru, kdy v některých půdách dochází ke genetickému zhutňování, které je dáno povahou půdotvorného substrátu, především zrnitostí.

Důsledkem utužení je zvýšení objemové hmotnosti půdy, což má za následek zhoršení podmínek pro růst rostlin a snížení rostlinné produkce přibližně o 10 - 20 %. Tento druh degradace půdní struktury sebou nese potenciální ohrožení dalších půdních funkcí jako např. snížení pórovitosti infiltrační a retenční schopnosti, což má za následek urychlení povrchového odtoku, zvýšení rizika eroze nebo sníženou biologickou aktivitu půdy.

Podle Šarapatky (2008) je v České republice zhutněním ohroženo 45 % zemědělských půd, z toho 15 % představuje genetické zhutnění, které je přirozenou vlastností těžkých půd. Zabránit nežádoucímu utužení půdy je prioritou šetrného hospodaření na půdě. Mezi opatření, která zhutnění omezují, patří především pravidelné hnojení půdy kvalitními organickými hnojivy, vápnění půdy a udržování optimální hodnoty pH půdy, omezené užívání fyziologicky kyselých minerálních hnojiv a hnojiv s jednomocnými kationty, zařazování hluboce kořenících plodin a také zpracování půdy za vhodných vlhkostních podmínek vhodnou mechanizací.

Cílem předkládaného měření bylo zjistit utuženost půd na vybraných variantách tří dlouhodobých pokusů, zjištění vývojových trendů a vliv vnějších faktorů např. hnojení, sledu pěstovaných plodin na tuto vlastnost na vytypovaných stanovištích. Naměřené hodnoty bohužel není možné porovnat se vstupními daty při založení jednotlivých pokusů anebo měřením prováděným přístrojem staršího typu.

2. Stanoviště měření

Pro měření byly vybrány v pokusu *Sledování vlivu stupňované intenzity hnojení na výnosy plodin na agrochemické vlastnosti půd a na bilanci živin* (dále AZP stacionár) varianty 1, 2, 5, 10, 11 na stanicích Hradec n. Svitavou (HRA), Lípa (LIP) a Jaroměřice n. Rokytinou (JAR). Na stanici Lednice (LED) byly měřeny varianty AZP stacionáru 1, 2, 5, a to jak blok se závlahou (ZAV), tak bez závlahy (BZ). Na pokusu *Systémy organického hnojení* (dále jen SOH) byly měřeny varianty 1, 2, 5, 7, 9 na stanicích Hradec n. Svitavou, Lípa, Jaroměřice a Lednice.

V pokusu *Porovnání účinnosti digestátů s různými typy hnojiv při hospodaření ve zranitelné oblasti* (dále jen Digestáty) bylo utužení měřeno u všech 6 - ti variant v Hradci n. Svitavou, Lípě a Jaroměřicích. Detaily způsobů a dávek hnojení, osevních sledů atd. všech dlouhodobých pokusů řeší Metodický pokyn č. 24/SZV.

Tabulka 1: Seznam měřených pokusů, stanovišť a variant hnojení

AZP stacionár		SOH		Digestáty	
Stanice	varianty	Stanice	varianty	Stanice	varianty
Jaroměřice	1,2,5,10,11	Jaroměřice	1,2,5,7,9	Jaroměřice	1,2,3,4,5,6
Hradec	1,2,5,10,11	Hradec	1,2,5,7,9	Hradec	1,2,3,4,5,6
Lípa	1,2,5,10,11	Lípa	1,2,5,7,9	Lípa	1,2,3,4,5,6
Lednice	1,2,5 ZAV, BZ				



3. Termín měření

Penetrometrické měření probíhalo na zkušebních stanicích na konci března v roce 2017 za vhodných půdních vlhkoštních podmínek, přičemž půda byla po podzimní orbě do hloubky 30 cm ponechána v hrubé brázdě. Předplodinou u všech pokusů v roce 2016 byla pšenice ozimá, s výjimkou pokusu SOH, kde byl zařazen ječmen jarní.

4. Postup měření

Měření bylo prováděno na vybraných variantách výživářských pokusů čtyř stanovišť. Pro identifikaci byly pokusné parcely vymezeny pomocnou sítí. Na každé pokusné parcele bylo provedeno pět měření penetrometrem podle odběrového schématu (obr. 1), a to ze tří opakování každé varianty pokusu. Výsledná hodnota reprezentující utužení dané varianty pokusu představuje průměr z 15 - ti měření (vpichů měřícím hrotem).

Obrázek 1: Odběrové schéma na pokusné parcele



Princip penetrometrického měření spočívá v registraci tlaku, který je potřeba k překonání odporu půdy proti pronikání sondovací tyče ukončené kuželem. Měření se provádí do hloubky 80 cm, pokud to za daných podmínek je možné do největší možné dosažitelné hloubky. Naměřené hodnoty jsou zaznamenávány po 1 cm, z jednoho vpichu bylo získáno až 80 hodnot odporu půdy uvedených v MPa.

5. Popis přístroje

Pro měření byl použit Penetrometr Eijkelkamp s GPS a sondou pro měření vlhkosti půdy. Před měřením byly do paměti Penetrologeru vloženy plány měření variant, počtu opakování, stanoviště. Hardware version: 6.00; Software version: 6.03; PenetroViewer version: 6.08.

6. Zhodnocení výsledků

Ke stanovení míry zhutnění v jednotlivých hloubkách půdního profilu slouží výsledné penetrogramy (Lhotský 1984). Třídy penetrometrického odporu a hodnoty podle Arsheda et al. (1997) uvádí tabulka 2. Výsledky byly hodnoceny statisticky, a to jak z pohledu vlivu variant hnojení, tak vlivu stanoviště analýzou variance s použitím Kruskal-Wallis testu vícenásobného porovnání pro přehlednost ve třech hloubkách, a to 0-30 cm, 31-60 cm a 61-80 cm.

Tabulka 2: Kritické hodnoty škodlivého zhutnění půd (Lhotský, 1984)

Půdní vlastnost	Půdní druh					
	jíl	jílovitá až jílovito-hlinitá	hlinitá	písčito-hlinitá	hlinito-písčitá	písčitá
Penetrační odpor MPa	2,8-3,2	3,2-3,7	3,7-4,2	4,5-5,0	5,5	6,0
Při vlhkosti % hm.	28-24	24-20	18-16	15-13	12	10



Tabulka 3: Třídy penetrometrického odporu a její velikosti (Arshed et al. 1997)

Penetrační odpor	Hodnota MPa
Extrémně nízký	< 0,01
Velmi nízký	0,01-0,1
Nízký	0,1-1
Střední	1-2
Vysoký	2-4
Velmi vysoký	4-8
Extrémně vysoký	>8

Tabulka 4: Půdní charakteristika zkušebních stanic a kritická hodnota penetračního odporu

Zkušební stanice	Půdní typ a subtyp	Půdní druh	Kritická hodnota penetračního odporu (dolní hranice) MPa
Hradec n. Svitavou	Hnědozem typická	jílovitohlinitá (těžká)	3,2
Jaroměřice n. Rokytou	Hnědozem typická	jílovitohlinitá (těžká)	3,2
Lípa	Kambizem pseudoglejová	písčitohlinitá (střední)	4,5
Lednice	Černozem typická	hlinitá (střední)	3,7



6.1 Zhodnocení penetračního odporu v pokusu AZP stacionár

Pro vyhodnocení utužení půdy byly vypočítány průměry naměřené vždy po 10 cm hloubky, od 0 do 80 cm nebo do maximální dostupné hloubky. Aktuální naměřená vlhkost půdy při měření byla u jednotlivých variant v Hradci n. Svitavou 25-30 %, v Jaroměřicích 19-26 % a v Lípě mezi 17-27 %. Průměry odporu půdy za jednotlivé varianty pokusu AZP stacionár po 45 letech jeho vedení, který má v osevním sledu zastoupeno 50 % obilovin, 25 % okopanin, 25 % pícnin jsou uvedeny v tabulkách 5 - 7 a obrázcích 2 - 4.

Tabulka 5: Průměrné hodnoty odporu půdy v Hradci n. Svitavou - AZP stacionár

Varianty hnojení	Penetrační odpor (MPa) v hloubkách 0-80 cm							
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80
1. Kontrola	0,20	0,53	0,94	1,87	1,96	1,93	1,68	0,84
2. Chlévský hnůj	0,22	0,47	0,60	1,56	2,16	1,91	1,91	0,74
10. N1P1K1 + chlévský hnůj	0,21	0,37	0,71	2,29	2,53	2,20	1,56	1,04
5. N2P2K2 + chlévský hnůj	0,21	0,51	0,68	1,69	2,36	2,17	2,07	1,37
11. N3P3K3 + chlévský hnůj	0,19	0,36	0,67	1,80	1,93	2,04	2,09	1,67

Na jílovitohlinité hnědozemi v Hradci nad Svitavou do 30 cm v hloubce běžné orby byly naměřené hodnoty odporu půdy u všech variant nízké v rozmezí 0,22-0,94 MPa (tabulka 5, obrázek 2). V hloubce mezi 40 - 70 cm bylo utužení nejvyšší, zejména u střední úrovně minerálního hnojení (5. N2P2K2+chlévký hnůj). Nejnížší naměřený odpor půdy byl u varianty 2 hnojené 1x za 4 roky chlévkým hnojem.

Tabulka 6: Průměrné hodnoty odporu půdy v Jaroměřicích - AZP stacionár

Varianty hnojení	Penetrační odpor (MPa) v hloubkách 0-80 cm							
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80
1. Kontrola	0,31	0,47	0,90	2,22	2,96	2,44	0,79	0,39
2. Chlévský hnůj	0,33	0,58	0,85	1,77	2,87	1,33	0,26	*
10. N1P1K1 + chlévský hnůj	0,31	0,55	0,90	2,13	3,24	1,56	0,22	*
5. N2P2K2 + chlévský hnůj	0,35	0,53	0,80	1,90	2,23	1,55	0,75	0,09
11. N3P3K3 + chlévský hnůj	0,38	0,44	0,80	2,10	2,37	1,41	0,85	*

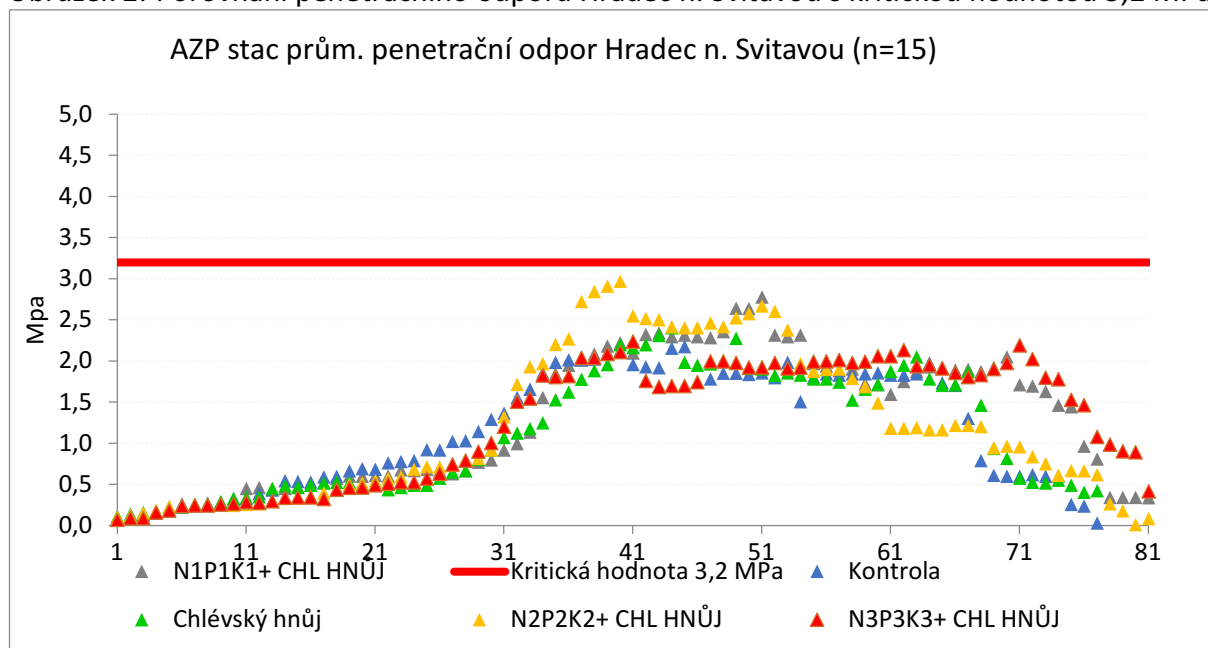
Pozn: *v hloubce nad 71 cm nebyla zaznamenána žádná hodnota, hrot nebylo možné zapíchnout

Tabulka 7: Průměrné hodnoty odporu půdy na Lípě - AZP stacionár

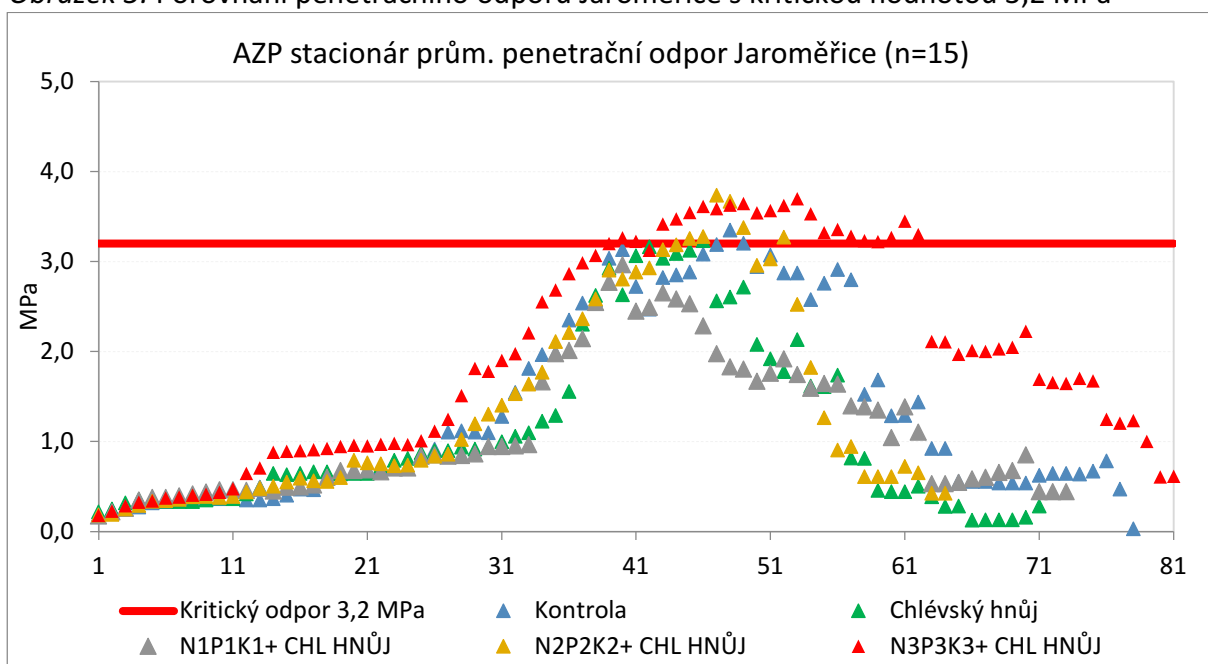
Varianty hnojení	Penetrační odpor (MPa) v hloubkách 0-80 cm							
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80
1. Kontrola	0,44	0,63	1,54	3,40	3,64	3,80	3,50	1,81
2. Chlévský hnůj	0,36	0,58	1,54	2,76	3,54	3,73	2,78	1,76
10. N1P1K1 + chlévský hnůj	0,35	0,52	1,31	3,15	4,12	4,58	3,87	1,33
5. N2P2K2 + chlévský hnůj	0,41	0,71	1,53	2,93	3,46	3,64	3,20	1,82
11. N3P3K3 + chlévský hnůj	0,40	0,76	1,42	2,90	3,41	3,94	3,36	2,07



Obrázek 2: Porovnání penetračního odporu Hradec n. Svitavou s kritickou hodnotou 3,2 MPa



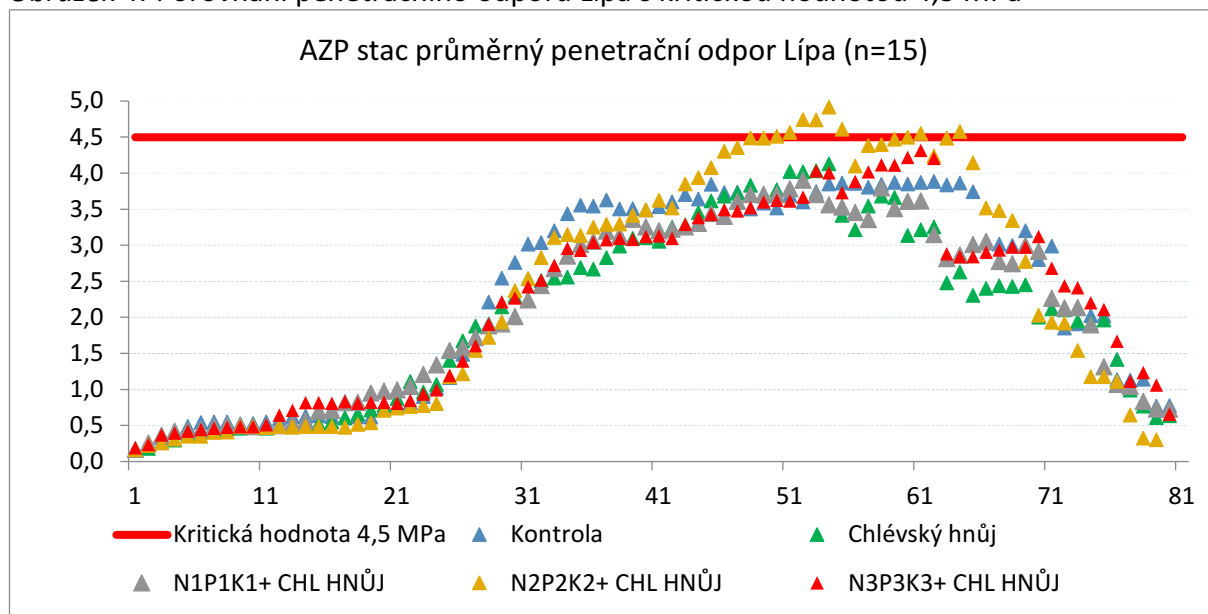
Obrázek 3: Porovnání penetračního odporu Jaroměřice s kritickou hodnotou 3,2 MPa



Na jílovitohlinité hnědozemi v Jaroměřicích byla překročena kritická hodnota 3,2 MPa v hloubce přibližně mezi 40 - 65 cm u variant s druhou (5) a třetí (11) hladinou minerálního hnojení (tabulka 6, obrázek 3). Místní půdní podmínky s horšími fyzikálními vlastnostmi se promítají do celkově vyšších naměřených hodnot. Nižší hodnoty utužení byly zaznamenány po hnojení samotným hnojem (varianta 2).



Obrázek 4: Porovnání penetračního odporu Lída s kritickou hodnotou 4,5 MPa



Písčitohlinitá kambizem na Lípě má dle Lhotského (1984) kritický penetrační odpor 4,5 MPa, tato hranice byla překročena u varianty (5) N2P2K2+chlévký hnůj v hloubce mezi 50-70 cm (obrázek 4, tabulka 7). V porovnání se stanovištěm v Jaroměřicích a v Hradci je na Lípě patrný strmý nárůst odporu půdy přibližně od 25 cm, který kulminuje právě kolem hloubky 50 cm. Na stanovišti Lída je také patrný pozitivní vliv samotného hnoje (varianta 2), který utužení snižuje.

Pro statistické zhodnocení byl penetrační odpor rozložen z praktických důvodů do 3 hloubek, a to 0-30 cm, 31-60 cm a 61-80 cm. Z výsledků je zřejmé, že v celém profilu půdy nebyly zjištěny statisticky průkazné rozdíly v utužení půdy ovlivněné hnojením (obrázek 5).



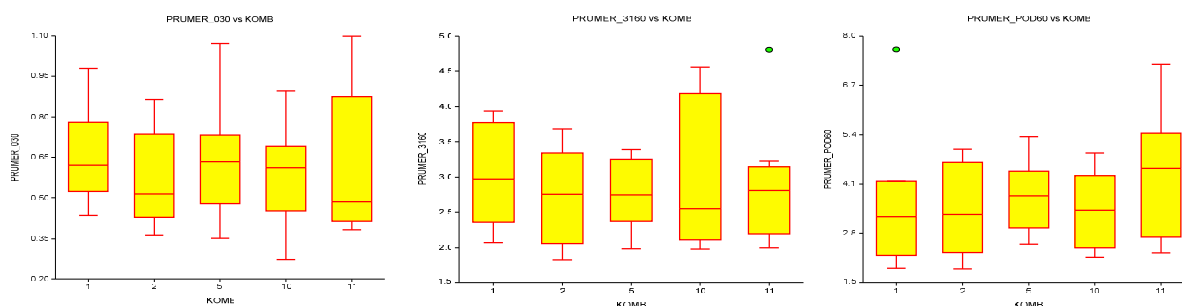
6.1.1 Statistické zhodnocení vlivu variant hnojení - hromadně všechna stanoviště

Obrázek 5: Kruskal-Wallis test penetračního odporu - AZP stacionár, vliv varianty všech stanovišť

hloubka 0-30 cm

hloubka 31-60 cm

hloubka 61-80 cm

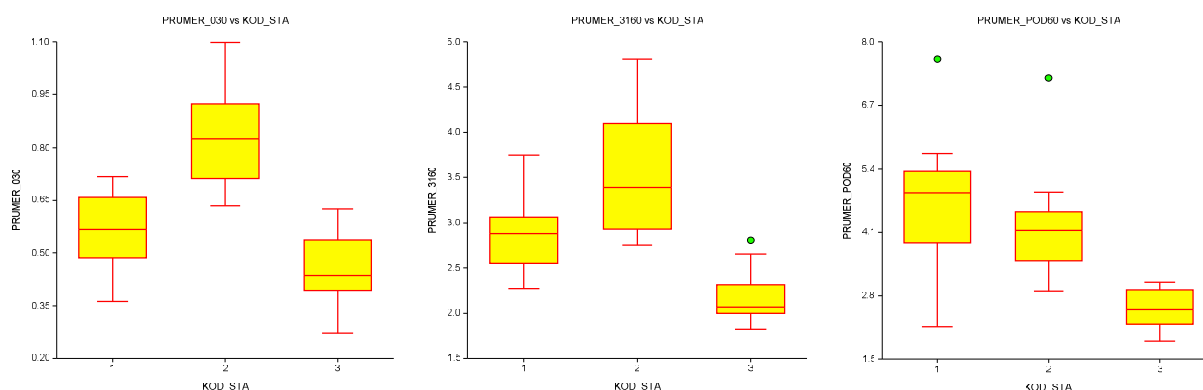


Obrázek 6: Kruskal-Wallis test penetračního odporu - AZP, vliv všech stanovišť (1.JAR, 2.LIP, 3.HRA)

hloubka 0-30 cm

hloubka 31-60 cm

hloubka 61-80 cm



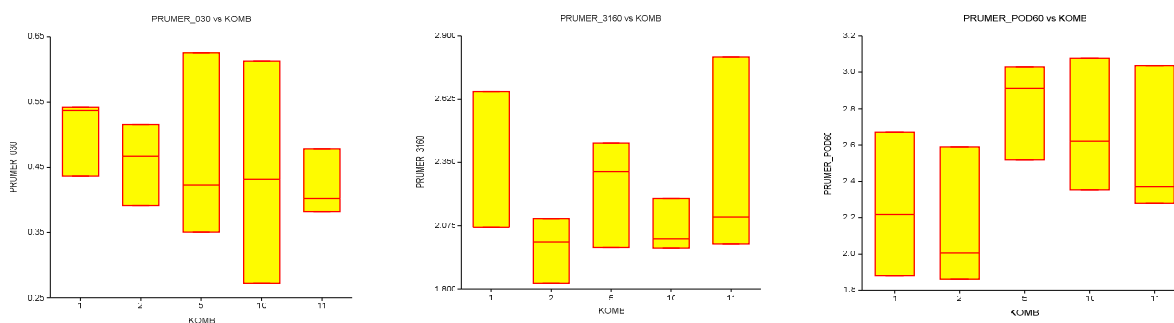
Statisticky vysoce průkazné rozdíly utužení se projevily u stanice Lípa (2) při hodnocení vlivu stanoviště (obrázek 6) v celém hodnoceném profilu půdy oproti hodnotám zjištěným v Hradci a v Jaroměřicích.



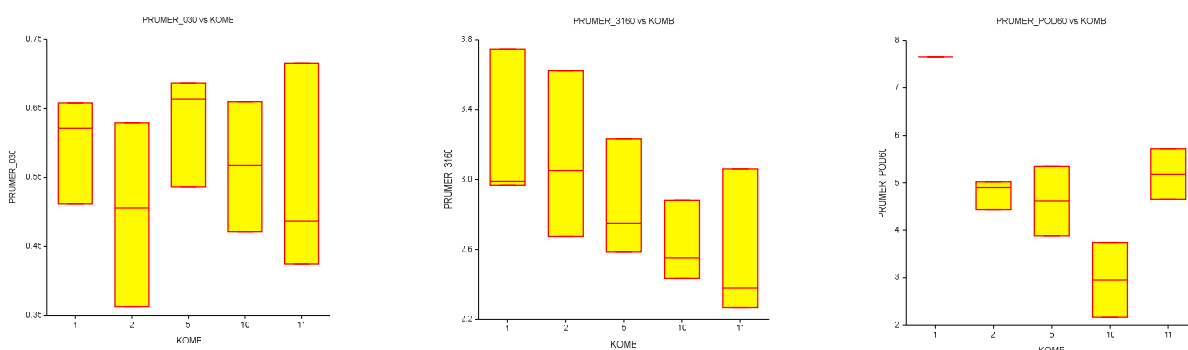
6.1.2 Statistické zhodnocení vlivu variant hnojení a stanoviště individuálně

Vybrané varianty hnojení AZP stacionáru statisticky průkazně neovlivňují penetrometrický odpor ve sledovaných hloubkách na vybraných stanovištích.

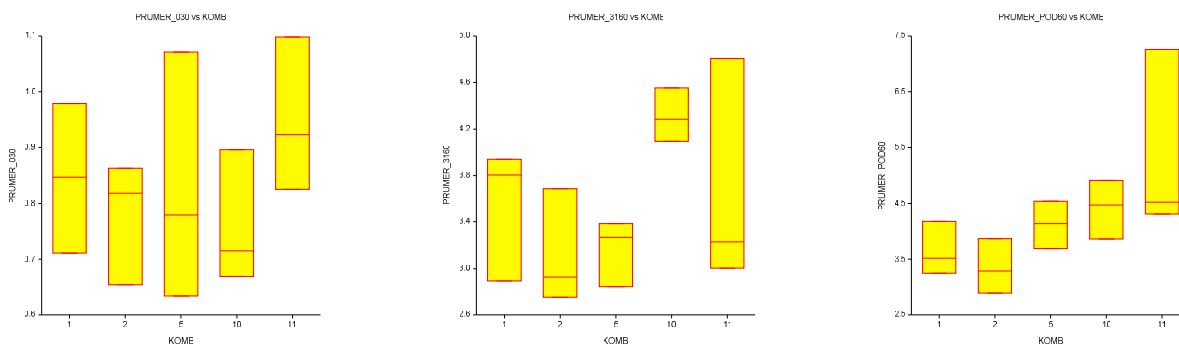
Obrázek 7: Kruskal-Wallis test penetračního odporu - AZP, vliv vybraných variant - HRADEC
hloubka 0-30 cm hloubka 31-60 cm hloubka 61-80 cm



Obrázek 8: Kruskal-Wallis test penetračního odporu - AZP, vliv vybraných variant - JAROMĚŘICE
hloubka 0-30 cm hloubka 31-60 cm hloubka 61-80 cm



Obrázek 9: Kruskal-Wallis test penetračního odporu - AZP, vliv vybraných variant – LÍPA
hloubka 0-30 cm hloubka 31-60 cm hloubka 61-80 cm





6.2 Zhodnocení penetračního odporu v pokusu AZP stacionár se závlahou - Lednice

Na stanovišti v Lednici je střední hlinitá černozem. Dva pokusné bloky se od sebe liší použitím závlahy v kritickém období sucha během vegetace. Na bloku se závlahou se používá závlhka obvykle 2-3x ročně, a to již od počátku vedení pokusu v roce 1979. Aktuální naměřená vlhkost půdy v Lednici při měření utužení byla u jednotlivých variant mezi 11-24 %.

Tabulka 10: Průměrné hodnoty odporu půdy v Lednici - AZP stacionár se ZÁVLAHOU

Varianty hnojení	Penetrační odpor (MPa) v hloubkách 0-80 cm							
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80
1. Chlévský hnůj	0,31	0,60	0,70	1,32	1,56	1,49	1,84	2,52
2.N1P1K1+ CHL HNŮJ	0,36	0,48	0,79	1,48	1,70	1,73	2,21	3,54
5.N2P1K2+ CHL HNŮJ	0,36	0,61	0,75	1,28	1,66	1,86	2,56	3,01

Tabulka 11: Průměrné hodnoty odporu půdy v Lednici - AZP stacionár BEZ ZÁVLAHY

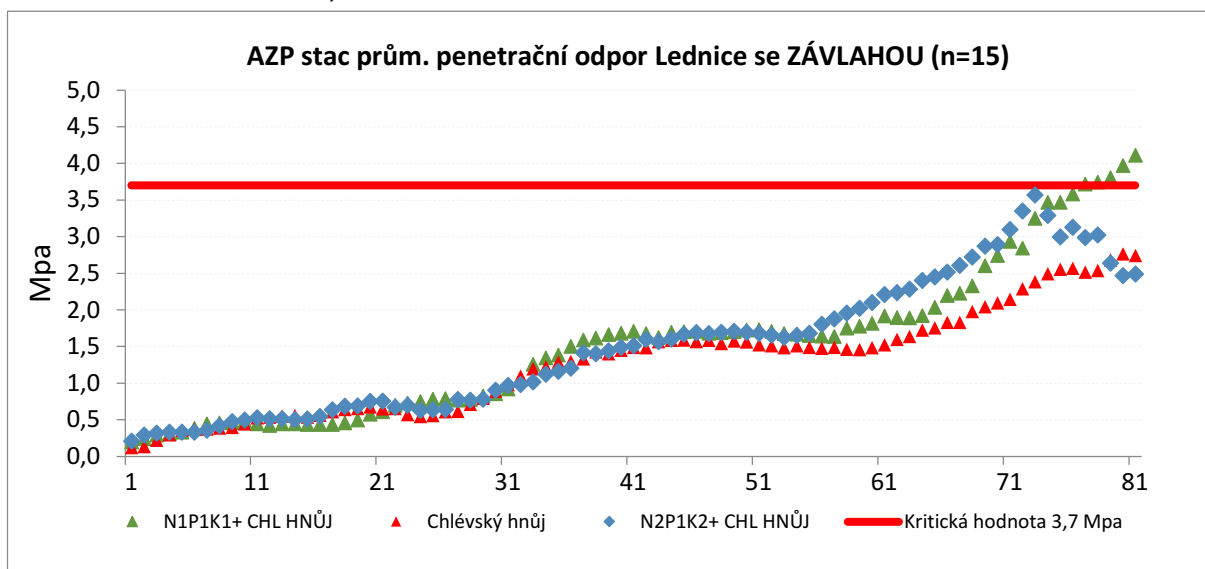
Varianty hnojení	Penetrační odpor (MPa) v hloubkách 0-80 cm							
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80
1.Chlévský hnůj	0,40	0,53	0,69	1,55	1,95	3,04	3,28	1,38
2.N1P1K1+ CHL HNŮJ	0,32	0,60	0,93	1,65	1,99	2,28	2,21	0,70
5.N2P1K2+ CHL HNŮJ	0,40	0,60	0,99	1,69	1,95	3,04	3,27	0,65

Opakované použití závlahy (ZAV) se neprojevovalo negativně na utužení (tabulka 8, obrázek 7). Do hloubky 30 cm, byl odpor půdy nízký, a to bez rozdílu mezi variantami. Postupný nárůst je patrný zejména od 70 cm zvláště u varianty (2) N1P1K1 hnojené současně 1 x za 4 roky hnojem.

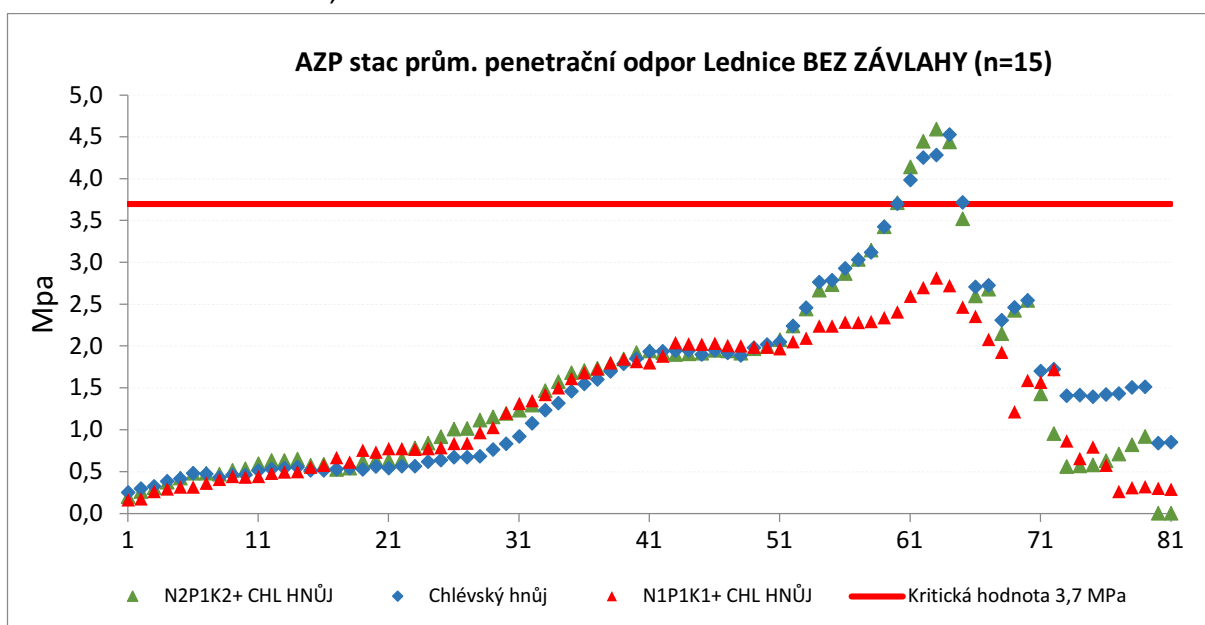
Na ploše bez závlahy (BZ) rovněž nebylo zaznamenáno zvýšené utužení půdy až do hloubky 51 cm (tabulka 9, obrázek 8). Důvodem mohou být optimální geneticky podmíněné půdní vlastnosti, ale také optimální osevní postup, ve kterém se střídá okopanina, obilovina a dvouletá pícnina (vojtěška). Jako zlepšující faktor se zde také projevilo použití samotného hnoje, které snižovalo odpor v hlubších vrstvách ve srovnání s minerálním hnojením.



Obrázek 10: Porovnání penetračního odporu v Lednici AZP stac se ZÁVLAHOU s kritickou hodnotou 3,7 MPa



Obrázek 11: Porovnání penetračního odporu v Lednici AZP stac BEZ ZÁVLAHY s kritickou hodnotou 3,7 MPa





6.3 Zhodnocení penetračního odporu v pokusu SOH

Předkládané výsledky reprezentují utužení půdy po 23 letech vedení pokusu na 4 pokusných stanovištích. Po čtyřech rotacích šestiletého osevního sledu se střídá 1x okopanina, 1x luskovina, 1x řepka a 3x obilovina. Aktuální naměřená vlhkost půdy při měření byla u jednotlivých variant v Hradci n. Svitavou mezi 19-28 %, v Jaroměřicích 18-34 %, v Lednici 11-20 %, na Lípě mezi 15-23 %.

Tabulka 10: Průměrné hodnoty odporu půdy v Hradci n. Svitavou - SOH

Varianty hnojení	Penetrační odpor (MPa) v hloubkách 0-80 cm							
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80
1.Kontrola	0,37	0,67	0,86	1,51	2,08	2,12	2,13	2,06
2.NPK	0,25	0,36	0,65	1,71	2,36	2,69	2,45	2,12
3.Chl hnůj	0,35	0,47	0,66	1,53	1,94	2,10	1,87	1,75
5.Sláma/chrást	0,31	0,51	0,80	1,63	2,12	2,14	1,99	1,87
7.Zelené hnojení	0,25	0,34	0,78	1,28	1,85	1,94	2,10	2,42
9.Zelené hnojení + sláma	0,24	0,36	0,79	1,28	1,84	1,93	2,10	2,42

Tabulka 11: Průměrné hodnoty odporu půdy v Jaroměřicích - SOH

Varianty hnojení	Penetrační odpor (MPa) v hloubkách 0-80 cm							
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80
1.Kontrola	0,40	0,55	0,67	1,21	1,90	1,87	1,98	1,69
2.NPK	0,30	0,44	0,59	1,46	3,19	3,81	5,01	4,73
3.Chl hnůj	0,25	0,44	0,76	1,47	2,36	2,35	2,35	2,27
5.Sláma/chrást	0,28	0,50	0,80	1,22	2,07	2,38	2,61	2,49
7.Zelené hnojení	0,38	0,51	0,68	1,45	2,11	2,33	3,22	3,59
9.Zelené hnojení + sláma	0,24	0,41	0,69	1,82	2,82	3,22	3,96	1,35

Tabulka 12: Průměrné hodnoty odporu půdy na Lípě - SOH

Varianty hnojení	Penetrační odpor (MPa) v hloubkách 0-80 cm							
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80
1.Kontrola	0,40	0,66	1,80	3,42	3,30	2,61	1,22	*
2.NPK	0,33	0,69	1,69	3,05	3,36	1,61	1,07	*
3.Chl hnůj	0,37	0,49	1,80	3,41	4,20	3,54	2,58	1,80
5.Sláma/chrást	0,33	0,82	1,91	3,15	3,37	3,29	3,07	1,51
7.Zelené hnojení	0,47	0,66	1,84	2,67	2,71	2,76	2,23	1,53
9.Zelené hnojení + sláma	0,51	0,63	1,47	2,75	2,73	2,82	2,69	2,15



Tabulka 13: Průměrné hodnoty odporu půdy v Lednici - SOH

Varianty hnojení	Penetrační odpor (MPa) v hloubkách 0-80 cm							
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80
1.Kontrola	0,28	0,52	0,82	1,46	1,55	1,75	1,86	2,66
2.NPK	0,29	0,53	0,69	1,62	1,72	1,69	1,86	2,63
3.Chl hnůj	0,30	0,45	0,75	1,76	1,84	1,78	2,30	4,14
5.Sláma/chrást	0,32	0,45	0,69	1,74	1,62	1,63	2,04	3,70
7.Zelené hnojení	0,32	0,50	0,85	1,56	1,61	1,69	2,10	3,90
9.Zelené hnojení + sláma	0,27	0,46	0,76	1,58	1,78	1,83	2,56	4,12

Rozdíly v utužení mezi stanovišti jsou významné z důvodu odlišných půdně klimatických podmínek, včetně půdního druhu. V Hradci na jílovitě hlinité těžké půdě nebyla překročena kritická hodnota 3,2 MPa a projevil se poměrně jasně pozitivní vliv slámy a hnoje v hloubce nad 60 cm, oproti variantě (2) NPK (tabulka 10, obrázek 9, 10).

V Jaroměřicích je podle zrnitostního složení klasifikován stejný půdní druh, avšak díky matečnému substrátu, kterým je spraš, jde o slévavou půdu se sklonem k většímu utužení. Kritická hodnota 3,2 MPa byla překročena už v hloubce 40 cm variantou (2) NPK a (7) zelené hnojení, tedy velmi mělce pod vrstvou, která je pravidelně oraná (tabulka 11, obrázek 11, 12). Pozitivně se opět projevil hnůj (3) a samotná sláma (5).

Černozem v Lednici je střední půda, která vlivu utužení odolává nejlépe ze všech sledovaných stanovišť. Projevy zvýšeného utužení se projeví až v hloubce nad 75 cm, a to u variant 3, 5, 7, 9 (tabulka 12, obrázek 13, 14).

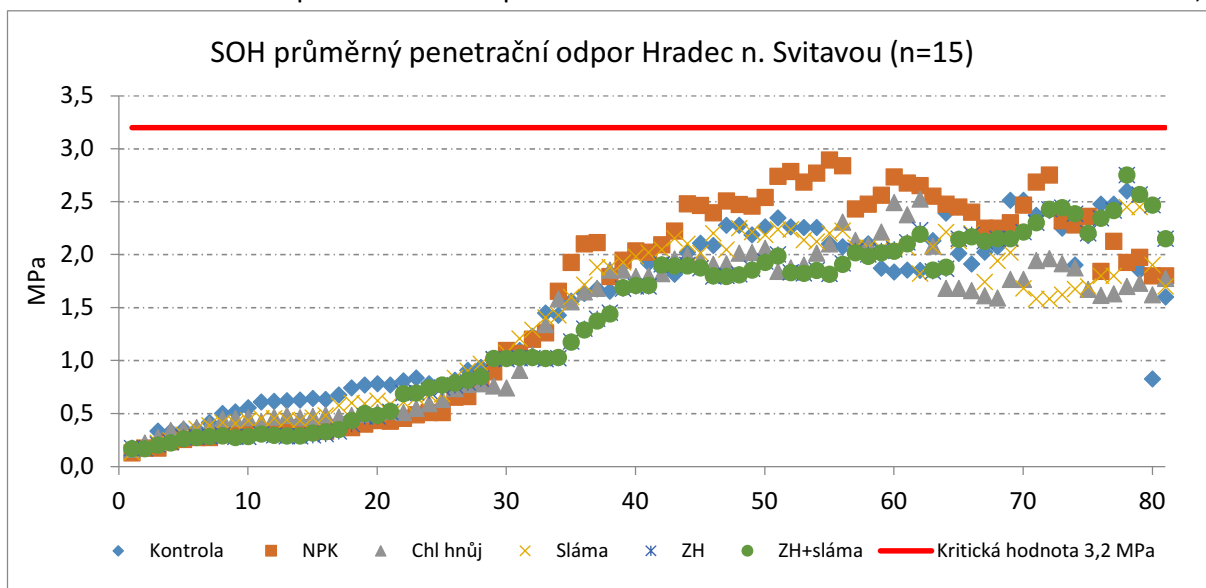
Měření na Lípě bylo z hlediska samotného měření nejobtížnější, důvodem je zřejmě samotné umístění pokusu na výživářské bázi s velmi kamenitým podložím. Zapichování hrotu bylo velmi často možné maximálně do 40-50 cm, kdy byla přístrojem vyhodnocena výsledná hodnota. Jako relevantní výsledky měření lze tedy v těchto podmínkách považovat spíše hloubku do 50 cm.

Pravidelná a správná agrotechnika do 30-40 cm utužení minimalizuje na všech stanovištích, rozdíly mezi variantami hnojení s výjimkou Lípy nebyly příliš výrazné.

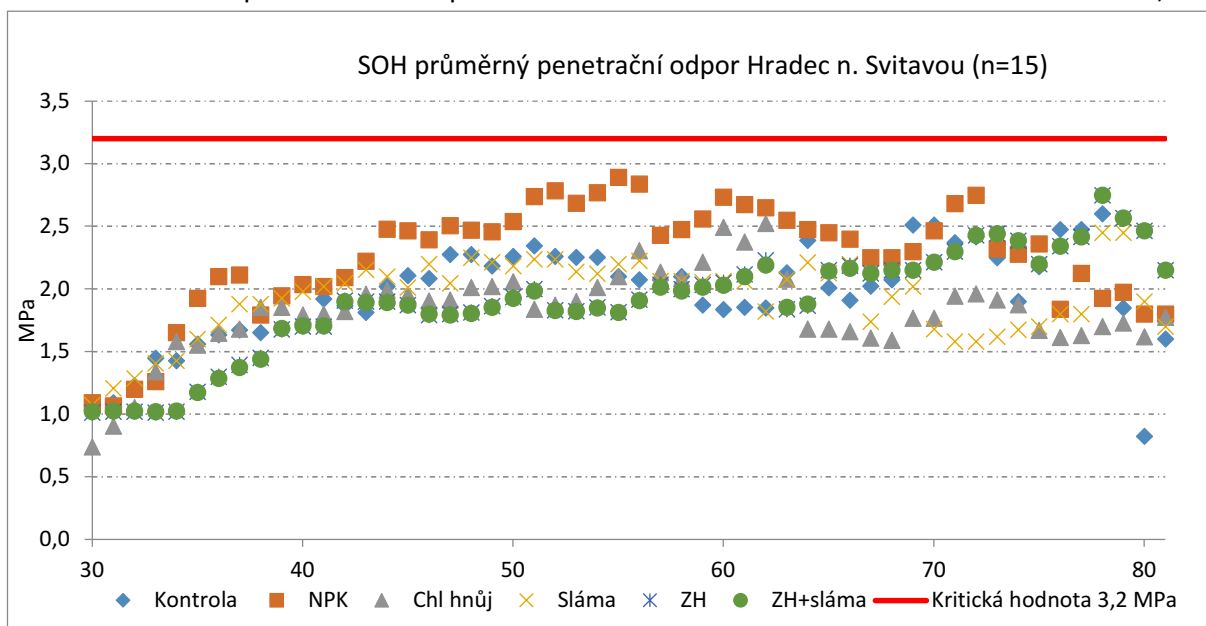
Detailní přiblížení utužení půdy všech čtyř stanovišť v hloubce od 30-81 cm prezentují obrázky 10, 12, 14, 16.



Obrázek 12: Porovnání penetračního odporu 0-80 cm Hradec n. Svitavou s kritickou hodnotou 3,2 MPa

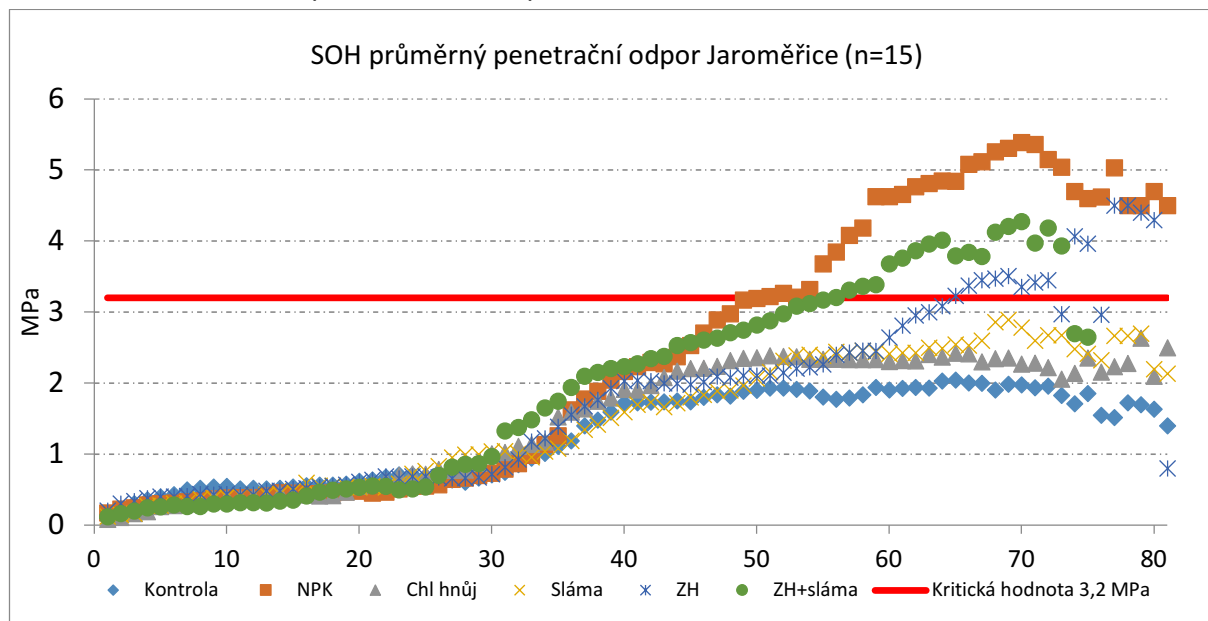


Obrázek 13: Detail penetračního odporu 30-80 cm Hradec n. Svitavou s kritickou hodnotou 3,2 MPa

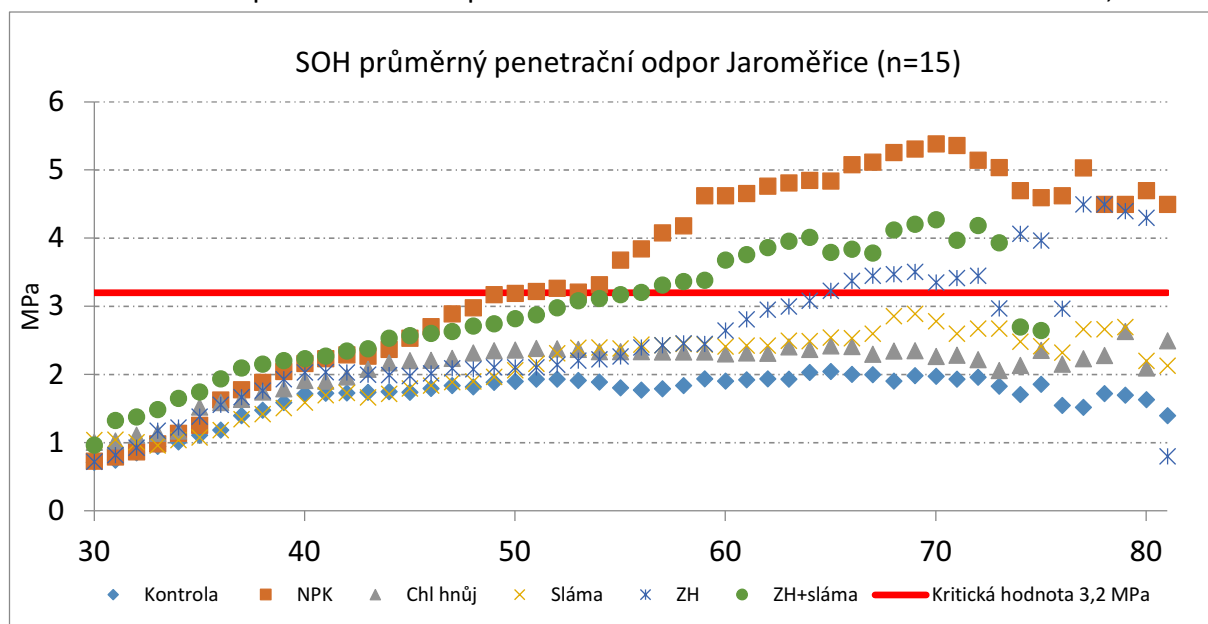




Obrázek 14: Porovnání penetračního odporu 0-80 cm Jaroměřice s kritickou hodnotou 4,5 MPa

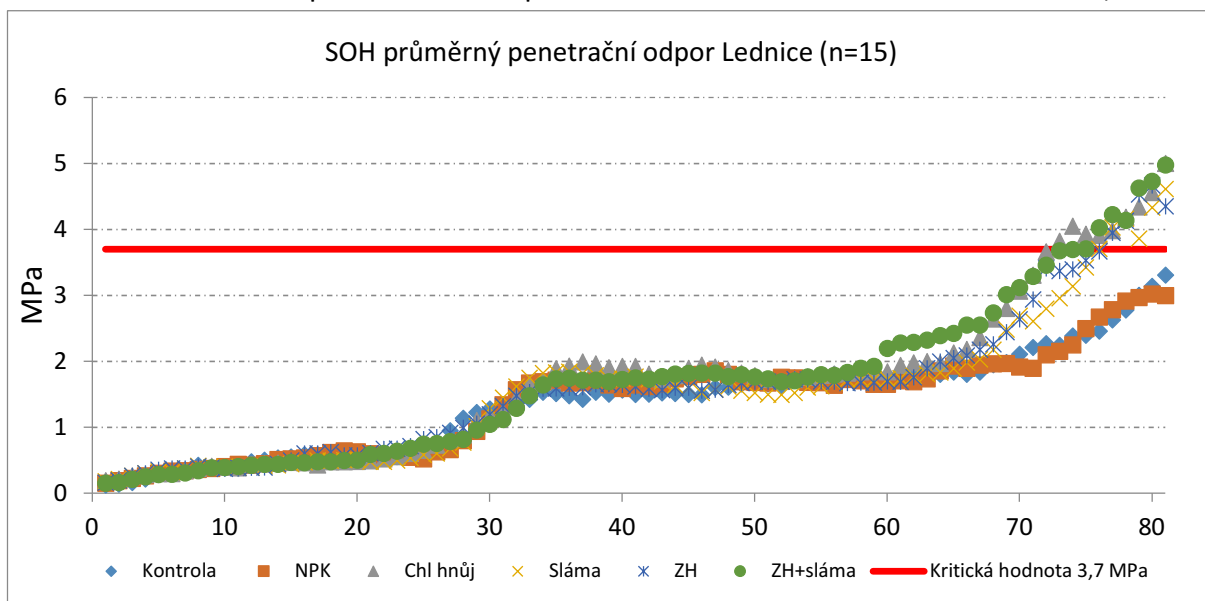


Obrázek 15: Detail penetračního odporu 30-80 cm Jaroměřice s kritickou hodnotou 4,5 MPa

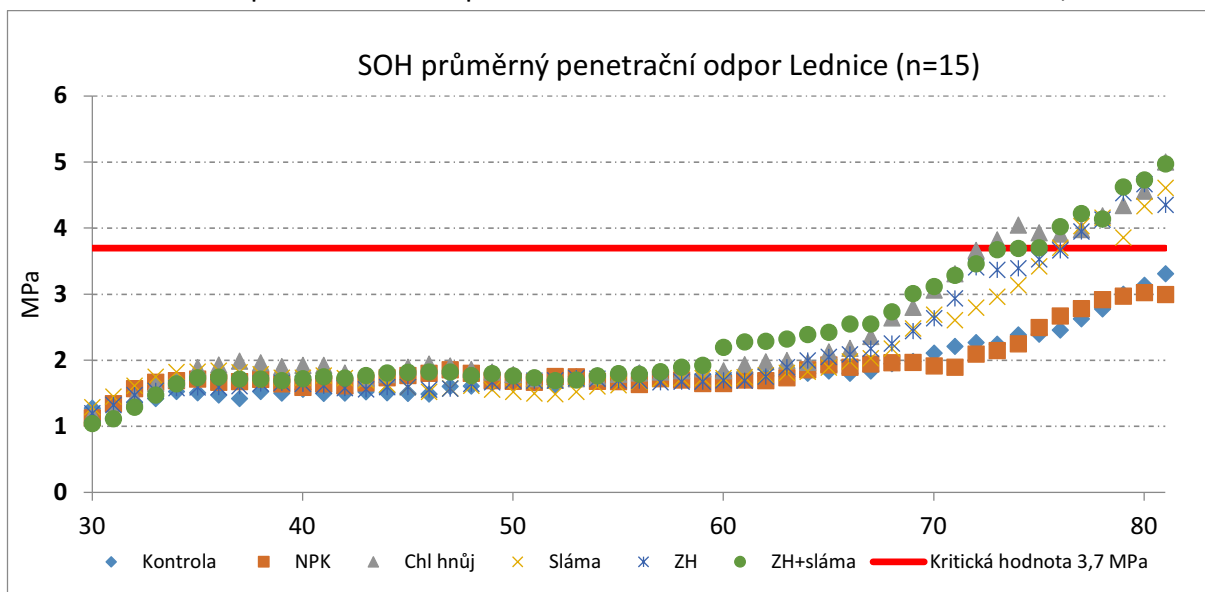




Obrázek 16: Porovnání penetračního odporu 0-80 cm Lednice s kritickou hodnotou 3,7 MPa

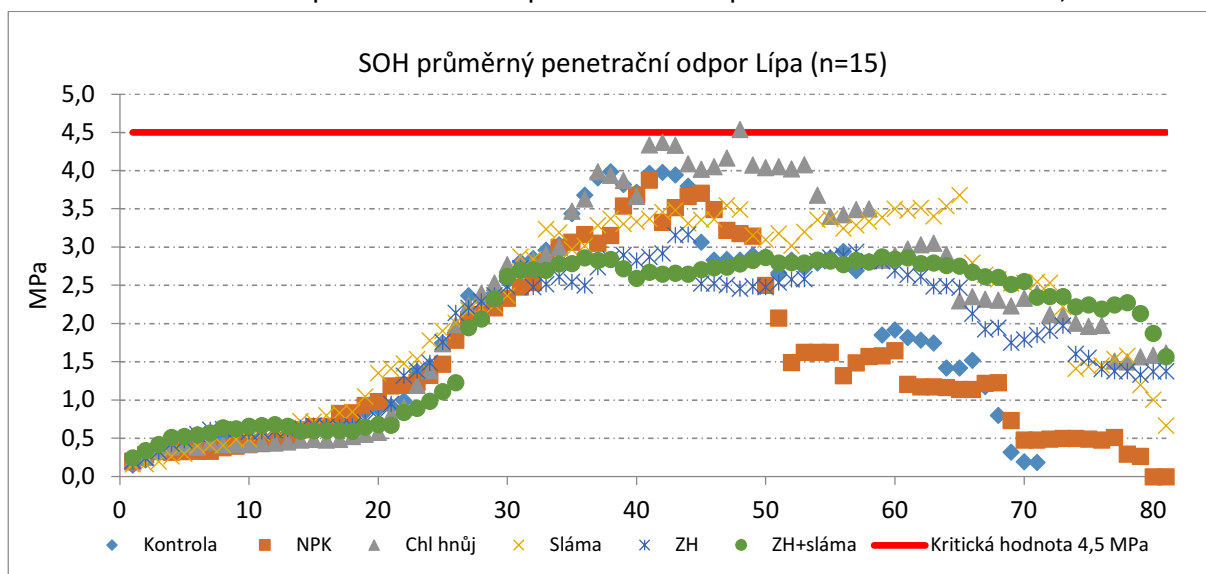


Obrázek 17: Detail penetračního odporu 30-80 cm Lednice s kritickou hodnotou 3,7 MPa

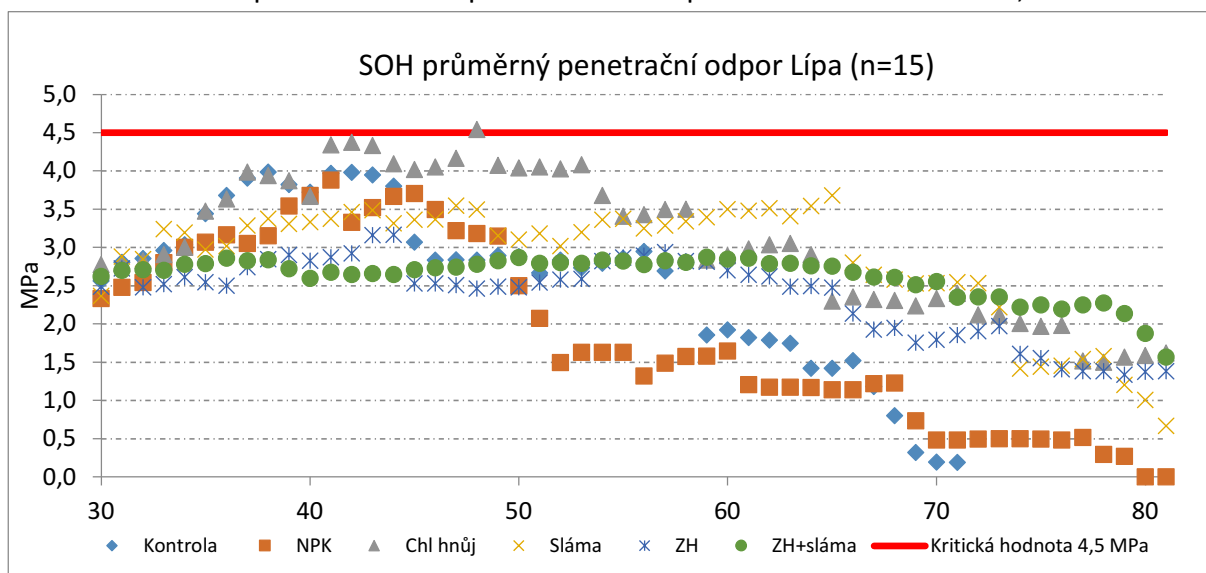




Obrázek 18: Porovnání penetračního odporu 0-80 cm Lída s kritickou hodnotou 4,5 MPa

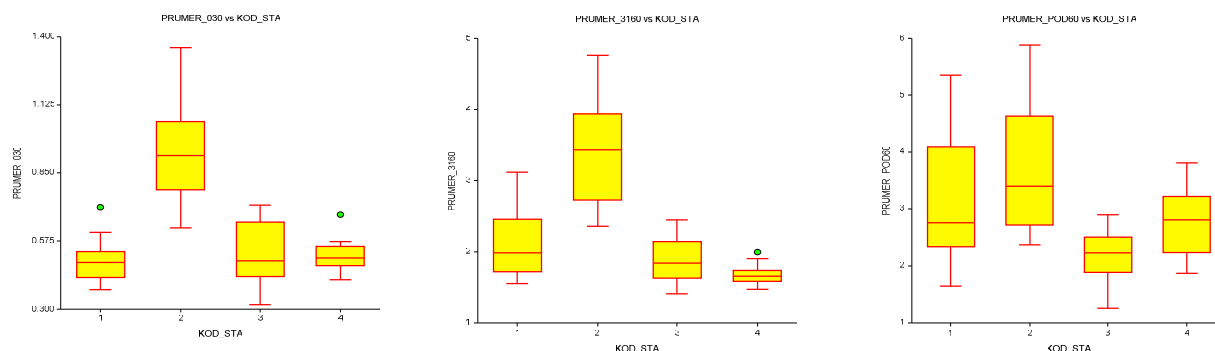


Obrázek 19: Detail penetračního odporu 30-80 cm Lída s kritickou hodnotou 4,5 MPa

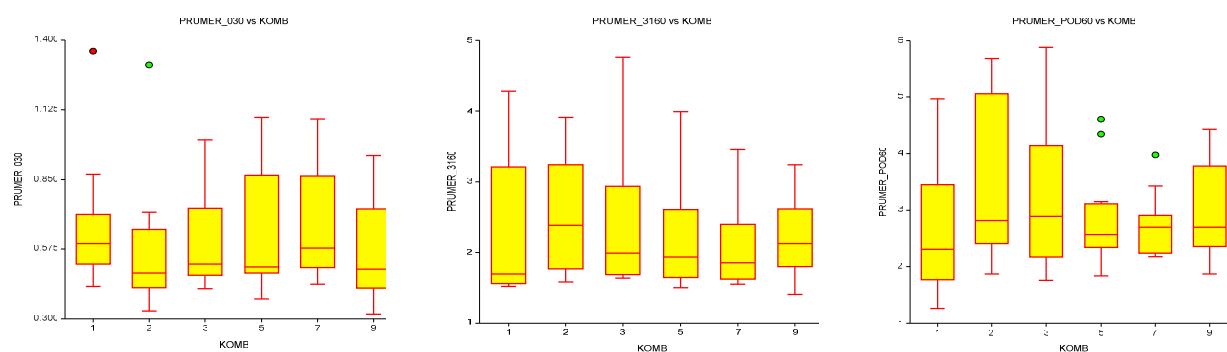




Obrázek 20: Kruskal-Wallis test penetračního odporu, vliv všech stanovišť (SOH 1.JAR, 2.LIP, 3.HRA, 4. LED)



Obrázek 21: Kruskal-Wallis test penetračního odporu - SOH, vliv varianty u všech stanovišť



Statisticky významné rozdíly vlivu stanoviště na utužení půdy byly zjištěny v ornici (0-30 cm) i v podorníci (30-60 cm) na Lípě (obrázek 17). Mezi hodnocenými variantami hnojení (obrázek 18) u všech čtyř stanovišť nebyly zjištěny průkazné rozdíly v utužení půdy.



6.4 Zhodnocení penetračního odporu pokusu Digestáty

Předkládané výsledky reprezentují utužení půdy po 6-ti letech tj. první ukončené rotaci osevního sledu na třech pokusných stanovištích. V pokusu jsou zařazeny brambory, ozimá pšenice, kukuřice na siláž, ječmen, ozimá řepka a ozimá pšenice, posklizňové zbytky jsou z pokusu odváženy.

Aktuální naměřená vlhkost půdy při měření byla u jednotlivých variant v Hradci n. Svitavou mezi 24-30 %, v Jaroměřicích 21-31 %, na Lípě mezi 13-27 %.

Tabulka 14: Průměrné hodnoty odporu půdy v Hradci n. Svitavou - Digestáty

Varianty hnojení	Penetrační odpor (MPa) v hloubkách 0-80 cm							
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80
1. Kontrola	0,22	0,39	0,66	1,68	1,91	1,79	1,88	2,25
2. LAV	0,28	0,53	0,85	2,08	2,58	2,64	2,53	2,49
3. Kejda	0,38	0,64	0,95	1,97	2,14	1,86	1,98	2,07
4. Digestát Lípa	0,26	0,42	0,80	2,01	2,18	2,20	2,42	2,37
5. Digestát Opatov	0,25	0,40	0,73	1,83	1,94	1,96	2,25	2,09
6. Kompost	0,26	0,49	0,73	1,88	1,86	1,76	1,99	1,85

Tabulka 15: Průměrné hodnoty odporu půdy v Jaroměřicích - Digestáty

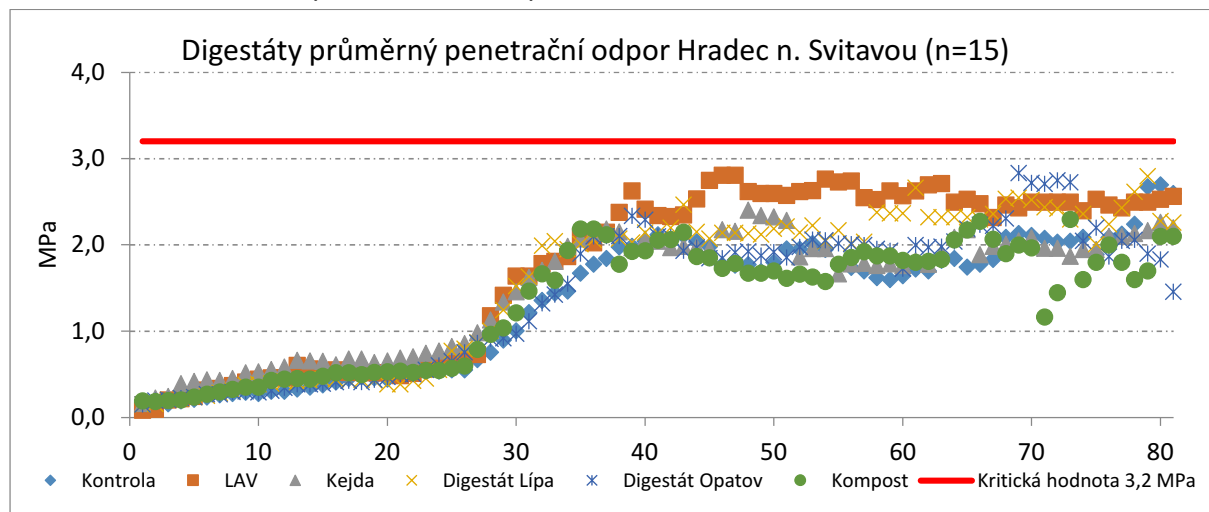
Varianty hnojení	Penetrační odpor (MPa) v hloubkách 0-80 cm							
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80
1. Kontrola	0,36	0,50	0,67	1,54	2,10	2,21	2,32	1,05
2. LAV	0,36	0,46	0,72	1,98	2,60	3,07	3,73	3,68
3. Kejda	0,37	0,49	0,86	1,80	2,24	2,33	2,64	2,11
4. Digestát Lípa	0,42	0,54	0,65	1,50	2,03	2,33	2,70	2,59
5. Digestát Opatov	0,41	0,51	0,68	1,52	2,30	2,45	2,91	3,05
6. Kompost	0,40	0,54	0,66	1,52	2,12	2,44	2,92	3,03

Tabulka 16: Průměrné hodnoty odporu půdy na Lípě - Digestáty

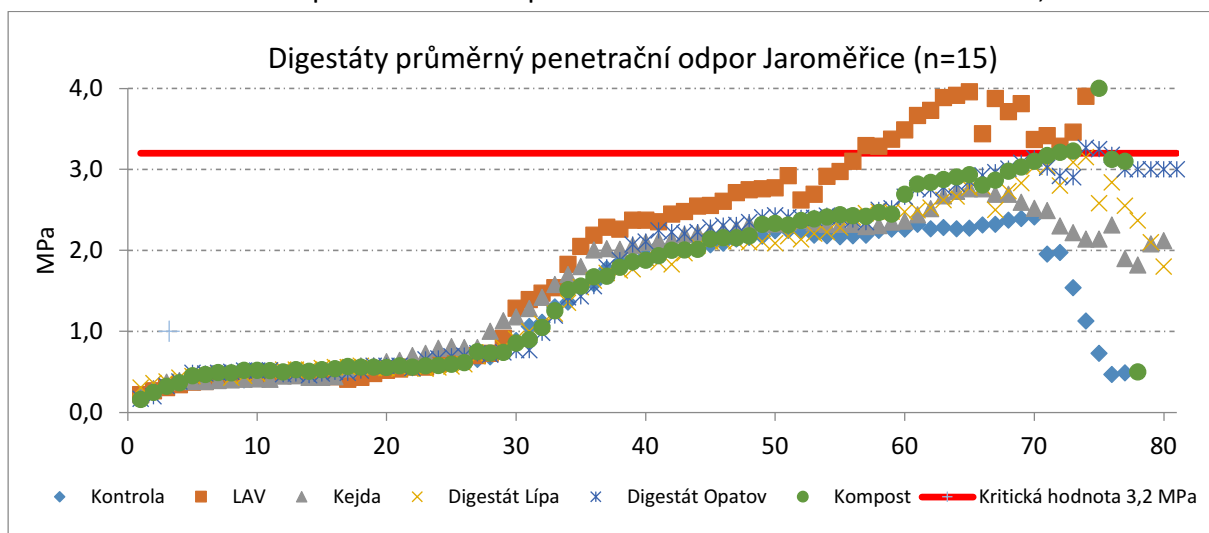
Varianty hnojení	Penetrační odpor (MPa) v hloubkách 0-80 cm							
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80
1. Kontrola	0,40	0,64	1,41	3,11	2,83	2,86	2,37	1,83
2. LAV	0,37	0,56	1,50	2,43	3,16	3,27	3,45	2,83
3. Kejda	0,40	0,62	1,41	2,71	3,15	3,72	3,88	2,66
4. Digestát Lípa	0,46	0,48	1,27	2,26	2,62	2,87	2,86	2,21
5. Digestát Opatov	0,49	0,67	1,72	2,51	2,46	2,60	2,98	2,45
6. Kompost	0,39	0,55	1,36	2,35	2,68	2,74	2,76	2,45



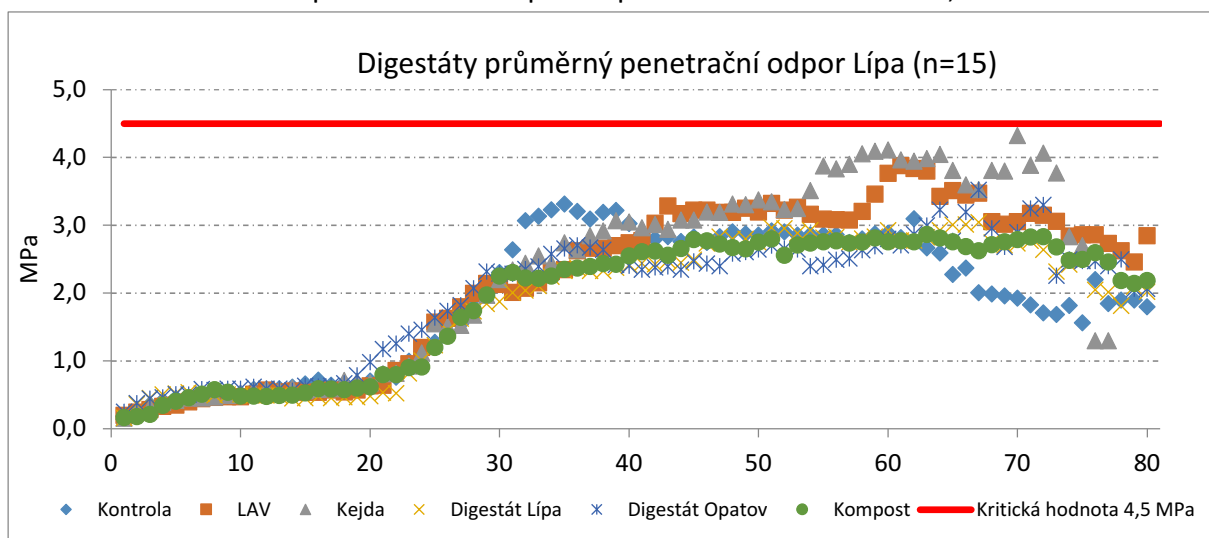
Obrázek 22: Porovnání penetračního odporu Hradec n. Svitavou s kritickou hodnotou 3,2 MPa



Obrázek 23: Porovnání penetračního odporu Jaroměřice s kritickou hodnotou 3,2 MPa



Obrázek 24: Porovnání penetračního odporu Lípa s kritickou hodnotou 4,5 MPa



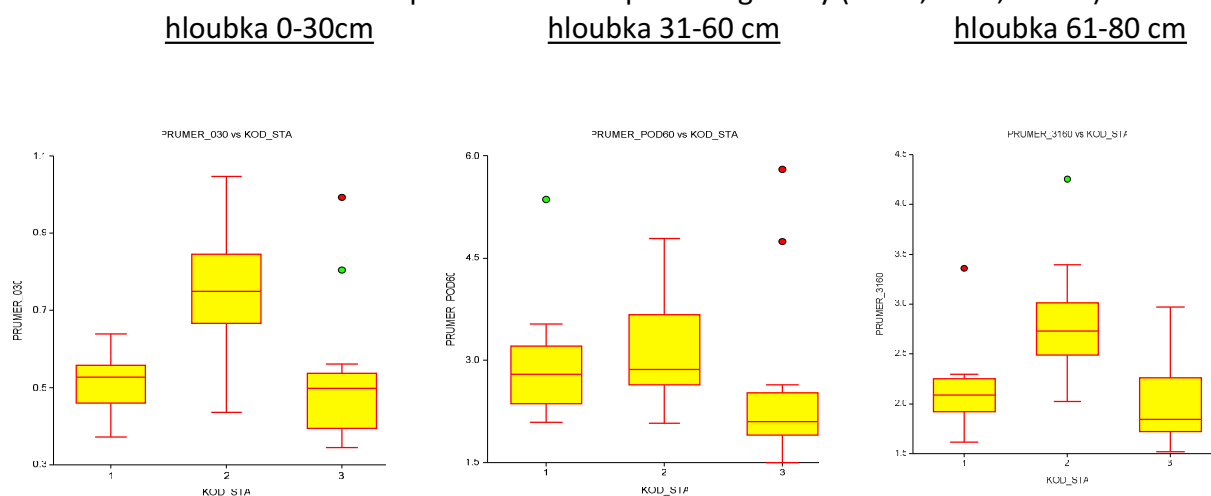


Penetrační odpor do 30 cm na všech stanovištích vykazoval nízké hodnoty, vliv hnojení se neprojevoval výrazně (tabulky 14-16, obrázky 19-21). V podorníci pod > 30 cm bylo zaznamenáno pozvolné zvyšování odporu půdy s hloubkou. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny na všech lokalitách po minerálním hnojení u varianty 2 a v Jaroměřicích došlo k překročení kritické hodnoty 3,2 MPa.

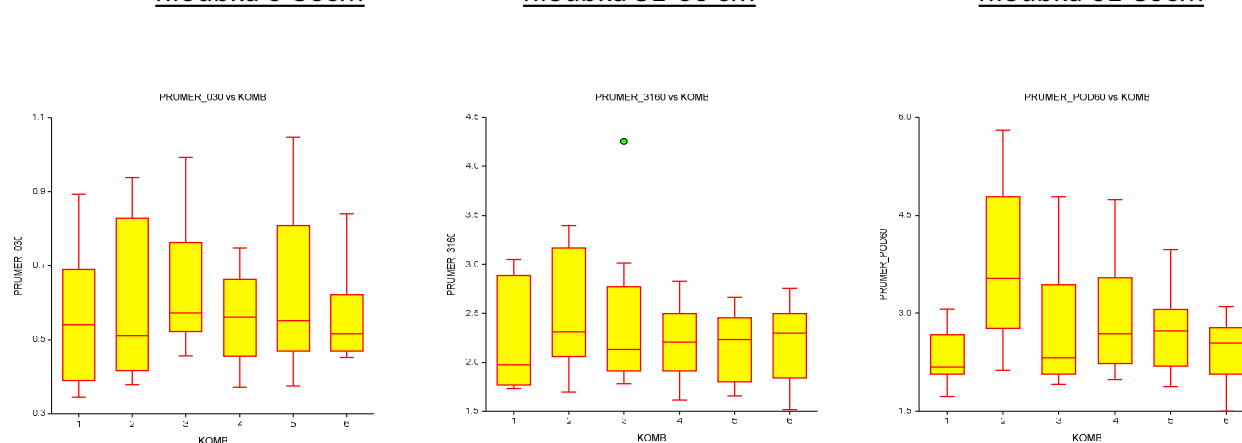
6.4.1 Statistické zhodnocení vlivu variant hnojení - hromadně všechna stanoviště

Statisticky významné rozdíly utužení půdy mezi stanovišti (obrázek 22) byly zjištěny na Lípě (2) v hloubkách 0-30 cm a 60-80 cm. Do 60 cm nebyly mezi variantami zjištěny průkazné rozdíly. Pouze u kontroly v hloubce 60-80 cm byly průkazné rozdíly ve srovnání s variantou (2) hnojenou LAV (obrázek 23).

Obrázek 25: Kruskal-Wallis test penetračního odporu - Digestáty (1.JAR, 2.LIP, 3.HRA)



Obrázek 26: Kruskal-Wallis test penetračního odporu - Digestáty, vliv variant u všech stanovišť





6.4.2 Statistické zhodnocení vlivu variant hnojení a stanoviště individuálně

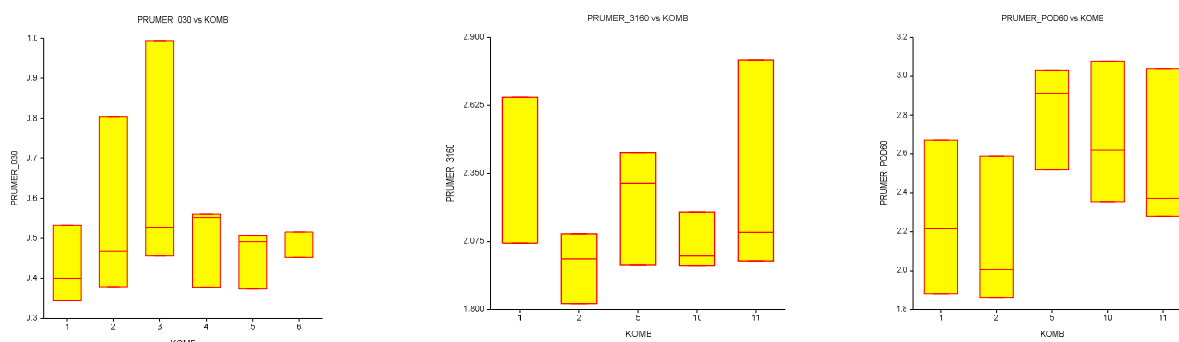
Vybrané varianty hnojení statisticky průkazně neovlivňují penetrometrický odpor ve sledovaných hloubkách na vybraných stanovištích. Statisticky významný je tento faktor jen u společného hodnocení pokusných stanovišť v hloubce pod 60 cm.

Obrázek 27: Kruskal-Wallis test penetračního odporu, vliv vybraných variant - HRADEC

hloubka 0-30 cm

hloubka 31-60 cm

hloubka 61-80 cm

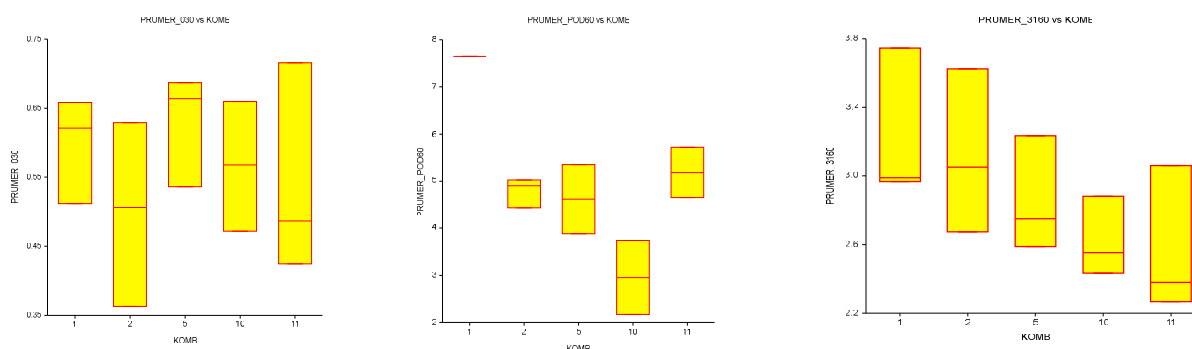


Obrázek 28: Kruskal-Wallis test penetračního odporu, vliv vybraných variant - JAROMĚŘICE

hloubka 0-30 cm

hloubka 31-60 cm

hloubka 61-80 cm

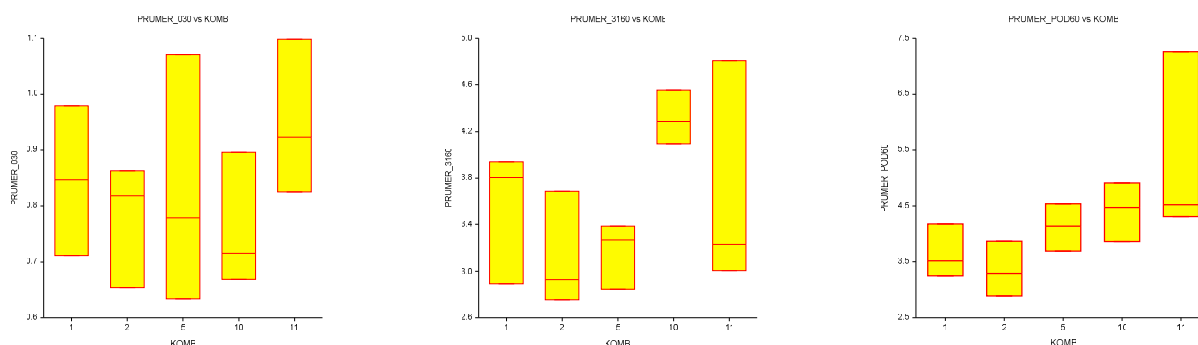


Obrázek 29: Kruskal-Wallis test penetračního odporu - AZP, vliv vybraných variant – LÍPA

hloubka 0-30 cm

hloubka 31-60 cm

hloubka 61-80 cm





7. Závěr

Měřením penetračního odpor půdy na vybraných variantách dlouhodobého pokusu vyplývá, že na zjištěné hodnoty mají zásadní vliv půdní podmínky stanoviště samotného a dále použité organické hnojení, ať už je to sláma nebo hnůj.

Z analýzy měření získaných z každého pokusu vyplývá, že statisticky významné rozdíly mezi měřenými variantami hnojení nebyly nalezeny v ornici (0-30 cm) ani v podorničních hloubkách (30-60 cm a 60-80 cm).

- **AZP stacionár:** varianty hnojení statisticky průkazně neovlivňují penetrometrický odpor ve sledovaných hloubkách na vybraných stanovištích. Nejvyšší hodnoty utužení byly zjištěny na Lípě při hodnocení vlivu stanoviště v celém profilu půdy oproti Hradci a Jaroměřicím. Střední utužení půdy se projevilo na Lípě již v hloubce 21-30 cm. Pozitivní vliv organického hnojení (u varianty 2) byl zřejmý v spodních horizontech, kde byly nejnižší naměřené hodnoty.
- **AZP stacionár závlaha:** v Lednici se na černozemi neprojevovalo negativně pravidelné použití závlahy, samostatné použití hnoje vykazovalo nejmenší penetrační odpor.
- **SOH:** statisticky průkazný vliv hnojení na utužení půdy nebyl zjištěn. Nejnižší průměrné hodnoty byly u kombinací (9) zelené hnojení + sláma a (3) chlěvský hnůj a samotná sláma (5) zvláště ve spodních horizontech.

Po minerálním hnojení u varianty (2) na všech lokalitách byly naměřeny nejvyšší hodnoty a v Jaroměřicích došlo k překročení kritické hodnoty 3,2 MPa.

Statisticky vysoce významný vliv stanoviště Lípa na utužení byl v ornici (0-30 cm) i v podorniči (30-60 cm).

- **Digestáty:** vliv hnojení neovlivňuje penetrometrický odpor ve sledovaných hloubkách na vybraných stanovištích. Statisticky významný je tento faktor jen u společného hodnocení v hloubce pod 60 cm a mezi také jednotlivými stanovišti. Nejvyšší hodnoty utužení byly naměřeny v hloubkách 0-30 cm a 60-80 cm na Lípě.

Porovnávání způsobu hnojení napříč pokusy ukazuje na pozitivní výsledky AZP stacionáru s osevním sledem s pícninou. Nasvědčují tomu nižší hodnoty u variant, které je možné vzájemně porovnat např. u (2) hnoje i (1) samotné kontroly u stanovišť Hradec a Jaroměřice. Všechny varianty pokusů vykazují velmi nízké hodnoty utužení v ornici a velmi pozvolné zvyšování odporu, často až od 50 cm hlouběji.

V pokusech ÚKZÚZ se používá lehká technika a v co největší míře se dodržují agrotechnické lhůty s ohledem na vlhkostní stav půdy, což má významný vliv na penetrační odpor ornice.

8. Literatura

Lhotský J, a kol 1984: soustava opatření k zúrodňování zhutněných půd. Metodika UVTIZ 14/1984: 11-12.

Šarapatka b.: Fyzikální degradace půdy a způsoby ochrany, BIO 12/2008.

